

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en
Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental**



**“PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR
DE LOS RESIDUOS VEGETALES PROVENIENTES DEL
MANTENIMIENTO DE LAS ÁREAS VERDES PÚBLICAS DEL
DISTRITO DE MIRAFLORES”**

Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRONOMO

Víctor Carlos Cabrera Córdova

INGENIERO AMBIENTAL

María Grazia Rossi Luna

Lima – Perú

2016

Víctor:

A mi abuela por todos sus consejos y enseñanza...

A mis padres por el apoyo en mi formación profesional...

A mi familia y amigos que han ayudado en lograr este importante logro académico...

A la Municipalidad de Miraflores por el apoyo brindado para la realización del proyecto...

María Grazia:

A mi papá que me sigue guiando desde arriba...

A mi mamá por el apoyo incondicional...

A Laly por darme el ánimo de siempre...

Un agradecimiento especial a Ruby, por brindarnos apoyo, ánimo y consejos en la elaboración de éste proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 ASPECTOS LEGALES	3
2.2 ASPECTOS GENERALES	5
2.2.1 Residuos sólidos	5
2.2.2 Residuos sólidos orgánicos	6
2.2.3 Clasificación de los residuos sólidos orgánicos	6
2.2.4 Manejo de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes	7
2.3 ABONOS ORGÁNICOS	8
2.3.1 Compost	10
2.3.2 Tipos de compost	11
2.3.3 Fases de elaboración de compost	12
2.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	14
2.4.1 Factores que afectan el proceso del compostaje.....	14
2.4.2 Sistemas de compostaje.....	17
2.4.3 Transformación en compost	18
2.5 BENEFICIOS DEL COMPOST	19
III. METODOLOGÍA	21
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	21
3.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS	22
3.3 MATERIALES	22
3.3.1 Residuos vegetales	22
3.3.2 Melaza de caña	23
3.3.3 Compost	24
3.3.4 Equipos.....	26
3.3.5 Materiales de escritorio	26

3.3.6	Materiales diversos.....	27
3.4	FORMULACIÓN DEL TRATAMIENTO.....	27
3.5	PROCEDIMIENTO	28
3.5.1	Pretratamiento	28
3.5.2	Selección del sistema de compostaje.....	29
3.5.3	Armado de pila dentro de la poza.....	31
3.5.4	Volteo y riego.....	33
3.5.5	Evaluaciones durante el proceso de compostaje	34
3.6	Variables en estudio	34
3.6.1	Variables físicas	34
3.6.2	Variables químicas	35
3.6.3	Variables biológicas	37
3.6.4	Determinación de la madurez del compost	38
3.6.5	Calidad del compost	39
3.6.6	Test de germinación de Zucconi	40
3.6.7	Variables económicas y financieras	40
IV.	RESULTADOS.....	43
4.1	EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL COMPOST	43
4.1.1	Densidad aparente	43
4.1.2	Contenido de humedad (Hd)	44
4.1.3	Temperatura.....	45
4.1.3	pH.....	46
4.1.4	Conductividad eléctrica (C.E)	48
4.1.5	Contenido de materia orgánica (M.O).....	49
4.1.6	Carbono total	50
4.1.7	Nitrógeno total (N)	51
4.1.8	Relación C:N	52
4.1.9	Fósforo y potasio total.....	53
4.1.10	Calcio, magnesio y sodio	55
4.1.11	Análisis de microelementos	57
4.1.12	Análisis de metales pesados	60
4.2	EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS	63
4.3	TEST DE GERMINACION DE ZUCCONI	63
4.4	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST	64

4.5 DISEÑO DE PLANTA DE COMPOSTAJE.....	67
4.6 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE LA PROPUESTA.....	71
V. CONCLUSIONES.....	75
VI. RECOMENDACIONES.....	76
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	77
VIII. ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Flujograma de Organización del Sistema Nacional de Gestión Ambiental	5
Figura 2: Fases de elaboración del compost	14
Figura 3: Mapa de localización del CONSAS	21
Figura 4: Restos vegetales que componen los residuos del mantenimiento de parques y jardines de las áreas verdes públicas del Distrito de Miraflores (%p/p)	23
Figura 5: Distribución porcentual (% v/v) del volumen de las materias primas utilizadas en las formulaciones de los tratamientos	28
Figura 6: Pila de compostaje	30
Figura 7: Secuencia fotográfica del procedimiento de armado de pilas de compostaje	32
Figura 8: Densidad aparente del compost final	44
Figura 9: Contenido de humedad (Hd) del compost final	45
Figura 10: Variación semanal de la temperatura en los tratamientos (°C)	46
Figura 11: Variación semanal del pH	47
Figura 12: pH del compost final	48
Figura 13: Conductividad eléctrica (C.E) del compost final	49
Figura 14: Materia orgánica del compost final	50
Figura 15: Carbono total del compost final	51
Figura 16: Contenido de nitrógeno del compost final	52
Figura 17: Relación C:N	53
Figura 18: Contenido de P ₂ O ₅ y K ₂ O total del compost final	55
Figura 19: Contenido de calcio del compost final	56
Figura 20: Contenido de magnesio del compost final	57
Figura 21: Contenido de cobre del compost final	58
Figura 22: Contenido de boro del compost final	59
Figura 23: Contenido de zinc del compost final	60
Figura 24: Contenido de plomo del compost final	61
Figura 25: Contenido de cadmio del compost final	61
Figura 26: Contenido de cromo del compost final	62
Figura 27: Test del índice de germinación en el compost final	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Densidad por tipo de residuo	7
Cuadro 2: Tipos de Abonos Orgánicos.....	9
Cuadro 3: Factores que afectan al compostaje	16
Cuadro 4: Cuadro resumen de las principales ventajas del compost.....	20
Cuadro 5: Composición de la melaza	24
Cuadro 6: Informe de análisis de materia orgánica completa y extractos húmicos del compost de inóculo	25
Cuadro 7: Restos vegetales recolectados provenientes del mantenimiento del mantenimiento de las A.V.P. del distrito de Miraflores.....	29
Cuadro 8: Contenido de metales pesados del compost final	62
Cuadro 9: Contenido de coliformes totales y coliformes fecales en el compost final.....	63
Cuadro 10: Análisis Comparativo de los resultados de los tratamientos bajo la Norma Chilena 2880.Of2004.....	66
Cuadro 11: Costos del manejo actual residuos vegetales	71
Cuadro 12: Costos de venta de la propuesta.....	73
Cuadro 13: Análisis de rentabilidad de la propuesta	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Características físicas de la materia prima.....	83
Anexo 2: Descripción de las formulaciones de tratamientos	83
Anexo 3: Evaluación de la temperatura durante el proceso de compostaje	84
Anexo 4: Evaluación del pH durante el proceso de compostaje	84
Anexo 5: Densidad aparente del compost final.....	85
Anexo 6: Contenido de humedad del compost final.....	85
Anexo 7: pH del compost final.....	86
Anexo 8: Conductividad eléctrica del compost final.....	86
Anexo 9: Materia orgánica del compost final	86
Anexo 10: Carbono total del compost final.....	87
Anexo 11: Contenido de nitrógeno del compost final.....	87
Anexo 12: Relación C:N.....	88
Anexo 13: Análisis de fertilidad del compost final	88
Anexo 14: Contenido de microelementos en el compost final	88
Anexo 15: Contenido de metales pesados en el compost final.....	88
Anexo 16: Índice de germinación.....	89
Anexo 17: Cálculo de requerimiento de compost	89
Anexo 18: Costos de materia prima para la propuesta de compostaje	90
Anexo 19: Cálculo del requerimiento de melaza.....	90
Anexo 20: Cálculo del costo y requerimiento de agua	90
Anexo 21: Costos mano obra directa.....	91
Anexo 22: Costos indirectos de fabricación	91
Anexo 23: Gastos administrativos	91
Anexo 24: Otros gastos.....	91
Anexo 25: Cálculo de costos por aplicación de fertilizantes.....	91

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una propuesta a escala piloto para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores. Con la presente propuesta, se buscó dar una solución sustentable a la gestión actual de los residuos orgánicos de las actividades de poda, evitando su disposición final en los insuficientes rellenos sanitarios de la ciudad de Lima, logrando su reintegración a las áreas verdes del distrito.

La investigación se inició en Agosto del 2012, en la Universidad Nacional Agraria La Molina, siendo desarrollada en el Taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible (CONSAS); los análisis físico-químicos y microbiológicos del producto final fueron realizados en los laboratorios de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) y Marino Tabusso, respectivamente. La propuesta piloto contempló desde la caracterización y pre tratamiento de los residuos, la comparación de cuatro distintas formulaciones para su tratamiento, el monitoreo y registro de parámetros durante el proceso de compostaje, el análisis cualitativo del compost final y su comparación con normativa internacional, la evaluación de la fitotoxicidad del compost en semillas de rabanito (*Crimson Giant*) mediante la adaptación de la prueba Zucconi, la propuesta de distribución de una planta de compostaje acorde al requerimiento de compost del distrito y finalmente, la evaluación de rentabilidad de la propuesta de gestión.

Los resultados obtenidos demostraron que el compost obtenido podría ser tipificado en la clase B según la norma chilena (NCh2880.Of2004). Se demostró la viabilidad económica y técnica de la producción n de compost, evitando enviar 230 Mg mensuales de residuos al relleno sanitario permitiendo ahorrar en valor presente S/. 5,106.22 Nuevos Soles al implementar la presente propuesta de gestión.

Palabras clave: propuesta de gestión de residuos, compostaje, sustentabilidad, rentabilidad.

ABSTRACT

This paper aims to develop a composting pilot scale proposal from green waste generated from the pruning activities of public green areas of Miraflores District. With this proposal, we sought to provide a sustainable solution to the current management of organic waste; thus, avoiding its disposal in the limited number of landfills within Lima City; moreover, seeking their reincorporation to the green areas of the district.

The investigation began in August 2012 at the National Agrarian University (UNALM), it was carried out at the Soil Conservation and Sustainable Agriculture Workshop (CONSAS). The physico-chemical and microbiological analysis of the final product were carried out in the laboratories of Soil, plants, water and fertilizers analysis (LASPAF) and Marino Tabusso respectively within the University. The pilot proposal included from the characterization and pretreatment of waste, the comparison of four different formulations for its treatment, the monitoring and recording of parameters during the composting process, the quality analysis of the final compost and its comparison with international standards, the phytotoxicity assessment in radish seeds (Crimson Giant) using the adaptation of Zucconi's test, the design proposal of a composting plant according to Miraflores' composting requirements and; finally, the profitability assessment for the waste management proposal.

From the results, we concluded that the compost could be typified as class B according to Chilean standard (NCh2880.Of2004). The economic and technical viability of compost production was demonstrated, avoiding monthly shipment of 230 Mg of waste to the landfill; moreover, generating savings in present value for S/. 5,106.22 Nuevos Soles at the time the proposal is implemented.

Keywords: waste management proposal, composting, sustainability, profitability.

I. INTRODUCCIÓN

La importancia de las áreas verdes para sustentabilidad ambiental en las zonas urbanas es indiscutible. Éstas pueden ser diseñadas y acondicionadas para ofrecer espacios de esparcimiento, recreación visual; y además, pueden ser utilizadas como barreras de aislamiento en las zonas de concentración de ruido. Dichas áreas verdes requieren de labores constantes de mantenimiento y embellecimiento paisajista para poder cumplir su función.

De acuerdo a la información proporcionada por la Municipalidad de Miraflores, en éste distrito se mantienen 1'123,000 m² de áreas verdes públicas localizadas en parques, óvalos, triángulos, bermas centrales y laterales, estadios, acantilados, entre otros. El mantenimiento de estas áreas genera alrededor de 230 Mg de materiales vegetales frescos por mes, los cuales son llevados a rellenos sanitarios para dar una disposición final de los residuos, significando una gran desaprovechamiento de materia orgánica que pudiera reintegrarse al suelo y a su vez, evitar la generación elevada de lixiviados y una inadecuada gestión del espacio dentro de un relleno sanitario (CEPIS, 2002).

El compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de residuos biodegradables, desde desechos de jardín o cocina, papeles hasta estiércoles animales, pudiendo aplicarse tanto a gran escala (a nivel municipal o empresarial) como individualmente (Röben, 2002). El producto final del proceso de compostaje, se puede utilizar como enmienda orgánica en el suelo, mejoradora de las propiedades físicas, químicas y biológicas. La mejora de la estructura del suelo, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico, la eliminación de patógenos, entre otros, aumentarán el crecimiento de las plantas (Chefetz *et al.*, 1996).

Considerando que, las labores de mantenimiento de las áreas verdes (corte de césped, recalce de plantas, podas, entre otras) generan grandes volúmenes de residuos orgánicos y que, el compostaje es una tecnología sencilla cuya finalidad es convertir la materia orgánica en un mejorador de suelo; el presente proyecto tiene como objetivo proponer una mejora en la gestión de los residuos a través del proceso de compostaje, un método muy antiguo y simple que genera doble beneficio. Por un lado se evita la formación de gases de efecto invernadero y de otro se obtiene el compost, material valioso en la agricultura que es usado para mejorar la estructura del suelo (Binner, 2014). De esta manera, el presente trabajo tiene un enfoque sostenible, siendo la propuesta generar un producto inocuo, con valor agregado y a su vez, reduciendo los costos por disposición final en rellenos sanitarios y evaluando su rentabilidad.

El tratamiento de los residuos orgánicos mediante la técnica de compostaje.

Los objetivos que enmarcan el presente trabajo son los siguientes:

a. Objetivo general

- Desarrollar una propuesta a escala piloto para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores, respetando y manteniendo la armonía del paisaje.

b. Objetivos específicos

- Establecer las condiciones y comparar las formulaciones adecuadas para el tratamiento de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores.
- Establecer las ventajas y los beneficios de las formulaciones propuestas para la producción de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores.
- Evaluar la rentabilidad de la propuesta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS LEGALES

Normativa Nacional

La gestión y manejo de los residuos sólidos se rige por lineamientos de política, en el marco de la Política Nacional del Ambiente y la Ley General del Ambiente, dentro de los cuales se encuentran:

- Adoptar medidas de minimización de residuos sólidos en todo el ciclo de vida de los bienes y servicios, a través de la máxima reducción de volúmenes de generación y características de peligrosidad.
- Desarrollar y usar tecnología, métodos, práctica y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado.
- Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.

Una década antes de la promulgación de la Ley General del Ambiente, ya se contaba con una Ley que Dicta disposiciones referidas a la administración de las áreas verdes de uso público N° 26664 del año 1996. En dicha ley artículo 2 señala que: “Los parques que se encuentran bajo la administración de las municipalidades provinciales y /o sus organismos descentralizados se transfieren a las municipalidades distritales”.

Sin embargo en el año 2003 se promulgo la Ordenanza Municipal 525, la cual indica en el Capítulo II Artículo 5 que “Las áreas verdes de uso público existente o que se generen en el área urbana de Lima Metropolitana, constituyen áreas de naturaleza intangible,

inalienable e imprescriptible. Su conservación, defensa y mantenimiento son acciones que por razones de equilibrio ecológico, bienestar colectivo y calidad de vida forma parte de la política municipal ambiental”.

En tal sentido, la Ley General del Ambiente N° 28611 promulgada a finales del año 2005, señala en su artículo primero que “Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país”.

En dicha ley también se señala en su artículo 23 que: “Los gobiernos locales deben evitar que actividades o usos incompatibles, por razones ambientales, se desarrollen dentro de una misma zona o en zonas colindantes dentro de sus jurisdicciones. También deben asegurar la preservación y la ampliación de las áreas verdes urbanas y periurbanas de que dispone la población”.

Asimismo, a través del Decreto Supremo 008 – 2005 – PCM se reglamentó la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental la cual tiene por finalidad orientar, integrar, coordinar, supervisar, evaluar y garantizar la aplicación de las políticas y planes para la protección del medio ambiente. En figura 1 se muestra su estructura básica:

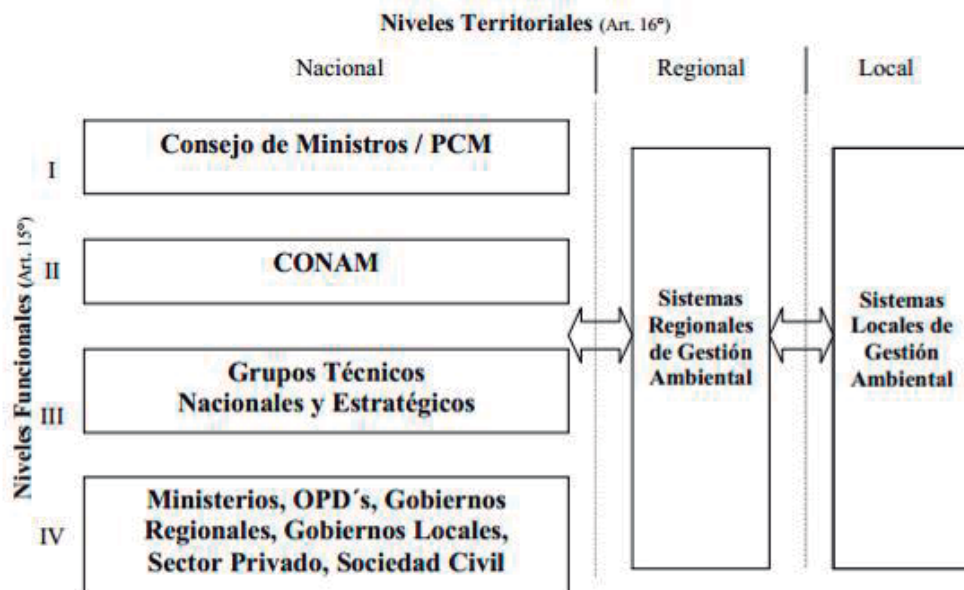


Figura 1: Flujograma de Organización del Sistema Nacional de Gestión Ambiental

Bajo la aplicación de este marco normativo es que los gobiernos locales se encuentran en la obligación de elaborar y presentar Planes Integrales de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos – PIGARS.

Normativa Internacional

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Programa 21; capítulo 20, artículo 13°, inciso f; capítulo 21, artículo 4° y; la declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo; Principios 1, 4, 8 y 9.

2.2 ASPECTOS GENERALES

2.2.1 Residuos sólidos

Se denominan residuos sólidos a aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente (Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, 2000).

2.2.2 Residuos sólidos orgánicos

Son residuos compuestos de materia orgánica que tiene un tiempo de descomposición bastante menor que los inertes (residuos prácticamente estables en el tiempo), entre ellos tenemos los restos de cocina, maleza, mantenimiento de jardines, entre otros (Tchobanoglous, 1994).

Sin embargo, los materiales de los residuos desechados, por sus propiedades intrínsecas, a menudo son reutilizables y se pueden considerar como un recurso en otro marco. Los desechos sólidos están compuestos por desperdicios orgánicos vegetales y animales de fácil descomposición y desperdicios inorgánicos o de difícil descomposición, pero que pueden ser reutilizados (Prieto, 2003).

2.2.3 Clasificación de los residuos sólidos orgánicos

Los orígenes de los residuos sólidos están relacionados con el uso del suelo (residencial, comercial, industrial, entre otros) y varían según la localización donde se generen; también dependen del nivel tecnológico y cultural de las sociedades.

En nuestro territorio, la clasificación que se realiza a los residuos sólidos se encuentra tipificado en el artículo 15° de la Ley General de Residuos sólidos (Ley N° 27314 – Perú) y está basada en su origen:

- Residuo domiciliario
- Residuo comercial
- Residuo de limpieza de espacios públicos
- Residuo de establecimiento de atención de salud
- Residuo industrial
- Residuo de las actividades de construcción
- Residuo agropecuario
- Residuo de instalación o actividades especiales

2.2.4 Manejo de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes

Los residuos del mantenimiento de áreas verdes públicas están formados por residuos vegetales provenientes de corte de césped, poda de árboles, zonas verdes, jardines, bermas centrales, bermas laterales y parques, estos residuos son recolectados por lo general por el servicio municipal (Lund, 1996), en una frecuencia diaria o según sea el programa de mantenimiento y servicios que se realizan a las áreas verdes públicas.

La densidad de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas es un factor importante en el desarrollo del plan de gestión de las gerencias de servicios públicos de cada gobierno local. Las medidas para determinar el recojo de residuos y los camiones a utilizar se determinan en base al peso y el espacio que utilizan (Cuadro 1).

Cuadro 1: Densidad por tipo de residuo

Material	Condición	Densidad (kg / m³)
Hojas	Sueltas y secas	60 – 155
Hojas	Trituradas	148 – 207
Hojas	Compactadas y húmedas	237 – 300
Hierba Verde	Sueltas	178 – 237
Hierba Verde	Compactadas	300 – 480
Residuos de maleza	Como se recolectan	200 – 550
Residuos de maleza	Trituradas	270 – 355
Matorral y hojas	Sueltas y secas	60 – 178

FUENTE: Lund Herbert, 1996.

2.3 ABONOS ORGÁNICOS

En los últimos años, la utilización y desarrollo de abonos orgánicos ha ido en aumento, debido a los nuevos conceptos sobre conservación ecológica y contaminación, ya que el uso indiscriminado de los fertilizantes químicos se ha convertido en un problema, principalmente por la contaminación de aguas y suelos (Romero et al., 2004).

Los abonos orgánicos están constituidos por desechos de origen animal, vegetal o mixto, se agregan al suelo con la finalidad de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (Romero et al., 2004). También pueden ser residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos verdes (leguminosas fijadoras de nitrógeno); restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércol); restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos (basura de viviendas, excretas); compost preparado con las mezclas de los compuestos mencionados (Bruzon, 1996 citado por Iparraguirre, 2007).

Iparraguirre (2007) menciona que los abonos orgánicos se pueden clasificar según su fuente principal de nutrientes, los mismos que son liberados gracias a la actividad microbiana. Se subdividen a su vez en abonos orgánicos procesados (materia prima estabilizada) y no procesados (aplicación directa sin previa descomposición).

Los abonos orgánicos más comunes son el bokashi, el compost, las tierras fermentadas, el vermicompost, y los extractos vegetales; los cuales requieren un proceso de elaboración. Otros como los abonos verdes y rastrojos, simplemente se incorporan al suelo. Adicionalmente, a su uso como fertilizante, los abonos orgánicos pueden ser utilizados para otros fines, como es el caso de la tierra fermentada, cuyo uso principal es como sustrato para semilleros y almacigales (López, 1994, Soto et al., 2002, citados por Durán y Henríquez, 2007). En el siguiente cuadro se muestra los tipos de abonos orgánicos según la fuente de nutrientes y el grado de procesamiento.

Cuadro 2: Tipos de Abonos Orgánicos

Fuente de Nutrientes	Grado de procesamiento	Sólidos	Líquidos
Materia Orgánica	Sin procesar	Desechos vegetales Desechos animales: gallinaza, estiércol fresco de vacuno, cerdo y cuy	Efluentes: pulpa de café
	Procesados	Compost Lombricompost Bokashi Ácidos húmicos	Biofermentos Té de compost Ácidos húmicos Té de estiércol Extracto de algas
Microorganismos		Biofertilizantes inoculante en turba de <i>Rhizobium</i> para leguminosas, micorrizas, <i>Bacillus subtilis</i>	Biofertilizantes líquidos EM* o microorganismos benéficos, etc.

*EM: Microorganismos eficientes.

FUENTE: Soto, 2003 citado por Iparraquirre, 2007

Los abonos orgánicos tienen un gran efecto benéfico en los suelos, debido a que su materia orgánica activa los procesos microbianos, mejora la estructura del suelo, la aireación y la capacidad de retención de humedad, también actúa como regulador de la temperatura edáfica, retarda la fijación del ciclo fosfórico mineral y suministra productos de descomposición orgánica que incrementan el crecimiento de las plantas. Además, los abonos orgánicos aportan microorganismos que contribuyen a aumentar la fertilidad del suelo (Prieto, 2003). Los abonos orgánicos, además de aportar al suelo materiales nutritivos, favorecen la formación de humus, lo que incrementa el intercambio catiónico (Romero et al., 2004). Otras de las ventajas de los abonos orgánicos, conocidos como bioabonos, sólidos o líquidos, es que éstos no poseen mal olor, no atraen moscas y pueden aplicarse directamente al campo en forma líquida (McCaskey, 1990 citado por Soria et al., 2001).

Según la Red de Acción en Agricultura Alternativa (RAAA, 2002) citado por Peralta (2010), los abonos orgánicos líquidos funcionan como reguladores del crecimiento de las plantas porque son ricos en nitrógeno amoniacal, en hormonas, vitaminas y aminoácidos: estas sustancias permiten regular el metabolismo vegetal, y pueden ser un buen complemento en la fertilización integral aplicada al suelo.

Paneque y Calaña (2004) y Myrold (1999), citados por Coronado (2010), señalan que existen distintos indicadores de calidad de los abonos orgánicos, tales como: contenido de humedad entre 50 a 80%; materia orgánica, 50% o más en base seca; nutrientes, N, P, K, Ca, y Mg en cantidad suficiente para el desarrollo de cualquier cultivo y; relación C:N, 20:1 en bioles, 10:1 – 25:1 en compost, 10:1 en vermicompost (The U.S. Composting Council 1998, Ulle et al., 2004, citados por Durán y Henríquez, 2007).

2.3.1 Compost

El compostaje es la degradación de residuos orgánicos por la acción de los microorganismos, alterando la estructura molecular de los compuestos orgánicos. Según el tiempo de descomposición, se da el grado de madurez al realizar biotransformación o degradación parcial (descomposición de un compuesto orgánico en otro similar) y mineralización o degradación completa, considerada ésta como la descomposición total de las moléculas orgánicas en dióxido de carbono, residuos inorgánicos inertes o minerales que se incorporan a la estructura del suelo, de los microorganismos y de las plantas (Puerta, 2004).

El compost también se puede definir como:

- Conversión biológica bajo condiciones controladas, de material de desecho en un producto higiénico, rico en humus y relativamente estable que acondiciona el suelo y nutre las plantas (Mathur, 1991).
- Proceso biooxidativo controlado que involucra un sustrato orgánico heterogéneo evoluciona pasando a través de una fase termofílica y una liberación temporal de fitotoxinas; y permite la producción de dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada (Zucconi, 1987 citado por Mathur, 1991).
- Descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos en condiciones controladas (INTEC, 1997).

- Fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos en condiciones específicas de aireación, humedad, temperatura y nutrientes, y con la intervención de bacterias, hongos y numerosos insectos (Labrador, 1996)

Durante este proceso, la materia orgánica heterogénea es transformada en un producto homogéneo conocido como “compost”, cuya calidad es variable y dependerá principalmente del tipo de materia orgánica utilizada, técnica de compostaje y tiempo de duración del proceso (Avendaño, 2003).

Según Moreno, 2008, el compostaje constituye un ecosistema en el que diversas poblaciones microbianas constituidas por bacterias, hongos y actinomicetos, degradan secuencialmente la materia orgánica en presencia de oxígeno generando un producto estable humificado junto con gases, agua y calor como residuos del metabolismo microbiano. El tipo predominante de microorganismos depende de las condiciones nutricionales y ambientales, en cuyas variaciones intervienen sus propias actividades. El compostaje es una compleja interacción entre los restos orgánicos, los microorganismos. La aireación y la producción de calor.

2.3.2 Tipos de compost

Una clasificación comúnmente aceptada para diferenciar a los tipos de compost es aquella que se realiza atendiendo al origen de sus materias primas. Sin embargo, dado los avances en la investigación sobre el compost logrados hasta el momento, debemos de considerar que esta clasificación puede variar, atendiendo a otros criterios de valoración, tales como: la calidad del producto, el nivel de tecnología empleada en el proceso de producción, entre otros.

En la siguiente lista se presentan los tipos de compost, clasificados según el origen de sus materias primas (Alarcón, 2004):

- Compost de maleza.
- Compost de maleza y broza.

- Compost de material vegetal con estiércol.
- Compost tipo Quick – Return. Elaborado por restos vegetales, a los que se les ha añadido rocas en polvo, algas calcáreas, activador Quick – Return, paja y tierra.
- Compost de fracción orgánica de los residuos municipales
- Compost de la fracción orgánica de los residuos municipales con restos vegetales
- Compost de la fracción procedente del tratamiento anaeróbico de RM
- Compost de lodos de depuradora de restos vegetales, de poda, serrines, cenizas o corteza
- Compost de fracción orgánica de los residuos procedentes de la industria de producción de alimentos
- Compost activado con levadura de cerveza

Sea cual fuere el origen de los materiales a compostar y el destino del producto final, los requerimientos generales deben encaminarse a conseguir: aspecto y olor aceptables, correcta higienización, bajos niveles de impurezas y contaminantes, niveles óptimos de componentes útiles para el suelo y una cierta regularidad en las características (Alarcón, 2004).

2.3.3 Fases de elaboración de compost

Jaramillo (2005) enuncia cuatro (4) fases descritas durante el proceso del compostaje, las cuales se describen a continuación (Figura 2):

- Mesófila: es la primera fase y se caracteriza por la presencia de bacterias y hongos, siendo las primeras quienes inician al proceso por su gran tamaño; ellas se multiplican y consumen los carbohidratos más fácilmente degradables, produciendo un aumento en la temperatura desde la del ambiente a más o menos 40 grados Celsius.
- Termófila: en ésta fase la temperatura sube de 40 a 60 grados centígrados, desaparecen los organismos mesófilos, mueren las malas hierbas, e inician la degradación los organismos termófilos. En los seis (6) primeros días la temperatura

debe llegar y mantenerse a más de 40 grados Celsius a efecto de reducción o supresión de patógenos al hombre y a las plantas de cultivo. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos importantes para el proceso mueren y otros no crecen por estar esporulados. En ésta etapa se degradan ceras, proteínas y hemicelulosas y, escasamente la lignina y la celulosa; también se desarrollan en éstas condiciones numerosas bacterias formadoras de esporas y actinomicetos.

- Enfriamiento: la temperatura disminuye desde la más alta alcanzada durante el proceso hasta llegar a la del ambiente, se va consumiendo el material fácilmente degradable, desaparecen los hongos termófilos y el proceso continúa gracias a los organismos esporulados y actinomicetos. Cuando se inicia la etapa de enfriamiento, los hongos termófilos que resistieron en las zonas menos calientes del proceso realizan la degradación de la celulosa.
- Maduración: la maduración puede considerarse como complemento final de las fases que ocurren durante el proceso de fermentación disminuyendo la actividad metabólica. El producto permanece más o menos 20 días en ésta fase.

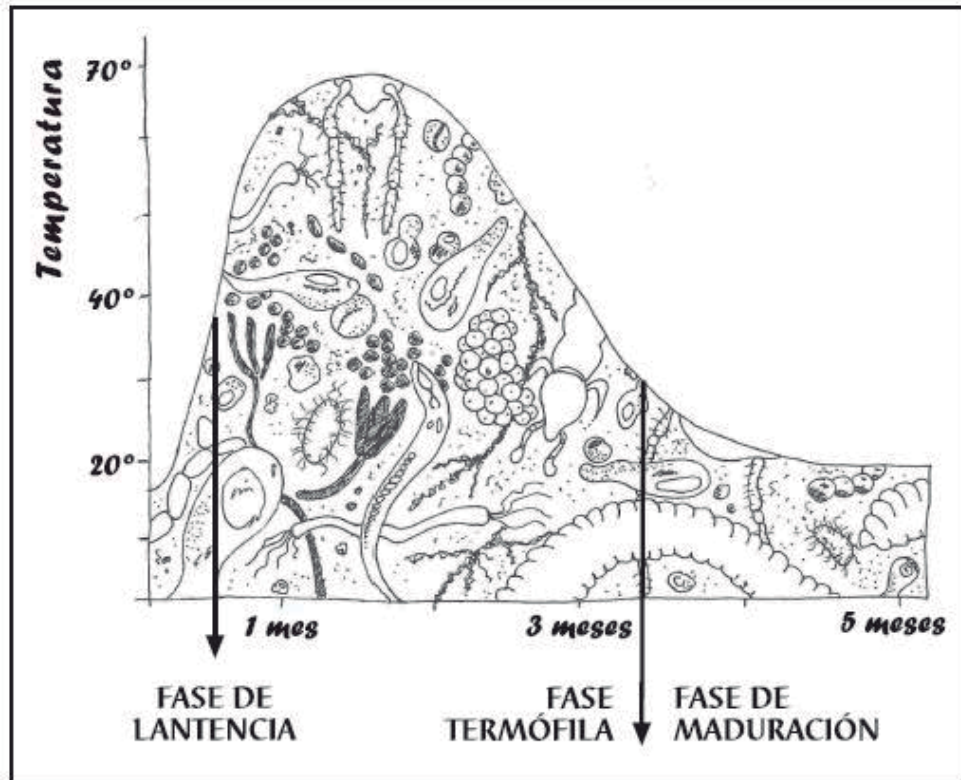


Figura 2: Fases de elaboración del compost

FUENTE: GRAMA, 2005. Manual del buen compostador.

2.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

2.4.1 Factores que afectan el proceso del compostaje

a. Microorganismos y ecología microbiana del compostaje

El conjunto de microorganismos que se desarrolla durante el compostaje puede afectar el proceso tanto positiva como negativamente. En el grupo de los microorganismos beneficiosos se encuentran los que biotransforman la materia orgánica en presencia de oxígeno, que conducen la obtención de compost de calidad; los microorganismos degradadores de compuestos contaminantes, que permiten aplicar el compostaje en biodescontaminación; y los microorganismos que ejercen actividad antagónica frente a patógenos, que contribuyen a la actividad

higienizante del compostaje. Entre los microorganismos indeseables o que puedan afectar negativamente al proceso o a la calidad del producto se encuentran los implicados en la generación de olores y patógenos (Moreno, 2008).

Rico (2013) menciona que dentro de los microorganismos que se pueden encontrar dentro del proceso de compostaje se tienen:

- i. Bacterias.- Representan el 80 a 90 % del billón de microorganismos típicamente presentes en el compost. Son responsables de la mayor parte de la descomposición y de la generación de calor. Son de categorías nutricionales diversas y usan un amplio rango de enzimas para romper químicamente una gran variedad de material orgánico. Las bacterias que se pueden encontrar son:
 - Pseudomonas.
 - Celullomonas
 - Bacillus
 - Actinomycetes.
 - Bacterias del género Thermus.

- ii. Hongos.- Incluyen a los hongos filamentosos y las levaduras. Típicamente saprofiticos (obtienen la energía de la materia orgánica de las plantas y animales muertos) y aeróbicos, encuentran un hábitat ideal en el compost. Crecen como filamentos casi invisibles o como colonias blancas o grises vellosas en la superficie de la pila. Son responsables de la descomposición de polímeros complejos (celulosa, hemicelulosas, pectinas, lignina). En el compost son importantes porque rompen los restos vegetales y animales permitiendo que las bacterias continúen con la descomposición una vez que la celulosa se ha agotado. Pueden atacar material demasiado seco, ácido o con bajo contenido de nitrógeno de difícil descomposición por las bacterias.

- iii. Protozoos y Rotíferos.- Estos animales microscópicos unicelulares (protozoos) o multicelulares (rotíferos) se encuentran en la película de agua en el compost. Se alimentan de materia orgánica, bacterias y hongos. Su participación en la descomposición del material es menor.

Los microorganismos sobreviven en un determinado hábitat porque son capaces de colonizarlo y utilizar los recursos contenidos en el mismo. El compostaje es un proceso basado en el control de factores bióticos (nutricionales y ambientales y abióticos (competición, capacidad de supervivencia), relacionados entre sí, condicionan la sucesión de ambientes diferentes necesarios para la consecución del compostaje (Moreno, 2008).

b. Otros factores que afectan el compostaje

Los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje son muchos y muy complejos (Cuadro 3), estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada (Pajuelo, 2006).

Cuadro 3: Factores que afectan al compostaje

Factores que afectan al compostaje	
Abióticos	Bióticos
Oxígeno Tamaño de partícula Composición del sustrato y balance de nutrientes Relación C/N equilibrada Humedad Temperatura Ph	Microorganismos como bacterias capaces de metabolizar compuestos orgánicos complejos menos biodegradables tales como los hongos y actinomicetos que son característicos de la fase de maduración.

Este proceso complejo y dinámico, se puede dividir en cuatro fases de acuerdo a los cambios de temperatura: fase mesófila (10-40°C), fase termófila (40-60°C), fase de enfriamiento y finalmente fase de maduración (estabilización a temperatura de ambiente).

Existen productos que surgen a partir de la elaboración del compost como la obtención de extractos acuosos. También denominados téis de compost, o el aislamiento de microorganismos tales como antagonistas microbianas lignocelulolíticas que tienen un amplio rango de aplicaciones (Moreno, 2008).

2.4.2 Sistemas de compostaje

Entre los diferentes sistemas tenemos:

a. Sistema de pilas o camellones:

Se denominan pilas de compostaje, cuando presentan una morfología y dimensiones determinadas. De acuerdo al método de aireación utilizado, este sistema se subdivide además en: móviles, cuando hay reconfiguración de las pilas y, estático con aireación forzada.

b. Sistema en Reactores:

Los residuos orgánicos son procesados en instalaciones que pueden ser estáticas o dinámicas, que se conocen como Reactores. Básicamente los reactores, son estructuras por lo general metálicas: cilíndricas o rectangulares, donde se mantienen controlados determinados parámetros (humedad, aireación), procurando que los mismos permanezcan en forma relativamente constante.

c. Sistema de pozas:

Según Chilón (2010), los materiales y métodos para la elaboración del compost varían de acuerdo a las características del ambiente o ecosistema donde se va a fabricar, lo que define la modalidad de elaboración del compost. No existen restricciones sobre la modalidad de compostaje, pero en el caso de zonas semi-áridas se considera la modalidad de compostaje a bajo relieve o en pozas para disminuir la pérdidas de humedad por evapotranspiración y facilitando los volteos. En el “Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual” (Altamirano, Cabrera; 2006) se aplica éste método de compostaje en pozas cuyas dimensiones eran de 2,60 m de largo por 1,30 de ancho y 0,80 de profundidad y las herramientas que se utilizaron fueron picos y lampas.

En la República Dominicana, el uso de compost como material de enmienda es una práctica muy común entre los agricultores que cultivan productos orgánicos, la mayoría de ellos utilizan el método de descomposición en fosas (Corona, 2007).

2.4.3 Transformación en compost

El compostaje en pilas es el sistema más antiguo y más sencillo. La operación de este sistema es muy fácil. Después de haber separado todo material no biodegradables) de lo biodegradable, el material se coloca en pilas triangulares.

El tamaño de las pilas es muy importante para el proceso de compostaje. No debe superar in cierto máximo, y tampoco debe quedarse bajo un volumen mínimo. Para asegurar la proliferación de los microorganismos que realizan el compostaje, se necesita una "masa crítica" mínima de 50 - 100 kg de residuos biodegradable. Con esa masa, ya se puede prender y mantener durante un tiempo suficiente la reacción exoterma del proceso aeróbico que asegura las temperaturas necesarias para la higienización del material (Röben, 2002).

Para conseguir un buen compost se recomienda utilizar insumos diversificados, tanto de origen vegetal (restos de cocina, rastrojos), animal (estiércol), ya que los de origen vegetal

tienen más carbono y el estiércol contiene más nitrógeno (Altamirano y Cabrera, 2006).

Asimismo, las investigaciones de Sanclemente et al. (2011) determinaron que la melaza es un acelerador de la descomposición de la materia orgánica, pues muestra una marcada influencia en la tasa descomposición inicial de los residuos vegetales.

2.5 BENEFICIOS DEL COMPOST

La adición de compost en los suelos se convierte en una técnica de manejo sostenible para la mejora de las características hidrofísicas de los mismos bajo las condiciones meteorológicas locales (Cuadro 4). Entre los principales beneficios físicos que se encuentran esta:

- Efecto sobre la compactación del suelo. La adición de compost en la superficie o en el interior del perfil del suelo es una de las técnicas del manejo más ensayadas para la lucha contra la compactación de los suelos y contra la aceleración del proceso de erosión hídrica (Moreno, 2008). Según Ingelmo e Ibáñez (1998) y García (2000) demuestran que la enmienda del suelo mediante el acolchado orgánico de compost regula la energía de impacto de las gotas de lluvia facilitando su infiltración en el suelo, con lo cual disminuye la pérdida del suelo por erosión hídrica y aumenta las posibilidades de revegetación natural de la superficie del suelo.
- Efecto sobre la estabilidad de los agregados del suelo. La estabilidad de los agregados depende del método de incorporación y de la dinámica de su descomposición, ya que condicionan su localización en el perfil del suelo y la mayor o menor asociación con las partículas minerales, y por lo tanto, la mayor o menor estabilidad de los productos orgánicos transformados y su papel sobre la estabilidad de la porosidad del suelo (Kay y Angers, 2002). Según señalan los cambios en la estabilidad de los agregados del suelo debido a la adición de compost se generan a raíz de cambios en los contenidos de materia orgánica articulada, en los polisacáridos y lípidos, que son materiales lábiles y de actividad transitoria en el suelo.

- Efectos sobre la retención y el almacenamiento de agua del suelo. La adición al suelo de compost provoca aumento en la capacidad de retención del agua y en la capacidad de almacenamiento a nivel de saturación. Estas afirmaciones derivan directamente de que el compost al mezclarse con el suelo, en condiciones de campo o ensayo de laboratorio, conforman una estructura con un reparto equilibrado de sus poros entre macro y micro poros (Kay y Angers, 2002) y a como dichos cambios estructurales se mantienen estables frente a los procesos degradativos del manejo del suelo (Ingelmo et al., 2007).
- Gestión de residuos vegetales de manera ambientalmente correcta. Al utilizar residuos vegetales y crear un ciclo en el que estos mismo vuelvan a ser parte de las labores de mantenimiento se viene creando un sistema de reciclaje, con una útil revalorización de residuos, se optimizan los recursos existentes y aprovechándolos de manera adecuada, se estará reduciendo los volúmenes de residuos que son dispuestos en botaderos o rellenos sanitarios además de que se generará un ahorro por la cantidad de mejoradores del suelo que se compran para el mantenimiento de áreas verdes (Avendaño, 2003).

Cuadro 4: Cuadro resumen de las principales ventajas del compost.

Propiedades	Acción
Físicas	Mejora la estructura y estabilidad del suelo, incrementa la porosidad, la permeabilidad del aire y retención del agua.
Químicas	Incremento de la capacidad tampón, aumento del intercambio catiónico y del contenido de materia orgánica, incremento de los niveles de macro y micronutrientes esenciales.
Biológicas	Favorece la coexistencia de diferentes especies de microorganismos, incrementa la microflora y la mesofauna como protozoos, rotíferos, nemátodos y artrópodos, estimula la actividad microbiana y reduce la producción de patógenos.

FUENTE: Puerta, J. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos.

III. METODOLOGÍA

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La prueba piloto para la presente propuesta fue realizada en el Taller de Conservación de Suelos y Agricultura Sostenible (CONSAS) que pertenece a la Facultad de Agronomía, Departamento Académico de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en el distrito de La Molina, Departamento de Lima, Latitud $12^{\circ} 05' 06''$, Longitud $76^{\circ} 75' 00''$ y altitud de 238 msnm (Figura 3).

Los análisis microbiológicos se solicitaron al Laboratorio Marino Tabusso de la Facultad de Ciencias, Departamento de Ecología Microbiológica y Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Los análisis físicos, químicos y biológicos se solicitaron al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) y las pruebas biológicas las realizamos en el Laboratorio de Manejo de Suelos, ambos pertenecen al Departamento Académico de Suelos, Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina.



Figura 3: Mapa de localización del CONSAS

FUENTE: Imagen Satelital obtenida de Google Earth, 2013

3.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Durante los meses que se llevó a cabo el proyecto, en la Universidad Nacional Agraria La Molina se registró temperaturas promedios de 17.33 °C, según información recogida del observatorio meteorológico Alexander Von Humboldt. Asimismo, la precipitación promedio mensual fue de 1.13 mm, con 84 % de humedad relativa. Esta zona es considerada como un desierto Árido sub Tropical de acuerdo al sistema Modificado de Köppen.

3.3 MATERIALES

3.3.1 Residuos vegetales

Los residuos vegetales de origen urbano se producen en el mantenimiento de los parques y jardines públicos. Constituyen una parte de los residuos de tipo orgánico que se producen en las ciudades. Pueden ser utilizados en la producción de un abono orgánico llamado compost, usado como sustrato y mejorador de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Los residuos vegetales que se utilizaron como materia prima para la elaboración de las pilas de compost en la prueba piloto, se obtuvieron de los restos vegetales provenientes del mantenimiento (corte de césped, cambio de flores de estación, barrido de hojas secas y podas de limpiezas y formación de especies forestales) de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores (Anexo 1). Del total de residuos vegetales, encontramos que la mayor parte la constituyen césped y material leñoso delgado, seguida por material leñoso medio (Figura 4); materiales compuestos por estructuras químicas complejas (hemicelulosa, celulosa, lignina).

El recojo de los residuos orgánicos provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores se realiza diariamente en dos turnos de trabajo y mediante dos vehículos de recolección. El primer vehículo, llamado volante, es un camión recolector que se desplaza por una determinada ruta del sector cuyo mantenimiento ha sido

programado y recoge las bolsas de residuos generadas por el personal de mantenimiento. El recojo promedio diario de este camión está entre tres y cuatro toneladas, siendo su carga útil 6,52 toneladas. El segundo camión, es un camión baranda con un brazo hidráulico y cuya función específica es recoger las bolsas de cuatro puntos de acopio asignados por la Municipalidad en el distrito. El recojo diario de este camión está entre seis y siete toneladas, siendo su carga útil 6,5 toneladas y excediendo su capacidad.

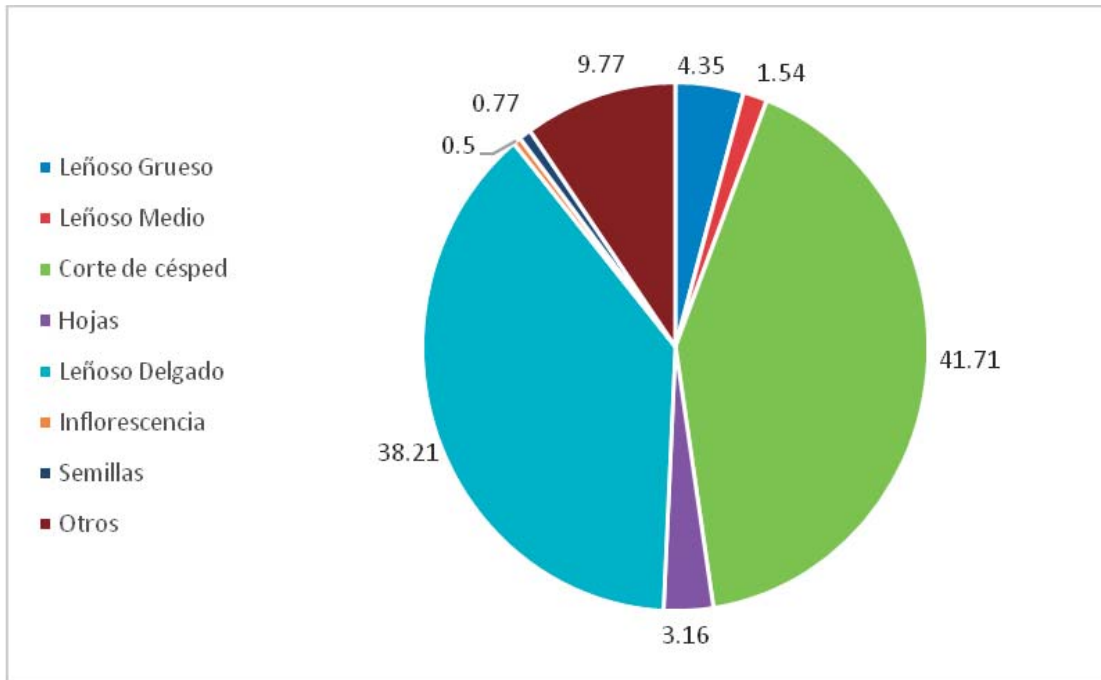


Figura 4: Restos vegetales que componen los residuos del mantenimiento de parques y jardines de las áreas verdes públicas del Distrito de Miraflores (%p/p)

3.3.2 Melaza de caña

Preston (1989) citado por Guccione (2009) menciona que la melaza es un subproducto del procesamiento de la caña de azúcar y la remolacha, sin embargo es también producida por las abejas y obtenida de algunos árboles.

Fajardo y Sarmiento (2007) citados por Peralta (2010), mencionan que la melaza, mieles finales o melaza “blackstrap” suelen ser definidas como los residuos de cristalización final del azúcar de los cuales no se puede obtener más azúcar por medios físicos.

De acuerdo a Fajardo y Sarmiento (2007), la melaza contiene un elevado porcentaje de azúcares, principalmente sacarosa 60 – 63% (Cuadro 5).

Debido a su gran contenido de azúcares, la melaza de caña se usó como fuente de carbono, buscando activar la dinámica microbiana del compost maduro (inóculo del ensayo experimental propuesto) en la fase inicial del proceso de compostaje.

Los componentes minerales de la melaza (calcio, magnesio, fósforo y potasio) constituyen menos del 1 % de su estructura, por lo que su aporte podría considerarse no significativo en la composición del compost final.

Cuadro 5: Composición de la melaza

Constituyentes	Contenido (p/p)
Sacarosa	60-63 %
Azúcares reductores	3-5 %
Sustancias disueltas (diferentes azúcares)	4-8 %
Calcio	0,74 %
Magnesio	0,35 %
Fósforo	0,08 %
Potasio	3,67 %

FUENTE: Tellez, 2004; Yopez, 1995, citados por Fajardo y Sarmiento, 2007.

Se adquirió 50 kg. de melaza en el “El comedero”, establecimiento comercial de alimento balanceado ubicado en Lurín. Su aplicación a la prueba piloto se realizó en una dilución de 1 % para cada tratamiento que llevó melaza como activador.

3.3.3 Compost

Este abono orgánico usado como inóculo en los tratamientos de la prueba piloto se produce en el Taller CONSAS de la Universidad Nacional Agraria La Molina fue utilizado como inóculo y sus características se aprecian en el cuadro 6. Es un producto comercial, cuyo grado de madurez contribuye a la minimización de gases contaminantes como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y amoníaco (NH₄).

Según la referencia del “Test Methods for the Examination of Composting and Compost” (TMECC) se realizaron pruebas físicas, químicas y biológicas a fin de determinar los valores de humedad, materia orgánica, relación C/N, entre otros, del inóculo utilizado (Cuadro 6). En los resultados se puede apreciar altos valores de materia orgánica y conductividad eléctrica (C.E.), lo que constituye un aporte en carbono total y nutrientes respectivamente para los tratamientos.

El análisis de materia orgánica completa reporta que el compost utilizado como inóculo en el proceso de compostaje presenta altos valores de conductividad eléctrica en extracto de saturación y de contenido de humedad, los cuales están fuera de los rangos permisibles en la norma chilena (NCh2880.Of2004); pero, la conductividad eléctrica no fue determinada bajo la metodología de relación 1:5, por lo que no puede ser calificado bajo esta norma. Asimismo, posee un alto contenido de materia orgánica y un buen aporte de macronutrientes primarios; sin embargo, su alto contenido de calcio, podría disminuir la disponibilidad de algunos nutrientes (Havlin, et al., 2005; Marschner, 1995) si se incorpora grandes cantidades.

Cuadro 6: Informe de análisis de materia orgánica completa y extractos húmicos del compost de inóculo

Variable	Valor
pH	6.92
C.E es (dS/m)	8.90
M.O (%)	31.55
N (%)	1.57
P ₂ O ₅ (%)	1.20
K ₂ O (%)	1.10
CaO (%)	7.18
MgO (%)	1.51
Hd (%)	46.76
Na (%)	0.39
Ácidos húmicos (%)	5.96
Ácidos fúlvicos (%)	2.63
Huminas (%)	14.68

FUENTE: LASPAF

Con un adecuado manejo de la aireación (volteos) se aseguró la baja generación de malos olores y exceso de humedad. El exceso de humedad y la escases de oxígeno favorece las condiciones de proliferación de bacterias anaeróbicas, causantes de los malos olores (Navarro, 2002) e interrumpiendo el proceso de descomposición (Chilón, 2010).

La Municipalidad de Miraflores mediante Ordenanza N° 243, señala que el distrito se ha convertido en un ecosistema urbano sostenible e indica la creación de un “Frente Marrón” cuyo objetivo es el fomento y control de la calidad ambiental, mediante el control de emisiones de gases y partículas contaminantes en su jurisdicción. En este sentido, el manejo adecuado de la aireación va acorde a los lineamientos de la Municipalidad del Distrito.

3.3.4 Equipos

- Potenciómetro
- Conductivímetro
- Estufa eléctrica
- Balanza electrónica
- Balanza de plataforma

3.3.5 Materiales de escritorio

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil
- Cuaderno de campo
- Memoria USB
- Papel Bond
- Plumón de tinta Indeleble

3.3.6 Materiales diversos

- Termómetro
- Guantes de vinilo
- Carretilla
- Pala
- Lampa
- Machete
- Sacos
- Caja de 1 m³
- Tamiz de 3/8"
- Placas petri
- Semillas
- Papel toalla
- Análisis microbiológicos – Método: International Commission on Microbiological Specification for foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Pat II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.
- Análisis de materia orgánica completa y metales pesados.

3.4 FORMULACIÓN DEL TRATAMIENTO

Dado los objetivos de la presente propuesta, se planteó realizar solamente una prueba piloto comparativa para la elaboración de compost a partir residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores bajo dos formulaciones volumétricas, formulaciones que tuvieron como referencia la experiencia recomendada por Guerrero (1993) (Figura 5) (Anexo 2).

- a. 2:1 % v/v en pila, por cada dos volúmenes de residuos vegetales utilizar un volumen de compost. Bajo esta formulación se prepararon los tratamientos 1 y 2.
- b. 3:1 % v/v en pila, por cada tres volúmenes de residuos vegetales utilizar un volumen de compost. Bajo esta formulación se prepararon los tratamientos 3 y 4.

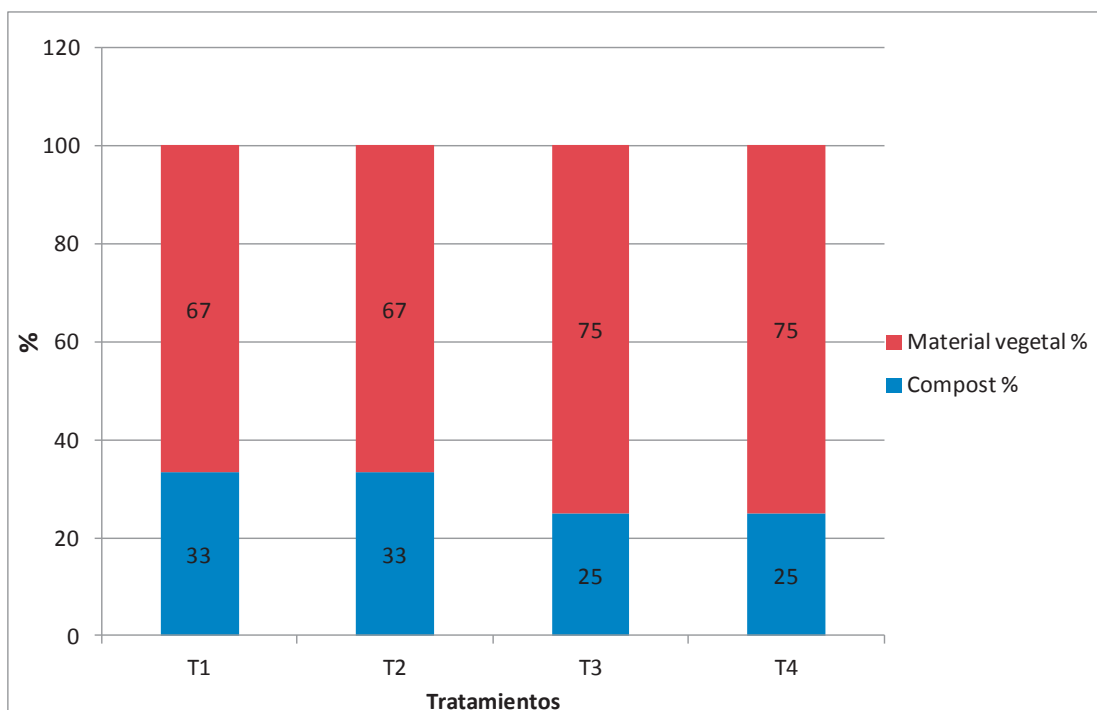


Figura 5: Distribución porcentual (% v/v) del volumen de las materias primas utilizadas en las formulaciones de los tratamientos

Del mismo modo, se utilizó melaza en los tratamientos 1 y 3, para comprobar si promovía una mayor actividad microbiana en los tratamientos.

3.5 PROCEDIMIENTO

3.5.1 Pretratamiento

Un histórico de los 3 últimos años de los materiales vegetales provenientes del mantenimiento de áreas verdes públicas en el distrito de Miraflores, permiten saber la cantidad de muestra con la que se podría trabajar el compost (Cuadro 7). Estas cantidades fueron utilizadas para calcular el potencial material a compostar y el requerimiento de compost de las áreas verdes.

Cuadro 7: Restos vegetales recolectados provenientes del mantenimiento del mantenimiento de las A.V.P. del distrito de Miraflores

	2012	2013	2014
Recojo de Maleza de mantenimiento Áreas Verdes Publicas y Puntos de Acopios de Maleza (Mg.año ⁻¹)	2,931	2,837	3,196

FUENTE: Municipalidad de Miraflores

Con ayuda de un machete se realizó el picado reduciendo el tamaño de los residuos vegetales a partículas de tamaño promedio 3.5 cm. Se obtuvo partículas más pequeñas y de mayor superficie de ataque. El material leñoso se humedeció con dos semanas de anticipación y sometió al mismo procedimiento.

Dalzell (1991) citado por Del Pozo (2008) menciona que este aspecto se encuentra directamente relacionado con el tamaño de las partículas, un buen manejo del picado sería lograr un tamaño de partícula uniforme y mediano (1 a 5 cm.), ya que aumentaríamos la tasa de descomposición aeróbica debido a una mayor superficie disponible por los microorganismos.

Ocampo (2002) citado por Del Pozo (2008) señala que al realizar un manejo inadecuado del picado; es decir, tamaños de partículas pequeños y no uniformes, estaríamos reduciendo la porosidad, causando una resistencia a la fluidez del aire y por ende una aireación pobre.

3.5.2 Selección del sistema de compostaje

Con la finalidad de respetar y mantener la armonía del paisaje del distrito de Miraflores que promueve la Ordenanza N° 154, así como disminuir el impacto visual en el área potencial para el compostaje, se propuso que el armado de pilas se realice debajo del nivel del suelo, a un metro de profundidad aproximadamente.

La mayor parte del proceso de compostaje estuvo dada por procesos aeróbicos, reduciendo de esta manera la generación de gases (dióxido de carbono, metano, sulfuro de hidrógeno,

entre otros) y manteniendo la calidad del aire de la zona. Al formarse el compost aeróbicamente no se generó metano con lo que contribuimos a evitar la generación de gases de efecto invernadero que contribuyen a aumentar la temperatura de la tierra. (Altamirano y Cabrera, 2006).

Adicionalmente, se realizó la elección del sistema de compostaje en base a las tecnologías indicadas en la tabla 01.03-A1 Composting Technology Groups del TMECC. En el CONSAS, las pilas de compost de los diferentes tratamientos de la prueba piloto tuvieron dimensiones de 1 m de profundidad x 1.7 m longitud x 0.6 m ancho; es decir, un volumen de 1 m³. Como una de las ventajas de nuestra propuesta, el impacto visual fue reducido aprovechando un ambiente de 1 m de profundidad.

El diseño fue similar al que se muestra en la figura 6.

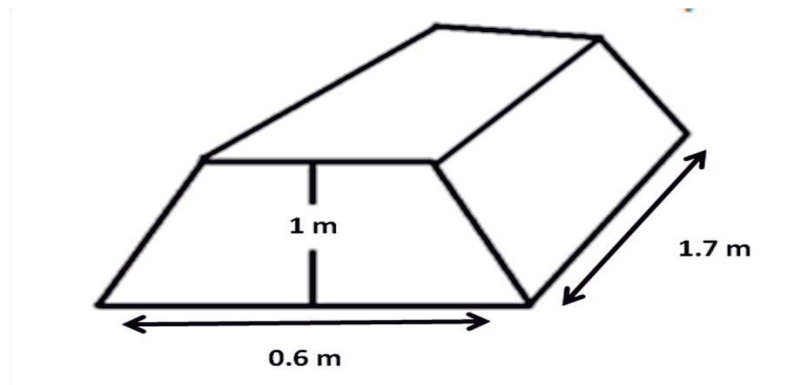


Figura 6: Pila de compostaje

Entre las ventajas económicas del compostaje para los municipios, Röben (2002) menciona que esta práctica extiende la vida útil de los relleno sanitarios municipales (no es necesario la inversión en un terreno para un nuevo relleno prematuramente), se puede generar la venta o uso del compost reemplazando fertilizantes artificiales por un producto más económico y natural. También menciona ventajas ecológicas como una menor producción de gases y lixiviados, menor extensión de terreno ocupada, menor impacto al paisaje, al suelo y a las aguas subterráneas (porque se disminuye el volumen de residuos que van al relleno sanitario).

La presente propuesta buscó ofrecer dichas ventajas antes mencionadas a través de la técnica de compostaje en pilas, con la diferencia de haber sido realizada bajo el nivel del suelo.

3.5.3 Armado de pila dentro de la poza

Habiendo realizado el pre-tratamiento, se realizó el armado de las pilas de compost con los restos vegetales provenientes del mantenimiento de áreas verdes públicas del distrito de Miraflores. Tal como se aprecia en la secuencia fotográfica (figura 7), el procedimiento fue el siguiente:

- a. Limpiar la poza a utilizar, asegurándose de eliminar cualquier elemento que pudiera afectar el proceso de compostaje. No se impermeabilizó la poza, dado que es una poza de producción de compost de más de 30 años que se ha impermeabilizado por la compactación a lo largo del tiempo.
- b. Determinar el tamaño y volumen de la pila de compost a elaborar. Siendo el tamaño mínimo requerido y utilizado en esta oportunidad de 1 m³.
- c. Demarcar las áreas de la base de la pila de compost y dejar un espacio similar al costado de la misma para los respectivos volteos de las pilas.
- d. Utilizar como base una capa de residuos vegetales seguida de capa de compost maduro y se continua con esta secuencia hasta alcanzar la altura de 0.6 m, de acuerdo a la formulación establecida.
- e. Aplicar melaza, entre capa y capa (solo en las pilas que se requieran), humedeciendo las pilas hasta el punto óptimo (prueba de humedad con puño).
- f. Cubrir con paja y un plástico de color negro a fin de disminuir la evaporación del agua.



Formación de pilas de compostaje



**Adición de compost de
inoculo a pilas**



Primer riego con dilución de melaza



Pilas de compostaje cubiertas con plásticos



Fin de armado de pilas de compostaje

Figura 7: Secuencia fotográfica del procedimiento de armado de pilas de compostaje

3.5.4 Volteo y riego

El volteo, como menciona el Manual para la Elaboración de Compost (OPS) tiene dos objetivos: favorecer los metabolismos aerobios y procurar que el proceso se cumpla homogéneamente en toda la masa que contiene la pila de compost. Esta operación se realizó de manera manual utilizando palas, procurando que en los movimientos de las pilas el material perteneciente al núcleo de la pila de compostaje pase a formar parte de la corteza y éste del núcleo.

Para la presente propuesta, el volteo de cada pila se ha realizado manualmente con una frecuencia semanal, durante 10 semanas. Labrador (1996) citado por Del Pozo (2008) menciona que mediante el volteo se asegura la homogenización de la mezcla y se permite que todas las zonas tengan temperatura uniforme.

La biodegradación anaeróbica no es deseable en una planta de compostaje porque causa los olores fuertes e impide el proceso de biodegradación aeróbico. Se necesita mezclar y mover los desechos frecuentemente y con regularidad para evitar la putrefacción anaeróbica (Röben, 2002).

La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que el agua constituye el medio de transporte de los nutrientes. Durante el volteo semanal, se empleó la técnica del “puño cerrado” para el riego de los tratamientos. Éste método consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante (aserrín o paja). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco (restos de hortalizas o césped) hasta comprobar que tenga una humedad idónea (FAO, 2013).

En términos generales, un buen manejo y cuidados durante el compostaje, con una aireación adecuada mediante volteos oportunos y la dotación de agua en cantidades necesarias, así como la aplicación de un activador biológico adecuado disminuye el tiempo de compostación, garantizan la obtención de un abono orgánico final de buena calidad y

para su uso directo en los campos de cultivo (Chilón, 2010).

3.5.5 Evaluaciones durante el proceso de compostaje

a. Temperatura

La temperatura se midió semanalmente durante todo el proceso de compostaje (10 semanas), introduciendo directamente el termómetro en la parte media de la pila (Anexo 3). Las mediciones se realizaron en horas de la mañana, con la finalidad evitar distorsiones por la alta radiación solar u otros factores meteorológicos.

b. pH

La frecuencia de medición del pH se realizó semanalmente durante el proceso de compostaje (10semanas). La medición del pH de la muestra se realizó por el método potenciométrico (Anexo 4). Se preparó un extracto acuoso de la muestra en agua destilada; a una relación 1:5 (p/v).

3.6 Variables en estudio

3.6.1 Variables físicas

Para el estudio de las variables físicas se realizó el análisis de los siguientes parámetros:

a. Densidad de los residuos vegetales

Se define como la relación entre la masa del material sólido y el volumen que ocupa en condiciones determinadas, incluyendo el espacio poroso entre partículas. Generalmente se expresa en g.cm^{-3} ó kg.m^{-3} . Se determinó pesando una cantidad determinada de residuos vegetales contenidos en una caja de madera. Posteriormente, se determinó la relación del peso del contenido y el volumen de la caja.

b. Densidad del compost final

Se define como la relación entre la masa del material sólido y el volumen que ocupa en unas condiciones determinadas, incluyendo el espacio poroso entre partículas. Generalmente se expresa en g.cm^{-3} ó Mg.m^{-3} . Se determinó pesando una cantidad determinada de compost final contenido en una caja de madera. Posteriormente, se determinó la relación del peso del contenido y el volumen de la caja.

c. Humedad del compost final

Se determinó la humedad mediante la extracción de muestras simples de cada pila, las cuales se enviaron al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM. El laboratorio aplicó el método de la centrifugación a 2000 rpm durante 30 minutos y posterior cuantificación de la humedad por gravimetría.

3.6.2 Variables químicas

Para el estudio de las variables químicas se enviaron las muestras de compost final al laboratorio para el análisis de los siguientes parámetros:

a. pH del compost final

Se realizó la medición mediante el método de pasta saturada. Se pesó 10 gramos del compost en un vaso de 100 mL, se adicionó agua hasta formar una pasta. Posteriormente se procedió a la lectura del pH en el potenciómetro sumergiendo el electrodo (Bazán, 1996).

b. Conductividad eléctrica del compost final

Para la determinación de la conductividad eléctrica se realizó un extracto acuoso obtenido de una pasta saturada; donde la salinidad de la muestra se determinó a través de la medición indirecta del contenido de sales solubles del extracto acuoso obtenido (Bazán, 1996).

c. Contenido de materia orgánica y carbono total del compost final

El contenido de materia orgánica del compost final se determinó mediante el método de Walkley y Black. En éste método, el carbono orgánico suelo es oxidado por una mezcla de $K_2Cr_2O_7$ más H_2SO_4 . El exceso de $K_2Cr_2O_7$ presente es determinado por titulación con $FeSO_4$. El punto de equivalencia en esta relación es dada por el indicador redox: difenil amina sulfúrica. La materia orgánica se estimó asumiendo que ésta contiene 58% de carbono por el factor de van Bemmelen (1724) (Bazán, 1996).

d. Nitrógeno total del compost final

La determinación de nitrógeno total en el compost final se realizó mediante el método Microkjeldahl para lo cual primero se secó la muestra en su totalidad y se molió.

En un balón de Microkjeldahl de 100 mililitros se colocó 0,1 gramos de la muestra, se le adicionó H_2SO_4 y catalizador a la muestra por lo que esta se caliente, convirtiendo al nitrógeno orgánico en $(NH_4)_2SO_4$. Luego se destila con la adición de NaOH para dar un carácter salino a la solución, el NH_4 se transforma en NH_3 el cual mediante el sistema de destilación para enfriar el flujo gaseoso da a lugar el NH_4OH el cual es recolectado en una solución de ácido bórico; se titula con H_2SO_4 hasta que el indicador cambie de color. Los mililitros del ácido usados en esta titulación por la normalidad del ácido equivalen a las milis equivalentes de nitrógeno en la muestra (Bazán, 1996).

e. Fósforo (P_2O_5) del compost final

El método usado es el de Digestión Vía Seca. Se realiza la calcinación de la muestra en mufla a $450\text{ }^\circ\text{C} - 500\text{ }^\circ\text{C}$ y se obtiene un residuo del cual se extrae el fósforo del compost por digestión con ácido nítrico ó clorhídrico. Seguidamente, se toma una alícuota de 1,0 mililitros de dicha solución clorhídrica; se le agrega solución sulfomolibdica, solución reductora (amino-naftol-sulfónico) y agua destilada para formar un complejo soluble de color azul. Posteriormente se lee la transmitancia a longitud de onda de 650 nm y se compara con la curva patrón de fósforo a partir del estándar de 80 miligramos de P/L (Bazán, 1996).

f. Potasio (K₂O), calcio (CaO) y magnesio (MgO) del compost final

El método utilizado fue la espectrometría de absorción atómica. Se extrajo del compost por digestión con ácido nítrico o perclórico. Seguidamente se toma una alícuota de dicha solución problema, se le adiciona 9 mililitros de agua destilada y 10 mililitros de solución de lantano al 1% y se coloca en el equipo de espectrometría de absorción atómica.

Dentro del equipo, la muestra es conducida al quemador y es atomizada por una llama; al recibir una radiación electromagnética proveniente de una fuente externa, los átomos de potasio absorben dicha radiación; se mide la absorbancia de dicha radiación por los átomos y posteriormente se determina su concentración con el uso de una curva estándar (Bazán, 1996).

g. Microelementos del compost final

Para la determinación de los microelementos presentes en el compost final (Fe, Cu, Zn, Mn, B), se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica. El método consiste en extraer una solución por digestión con ácido nítrico o perclórico, se adiciona agua destilada y una solución de lantano. Posteriormente se coloca en el equipo de espectrometría de absorción atómica donde la muestra es atomizada por una llama. Al recibir una radiación electromagnética externa, los sólidos se convierten en gas y se atomizan para luego medir la dispersión de la luz que se da en la máquina de plasma (Bazán, 1996).

h. Metales pesados del compost final

Para la determinación de los macro elementos presentes en el compost final (Pb, Cd, Cr), se utilizó el método usado fue la espectrometría de absorción atómica (Bazán, 1996).

3.6.3 Variables biológicas

Para el análisis microbiológico se verificó la ausencia de microorganismos patógenos, que puedan afectar la inocuidad del abono orgánico:

a. Coliformes totales

Se determinó por el método norteamericano – Método 1, a través de la técnica del número más probable (NMP) basado en la teoría de las probabilidades y consiste en la determinación de la presencia o ausencia de una organismo de interés en algunas diluciones consecutivas de la muestra (ICMSF, 2000).

En este método, se preparan muestras diluidas homogéneamente, de las cuales se pipetea 1 mililitro en tubos de caldo lauril sulfato triptosa (tres tubos, los cuales servirán como medio de cultivo), luego se realiza la incubación a 35° – 37° C durante 24 horas; se realiza la primera lectura de presencia de gas, los tubos que no presenten, se realiza otra incubación por 24 horas más, posteriormente se busca en la tabla de NMP el dato correspondiente al número de tubos positivos de cada dilución.

b. Coliformes fecales

El método utilizado es el referenciado en el punto 3.9.3.1, pero con el caldo de cultivo MacConkey.

3.6.4 Determinación de la madurez del compost

Paralelamente al análisis de las variables fisicoquímicas y microbiológicas se procedió a realizar la determinación de la madurez del compost. Guerrero (2002) citado por Alarcón (2004) indica que debido a que la presencia de fitotoxinas, se reduce la tasa de germinación.

Se midió el porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento de radícula relativo (CRR), e índice de germinación (IG), según la siguiente metodología:

$$\text{IG (\%)} = \frac{\text{PGR (\%)} \times \text{CRR (\%)}}{100}$$

En donde:

- IG (%): Índice de germinación expresado en porcentaje
- PGR (%): Porcentaje de germinación relativo
- CRR (%): Crecimiento de radícula relativo

Nota: El PGR (%) y CRR (%) son obtenidos respecto a la muestra control. Se obtienen de la siguiente manera:

$$\text{PGR (\%)} = (\text{GMn} / \text{Gc}) \times 100$$

En donde:

- GMn: Número de semillas germinadas en la muestra “n” (n=1, 2, 3, 4,...)
- Gc: Número de semillas germinadas en la muestra control
- $\text{CRR\%} = (\text{LMn} / \text{Lc}) \times 100$
- LMn: Longitud promedio de las raíces en la muestra “n” (n=1, 2, 3, 4,...)
- Lc: Longitud promedio de las raíces en la muestra control.

3.6.5 Calidad del compost

Para el análisis de la calidad del compost se tomó como referencia los estándares establecidos por el Instituto Nacional de Normalización de la República de Chile en la norma NCh2880.Of2004 dado que gran parte de instituciones agrarias en el país la utilizan como referente para establecer calidad de su compost y no existe legislación ni normas técnicas peruanas para compostaje.

La normativa internacional europea, presenta clasificaciones de compost de acuerdo al material de origen, al tipo de proceso y a la calidad final del compost, contando con mayor exigencia que la normativa latinoamericana para metales pesados y parámetros microbiológicos. En Latinoamérica, la normativa presenta mayor flexibilidad para ciertos parámetros en referencia a la normativa europea; ajustándose más a nuestra realidad. Sin embargo, entre la diversa normativa latinoamericana existen diferencias. Para algunos

parámetros, existen rangos menos permisibles en algunos países; tal es el caso de Brasil, cuya normativa señala valores más exigentes para M.O., pH, Hd y N; y México, que cuenta con mayor número de parámetros microbiológicos especificados.

3.6.6 Test de germinación de Zucconi

Se adaptó la prueba de índice de germinación de Zucconi de tal manera que, se prepararon veinte placas Petri cuya base interna contenía una capa de papel filtro cortado a medida. Cuatro de ellas fueron consideradas testigos y de las dieciséis restantes, cuatro placas por cada tipo de tratamiento (pila), es decir, cuatro repeticiones para cada uno.

En las dieciséis placas se colocaron 10 semillas de rabanito (*Crimson Giant*). Para las cuatro placas testigo se aplicó 30gr de compost comercial y 10ml de agua. En las dieciséis placas restantes, cuatro por cada tipo de tratamiento, se colocó 30gr de compost según el tipo de tratamiento y 10ml de agua. Se colocaron las tapas para cada placa Petri y se colocaron en un ambiente oscuro por 7 días.

Al término de los 7 días, se verificó que no se encontraron factores contaminantes que afectaran el proceso y finalmente se evaluó la emergencia de radícula.

Para evaluar la fitotoxicidad se estableció criterio de interpretación siguiente: valores para un $IG \geq 80\%$ son indicador que no existen sustancias fitotóxicas o que estas se encuentran en muy baja concentración; si el $IG \leq 50\%$, indicaría que hay una elevada presencia de sustancias fitotóxicas y por último, si se obtiene un valor entre 50% y 80 % indicaría la presencia moderada de sustancias fitotóxicas (Zucconi *et al.*, 1981).

3.6.7 Variables económicas y financieras

De acuerdo a Blank y Tarquin (2003), para evaluar si un proyecto es rentable o no, tenemos que tomar en cuenta ciertos indicadores.

Se preparó el presupuesto de capital, determinando si existe algún activo e incluyendo dicho valor de rescate al final de la vida esperada del mismo. Luego, se evaluó el riesgo para determinar la tasa de rendimiento apropiada. Finalmente, se calculó el valor presente de los flujos estimados para comparar dicho valor con el costo inicial de adquirir el activo.

a. Valor Actual Neto:

Es el valor presente de los flujos de efectivo netos de un proyecto de inversión, menos la inversión inicial del proyecto.

$$VAN = -Inv + \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+k)^n}$$

Si $VAN > 0$, el proyecto es rentable y se acepta. En líneas generales, el VAN y la TIR conducen a una misma decisión de aceptar o rechazar el proyecto. Si $k < TIR$ el VAN será > 0 , por lo tanto se aceptará el proyecto.

b. Tasa Interna de Retorno (TIR):

Tasa de descuento que hace el valor actual neto de un proyecto sea cero. En otras palabras iguala el valor presente de los flujos de efectivo netos futuros de un proyecto de inversión con la salida de efectivo inicial del proyecto.

$$INV = \frac{C_1}{(1+TIR)^1} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \frac{C_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n}$$

Si el TIR es mayor a la tasa mínima de rendimiento aceptable se acepta el proyecto. La tasa mínima de rendimiento aceptable o requerida sobre una inversión en un análisis de flujo de efectivo es también llamada COK; entonces si el $TIR > COK$, el proyecto es aceptado.

c. Índice de Rentabilidad o Relación Beneficio – Costo:

Es la razón del valor actual neto de un proyecto, entre la inversión inicial más uno. Se aceptará el proyecto si éste es mayor a 1. Al comparar el proyecto, permitirá escoger el de mayor rendimiento por dólar gastado.

$$IR = 1 + \frac{VAN}{Inv.} = \frac{\sum_{i=1}^n VAFCDI_i}{Inv.}$$

d. Período de Recuperación:

Lapso de tiempo requerido para que el flujo de efectivo acumulado, derivado de un proyecto de inversión, iguale a la salida inicial de efectivo.

Si el tiempo de recuperación es menor que el plazo máximo aceptable, se aprobará el proyecto.

Algunos problemas de este indicador pueden aparecer al no considerar los flujos posteriores al vencimiento del tiempo de recuperación, ya que éste último es un tiempo subjetivo. Por esta razón, éste indicador es usado como complemento de toda la evaluación.

IV. RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL COMPOST

4.1.1 Densidad aparente

Los datos observados en la figura 8, nos permiten conocer los resultados de la densidad del compost obtenidos en cada uno de los tratamientos. Los valores determinados se encuentran en el rango de 0.51 a 0.57 g.cm⁻³ (Anexo 5), valores que cumplen con lo señalado en la normativa chilena (Nch2880.of2004) y los encontrados en sus investigaciones por Guerrero (1993). Los resultados obtenidos presentan valores muy cercanos que no nos permiten discernir algún comportamiento especial que diferencie los tratamientos por distribución y volumen o por adición de melaza.

A pesar de que el inóculo utilizado para los tratamientos fue un compost maduro, los compost obtenidos en los tratamientos, presentan características típicas de un material obtenido por un método convencional.

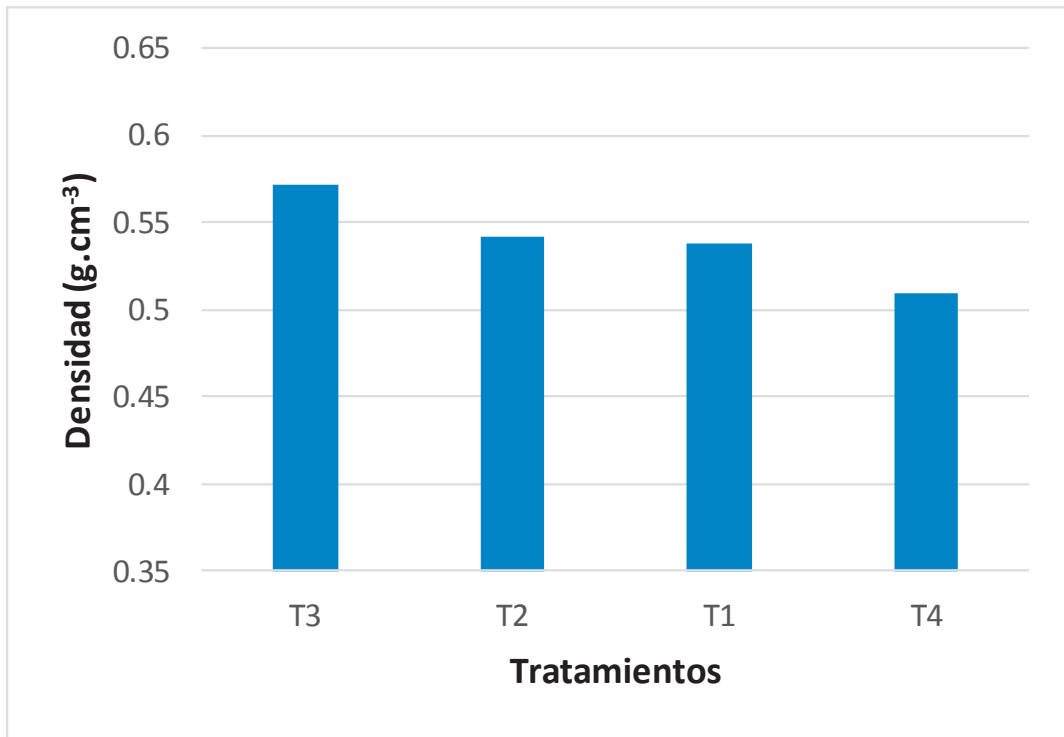


Figura 8: Densidad aparente del compost final

4.1.2 Contenido de humedad (Hd)

Los tratamientos presentaron los siguientes contenidos de humedad: tratamiento 1 (2:1 c/melaza) contiene 47.2%, tratamiento 2 (2:1 s/melaza) contiene 48.8%, tratamiento 3 (3:1 c/melaza) contiene 49.5% y el tratamiento 4 (3:1 s/melaza) contiene 51.1 % (Anexo 6). Como se puede observar, la humedad ha sido similar en los cuatro tratamientos pero con mayores valores en el grupo 2 (T3 y T4) cuya formulación contiene una mayor proporción de material vegetal (Figura 9).

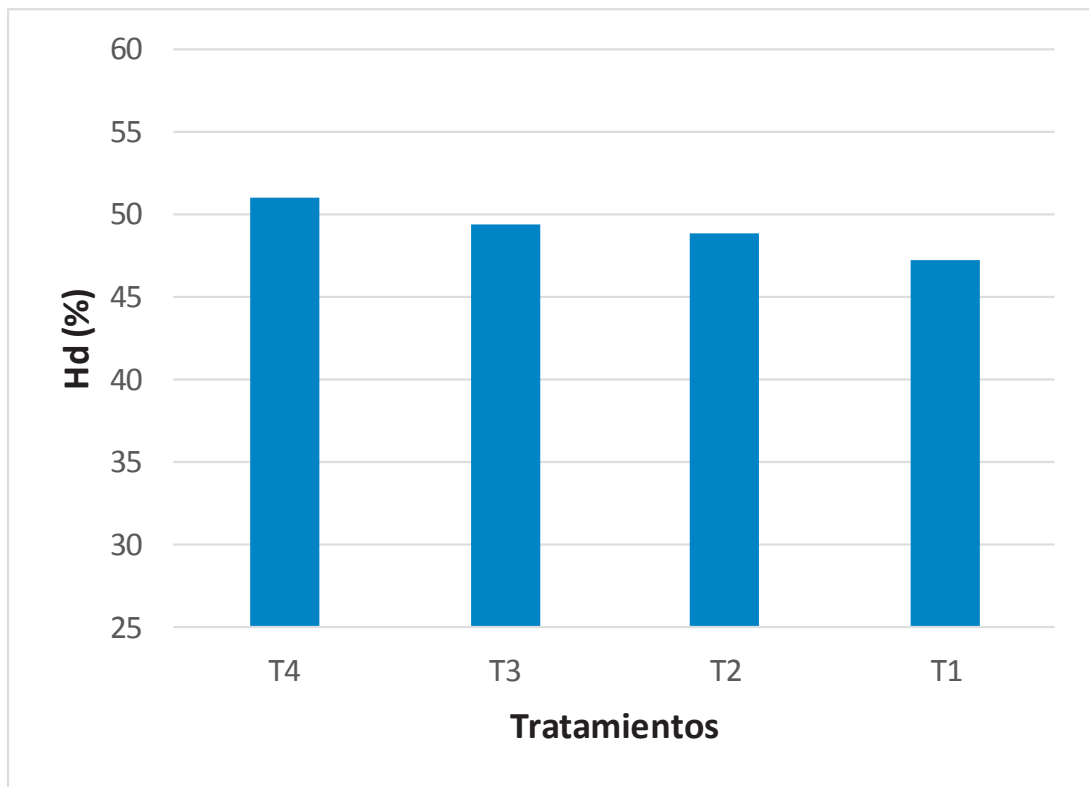


Figura 9: Contenido de humedad (Hd) del compost final

4.1.3 Temperatura

En la figura 10 se observa claramente que el incremento de la temperatura de las pilas instaladas fue lento, alcanzando su máximo en la cuarta semana y mostrando un comportamiento diferente a los compost producidos con estiércol como inóculo (Miyashiro, 2014); sin embargo, la diferencia de inóculo no significó que no se alcanzara las temperaturas requeridas para considerar al producto final como un compost que atravesó todas las etapas del proceso de compostaje. También, encontramos que los tratamientos que incluyeron melaza presentan ligeramente temperaturas más elevadas.

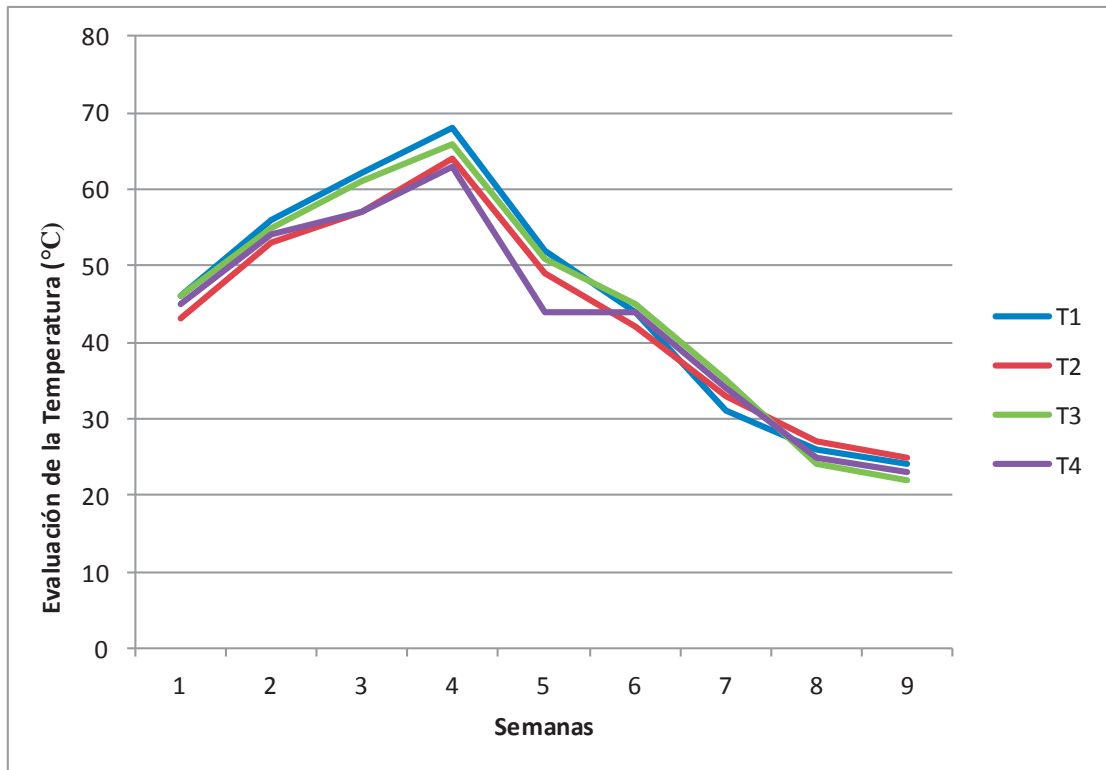


Figura 10: Variación semanal de la temperatura en los tratamientos (°C)

4.1.3 pH

En la figura 11 podemos ver que el pH en los tratamientos de la prueba piloto se mantuvieron entre 7 y 7.5, indicándonos que existía una buena aireación que favorecía a la proliferación de bacterias y a la favorable descomposición de los compuestos orgánicos. Sin embargo, entre la segunda y tercera semana se observa un descenso considerable en el pH, que puede atribuirse a la formación de ácidos orgánicos o una mala oxigenación, la cual se pudo corregir y permitió regresar a las condiciones óptimas. Desde la cuarta semana hacia adelante, la variación del pH es mínima, sugiriendo que el proceso se estaba estabilizando.

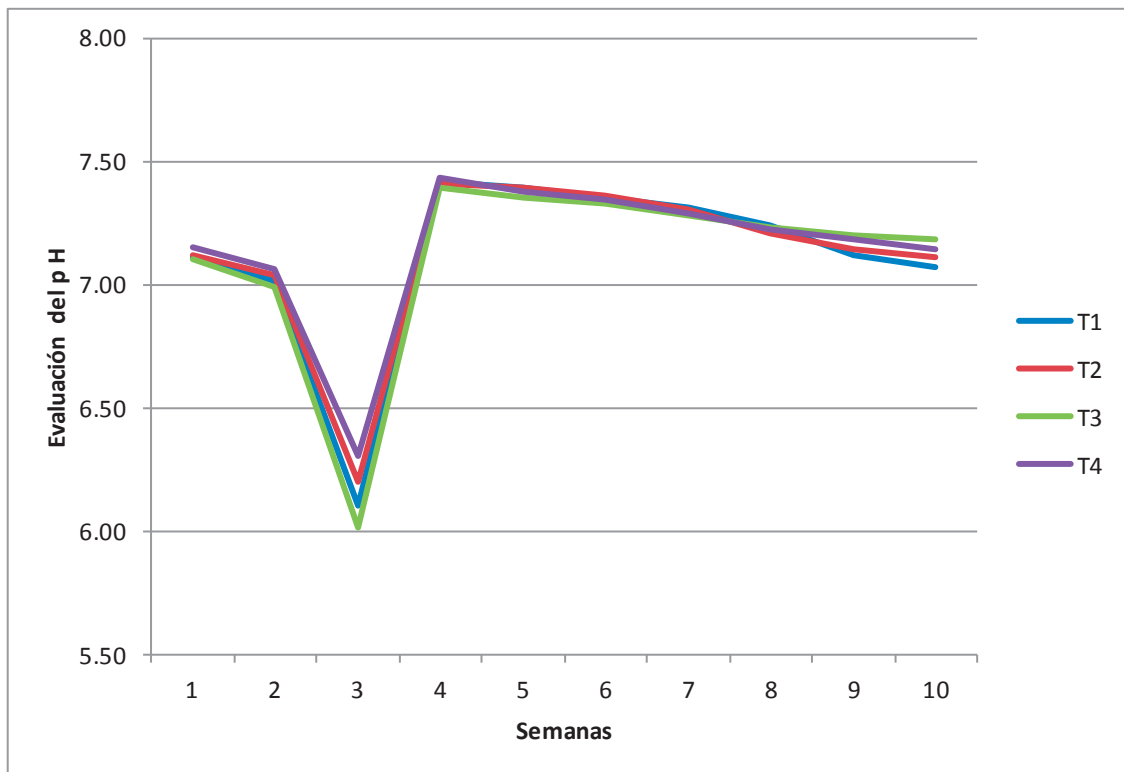


Figura 11: Variación semanal del pH

Los valores registrados para el pH del compost final (Figura 12) se encuentran en el rango de 7.1 a 7.2 (Anexo 7) y cumplen con lo señalado en la normativa chilena, por lo que los compost podrían ser calificados dentro de la Clase A (Nch2880.of2004).

Estos valores son neutros y favorecen a la disponibilidad de un amplio rango de nutrientes, a pesar que el compost utilizado como inóculo contribuyó con un considerable nivel de calcio.

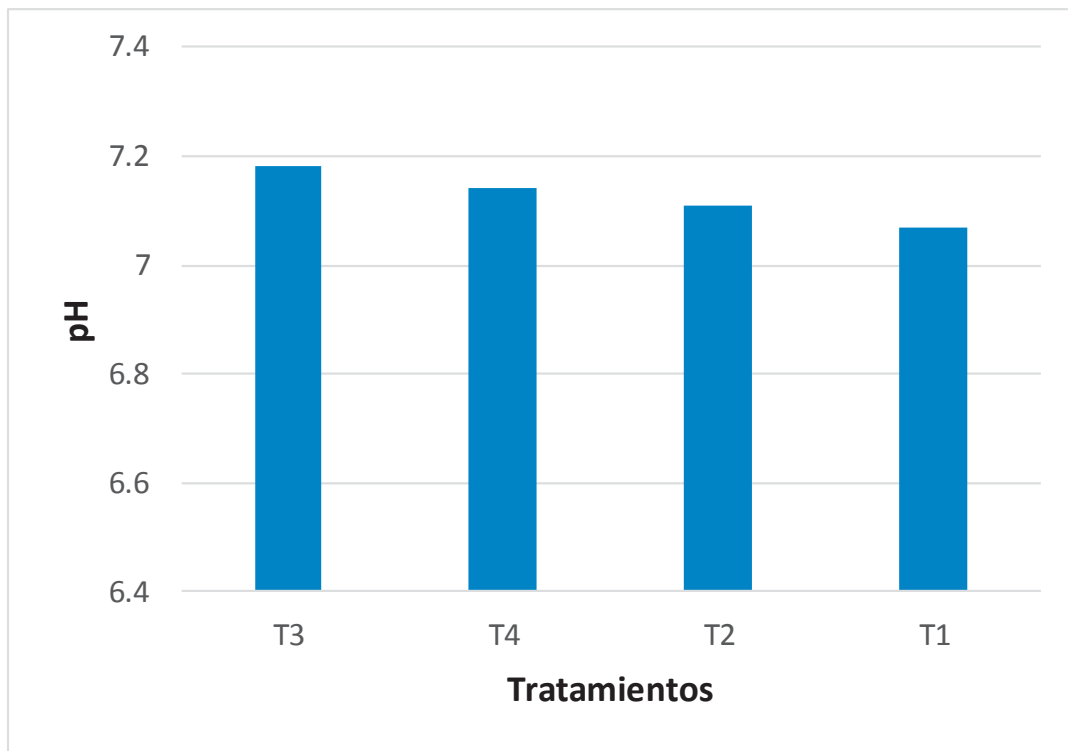


Figura 12: pH del compost final

4.1.4 Conductividad eléctrica (C.E)

Se obtuvo valores mayores para conductividad eléctrica en los tratamientos 1 y 2 y menores valores para los tratamientos 3 y 4 (Figura 13). En el primer grupo (T1 y T2), hay una mayor concentración de sales respecto al segundo grupo (T3 y T4), debido a la mayor proporción de inóculo, el cual contribuye con una mayor cantidad de sales (Anexo 8).

Para la normativa chilena (NCh2880.of2004), los productos finales de los tratamientos en estudio, están limitados por el contenido salino, por lo que estos productos finales califican como Clase B.

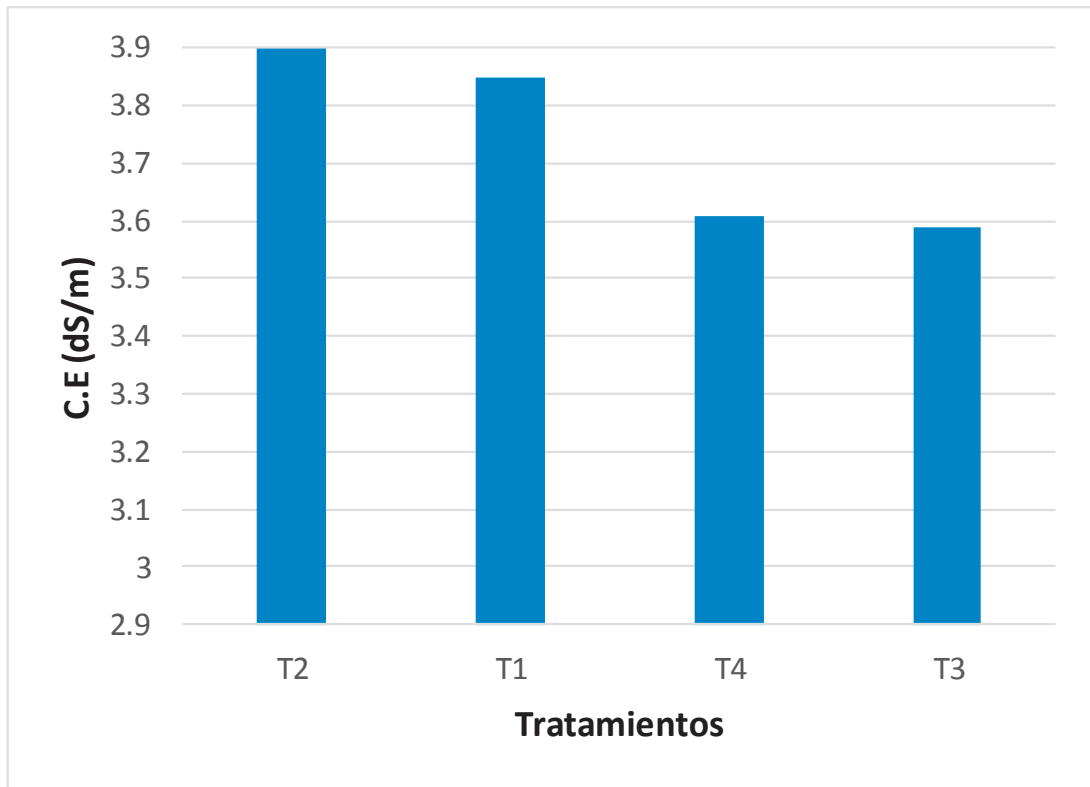


Figura 13: Conductividad eléctrica (C.E) del compost final

4.1.5 Contenido de materia orgánica (M.O)

Los valores de materia orgánica obtenidos para los diferentes tratamientos fueron: tratamiento 1 (2:1 c/melaza) con 34.1 %, tratamiento 2 (2:1 s/melaza) con 33.8 %, tratamiento 3 (3:1 c/melaza) con 33.3 % y para el tratamiento 4 (3:1 s/melaza), 33.1 % (Figura 14) (Anexo 9).

La pequeña variación entre el grupo 1 y 2 podría deberse más a la proporción volumétrica en las formulaciones establecidas, que a la calidad de las materias primas utilizadas. De igual forma, los tratamientos de compostaje 1 y 3 destacan en su grupo, comportamiento que podría atribuirse a la presencia de melaza. Sin embargo, es claro que la melaza es un acelerador de la descomposición de material vegetal (San Clemente, *et al.*, 2011); no obstante, esta materia prima sólo fue utilizada como un complemento activador del inóculo al inicio del proceso.

Los valores encontrados en los diferentes tratamientos cumplen con la norma chilena (Nch2880.of2004).

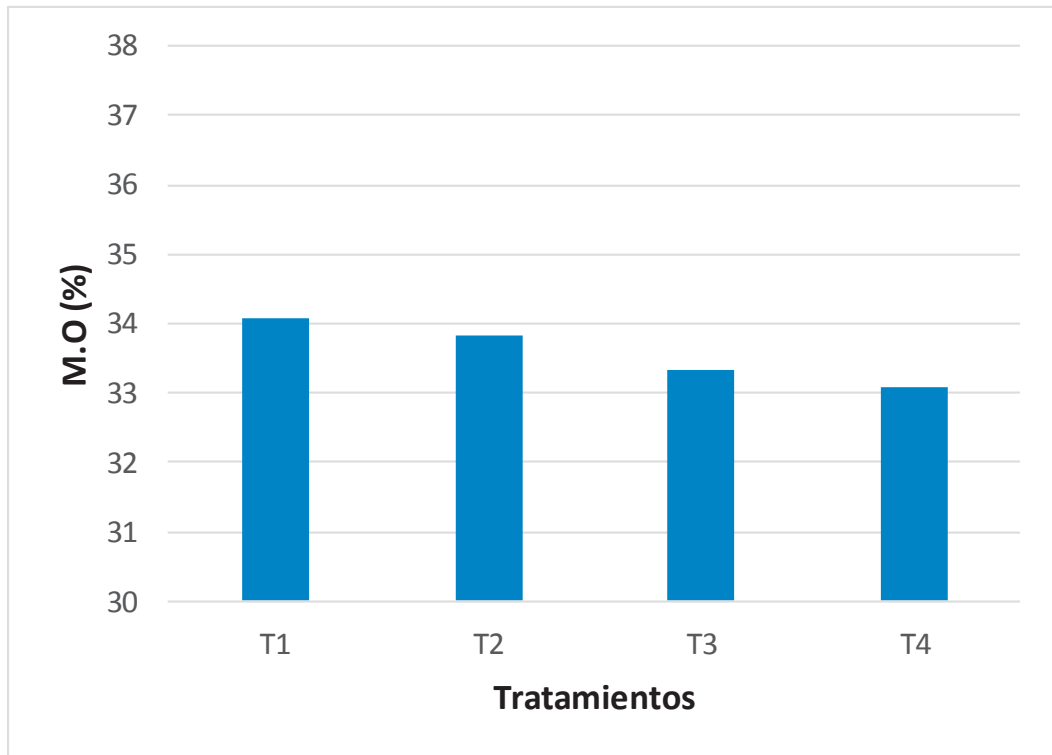


Figura 14: Materia orgánica del compost final

4.1.6 Carbono total

Los valores de carbono total calculados para los diferentes tratamientos fueron: tratamiento 1 (2:1 c/melaza) con 19.77 %, tratamiento 2 (2:1 s/melaza) con 19.62 %, tratamiento 3 (3:1 c/melaza) con 19.34 % y para el tratamiento 4 (3:1 s/melaza) 19.19 % (Figura 15) (Anexo 10).

Se puede observar similares tendencias a la variable materia orgánica, dado que las cantidades se hallaron al dividir el porcentaje de materia orgánica con el coeficiente de van Bemmelen (1.724).

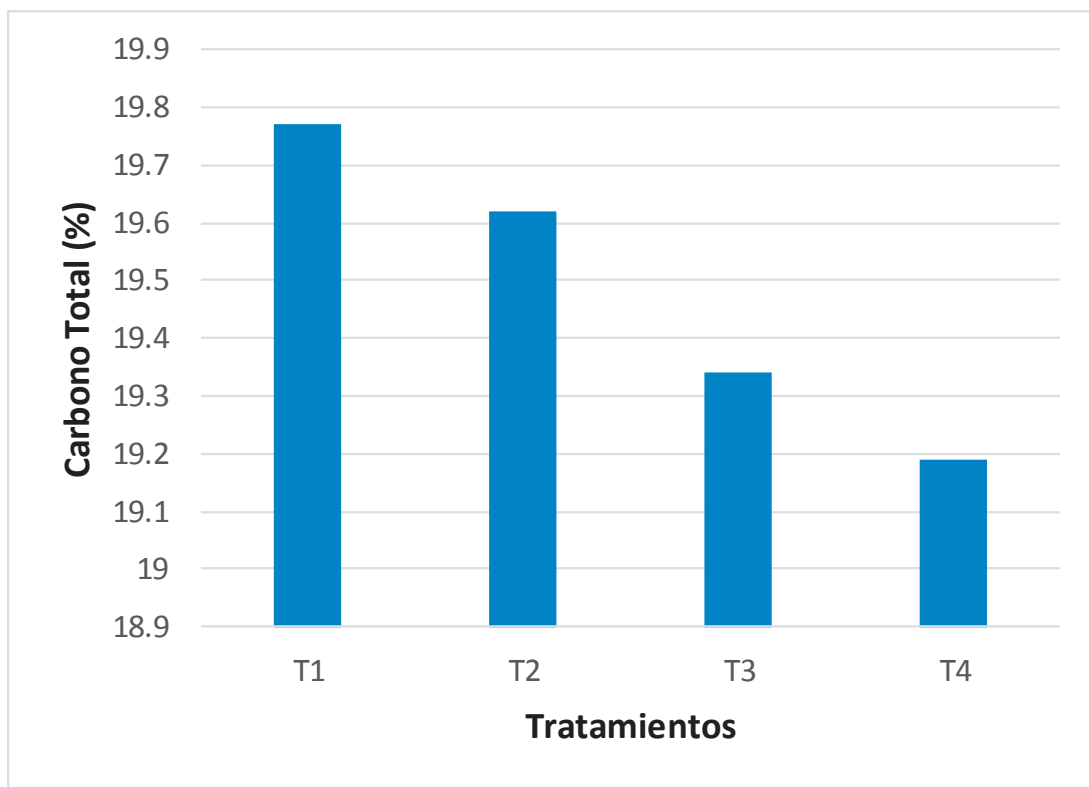


Figura 15: Carbono total del compost final

4.1.7 Nitrógeno total (N)

Los resultados obtenidos para los valores de nitrógeno total en los diferentes tratamientos fueron: tratamiento 1 (2:1 c/melaza) con 1.7%, tratamiento 2 (2:1 s/melaza) con 1.6%, tratamiento 3 (3:1 c/melaza) con 1.6% y, tratamiento 4 (3:1 s/melaza) con 1.5% (Figura 16) (Anexo 11).

Los resultados encontrados superan considerablemente al mínimo recomendado (0.5 % de nitrógeno total) por la norma chilena (Nch2880.of2004).

Los tratamientos 1 y 3 poseen los mayores valores de nitrógeno total en su grupo. En ambos tratamientos se utilizó melaza en el proceso de formulación lo que nos sugiere la aceleración de la degradación de las materias primas utilizadas lo que lleva a liberar el nitrógeno total como nitrógeno amoniacal (NH_4^+). Sin embargo, los resultados no reflejan el comportamiento esperado, lo que confirma la asunción de que la melaza solo fue un

complemento activador al inicio del proceso de compostaje.

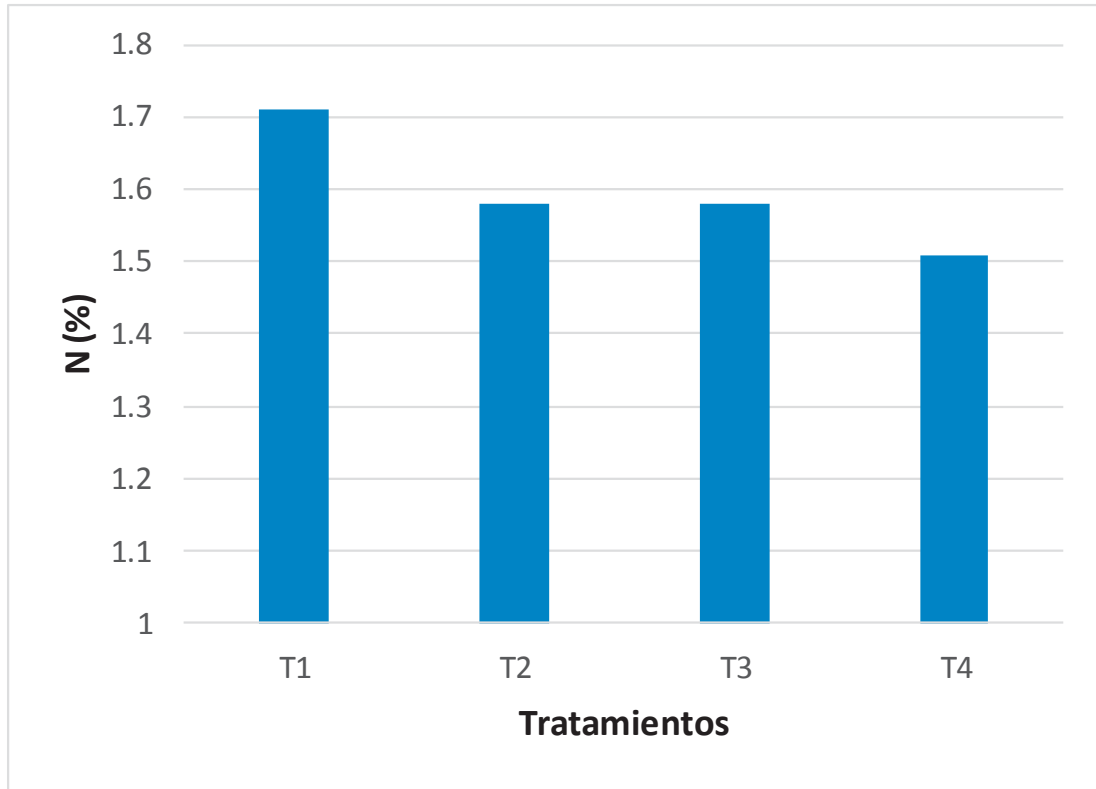


Figura 16: Contenido de nitrógeno del compost final

4.1.8 Relación C:N

Los resultados obtenidos para la relación C:N en los diferentes tratamientos fueron: tratamiento 4 (3:1 s/melaza) con 12.71, tratamiento 2 (2:1 s/melaza) con 12.42, tratamiento 3 (3:1 c/melaza) con 12.24 y tratamiento 1 (2:1 c/melaza) con 11.56 (Figura 17) (Anexo 12).

De acuerdo al Manual de Compostaje de la FAO (2013), la relación C:N es uno de los factores que se deben considerar en el compostaje ya que afectan el crecimiento y reproducción de los microorganismos. Se considera un rango ideal cuando la relación C:N se encuentra entre 15:1 – 35:1.

Para los cuatro tratamientos, los resultados reflejan valores menores a 15:1, lo que se consideraría un déficit de carbono, sin embargo se puede mejorar la relación C:N con la adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín).

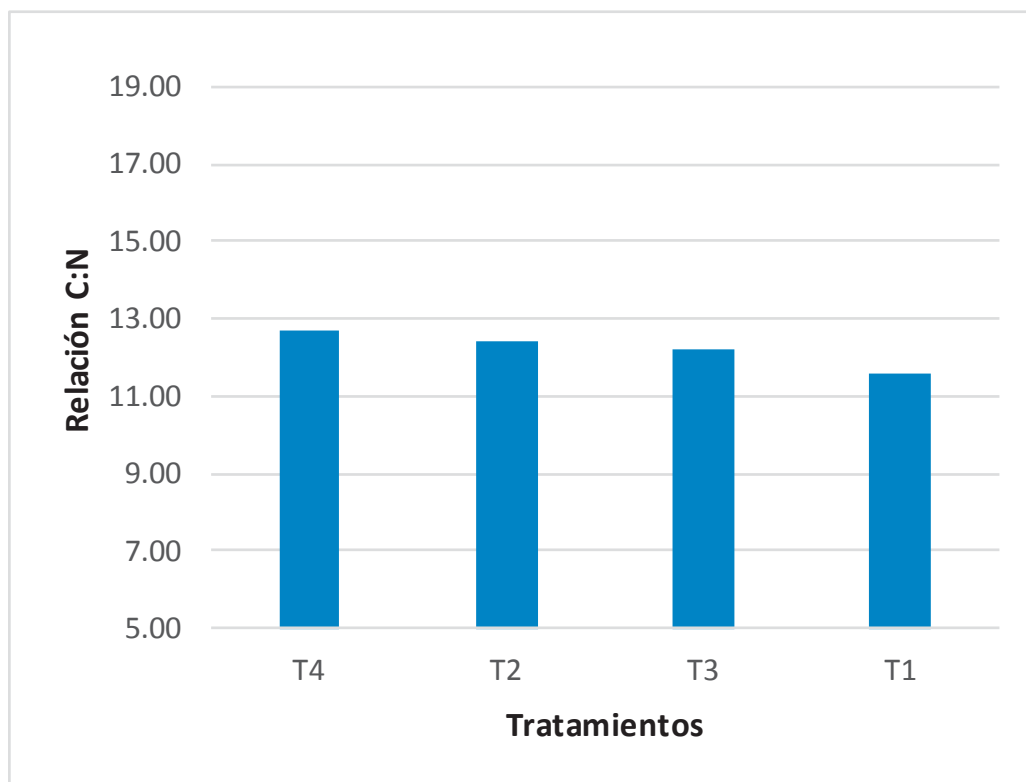


Figura 17: Relación C:N

4.1.9 Fósforo y potasio total

La presencia de una adecuada cantidad de macronutrientes permite que el compost obtenido pueda ser utilizado como fertilizante en áreas verdes o campos de cultivo (FAO, 2013). Las características químicas del compost depende de la calidad y tipo de insumos utilizados, así como de las condiciones ambientales que dominaron durante el proceso de descomposición (Guerrero, 1993).

Como se sabe, el interés de tener un buen contenido de nitrógeno radica en que sirve como fuente de proteína durante el proceso de compostaje, siendo uno de los nutrientes más

utilizados por los microorganismos. Si bien es cierto que, para la clasificación de compost de acuerdo a su calidad según la normativa chilena (NCh2880.Of2004), solo se tiene referenciado el nitrógeno total; es recomendable determinar la cantidad de fósforo y potasio disponible para las plantas, con el fin de que pueda ser utilizado no solo como mejorador del suelo, sino también, como un fertilizante orgánico que aporte nutrientes claves para el desarrollo de las plantas (FAO, 2013).

En el análisis realizado, el rango encontrado para fósforo fue de 1.42 % a 1.59 % de P_2O_5 y para el potasio 1,08 % a 1.12 % de K_2O_5 (Figura 18). A pesar de que el material vegetal utilizado para elaborar el compost estaba constituido por 38% de restos leñosos delgados y 42 % de corte de césped, los valores de macronutrientes, como el fósforo y potasio, reflejan una caracterización química de un compost producto de la mezcla de rastrojos de leguminosas, hojas de árboles y malezas (Anexo 13).

Por otro lado, se observa un mayor contenido de fósforo en los tratamientos con melaza (T1 y T3) en relación a los tratamientos sin melaza (T2 y T4). Considerando que en el inóculo el contenido de fósforo fue de 1.2 % P_2O_5 y 1.10 % K_2O y ambos nutrientes no forman ningún tipo de gas que puede ser liberado a la atmósfera y el comportamiento de potasio se encuentra influenciado por el intercambio de cationes y la meteorización, antes que por procesos microbiológicos (Brady et al., 2008 citado por Miyashiro, 2014), podemos deducir que el compost maduro y los restos vegetales contribuyen con el tenor de fósforo y potasio. Sin embargo, no podemos deducir lo mismo de la melaza ya que la mayor parte de su composición consta de sacarosa (Cuadro 5).

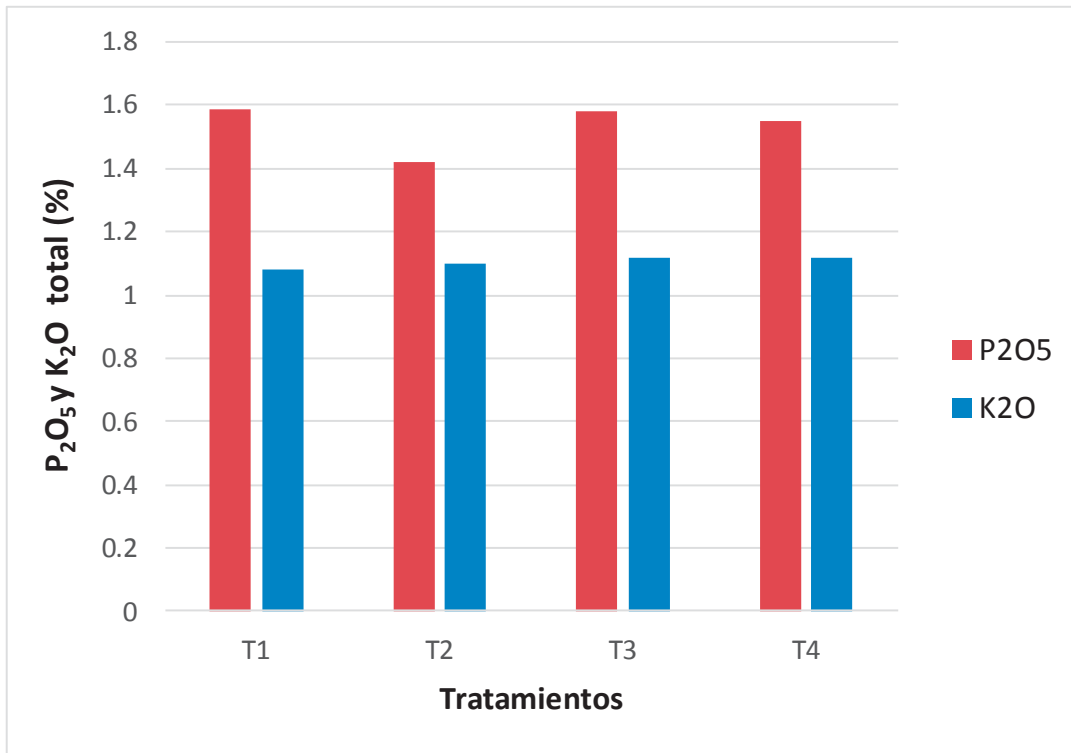


Figura 18: Contenido de P₂O₅ y K₂O total del compost final

4.1.10 Calcio, magnesio y sodio

Según el TMEEC 0405, el calcio es un elemento esencial de las paredes celulares y debe formar parte en las nuevas estructuras celulares. Asimismo, indica que el calcio aumenta el pH y reduce la fitotoxicidad. En la figura 19 se observa un mayor contenido de calcio en los tratamientos en los cuales se adicionó melaza (T1 y T3); sin embargo, el tratamiento 1 presenta los mayores niveles por las proporciones volumétricas de su formulación (Anexo 13).

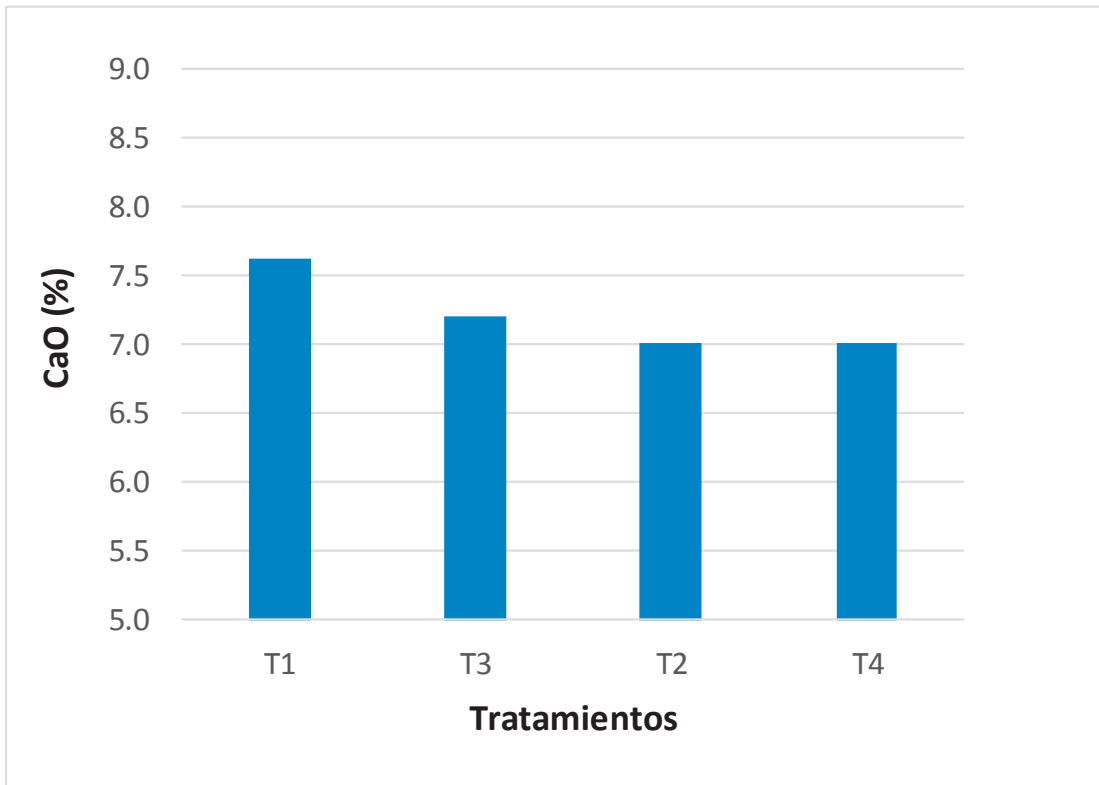


Figura 19: Contenido de calcio del compost final

Del mismo modo en la figura 20, se observa que no se encuentra una diferencia marcada entre los resultados obtenidos de magnesio del compost final.

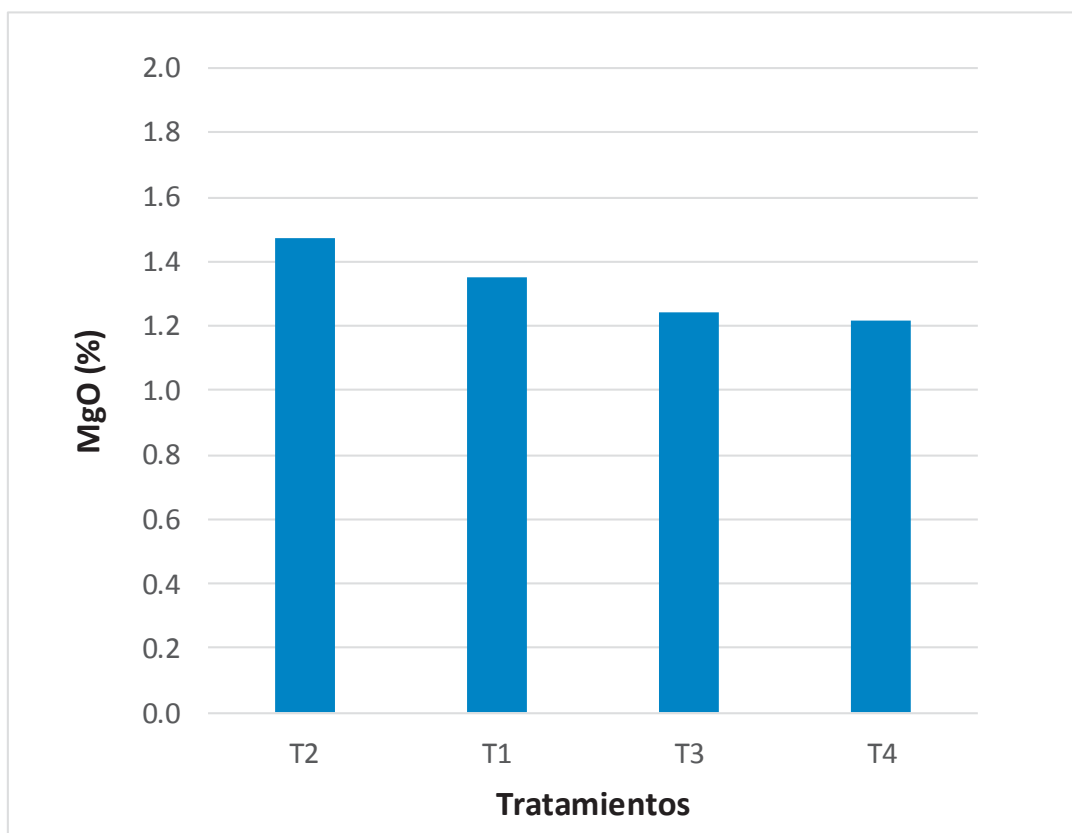


Figura 20: Contenido de magnesio del compost final

Para el caso del sodio, se observó valores similares en los cuatro tratamientos: tratamiento 1 (2:1 c/melaza) con 0.21%, tratamiento 2 (2:1 s/melaza) con 0.21%, tratamiento 3 (3:1 c/melaza) con 0.21% y, tratamiento 4 (3:1 s/melaza) con 0.22% (Anexo 13).

Realizando un estudio estadístico con repeticiones, podría concluirse que, el uso de material vegetal proveniente del mantenimiento de áreas verdes públicas del distrito de Miraflores para el compostaje, permitiría aumentar los porcentajes de macronutrientes del producto resultante, siendo un almacén potencial de estos macronutrientes en las plantas.

4.1.11 Análisis de microelementos

Se encontraron mayores valores de cobre en los tratamientos 3 y 4, tal como se muestra en la figura 21, cuyo contenido de material vegetal fue mayor. Por otro lado, se debe de

señalar que los valores obtenidos se encuentran debajo de la concentración máxima (100 mg.kg^{-1}) señalada por la norma chilena (NCh2880.Of2004).

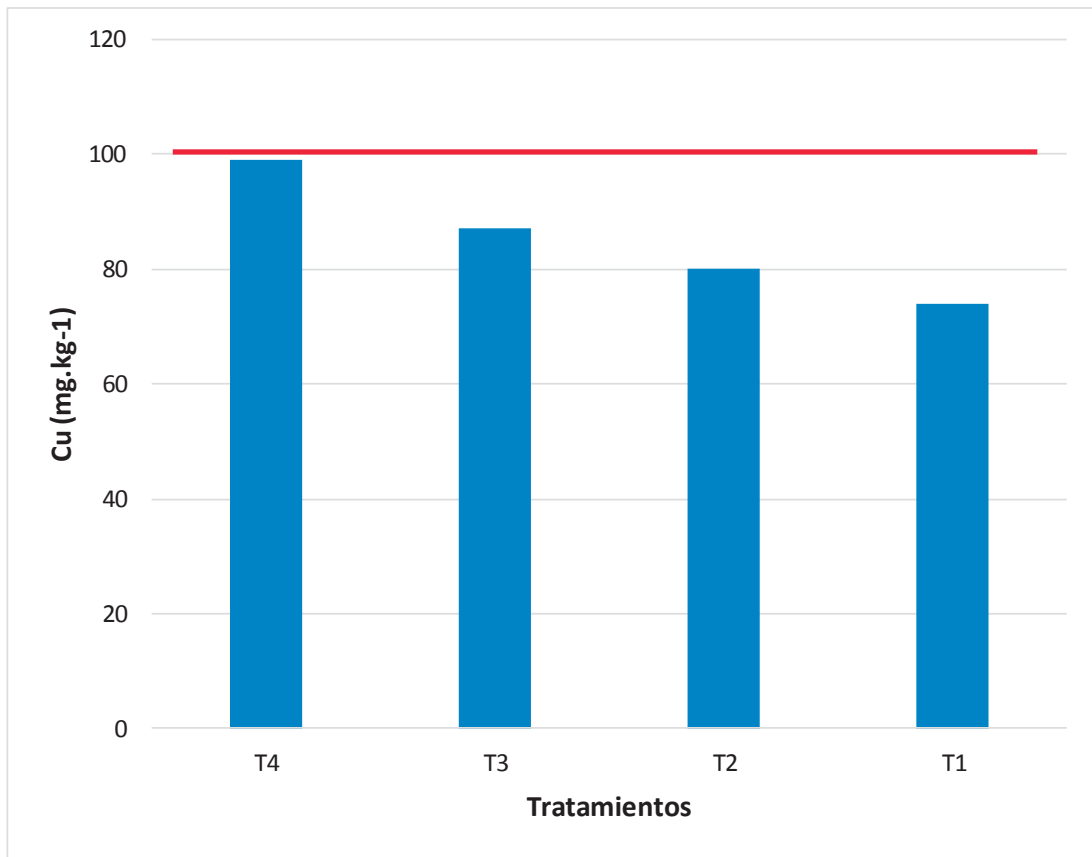


Figura 21: Contenido de cobre del compost final

El boro no se encuentra parametrado, ni por la norma chilena (NCh2880.Of2004) ni otras normas latinoamericanas (NTC 5107 /04, NTEA-006-SMA-RS-2006); sin embargo, se han comparado con otros estudios realizados donde los valores menores a los 200 ppm tal como se muestra en la figura 22, tan igual como los resultados obtenidos en el presente propuesta. Cabe señalar, que según el Método 04.05 – B del TMECC las altas concentraciones de boro pueden inducir a toxicidad para las plantas pero en condiciones acidas. Todas nuestras pilas de compost se encuentran en condiciones alcalinas lo que reduce la posibilidad de intoxicación por este microelemento (Anexo 14).

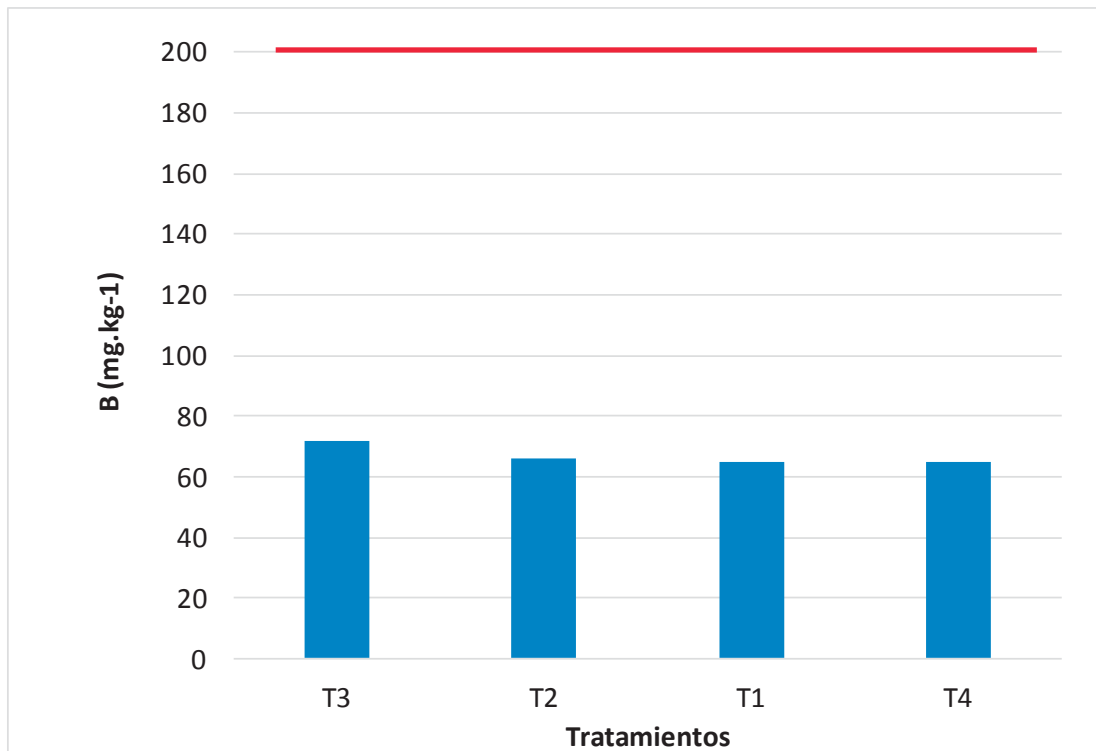


Figura 22: Contenido de boro del compost final

Para el caso del Zinc, tal como se observa en la figura 23 se obtuvo mayor concentración de este microelemento en el tratamiento 4 la cual cuenta con mayor contenido de material vegetal y no se utilizó melaza. Por otro lado, se debe de señalar que los valores obtenidos se encuentran debajo de la concentración máxima (2000 ppm) señalada por la norma chilena (Nch2880.Of2004) para la Clase B.

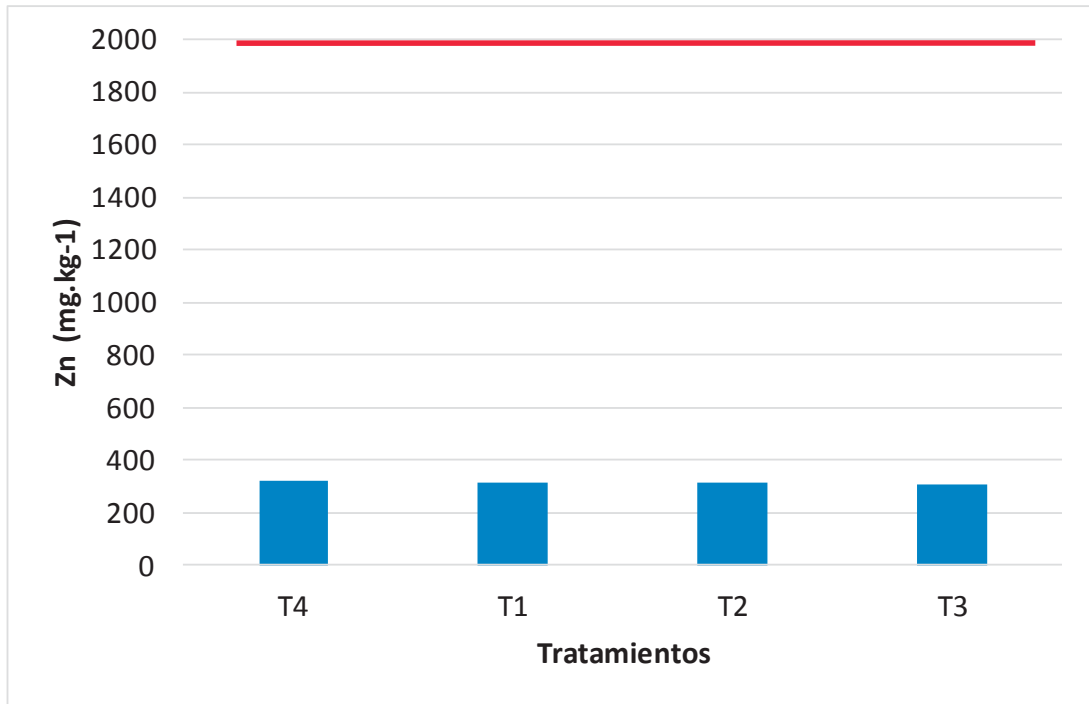


Figura 23: Contenido de zinc del compost final

4.1.12 Análisis de metales pesados

En el caso de los metales pesados (Cr, Cd, Pb), se obtuvieron los siguientes valores, tal como se muestra en la figura 24, 25 y 26 (Anexo 15).

Para poder realizar el análisis de estos elementos se utilizó el Método 05.02 – E del TMECC, en el cual se habla acerca de la evaluación de la biodisponibilidad final para seres humanos de Cd cuando es transferido del suelo a través de los alimentos es muy compleja. Por otro lado, cabe señalar, que nuestra propuesta de elaboración de compost a partir de restos vegetales tiene como fin poder reducir la cantidad de residuos vegetales y producir compost que se utilizará en áreas verdes públicas y no en cultivos de pan llevar.

Los valores de cadmio, cromo y plomo se encuentran por debajo de las concentraciones máximas de la norma chilena (NCh2880.Of2004).

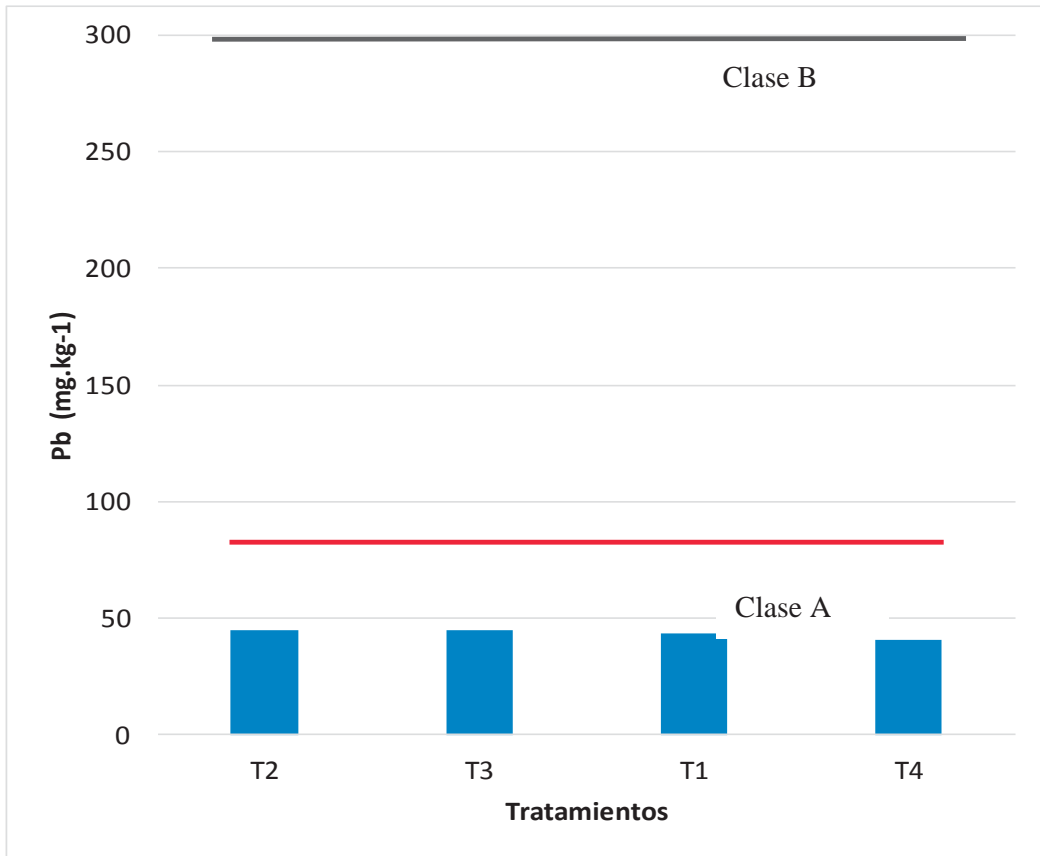


Figura 24: Contenido de plomo del compost final

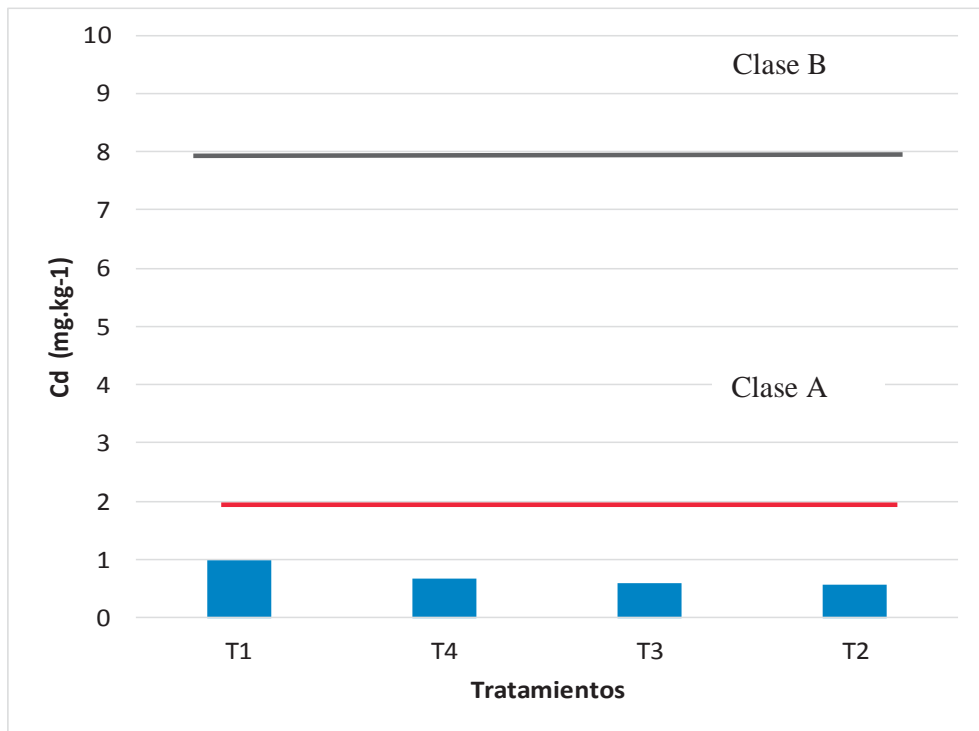


Figura 25: Contenido de cadmio del compost final

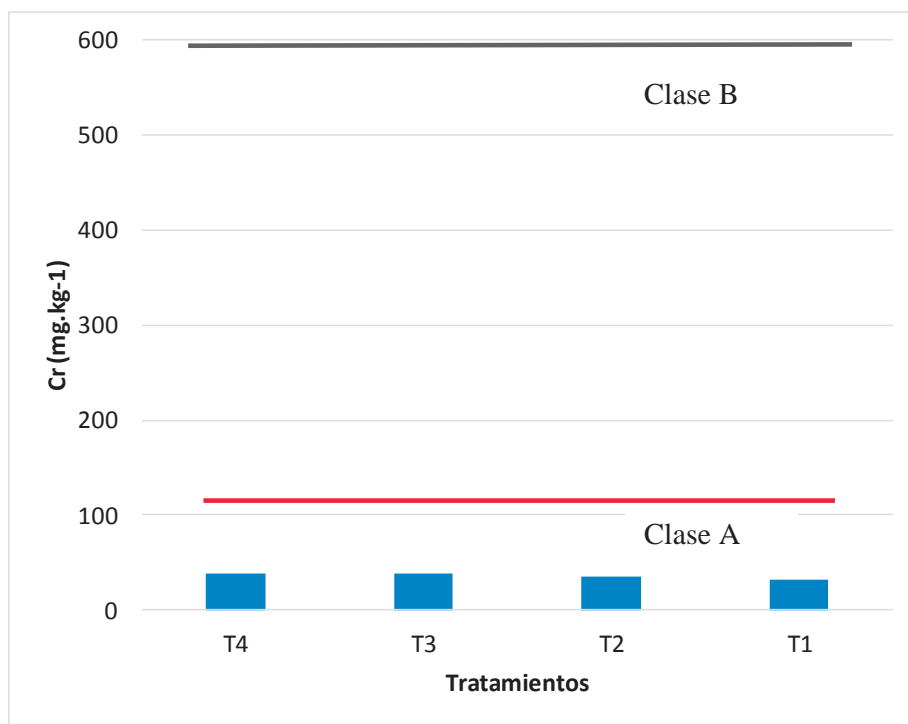


Figura 26: Contenido de cromo del compost final

Adicionalmente, se determinó en la presente propuesta las cantidades probables de metales pesados que se incorporarían mediante la aplicación de compost en las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores (Cuadro 8).

Cuadro 8: Contenido de metales pesados del compost final

	Pb (gr/ha)	Cd (gr/ha)	Cr (gr/ha)
T1	113.91	2.59	82.87
T2	114.80	1.43	89.28
T3	112.42	1.49	97.06
T4	100.17	1.61	94.03

Como se observa en el cuadro 8, la cantidad de metales pesados sería mínima, por lo que no habría posibilidad de que ésta reducida cantidad de metales pesados constituya un riesgo para la salud pública.

4.2 EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS

La unidad utilizada es Numero Más Probable (NMP) por gramo de compost en base seca. Los resultados obtenidos indican una mayor la presencia de patógenos, coliformes totales y fecales, en los tratamientos 1 y 3, donde se utilizó melaza (Cuadro 9).

La melaza, compuesta principalmente por azúcares (sacarosa, glucosa y fructuosa) (Vega-Baudrit, 2008), son algunos de los compuestos que sirven como soporte energético para todos los microorganismos que interactúan en el suelo (FAO, 2013).

Por otro lado, estos microorganismos son encontrados normalmente en los suelos, el aumento en su concentración también podría deberse a una mala higiene al momento de la recolección de los materiales vegetales para la presente propuesta.

Cuadro 9: Contenido de coliformes totales y coliformes fecales en el compost final

	Enumeración de Coliformes fecales (NMP/g)	Enumeración de Coliformes totales (NMP/g)
Tratamiento 1	8	2,800
Tratamiento 2	< 3	760
Tratamiento 3	19	48,000
Tratamiento 4	< 3	8,343

4.3 TEST DE GERMINACION DE ZUCCONI

Se obtuvieron valores mayores a 80% para el Índice de Germinación en los cuatro tratamientos, lo que indica que no hay una elevada concentración de sustancias fitotóxicas en el compost realizado (Figura 27).

Se observa que en los tratamientos 2 y 4 donde no se utilizó melaza, cuentan con un mayor índice de germinación, por lo que se sugiere que a través de repeticiones de tratamientos se pueda determinar que la melaza ha inhibido el desarrollo de radícula y plántula.

Cabe señalar que se observa mayores valores de % IG en los tratamientos donde se utilizó mayor cantidad de material vegetal, lo cual a través de repeticiones puede llevar a concluir que la mayor descomposición de material vegetal permite mejores condiciones para el desarrollo de las plantas en sus estados iniciales (Anexo 16).

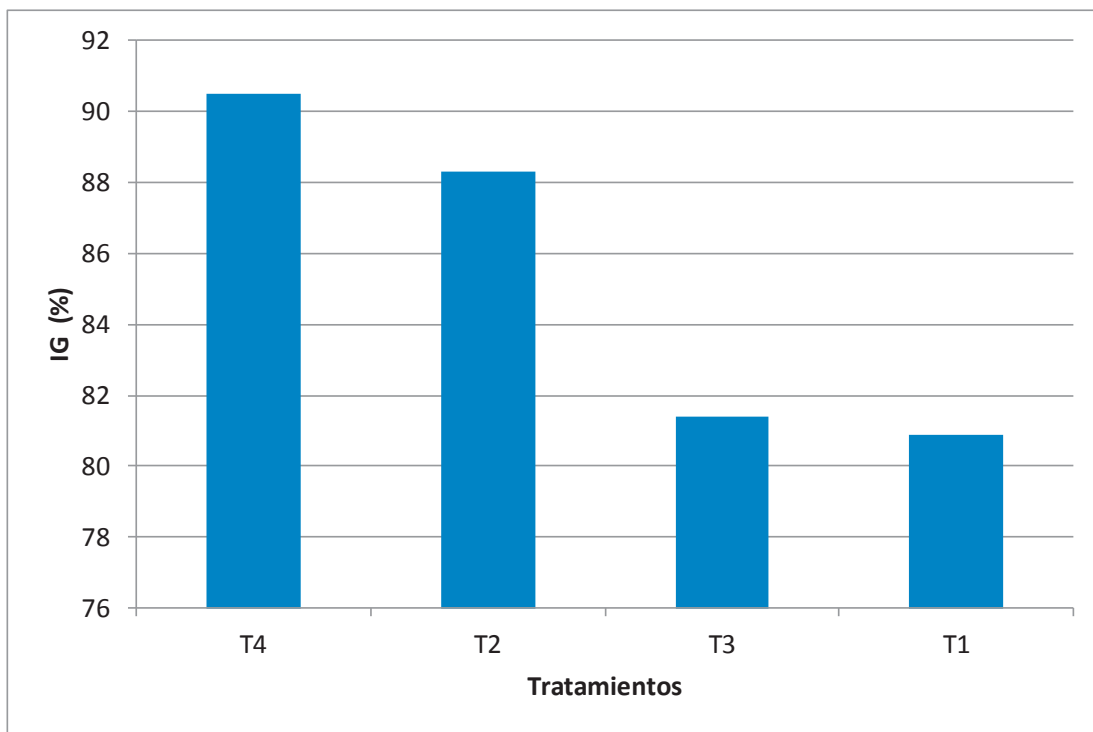


Figura 27: Test del índice de germinación en el compost final

4.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST

Se realizó el comparativo con la norma chilena (NCH2880.Of2004) y los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenidos de las evaluaciones realizadas a los cuatro tratamientos de compost en el Laboratorio de Suelos y el Laboratorio “Marino Tabusso” de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Cuadro 10).

Se verificó que, de acuerdo a sus características, los diferentes tratamientos podrían ser tipificados como compost Clase B. Estos tratamientos, tienen mayor contenido de humedad (Hd%) que el sugerido por la norma chilena. El compost requerido para la municipalidad, cuyo uso sería paisajístico, no requiere ser un compost de calidad; por lo

tanto, esto no constituiría un obstáculo para su uso. Sin embargo, dicho parámetro puede ser mejorado durante el proceso de compostaje con una mayor aireación en caso se desee obtener compost de una mejor calidad para fines comerciales o agrícolas.

Cuadro 10: Análisis Comparativo de los resultados de los tratamientos bajo la Norma Chilena 2880. Of 2004

Parámetros	Compost Inóculo	Tratamientos						Cumplimiento			Límites según Norma Chilena	
		T1	T2	T3	T4	Clase A	Clase B	Clase A	Clase B	Clase A	Clase B	
Densidad (Mg.m ⁻³)	-	0.54	0.54	0.57	0.51	Conforme	Conforme	<0.700	<0.700	<0.700	<0.700	
Ph	6.92	7.07	7.11	7.18	7.14	Conforme	Conforme	5,0-8,5	5,0-8,5	5,0-8,5	5,0-8,5	
C.E (dS/m)	8.9	3.85	3.9	3.59	3.61	No conforme	Conforme	< 3	< 3	< 3	< 3	
M.O (%)	31.55	34.08	33.83	33.34	33.09	Conforme	Conforme	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 20	
Hd (%)	46.76	47.18	48.82	49.45	51.09	No conforme	No conforme	30%-45%	30%-45%	30%-45%	30%-45%	
N (%)	1.57	1.71	1.58	1.58	1.51	Conforme	Conforme	≥ 0.5	≥ 0.5	≥ 0.5	≥ 0.6	
Cu (mg.kg ⁻¹)	-	99	87	80	74	Conforme	Conforme	< 100	< 100	< 1000	< 1000	
Zn (mg.kg ⁻¹)	-	314	313	308	325	No conforme	Conforme	< 200	< 200	< 2000	< 2000	
Pb (mg.kg ⁻¹)	-	43.13	44.86	44.48	40.96	Conforme	Conforme	< 100	< 100	< 300	< 300	
Cd (mg.kg ⁻¹)	-	0.98	0.56	0.59	0.66	Conforme	Conforme	< 2	< 2	< 8	< 8	
Cr (mg.kg ⁻¹)	-	31.38	34.89	38.4	38.45	Conforme	Conforme	< 120	< 120	< 600	< 600	
C. Fecales (NMP/g)	-	8	< 3	19	< 3	Conforme	Conforme	<1000	<1000	<1000	<1000	

4.5 DISEÑO DE PLANTA DE COMPOSTAJE

De acuerdo al proceso productivo del compost, se consideró en la presente propuesta, el flujograma del proceso productivo del compost dentro del vivero de la Municipalidad de Miraflores tal como se muestra en la figura 28.

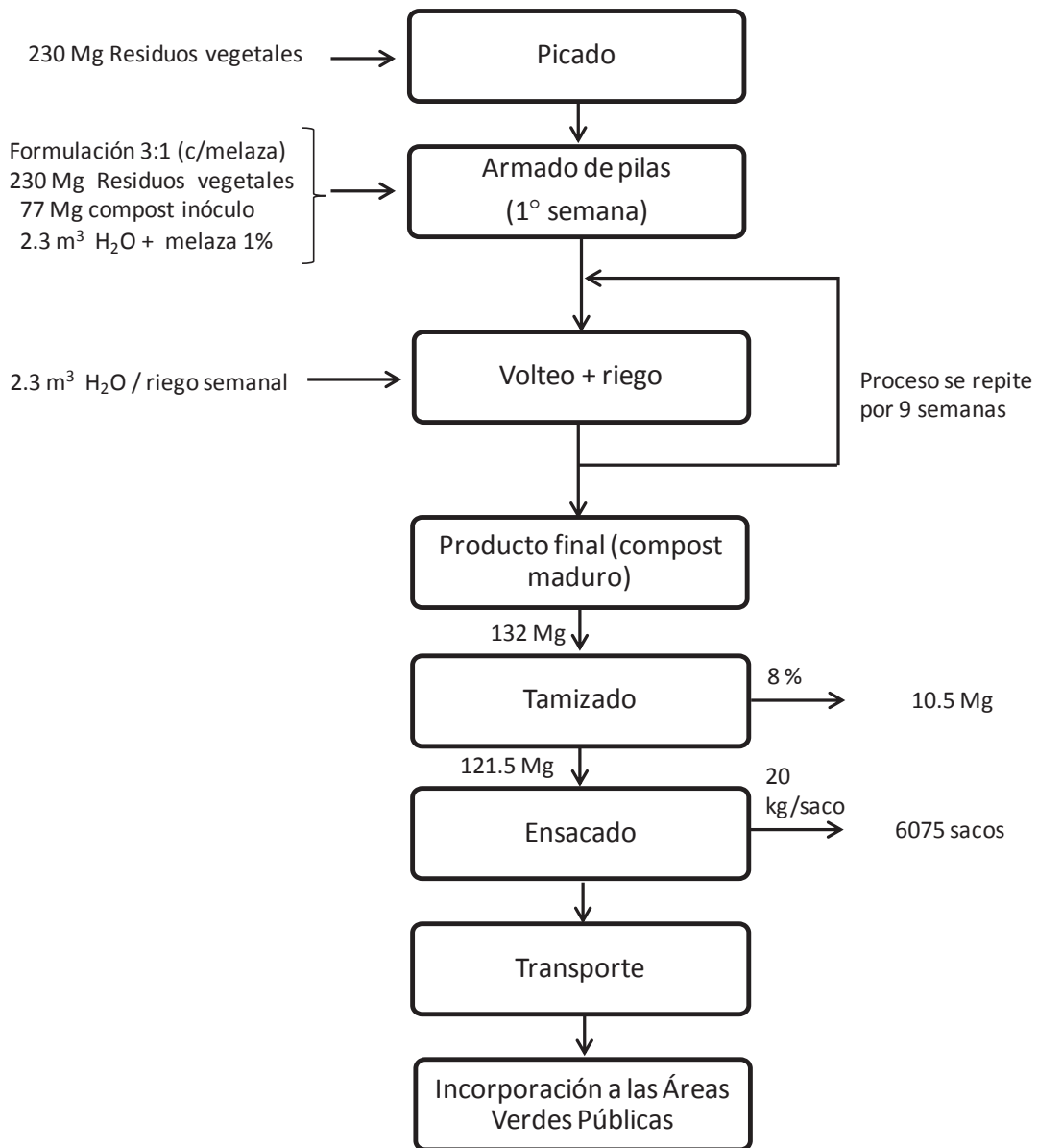


Figura 28: Flujograma de proceso de compostaje

Del mismo modo, los factores contemplados para el diseño de la planta de compostaje fueron los siguientes:

- **Suministro de material vegetal diario**

La municipalidad de Miraflores produce alrededor de 230 Mg mensuales de restos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas, las cuales son recolectadas de los puntos de acopio diario (lunes a sábado) en horario diurno.

- **Superficie del terreno**

Para lograr mayor ahorro de espacio en el dimensionamiento de la planta de compostaje, la propuesta contempla que los residuos vegetales sean depositados directamente en las pozas donde se formarán las pilas de compostaje. En las pozas, se realizará el picado como pre-tratamiento.

Las pilas tendrán las siguientes dimensiones:

Cuadro 11: Dimensionamiento pilas de compostaje

Dimensiones (metros)	
Largo	20.00
Ancho	1.50
Alto	1.20

De acuerdo a la producción estimada, se calculó 40 pilas para el procesamiento del material vegetal, cuyo requerimiento de área es de 4,100 m². Para la distribución de las pilas de compost dentro de la planta, se consideró espacios o caminos entre ellas de 1.5 metros de ancho. Para el ingreso de camiones y patio de maniobras se consideraron 3 pasadizos y el contorno de la poza de 5 metros de ancho. Además, se consideraron dentro de la propuesta del diseño el área para el acopio inicial, armado de pilas, volteo, riego, cosecha del compost maduro (tamizado, ensacado) y almacenes temporales.

- **Capacidad de procesamiento del material vegetal**

Siendo el recojo estimado 9 Mg/día, se recomendó el procesamiento del material cada tres días a fin de poder homogeneizar los residuos que se acopian y obtener un compost de mejor calidad. Se consideró el armado de 16 pilas por mes y, tomando

en cuenta que el ciclo de producción de compost es de 10 semanas, se traduce en 40 pilas de compost para tener una producción constante y una adecuada distribución de mano de obra.

Con una densidad promedio de 300 kg/m^3 (Cuadro 1), se calculó el armado de dos pilas semanales para un procesamiento de 54 Mg de materia prima y, con un factor de reducción de 43% de acuerdo a lo obtenido en la prueba comparativa, se obtuvieron 30.72 Mg de compost por cada 2 pilas de compostaje. Adicionalmente, se tomó en cuenta 8% de merma para el tamizado final, lo que resulta en 28,27 Mg de compost “comercial” por cada dos pilas procesadas con lo que se obtendrían 1413 sacos de 20 kg de compost semanales. Finalmente, de acuerdo a una producción semanal de 28,27 Mg, se obtuvo la producción total de la planta de 113.08 Mg.

- **Cantidad de personal**

Para el cálculo de la mano de obra, se consideró trabajos manuales de riego y volteo con 7 trabajadores (Anexo 21), de esta manera se aseguró el volteo y riego de una pila en medio día de jornada con 2 trabajadores. Por lo tanto, se requieren 2 trabajadores para el volteo de 2 pilas diarias y 7 personas para las 40 pilas mensuales.

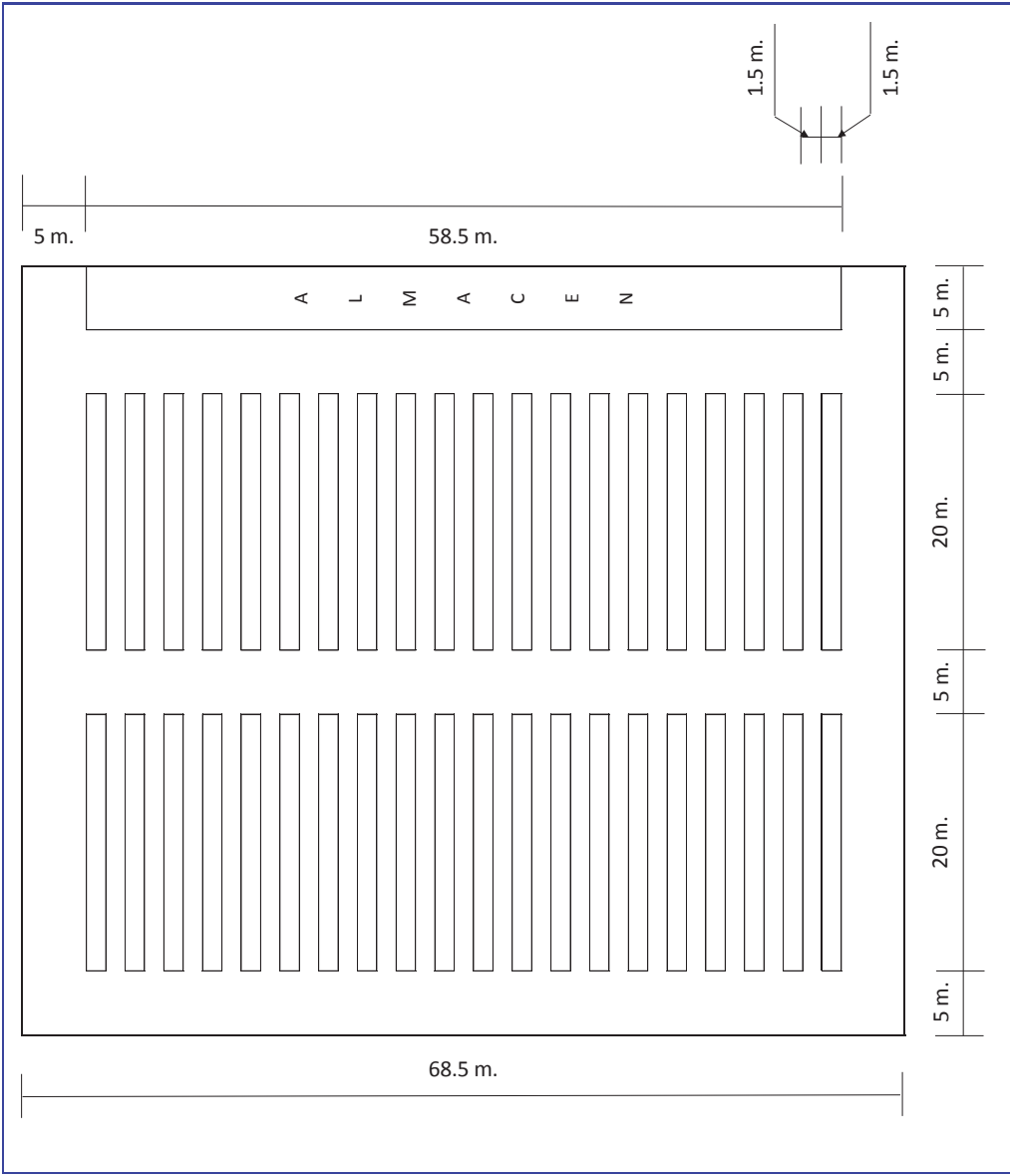


Figura 29: Distribución de planta de compostaje

4.6 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE LA PROPUESTA

En la actualidad, la Municipalidad de Miraflores genera 230 Mg. mensual de residuos sólidos provenientes del mantenimiento de 1, 200, 000 m² áreas verdes públicas del distrito. El tonelaje, en su totalidad, es enviado directamente al relleno sanitario para su disposición final sin considerar su reaprovechamiento.

De acuerdo a los resultados hemos podido ver que los cuatro tratamientos pueden ser calificados dentro de la normativa chilena y se adapta a las necesidades de la municipalidad tanto en la calidad del material como en cantidad. Asimismo, el cambio en la actual gestión con la implementación de la presente propuesta, contribuiría a una gestión sustentable en la municipalidad. Es por ello que, se realizó el análisis de la rentabilidad de la propuesta con la finalidad de evaluar la viabilidad económica en su implementación.

En este sentido, la presente propuesta calculó el requerimiento potencial de compost para su aplicación en las áreas verdes públicas del distrito (Anexo 17). Este requerimiento fue utilizado para obtener los costos del proceso de compostaje necesario para convertir la materia prima a procesar (residuos sólidos provenientes del mantenimiento de las áreas verdes) en el compost requerido. El costo actual del manejo de los residuos que se obtiene del manejo de los 1, 200, 000 m² de áreas verdes del distrito, asciende a S/. 1, 185,617.00 mensuales por concepto de poda, transporte y disposición final concerniente a los residuos vegetales de las áreas verdes (230 Mg.m⁻³) (Cuadro 11).

Cuadro 12: Costos del manejo actual residuos vegetales

Ítem	Monto	Unidad
Costo de transporte de residuos en ruta y mano de obra directa	1,008,000	S/. / Mes
Fertilizantes	148,637	S/. / Mes
Transporte de residuos al punto de acopio	28,980	S/. / Mes
Total	1,185,617.00	S/. / Mes

Para realizar en el análisis de rentabilidad de la presente propuesta, se consideró los costos de la gestión actual del manejo de residuos sólidos de la Municipalidad de Miraflores y se realizó un análisis comparativo de costos de la propuesta de gestión de este proyecto.

Los costos considerados para la presente propuesta de gestión fueron los siguientes:

a. Materia Prima (MP):

Se tomó como datos fijos los costos de pabilo, sacos, compost de inóculo (30 Mg) y melaza a utilizar durante el proceso de compostaje. El costo final de la melaza se obtuvo a partir del precio unitario de la misma por la cantidad de maleza a procesar (Anexo 18 y Anexo 19). Para el costo de la maleza se tomó en cuenta el costo de transporte por las 230 Mg que se descuentan del costo de mantenimiento de las áreas verdes. Del mismo modo, para el costo del agua requerida, se realizó la comparación entre los costos de agua del proceso de San Fernando (agua de pozo) y los precios por m³ de agua en el distrito de Miraflores (Anexo 20).

b. Mano de obra directa (MOD):

Se consideró el sueldo de 07 operarios directos y 01 persona para el ensacado. Se tomaron en cuenta los requerimientos de mano de obra proporcionados por la planta de abonos orgánicos de San Fernando (Anexo 21).

c. Costos Indirectos de Fabricación (CIF):

Para los costos indirectos de fabricación, se consideró el sueldo de 01 técnico agropecuario, 01 cuidador de planta y los materiales diversos a utilizar (picos, palas, etc.), las cuales se renuevan cada 06 meses, obteniendo un costo mensual para la evaluación (Anexo 22).

d. Gastos Administrativos:

Están conformados por el sueldo de 01 administrador, y los gastos por servicios (Anexo 23).

e. Otros gastos:

En éstos gastos, se encuentran considerados los gastos por uso de fertilizantes y la diferencia del costo de mantenimiento con el costo de transporte de las 230 Mg de maleza (Anexo 24 y Anexo 25).

De esta manera, al no existir inventarios de productos en proceso, ni inventarios de productos terminados, el Costo de Producción (MP + MOD + CIF) viene a ser directamente el Costo de Ventas (Cuadro 12).

Para el cálculo de los ingresos de ventas, se está tomando como dato el costo por el manejo actual de la Municipalidad de Miraflores. Al costo de ventas obtenido, le añadimos los gastos administrativos y otros gastos, dando como resultado un ahorro de S/. 535.70 mensuales.

Cuadro 13: Costos de venta de la propuesta

Concepto	S/.
Materia Prima	33,413.85
Mano de Obra Directa	12,491.65
<u>Costo Indirecto de Fabricación</u>	<u>7,433.33</u>
Costo de Producción	53,338.83
Inventario Inicial Productos en Proceso	-
<u>(Inventario Final Productos en Proceso)</u>	<u>-</u>
Costo de Productos Terminados	53,338.83
Inventario Inicial Productos Terminados	-
<u>(Inventario Final Productos Terminados)</u>	<u>-</u>
Costo de Ventas	53,338.83

Tomando en cuenta todas las variables antes mencionadas, y con un tiempo de vida del proyecto de 04 años, podemos realizar el flujo económico para analizar la rentabilidad del proyecto. Dicho flujo dio como resultado un ahorro de más de 5,106.22 nuevos soles en valor actual a lo largo del proyecto (Cuadro 13).

Cuadro 14: Análisis de rentabilidad de la propuesta

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
COMPOST INOCULO	-24,233.33				24,233.33
HERRAMIENTAS	-3,000.00				3,000.00
MAQUINARIA	-4,950.00				4,950.00
FLUJO DE INVERSION	-32,183.33	-	-	-	32,183.33
VENTAS / INGRESOS (PRESUPUESTO O GASTO ACTUAL)		14,227,404.00	14,227,404.00	14,227,404.00	14,227,404.00
COSTO DE VENTAS		-640,066.01	-640,066.01	-640,066.01	-640,066.01
UTILIDAD BRUTA		13,587,337.99	13,587,337.99	13,587,337.99	13,587,337.99
GASTOS ADMINISTRATIVOS		-116,000.00	-116,000.00	-116,000.00	-116,000.00
OTROS GASTOS		-13,463,919.60	-13,463,919.60	-13,463,919.60	-13,463,919.60
DEPRECIACION		-990.00	-990.00	-990.00	-990.00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		6,428.39	6,428.39	6,428.39	6,428.39
FLUJO OPERATIVO	535.70	6,428.39	6,428.39	6,428.39	6,428.39
FLUJO ECONOMICO	-31,647.63	6,428.39	6,428.39	6,428.39	38,611.72

COK 15%

VAN 5,106.22 > 0, SI CONVIENE

TIR 21% > COK, SI CONVIENE

I.R 1.16 PERIODO DE RECUPERACIÓN: 3.77 años

* La municipalidad, por ser una entidad estatal, no está afectada al pago del impuesto a la renta.

** La municipalidad, en un periodo de 4 años, ahorrará en valor presente, la cantidad de S/. 5,106.22

V. CONCLUSIONES

1. Se demostró la viabilidad económica y técnica de la producción de compost a partir de residuos vegetales provenientes del mantenimiento de áreas verdes públicas en el distrito de Miraflores, usando como inóculo compost maduro.
2. Se demostró que el compost maduro utilizado como inóculo al inicio del proceso de compostaje, tiene la capacidad de contribuir con microorganismos y representa un inóculo alternativo sin poner en riesgo la salud pública y la armonía del medio ambiente. Asimismo, se demostró que el uso de melaza contribuye a activar la dinámica microbiana.
3. La propuesta tiene el potencial de evitar enviar 230 Mg mensuales de residuos vegetales a un relleno sanitario gracias a la elaboración de compost como nueva propuesta de gestión ambiental de residuos y de ser sostenida en su ciclo productivo, el inóculo será obtenido en la misma producción.
4. El compost obtenido como resultado de los diferentes tratamientos podría ser tipificado en la Clase B según la norma chilena (Nch2880.Of2004).
5. Se demostró que la propuesta de elaboración de compost a partir de residuos vegetales provenientes del mantenimiento de áreas verdes públicas en el distrito de Miraflores es rentable y ahorrará en valor presente la cantidad de S/. 5,106.22 nuevos soles al implementar la presente propuesta de gestión.
6. Al haber realizado una prueba comparativa para la presente propuesta, no se realizaron estudios estadísticos para los parámetros físicos, químicos y biológicos de los tratamientos con melaza y sin melaza, ni la relación a la cantidad de material vegetal y compost de inóculo. Esto permitiría corroborar los resultados obtenidos.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar repeticiones de los tratamientos que se han llevado a cabo, con la finalidad de obtener un estudio estadístico adecuado para corroborar los resultados obtenidos de la presente propuesta y poder determinar la formulación de un tratamiento seleccionado.
2. Se recomienda diseñar un sistema de gestión integral de residuos sólidos vegetales provenientes del mantenimiento de áreas verdes públicas del distrito de Miraflores, que incluya la elaboración de compost considerando la información obtenida de la presente propuesta.
3. Realizar alianzas estrategias o convenios con organismos nacionales y / o internacionales para que puedan llevar a cabo la implementación de una planta modelo de procesamiento de residuos sólidos vegetales provenientes del mantenimiento de áreas verdes públicas para la elaboración de compost.
4. Se recomienda realizar un picado más fino de la materia prima (restos vegetales) para obtener un menor diámetro de partículas a fin de facilitar el proceso de descomposición en el compostaje. Además, se recomienda la impermeabilización del fondo de la poza con la finalidad de evitar la infiltración de los lixiviados generados durante el proceso de compostaje.
5. Se recomienda realizar un análisis del agua que se utilizará en el proceso de compostaje a fin de disminuir la concentración de sales en el compost que será utilizado para la fertilización de las áreas verdes públicas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alarcón, F. 2004. Evaluación del uso de diferentes técnicas biotecnológicas para la producción de compost. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Post Grado Ciencias. 82 p.
- Altamirano, M; Cabrera, C. 2006. Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual (en línea). Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, UNMSM. v. 9. no 17. Consultado 25 mar. 2012. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v9n17/a10v9n17.pdf>
- Avendaño, R. 2003. El Proceso de Compostaje. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Pontifica Universidad Católica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 38 p.
- Bazán, L. 1996. Manual para el análisis químico. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina - Fundación Perú. 74 p.
- Binner, E. 2014. Curso internacional de compostaje. Fundamentos y diseño de plantas de compostaje. 24, 25 y 26 de Abril, Lima-Perú.
- Blank, L.; Tarquin, A. 2003. Ingeniería Económica. Colombia. McGraw – Hill, 5 ed. 740 p.
- Chapman, M; Pratt, P. 1981. Métodos para análisis de suelos, plantas y aguas. México. Trillas. 3 ed. 195 p.
- Chefetz, B., P. Hatcher, Y. Hadar, y Y. Chen. 1996. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. Revista Environmental Quality. no 25, p. 776 – 785.
- Chilón, E. 2010. Compostaje alto andino, suelo vivo y cambio climático (en línea). CienciAgro. v. 2. no. 1. Consultado 01 may. 2012. Disponible en: http://www.ibepa.org/index-Dateien/221-227_chilon.pdf
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente. CH). 2004. Norma de calidad del compost, clasificación y requisitos (en línea). Instituto Nacional de Normalizacion. INN CHILE. NCh. 2880.Of2004. Consultado 20 abr. 2012

Disponible en http://www.sinia.cl/1292/articles-32296_Norma.pdf

- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1992, Rio de Janeiro). Cap. 20.
- Corona, A. 2007. Efecto de dos formas de descomposición y tres tipos de estiércol en calidad del compost agrícola. Tesis Agrónomo. San Cristóbal, Republica Dominicana. Instituto Politécnico Loyola. Escuela de Agronomía. 51 p.
- Coronado, C.M. 2010. Efecto de factores físico-químicos sobre las poblaciones microbianas mesófilas nativas provenientes de biodigestores artesanales. Tesis Biólogo. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad Ciencias. 185 p.
- Del Pozo, A. 2008. Evaluación del proceso de compostaje de estiércol de vacuno empleando buenas prácticas de manejo. Tesis Zootecnia. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad Zootecnia. 102 p.
- Durán, L; Henríquez, C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos (en línea). *Agronomía Costarricense*. v. 31. no. 1. Consultado 25 mar. 2012. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v31n01_041.pdf
- Fajardo, E.; Sarmiento, S. 2007. Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae* (en línea). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. Consultado 5 jul. 2015. Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis26.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization, US). 2013. Manual de compostaje del agricultor, experiencias en Latinoamérica. 112 p.
- GRAMA (Grupo de Accion para el Medio Ambiente, ES). 2005. Manual del Buen Compostador. 18 p.
- Guccione, L. 2009. Tratamiento de residuos orgánicos del comedor universitario de la UNALM para su uso como alimento para cerdos en crecimiento. Tesis Ingeniero Ambiental. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad Ciencias. 122 p.
- Guerrero, J. 1993. Abonos orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico del suelo. Lima, Edición RAAA (Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos). 89 pp.

- Havlin, J., Tisdale, S., Werner, L., Beaton, J. 2005. Soil Fertility and fertilizers. New Jersey. Pearson Prentice Hall. 528 p.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods, US). 1983. 2 ed. v.1, pt. 2. Trad. Editorial Acribia. 1988.
- Ingelmo, F.; Ibáñez, A. 1998. Runoff and infiltration in soils amended with sludge under dry Mediterranean climate. Ecosystems and Sustainable Development: 1 Advances in Ecological Sciences. Boston. Computational Mechanics Publications. 520 p.
- Ingelmo, F., Martínez, F.; Roger, S. 2007. Utilización de lodos compostados como técnica sostenible para la mejora de las características hídricas de un suelo agrícola degradado. Revista Residuos. no. 95, p. 78 - 82.
- INTEC (Instituto Tecnológico de Chile, CH). 1997. Manual de compostaje. Corporación de Investigación Tecnológica.
- Iparraguirre, R. 2007. Tipos de excretas y degradación aeróbica del estiércol en el compostaje. Tesis Ingeniero Zootecnista. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad Zootecnia. 115 p.
- Kay, B.; Angers, A. 2002. Soil structure. Florida. Warrick CRC Press. 295 p.
- Labrador, J. 1996. La Materia orgánica en los agros sistemas: Aproximación al conocimiento de la dinámica, la gestión y la reutilización de la materia orgánica en los agros sistemas. Madrid. Mundi - Prensa Libros. 293 p.
- Lund, H. 1996. Manual de reciclaje. Madrid. McGraw-Hill. v. 1, cap. 18.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of higher plants. Londres. Elsevier Science Ediciones. 2 ed. 862 p.
- Mathur, P. Composting processes. Essex. Elsevier Science. p. 147 - 183
- MINAM (Ministerio Nacional del Ambiente, PE). 2005. Ley General del Ambiente no 28611.
- MINSA – MTC (Ministerio de Salud – Ministerio de Transportes y Comunicaciones, PE). 2000. Ley General de Residuos Sólidos no 27314
- Miyashiro, I. 2014. Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas. Tesis Ingeniero Ambiental. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad Ciencias. 149 p.
- MML (Municipalidad Metropolitana de Lima, PE). 2003. Ordenanza Municipal 525.

- MM (Municipalidad de Miraflores, PE). 2004. Ordenanza Municipal 154.
- MM (Municipalidad de Miraflores, PE). 2006. Ordenanza Municipal 243.
- Moreno, J. 2008. Compostaje. Madrid. Mundi – Prensa Libros. 570 p.
- Navarro, R. 2002. Manual para hacer composta Aeróbica. CESTA (Amigos de la tierra El Salvador, SV). p. 27. Consultado 05 may. 2014. Disponible en <http://latinamericacaribbean.recpnet.org/uploads/resource/cc1bd87a29c857c262b2655a94510754.pdf>
- NTC (Norma Técnica Colombiana, CO). 2004. NTC 5167.
- NTEA (Norma Técnica Estatal Ambiental, MX) 2006. NTEA – 006 – SMA – RS - 2006
- OPS/CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2002. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. 303 p. Consultado 05 may. 2014. Disponible en <http://www.redriss.pe/material/20090128200240.pdf>
- OPS (Organización Panamericana de la Salud, UR) 1999. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. 69 p.
- PCM (Presidencia del Consejo de Ministros, PE). 1996. Ley no 26664. Disposiciones referidas a la administración de las áreas verdes de uso público.
- PCM (Presidencia del Consejo de Ministros, PE). 2005. Reglamento Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Pajuelo, D. 2006. Reciclaje de lodos residuales de la industria de papel mediante la técnica de compostaje. Tesis Ingeniero Ambiental. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad Ciencias. 99 p.
- Peralta, R. 2010. Determinación de parámetros óptimos en la producción de fast biol usando las excretas del ganado lechero del establo de la UNALM. Tesis Biólogo. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad Ciencias. 120 p.
- Prieto, C. 2003. Basuras: Manejo y transformación práctico - económico. Bogotá. Ecoe. 98 p.
- Primer simposio sobre biofábricas: Biología y aplicaciones de la célula cultivada. 2002. Técnicas empleadas en el aislamiento y cultivo de los microorganismos anaerobios del rumen. Jaramillo, M. Medellín, Colombia. 9 p.

- Puerta, S. 2004. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos (en línea). Revista Lasallista de Investigación. v. 1. no.1. Consultado 26 mar. 2012. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511009>
- Rico, A. 2013. Identificación e implementación de la AGENDA 21 relativa a gestión de residuos sólidos orgánicos y aguas residuales asimilables a urbanas en proyectos de la contraparte BEL AVENIR, Tulear, MADAGASCAR (en línea). UCLM Toledo. Máster Cooperación Internacional para el desarrollo. Consultado 20 jul. 2015. Disponible en: <http://www.uclm.es/fundacion/masterCooperacion/Ii/pdf/proyectos/pfm/ALICIA%20RICO.pdf>
- Romero, C.; Chirinos, R.; López, R. 2004. Elaboración de un abono orgánico a partir de la cáscara de la semilla del árbol de Neem (*Azadirachta indica*) (en línea). Ingeniería UC. p. 35 - 40. Consultado 27 mar. 2012. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/707/70711105.pdf>
- Röben, E. 2002. Manual de compostaje para municipios.(en línea). Loja. Ilustre Municipalidad de Loja. p. 26 – 29. Consultado 24 mar. 2012. Disponible en <http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>
- Sanclemente, O.; García, M.; Valencia, F. 2011. Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Saccharum officinarum*). Revista de Investigación Agraria y Ambiental. v. 2. no 2, p. 13 – 19.
- Soria, M.J.; Ferrera-Cerrato, R.; Etchevers, J.; Alcántar, G.; Santos, J.T.; Borges, L.; Pereyda, G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Revista Terra. v. 19. no. 4, p. 353-362.
- Tchobanoglous, G. 1997. Gestión integral de residuos sólidos. Madrid. McGraw - Hill. 2 ed. v. 1, 1120 p.
- US Composting Council. TMECC (Test Method for the Examination of Composting and Compost)
- Vega-Baudrit, J.; Delgado, K.; Sibaja, M. Alvarado, P. Barrientos, S. 2008. Empleo de melaza de caña de azúcar para la obtención y caracterización de poliuretanos potencialmente biodegradables I (en línea). Revista Iberoamericana de Polímeros. v. 9. no. 4. p. 407 – 421. Consultado 05 abr. 2012. Disponible en <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/JUL08/vega2.pdf>

- Zucconi, F.; Pera, A.; Forte, M.; De Bertoli, M. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle*. v. 22, p. 54-57.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Características físicas de la materia prima

	Peso (kg.)	% ⁽¹⁾
Leñoso Grueso	0.11	4.35
Leñoso Medio	0.04	1.54
Leñoso Delgado	0.99	38.21
Hojas	0.08	3.16
Corte de césped	1.08	41.71
Inflorescencia	0.01	0.50
Semillas	0.02	0.77
Otros	0.25	9.77
Total	2.60	100.00

⁽¹⁾ Porcentaje en relación peso / peso

Anexo 2: Descripción de las formulaciones de tratamientos

Tratamientos	Compost (%)	Material vegetal ⁽¹⁾ (%)
T 1	33.33	66.67
T 2	33.33	66.67
T 3	25.00	75.00
T 4	25.00	75.00

⁽¹⁾ peso fresco / peso fresco

Anexo 3: Evaluación de la temperatura durante el proceso de compostaje

Semana	Temperatura (°C)			
	T1	T2	T3	T4
0	18	18	18	18
1	43	44	46	45
2	53	56	55	54
3	65	68	67	64
4	59	60	58	57
5	48	46	47	44
6	43	42	45	44
7	31	33	35	34
8	26	27	24	25
9	24	25	22	23
10	20	23	21	22

Anexo 4: Evaluación del pH durante el proceso de compostaje

Semana	pH			
	T1	T2	T3	T4
0	7.05	7.10	7.16	7.15
1	7.10	7.12	7.15	7.11
2	5.10	5.05	5.08	5.11
3	7.50	7.47	7.48	7.52
4	7.42	7.41	7.39	7.43
5	7.39	7.39	7.35	7.38
6	7.35	7.36	7.33	7.34
7	7.31	7.30	7.28	7.29
8	7.24	7.21	7.23	7.22
9	7.12	7.14	7.20	7.18
10	7.07	7.11	7.18	7.14

Anexo 5: Densidad aparente del compost final

Tratamientos	Densidad (Mg.m⁻³)
T 1	0.54
T 2	0.54
T 3	0.57
T 4	0.51

Anexo 6: Contenido de humedad del compost final

Tratamientos	Hd (%)
T 1	47.18
T 2	48.82
T 3	49.45
T 4	51.09

Anexo 7: pH del compost final

Tratamientos	pH
T 1	7.07
T 2	7.11
T 3	7.18
T 4	7.14

Anexo 8: Conductividad eléctrica del compost final

Tratamientos	C.E (dS/m)
T 1	3.85
T 2	3.90
T 3	3.59
T 4	3.61

Anexo 9: Materia orgánica del compost final

Tratamientos	M.O (%)
T 1	34.08
T 2	33.83
T 3	33.34
T 4	33.09

Anexo 10: Carbono total del compost final

Tratamientos	Carbono Total (%)
T 1	19.77
T 2	19.62
T 3	19.34
T 4	19.19

Anexo 11: Contenido de nitrógeno del compost final

Tratamientos	N (%)
T 1	1.71
T 2	1.58
T 3	1.58
T 4	1.51

Anexo 12: Relación C:N

	Relación C/N
T1	11.56
T2	12.42
T3	12.24
T4	12.71

Anexo 13: Análisis de fertilidad del compost final

Tratamientos	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na (%)
T 1	1.59	1.08	7.63	1.35	0.21
T 2	1.42	1.1	7.01	1.47	0.21
T 3	1.58	1.12	7.21	1.24	0.21
T 4	1.55	1.12	7.01	1.22	0.22

Anexo 14: Contenido de microelementos en el compost final

Tratamientos	Fe (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)
T 1	14466	74	325	429	65
T 2	14656	80	308	410	66
T 3	15589	87	313	412	72
T 4	15619	99	314	416	65

Anexo 15: Contenido de metales pesados en el compost final

Tratamientos	Pb (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)
T 1	43.13	0.98	31.38
T 2	44.86	0.56	34.89
T 3	44.48	0.59	38.4
T 4	40.96	0.66	38.45

Anexo 16: Índice de germinación

	IG (%)
T1	80.90
T2	88.30
T3	81.38
T4	90.49

Anexo 17: Cálculo de requerimiento de compost

Requerimiento de compost en áreas verdes	Cantidad	Unidad
Áreas verdes	1, 200, 000	m ²
Demanda de compost	0.50	kg/m ²
Demanda total	600, 000	kg
Demanda total	600	Mg
Reduce a	43.20	%
Mg de materia prima para procesar	230	Mg

Anexo 18: Costos de materia prima para la propuesta de compostaje

Materia Prima (MP)	Costo (S/.)
Sacos	2,672.73
Pabilo	49.68
Melaza	514.00
Agua	10,411.30
Maleza	19,780
Total	33,413.85

Anexo 19: Cálculo del requerimiento de melaza

Requerimiento melaza	Cantidad	Unidad
Dilución teórica	100mL en 10 L	
Humedecimiento por tratamiento	50	L
Melaza por pila	500	mL/pila
Densidad de la melaza	1.50	g/mL
Requerimiento melaza	0.75	kg melaza/tratamiento
Maleza por pila	70	kg maleza/tratamiento
Melaza por tn de maleza	10.71	kg melaza/Mg maleza
Costo melaza	0.47	S/./kg
Costo melaza por tn maleza	5.04	S/. / Mg maleza

Anexo 20: Cálculo del costo y requerimiento de agua

Calculo Agua	
Costo agua Miraflores	4.50
Costo agua pozo	0.07
S/. Agua / Tn SF	1.63
S/. Agua / Tn Miraflores	104.79
Toneladas finales compost	60
S/. Agua	6,287.14

Anexo 21: Costos mano obra directa

Mano de obra directa (MOD)	Costo (S/.)
Sueldo 7 operarios directos	11,200.00
Sueldo operadores por ensacado	1,291.65
Total	12,491.65

Anexo 22: Costos indirectos de fabricación

Costos indirectos de fabricación (CIF)	Costos (S/.)
Sueldo 1 técnico agropecuario	5,333.33
Sueldo 1 cuidador de planta	1,600.00
Picos, palas, etc (cada 6 meses)	500.00
Total	7,433.33

Anexo 23: Gastos administrativos

Gastos administrativos	Costos (S/.)
Sueldo 1 administrador	4,666.67
Pago de servicios	5,000.00
Total	9,666.67

Anexo 24: Otros gastos

Otros gastos	Costos (S/.)
Fertilizantes	133,773.30
Costo de mantenimiento sin melaza	988,220.00
Total	1,121,993.30

Anexo 25: Cálculo de costos por aplicación de fertilizantes

Fertilizante (compost reemplaza 40% de uso en fertilizantes)	Monto	Unidad
Uso de fertilizante actual	148,637.00	S/. / Mes
Uso de fertilizante con la propuesta	133,773.30	S/. / Mes