

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**EVALUACIÓN DEL COMPOST A PARTIR DE LOS RESIDUOS
ORGÁNICOS DEL CENTRO DE ABASTOS GRAU PARA EL
MEJORAMIENTO DE SUELOS DEL DISTRITO LA YARADA – LOS
PALOS, TACNA – 2018.**

Tesis presentada por el Bachiller:

Torres Yabar, Carolina

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Arenazas Rodríguez, Armando

Jacinto

Arequipa –Perú

2019



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
INFORME DICTAMEN BORRADOR DE TESIS

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

EVALUACIÓN DEL COMPOST A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DEL
CENTRO DE ABASTOS GRAU PARA EL MUESTRAMIENTO DE SUELOS DEL DISTRITO LA VARADA DOS PALOS,
TACNA - 2018

Presentado por el (los) Bachiller (es):


CAROLINA TORRES YABAR

Nuestro DICTAMEN es:


CONFORME, APTA PARA SUSTENIR

OBSERVACIONES:


Arequipa 24 de Setiembre 2019



DICTAMINADOR
Inge. Marie Elizabeth Bojarrano Ureaga
Cód. 9205



DICTAMINADOR
M.Sc. Ing. Andrea Chonata Parraguez
Cód. 3196.



DICTAMINADOR

Dr. Blgo. Fernando Arenazas Rodríguez
Cód. 2029

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme fortaleza.

A mis padres Julio y Elba, por apoyarme siempre en cada una de mis metas, por su amor y confianza, por enseñarme que todo se puede lograr con paciencia y sacrificio, por enseñarme a través de su ejemplo a ser una persona y profesional con valores. A mis hermanas Estephania y Karen, por su apoyo y compañía incondicional.

Carolina Torres Yabar

AGRADECIMIENTOS



Primero y como más importante, me gustaría agradecer sinceramente a mi asesor MSc. **Armando Jacinto Arenazas Rodríguez**, por su inestimable ayuda. Sus conocimientos y orientaciones han sido fundamentales para el logro de la tesis. A la Dra. **María Elizabeth Bejarano Meza**, por su desinteresada colaboración y paciencia durante el desarrollo de la tesis. Al ing. **Waldir Montalvo**, por su apoyo en la toma de muestras de suelo y elaboración de compost. A la “**Empresa prestadora de servicios**” – **EPS**, por su colaboración y préstamo de equipos.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTOS | |
| ÍNDICE | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| ÍNDICE DE ANEXOS | |
| LISTA DE ABREVIATURAS | |
| RESUMEN | |
| ABSTRACT | |
| INTRODUCCIÓN | |
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1. GENERALIDADES | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2 Diagnóstico situacional | 1 |
| 1.3 Formulación del problema | 3 |
| 1.4 Hipótesis | 3 |
| 1.5 Objetivos | 3 |
| 1.6 Justificación del problema | 4 |
| 1.7 Definición de las variables | 4 |
| CAPÍTULO II | 6 |
| 2. FUNDAMENTO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 6 |
| 2.2 Marco legal | 8 |
| 2.3 Marco teórico | 9 |
| 2.3.1 Manejo de residuos solidos | 9 |
| 2.3.2 Parámetros en el proceso del compostaje aeróbico | 12 |
| 2.3.3 Sistema de Compostaje | 16 |

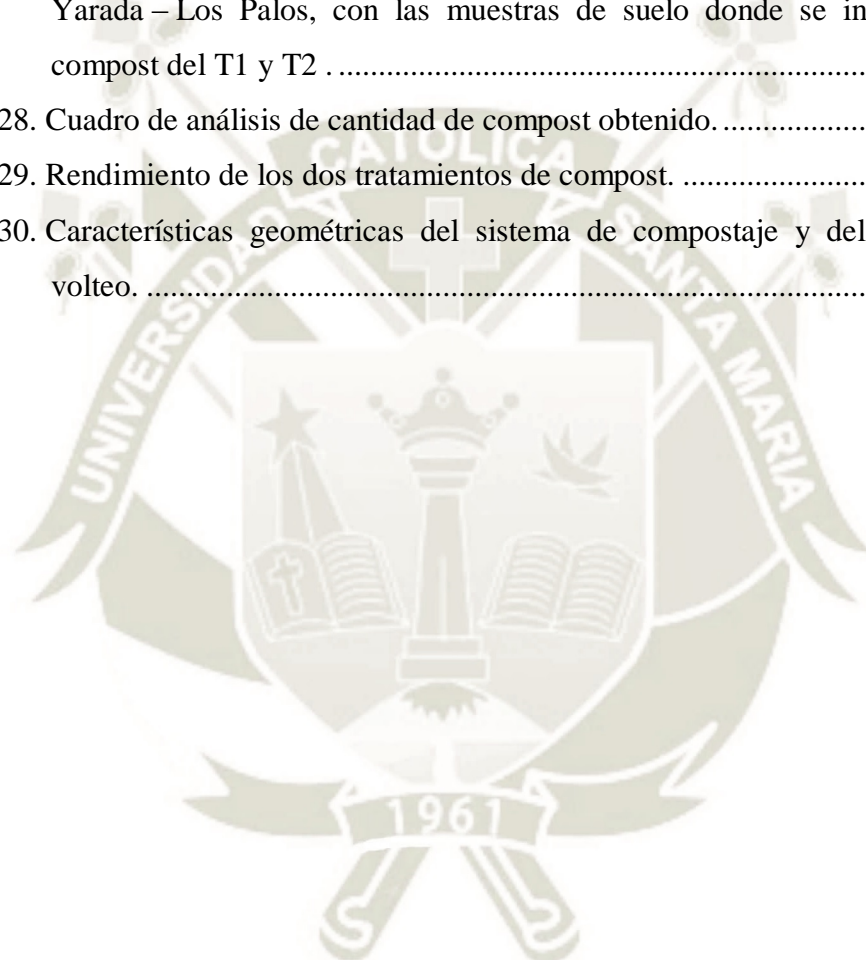
| | | |
|--|---|----|
| 2.4 | Marco conceptual | 23 |
| CAPITULO III | | 24 |
| 3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION | | 24 |
| 3.1 | Tipo de investigación | 24 |
| 3.2 | Campo de verificación | 24 |
| 3.2.1 | Ubicación | 24 |
| 3.2.2 | Unidades de estudio | 24 |
| 3.3 | Población, Muestra y muestreo | 24 |
| 3.3.1 | Población | 24 |
| 3.3.2 | Muestra | 24 |
| 3.3.3 | Muestreo | 25 |
| 3.4 | Descripción de la investigación | 25 |
| 3.5 | Técnicas e instrumentos para recopilación de datos | 25 |
| 3.5.1 | Determinación de la generación diaria de residuos orgánicos del centro de abastos Grau – Tacna | 25 |
| 3.5.2 | Determinación de la composición de los residuos orgánicos | 26 |
| 3.5.3 | Determinación de la densidad aparente de los residuos | 27 |
| 3.5.4 | Obtención y caracterización de los residuos orgánicos | 28 |
| 3.5.5 | Análisis de suelo | 28 |
| 3.5.6 | Evaluación de la Calidad del Compost | 29 |
| 3.5.7 | Diseño del proceso de compostaje | 30 |
| 3.5.8 | Densidad del material compostado | 32 |
| 3.5.9 | Incorporación del compost al suelo | 32 |
| 3.5.10 | Propuesta del diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento aeróbico. | 32 |
| 3.5.11 | Propuesta diseño de la planta de compostaje aerobio | 33 |
| CAPITULO IV | | 34 |
| 4. RESULTADOS | | 34 |
| 4.1 | Línea base de la investigación | 34 |
| 4.1.1 | Ubicación geográfica La Yarada – Los Palos | 34 |
| 4.1.2 | Clima de La Yarada - Los Palos | 35 |

| | | |
|----------------------------------|---|----|
| 4.1.3 | Características del suelo | 36 |
| 4.1.4 | Centro de abastos Grau | 37 |
| 4.1.5 | Determinación de la generación total diaria de residuos orgánicos del mercado Grau – Tacna | 38 |
| 4.1.6 | Determinación de la composición de los residuos orgánicos..... | 41 |
| 4.1.7 | Determinación de la densidad aparente de los residuos del centro de abastos Grau. | 42 |
| 4.1.8 | Obtención y caracterización de los residuos orgánicos del centro de abastos Grau. | 42 |
| 4.1.9 | Características iniciales de la muestra de suelo de la Yarada - Los Palos. | 43 |
| 4.1.10 | Diseño de composteras..... | 45 |
| 4.1.11 | Evaluaciones de los parámetros de las composteras: (pH, T°, %H, CE, Densidad) durante el tiempo de compostaje. | 46 |
| 4.1.12 | Densidad del material compostado..... | 56 |
| 4.1.13 | Resultado del análisis del compost de los tratamientos T1 (80% verduras + 20% frutas) y T2 (50% verduras + 50% frutas). | 57 |
| 4.1.14 | Parámetros del compost obtenido a partir del Tratamiento 1 y Tratamiento 2 en la tercera y última evaluación. | 59 |
| 4.1.15 | Comparación de parámetros de la muestra inicial del suelo del distrito la Yarada - Los Palos, con las muestras de suelo donde se incorporó el compost del T1 y T2. | 70 |
| 4.1.16 | Estimación del compost generado por kilogramo de residuo solido orgánico..... | 71 |
| 4.1.17 | Propuesta del diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento aeróbico. | 73 |
| 4.1.18 | Diseño de la planta de tratamiento | 74 |
| CONCLUSIONES..... | | 77 |
| RECOMENDACIONES | | 79 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 80 |
| ANEXOS | | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Operacionalización de las variables de la investigación. | 5 |
| Tabla 2. Definición de parámetros para calcular la muestra. | 10 |
| Tabla 3. Relación C/N de algunos materiales usados en el compostaje | 16 |
| Tabla 4. Clasificación general de sistemas de compostaje | 17 |
| Tabla 5. Parámetros analizados en las muestras de suelo inicial..... | 29 |
| Tabla 6. Estadísticas climatológicas..... | 36 |
| Tabla 7. Distribución de muestras por rubro. | 38 |
| Tabla 8. Generación por puesto. | 39 |
| Tabla 9. Generación total de residuos sólidos orgánicos del centro de abastos. | 41 |
| Tabla 10. Composición física de los residuos sólidos. | 42 |
| Tabla 11. Datos experimentales de densidad aparente in situ | 42 |
| Tabla 12. % Humedad, % C, % N, y relaciones C/N de los residuos sólidos vegetales | 43 |
| Tabla 13. Características iniciales de la muestra de suelo del distrito la Yarada – Los Palos..... | 44 |
| Tabla 14. Relaciones de mezcla de las pilas de compost. | 45 |
| Tabla 15. Registro de pH en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje | 47 |
| Tabla 16. Registro de temperatura en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje | 49 |
| Tabla 17. Registro de Humedad (%) en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje..... | 51 |
| Tabla 18. Registro de Conductividad Eléctrica (C.E.) en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje. | 53 |
| Tabla 19. Registro de Densidad en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje. | 55 |
| Tabla 20. Resultados de laboratorio del compost del T1 y T2 | 57 |
| Tabla 21. Parámetros de las repeticiones del compost del T1 Y T2 | 59 |
| Tabla 22. Análisis de varianza de la Conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), de dos tratamientos de compost T1 y T2 | 60 |
| Tabla 23. Análisis de varianza del pH de dos tratamientos de compost T1 y T2..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24. Análisis de varianza de la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), de dos tratamientos de compost T1 y T2..... | 64 |
| Tabla 25. Análisis de varianza de la Humedad (%), de dos tratamientos de compost T1 y T2..... | 66 |
| Tabla 26. Análisis de varianza de la Densidad (gr/cm^3), de dos tratamientos de compost T1 y T2..... | 68 |
| Tabla 27. Comparación de los parámetros de la muestra inicial del suelo de la Yarada – Los Palos, con las muestras de suelo donde se incorporó compost del T1 y T2 | 70 |
| Tabla 28. Cuadro de análisis de cantidad de compost obtenido..... | 71 |
| Tabla 29. Rendimiento de los dos tratamientos de compost. | 72 |
| Tabla 30. Características geométricas del sistema de compostaje y del área de volteo..... | 73 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Composición de residuos sólidos no domiciliarios – Mercados..... | 2 |
| Figura 2. Balance de materia en la pila de compost. | 15 |
| Figura 3. Pilas de compost aireadas artificialmente a través de tuberías perforadas y aspiración de aire. | 18 |
| Figura 4. Reactor cilíndrico. | 19 |
| Figura 5. Reactor circular dinámico. | 20 |
| Figura 6. volumen de un paralelepípedo como medida aproximada del volumen de una pila..... | 22 |
| Figura 7. Método de cuarteo..... | 26 |
| Figura 8. Esquema del balde para hallar la densidad in situ..... | 27 |
| Figura 9. Muestreo siguiendo un recorrido en zigzag. | 29 |
| Figura 10. Diagrama de bloques del proceso de compostaje | 31 |
| Figura 11. Plano de ubicación, valle de Tacna y pampa de la Yarada - Los Palos. | 35 |
| Figura 12. Ubicación geográfica del Centro de Abastos Grau. | 37 |
| Figura 13. Generación total por rubro | 41 |
| Figura 14. Distribución y dimensiones de los camellones. | 46 |
| Figura 15. Evaluación del pH durante el tiempo de compostaje (31, 61 y 86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna..... | 47 |
| Figura 16. Evaluación de la Temperatura durante el tiempo de compostaje (31, 61 y 86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna..... | 49 |
| Figura 17. Evaluación de la humedad durante el tiempo de compostaje (31, 61,86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna. | 51 |
| Figura 18. Evaluación de la CE durante el tiempo de compostaje (31, 61,86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna..... | 53 |
| Figura 19. Evaluación de la densidad durante el tiempo de compostaje (31, 61,86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 20. Conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas)..... | 60 |
| Figura 21. pH de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas)..... | 62 |
| Figura 22. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas)..... | 64 |
| Figura 23. Humedad (%) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas)..... | 66 |
| Figura 24. Densidad (gr/cm^3) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas)..... | 68 |
| Figura 25. Detalle de cada zona de producción de compost y del área de volteo. | 73 |
| Figura 26. Detalle del volumen efectivo de producción de compost. | 74 |
| Figura 27. Ubicación del Parque Perú. | 74 |
| Figura 28. Croquis del diseño de la planta de compostaje. | 76 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO 1: Permisos | 87 |
| ANEXO 2: Características iniciales de la muestra de suelo del distrito la Yarada - Los Palos | 88 |
| ANEXO 3: Resultados de los análisis los residuos orgánicos del centro de abastos Grau. | 89 |
| ANEXO 4: Datos de los parámetros de evaluación del compost. | 90 |
| ANEXO 5: Resultado del Análisis de laboratorio del compost del tratamiento 1. | 92 |
| ANEXO 6: Resultado del Análisis de laboratorio del compost del Tratamiento 2. | 92 |
| ANEXO 7: Características finales del suelo donde se incorporó el compost del tratamiento 1- distrito la Yarada - los palos. | 94 |
| ANEXO 8: Características finales del suelo donde se incorporó el compost del tratamiento 2- distrito la Yarada - los palos. | 95 |
| ANEXO 9: Galería de fotos..... | 96 |

LISTA DE ABREVIATURAS

MINAM: Ministerio del Ambiente

MEF: Ministerio de Economía y Finanzas

OPS: organización panamericana de la salud

ESMML: Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

EC-RSM: estudio de caracterización de residuos sólidos municipales

TM/día: Toneladas al día

OEFA: Organismo de evaluación y fiscalización ambiental

GPC: Generación Per Cápita

GPP: Generación por puesto

GT: Generación total diaria

H: Humedad

CE: conductividad eléctrica

P: fosforo

K: potasio

MO: Materia orgánica

C: Carbono

N: Nitrógeno

Relación C/N: Relación carbono / nitrógeno

P: Densidad aparente

Q: desviación estándar

Z $_{1-\alpha/2}$: Nivel de confianza

E: Error permisible

D: Diámetro

H: Altura

N_p: Número de puestos

h: Altura libre de residuos sólidos

W: Peso de los residuos sólidos

V: Volumen

RESUMEN

En la provincia de Tacna se realiza un inadecuado manejo de los residuos del centro de abastos Grau, ya que son depositados en un botadero sin tratamiento alguno. Este trabajo de investigación tuvo la motivación reducir el impacto ambiental generado por los residuos de verduras y de frutas, reaprovechándolos para producir compost; y así, de esa manera, se estaría valorizando los residuos sólidos orgánicos municipales del distrito de Tacna. En la presente investigación se evaluó la calidad del suelo del distrito La Yarada – Los Palos; se realizó la caracterización de los residuos orgánicos del centro de abastos estudiado para conocer el volumen de residuos de verduras y de frutas generados, que son desechados; y también buscar una solución para reducir el impacto que estos generan, es por ello que se propuso como tratamiento el compostaje aeróbico de dichos residuos, realizando la formación de pilas o camellones que permitieron tratarlos. Se realizó dos tratamientos de compost tratamiento 1 (80% verduras+20% frutas) y tratamiento 2 (50%verduras + 50% frutas), como inductor se utilizó estiércol ovino. Se evaluó tres veces a lo largo de 86 días la temperatura, humedad, pH, CE, y la densidad del compost de ambos tratamientos. Solo hubo diferencia significativa en la conductividad eléctrica de los tratamientos evaluados. Finalizado el proyecto se obtuvo datos de la densidad de los residuos (271.45 kg/ m³). La generación por puesto diario de verduras (2.59 kg/puesto/día), la generación por puesto diario de frutas (3.29 kg/puesto/día) la generación por puesto total de verduras (1005 kg/día) y frutas (500 kg/día), los cuales son necesarios para el diseño propuesto de un sistema de compostaje aeróbico para tratar los residuos de dicho centro de abastos. El suelo inicial del distrito La Yarada – Los Palos presentó déficit en el contenido de nitrógeno y materia orgánica, e incrementó significativamente tras haber incorporado compost. El tratamiento 2 (50%verduras + 50% frutas) presentó un mayor rendimiento de compost (684 kg) el cual rinde para 171m² de terreno, el compost del tratamiento 1 (80% verduras+20% frutas) (661 kg) rinde aproximadamente para 165m² de terreno. La investigación registró los resultados y se presentarán a la municipalidad de Tacna para que se evalúe la posibilidad de compostar los residuos del centro de abastos Grau, y en caso de ser aceptado, pueda ser ejecutado y/o magnificado.

Palabras Claves: Residuos orgánicos, compostaje aeróbico, compost, relleno sanitario, pilas o camellones.

ABSTRACT

In the province of Tacna, an adequate management of the waste from the Grau food center is carried out, since they are deposited in a dump without any treatment. This research work had the purpose of producing compost; And so, in this way, organic municipal organic waste from the Tacna district is being valued. In the present investigation the soil quality of the La Yarada - Los Palos district was evaluated; the characterization of the organic waste was carried out from the supply center studied to know the volume of waste of vegetables and fruits generated, which are discarded; and also look for a solution to reduce the impact that these produce, as well as the aerobic composting of said residues, the formation of piles and the ridges that have allowed them to be treated. There were two treatments of compost treatment 1 (80% vegetables + 20% fruits) and treatment 2 (50% vegetables + 50% fruits), as an inductor it is sheep manure. The temperature, humidity, pH, EC, and compost density of both treatments were evaluated three times over 86 days. There was only a significant difference in the electrical conductivity of the treatments evaluated. Once the project was finished, the data on the density of the waste (271.45 kg / m³), the date of daily publication of vegetables (2.59 kg / post / day), the date of daily fruit publication (3.29 kg / post / day) were obtained. the total generation of vegetables (1005 kg / day) and fruits (500 kg / day), which are necessary for the design of an aerobic composition system to treat the waste of said supply center. The initial soil of La Yarada - Los Palos displeasure had a deficit in the content of nitrogen and organic matter, and they increased in the content of the compost. Treatment 2 (50% vegetables + 50% fruits) presented a higher yield of compost (684 kg) which yields for 171 m² of land, the compost of treatment 1 (80% vegetables + 20% fruits) (661 kg) Makes approximately 165m² of land. The investigation includes the results and is presented to the municipality of Tacna for which the possibility of composting the waste from the Grau food center is evaluated, and if accepted, it can be executed and / or magnified.

Key words: Organic solid waste, aerobic composting, compost, landfill, piles or ridges.

INTRODUCCIÓN

Vivir en el mundo contemporáneo implica producir residuos sólidos. Los hábitos culturales de consumo están cambiando y por lo tanto resulta difícil darnos cuenta del ritmo o velocidad con la cual nos deshacemos de lo que ya no utilizamos (Guzmán y Macías, 2012).

La política nacional del ambiente constituye uno de los principales instrumentos de gestión para lograr el desarrollo sostenible en el país y tiene como objetivo específico, asegurar una calidad ambiental adecuada para la salud y el desarrollo integral de las personas, previniendo el daño de ecosistemas, recuperando ambientes degradados y promoviendo una gestión integrada de los riesgos ambientales, así como una producción limpia y ecoeficiente (MINAM, 2009).

El Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Economía y Finanzas, y en el marco del programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal, promueven en las municipalidades de ciudades principales la implementación de programas de segregación en la fuente y recolección selectiva para los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos municipales. En el año 2018 se estableció “La Meta 16” la cual permitió que las municipalidades de ciudades principales “Tipo A” mejoren la gestión de sus residuos sólidos, tal fue el caso de la municipalidad provincial de Tacna, la meta fue recolectar y valorizar 147 toneladas de residuos sólidos inorgánicos (MEF, 2018). Para el año 2019 se estableció “La Meta 3” la cual tiene como objetivo recolectar y valorizar 184 toneladas de residuos sólidos inorgánicos y 19.2 toneladas de residuos sólidos orgánicos (MEF, 2019). Una forma de valorizar los residuos sólidos orgánicos es produciendo compost a partir de ellos.

El compostaje, se define como un proceso dirigido y controlado de mineralización y pre-humificación de la materia orgánica, a través de un conjunto de técnicas las cuales permiten que las variables del proceso se puedan manejar; y que tienen como objetivo obtener un biofertilizante de características físico-químicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas, conocido como compost. El compostaje aeróbico se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40°C) con etapas termogénicas (40-75°C), donde participan microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente (OPS, 1999).

Sus características están determinadas por el tipo de material que se aporte y la tecnología y duración del proceso, es de buena calidad si el producto final es homogéneo, de color oscuro y olor a tierra de bosque (Soliva, 2011).

Encontrar opciones sostenibles para un manejo integral de residuos sólidos es de suma importancia para reducir el impacto ambiental negativo que la ausencia de tratamiento ocasiona, así como por el potencial de su uso como sustrato, enmienda o fertilizante en actividades agrícolas tras su compostaje. El resultado del compostaje es el compost, el cual se genera producto de la transformación biológica y controlada de los materiales orgánicos (Borrero et al, 2015).

Es por ello que valorizar los residuos sólidos orgánicos produciendo compost es una opción viable para mejorar el manejo de los residuos orgánicos generados por el centro de abastos Grau ubicado en la ciudad de Tacna, reduciendo así el volumen de los residuos y la contaminación que estos generan. Es factible elaborar compost de alta calidad, capaz de mejorar los suelos agrícolas del distrito La Yarada – Los Palos.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema

En el Perú hay aproximadamente 1400 botaderos que traen diversos problemas de contaminación y salud. Después de más de 15 años de promulgada la Ley General de Residuos Sólidos, el Perú aún tiene graves problemas de limpieza pública. Cada día somos más habitantes y cada día se genera más residuos sólidos; en el año 2005 se generaba 13 mil TM/día, hoy se alcanza las 23mil TM/día. El 50% de estos residuos no se disponen adecuadamente, tenemos ciudades, calles, ríos y playas contaminadas con diferentes tipos de residuos (Organismo no gubernamental Ciudad Saludable, 2018).

Según la OEFA (2014), Tacna se encuentra entre las cinco ciudades con mayores índices de contaminación. En cada distrito de esta ciudad se puede encontrar botaderos clandestinos que arrojan residuos de todo tipo sin ningún control por las autoridades competentes. Según el reporte de esta entidad, en el botadero municipal de Tacna, denominado "Alto Intiorko", se vierte diariamente 280 toneladas de basura, sin embargo, no se hace un tratamiento adecuado a esta.

1.2 Diagnóstico situacional

En la actualidad la municipalidad provincial de Tacna cuenta con una planta de segregación de residuos sólidos donde se segregan solamente residuos inorgánicos para su posterior venta; mas no existe un adecuado manejo y/o gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Tacna; esto se debe a la falta de cultura del reciclaje de la población, al consumo desmedido de productos, a las deficientes decisiones políticas, entre otros (Huaricallo y Gordillo, 2016).

Los estudios de caracterización de los residuos sólidos están adquiriendo relevancia en Tacna a raíz del incremento de la población y de las escuelas profesionales de Ingeniería Ambiental que hay en las diferentes universidades, ello ha permitido crear conciencia ambiental en numerosos estudiantes, los cuales buscan alternativas de aprovechamiento de dichos residuos (Machaca y Lozano, 2017). Es importante mencionar que los residuos sólidos generados en los mercados mayoristas son en su gran mayoría de origen orgánico,

esto permitiría realizar tratamientos en los que estos puedan ser aprovechados correctamente (Hermida y Arrieta, 2014).

El centro de abastos Grau es uno de los más grandes de la ciudad de Tacna, este centro no cumple con el “Artículo 41° - Eliminación de residuos sólidos” del reglamento sanitario de funcionamiento de mercados de abasto (R.M. N° 282-2003-SA/DM, 2003). Es por ello que no maneja adecuadamente los residuos sólidos que genera y no garantiza condiciones óptimas de salubridad. Esto compromete la salud de los pobladores que se encuentran expuestos a enfermedades y a la contaminación del botadero informal que opera actualmente. Según Guillen (2018), el centro de abastos Grau genera 14 toneladas de residuos sólidos semanalmente; la mayor cantidad de estos son generados por el rubro de verduras y frutas; una pequeña parte de los residuos es recolectada por los criadores de chanchos de granjas clandestinas; el resto son recolectados a diario por una compactadora de la municipalidad provincial de Tacna, y son transportados al botadero municipal que está ubicado en el Cerro Intiorko km 7, carretera Tacna a Tarata dentro de la jurisdicción del distrito de Ciudad Nueva. Estos residuos causan problemas ya que además de proliferar animales nocivos como ratas, cucarachas, moscas y mosquitos, especies que transmiten enfermedades al ser humano, también generan malos olores y causan problemas ambientales que afectan al suelo, al agua y al aire (Nuñez et al. 2018).

En el año 2017, la municipalidad de Tacna realizó un estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Tacna; de acuerdo con el análisis de los datos obtenidos para la determinación de la composición física de los residuos sólidos no domiciliarios en mercados, el 82 % corresponde a materia orgánica. (Municipalidad Provincial de Tacna, 2017).

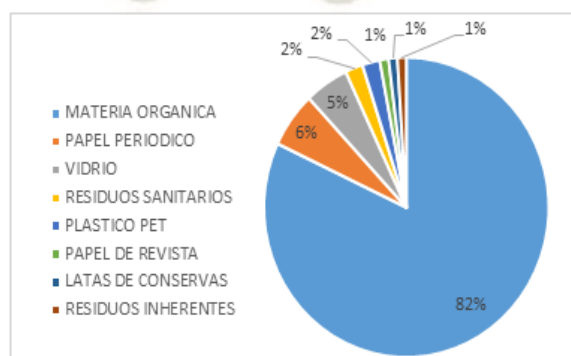


Figura 1. Composición de residuos sólidos no domiciliarios – Mercados.
(Municipalidad Provincial de Tacna, 2017).

1.3 Formulación del problema

¿Cómo evaluar el compost a partir de los residuos orgánicos del centro de abastos Grau para el mejoramiento de suelos del distrito La Yarada – Los Palos?

1.4 Hipótesis

Dado que mediante la técnica de compostaje se logra aprovechar los residuos orgánicos provenientes del centro de abastos Grau, es probable que se pueda obtener un producto (compost) de calidad, con el fin de aprovecharlo como mejorador de suelos para cultivos vegetales en el distrito la Yarada - Los Palos.

1.5 Objetivos

a. Objetivo General

Evaluar el compost a partir de los residuos orgánicos del centro de abastos Grau para el mejoramiento de suelos del distrito La Yarada – Los Palos.

b. Objetivos específicos

- Cuantificar la generación total diaria de residuos sólidos generados en el centro de abastos Grau – Tacna y caracterizar su composición en residuos sólidos de verduras y frutas.
- Determinar la densidad y la relación Carbono-Nitrógeno (C/N) de los residuos orgánicos del centro de abastos Grau.
- Evaluar fisicoquímicamente el suelo de los puntos de muestreo del distrito la Yarada – los Palos, Tacna.
- Diseñar e Implementar composteras para el aprovechamiento de los residuos orgánicos del centro de abastos Grau.
- Evaluar el compost e incorporarlo al suelo de “la Yarada – Los Palos, Tacna” para conocer el efecto mejorador que tuvo en este suelo.
- Realizar el diseño y dimensionamiento del sistema de compostaje aeróbico y el de la planta de tratamiento que se propone.

1.6 Justificación del problema

- **Ambiental:** Los residuos vegetales dispuestos en el botadero informal incrementan los índices de contaminación, alterando así la calidad del aire, del agua y la composición del suelo; por otro lado, se busca incentivar el uso de fertilizantes orgánicos, y el desarrollo sostenible, ya que los químicos a largo plazo desgastan los suelos.
- **Económica:** Se está desaprovechando un residuo que tiene un potencial económico importante; su producción generaría puestos de trabajo.
- **Social:** La disposición inadecuada de los residuos afectan a la salud de la población ya que causa enfermedades infecciosas e incrementa la proliferación de roedores y vectores presentes en un botadero.
- **Técnico – Científico:** En la actualidad la municipalidad provincial de Tacna no cuenta con un método de disposición de residuos sólidos en botaderos, no se emplea ninguna tecnología adecuada para el tratamiento de estos; por ello generar compost aprovechando los residuos vegetales sería conveniente.
- **Institucional:** El MINAM ofrece incentivos a las municipalidades que realizan la valorización de los residuos orgánicos como el compostaje. Este proyecto es de importancia para la municipalidad provincial de Tacna, ya que implementándolo a su gestión podrá mejorar la disposición de los residuos en los mercados de la provincia.

1.7 Definición de las variables

a) Variable independiente

- Calidad de suelo inicial del distrito La Yarada- Los Palos.
- Elaboración del compost a partir de residuos de verduras y frutas.

b) Variable dependiente

- **Calidad de compost:** Conjunto de propiedades inherentes a un compost que permite caracterizarlo y valorarlo con respecto a los restantes de su especie. Esta variable se

evalúa a través del análisis de los siguientes parámetros: Temperatura, (°C) porcentaje de humedad (%H), pH, conductividad eléctrica (CE) y densidad.

- **Mejoramiento de suelo:** Se entiende como mejoramiento de un suelo a todo proceso físico, químico o mecánico que se realiza en este, para mejorar las características de los materiales que lo constituyen. Esta variable se evalúa a través del análisis los siguientes parámetros: conductividad eléctrica (CE), nitrógeno (N), fosforo (P), pH, potasio (K), y materia orgánica (M.O).

c) **Operacionalización de variables**

Tabla 1.

Operacionalización de las variables de la investigación.

| Variables | Tipo de variable | Dimensiones | Indicadores | Escala |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Independientes | Elaboración del compost | Composición de la mezcla | Tratamiento 1 | (80 % Verduras + 20% Frutas) |
| | | | Tratamiento 2 | (50 % Verduras + 50% Frutas) |
| | Calidad de suelo inicial | Análisis de suelos inicial | C.E N P, K pH | us/cm % Ppm |
| | | | M.O | % |
| Dependientes | Calidad del compost obtenido | Análisis fisicoquímico del compost | T (°C), (%) H, pH, CE, densidad, C/N, M.O. | T (°C) temperatura ambiente % H (30-40) pH (7-9) CE ≤ 5000 us/cm C/N: 10-15 % M.O ≥ 25 |
| | Mejoramiento del suelo | Análisis del suelo tratado | C.E, N, P, K pH, M.O. | us/cm % Ppm % |

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

- Antecedentes internacionales:

La generación de residuos orgánicos e inorgánicos contamina la atmósfera, suelos, agua y la salud de la población. Al ser conscientes de estos daños la municipalidad de Cuenca - Ecuador fomenta campañas de reciclaje en los domicilios, instituciones y mercados con el objetivo de aprovechar eficazmente los desechos vegetales generados en los mercados de Cuenca con la elaboración de abonos orgánicos. La municipalidad de Cuenca realiza con éxito esta labor con la vermicultura cultivando la lombriz roja californiana. Esta al alimentarse de residuos vegetales excreta producto de su metabolismo humus. La utilización de abonos orgánicos es indispensable para la agricultura por su riqueza en nutrientes y al proceder de fuentes orgánica brinda múltiples beneficios recuperando los suelos que poco a poco se van erosionando y disminuyendo su fertilidad (Uyaguari, E. 2012).

En Colombia, en el departamento de Caldas se caracterizó, clasificó y acondicionó los residuos orgánicos del mercado de Manizales, se analizaron los posibles tratamientos para convertirlos en productos de valor agregado. Se evaluó la producción de compost y biogás a partir de los residuos sólidos estudiados. Se establecieron las mejores condiciones de temperatura, pH y dosificación de enzima para transformar los polisacáridos en azúcares reductores. A pesar de los valores relativamente bajos de la relación C/N para los residuos vegetales, se evidenció la posibilidad de llevar a cabo un proceso de compostaje para este tipo de desechos (Cardona et al, 2004).

En Madrid se evaluó la biorrecuperación de un suelo con problemas de sales con la aplicación de dos proporciones de tres enmiendas orgánicas: compost, vermicompost sólido y leña mezclados o no con el 100% del requerimiento de fosfoyeso, generándose 15 tratamientos. La evaluación se realizó en columnas simuladas de suelos incubados con los materiales orgánicos; compost y vermicompost fueron procesados con el uso de estiércol de ganado bovino. Se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos, para las variables conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio y el porcentaje de sodio intercambiable, no hubo diferencias entre las proporciones ni entre el uso del fosfoyeso. La

enmienda vermicompost al 1,5% se recomienda para la biorrecuperación de suelos afectados por sales (Gasco et al. 2013).

- **Antecedentes Nacionales:**

La Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima (ESMLL), y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), con el objeto de conseguir un mejor aprovechamiento de los residuos, decidieron desarrollar un proyecto de investigación conjunto orientado a la recuperación y utilización de los residuos de mercados para la producción de compost. Tiene como objetivo determinar la factibilidad técnica de la producción de compost utilizando los residuos de mercados y Evaluar su relación costo/beneficio, considerando las ventajas que se obtendrían. Se concluyó que el proyecto de producción de compost es factible y Favorable porque además de aprovechar un recurso que actualmente no es muy utilizado, se evita la disposición final de estos residuos que por su alto contenido de humedad generan mayor cantidad de lixiviados (Cantanhede y Monge, 1993).

En la ciudad de Lima, comerciantes y Lamsac (Línea Amarilla) abren una planta de tratamiento para evitar que los residuos terminen en la vía pública. Los desechos orgánicos del mercado mayorista de flores “Santa Rosa”, en el distrito del Rímac, han dejado de ser aglomerados cerca a la Vía Evitamiento, y ahora son recolectados y procesados en una planta de tratamiento que los convierte en compost, Biol y humos (Llanos, 2016).

En la ciudad de Arequipa se evaluaron cuatro sistemas de compostaje; durante 140 días para el tratamiento aeróbico del alperujo generado en la empresa agroindustrial de aceite de olivo “Mejía”; el: T1 con pilas 100% alperujo y volteo manual, T2 con pilas 100% alperujo y aireación forzada, T3 con pilas 75% alperujo y 25% chips de poda y volteo manual, y T4 con pilas 75% alperujo y 25% chips de poda con aireación forzada combinada con volteo manual. Las dimensiones de cada cama de compostaje son de 1.00 m de ancho y entre cada cama hay un espacio de 1.00 m. Técnicamente la propuesta C (70% de orujo de olivo + 30% de estiércol de vaca) representa la mejor alternativa de compostaje de orujo de olivo debido a que el compost tamizado presenta una relación C/N de 11,91; pH muy cercano a la neutralidad (7,22); sin problemas de salinidad (C.E.: 3,64 ms/cm); 46,39% de materia orgánica; 2,26% de nitrógeno; 0,0512% de fósforo; 0,2374% de potasio; periodo aceptable de compostaje (120 días) y un rendimiento de 24 kg de compost a partir de una mezcla de

110 kg (21,8% del total de residuos). Desde el punto de vista económico la propuesta D (60% de orujo de olivo + 40% de estiércol de vaca) es más viable porque ofrece una rentabilidad de 14,44% (Tejada, G 2013).

- **Antecedentes Locales:**

Según Machaca y Lozano (2017), se buscó determinar la Influencia del uso de microorganismos eficientes en el tiempo de elaboración del compost a partir de residuos sólidos orgánicos de diferentes mercados en Tacna. Se utilizó un diseño experimental con tres tratamientos y tres repeticiones y se realizó un análisis químico a las muestras de compost obtenidas. Los resultados mostraron que la adición de microorganismos eficientes a un 10 % disminuyó el tiempo de elaboración a 49 días y a un 5 % de adición en 56 días y en la muestra patrón demoró un tiempo de 89 días. El uso de microorganismos eficientes si influyó en la disminución del tiempo de elaboración del compost a partir de residuos sólidos orgánicos en Tacna.

2.2 Marco legal

- El Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la misma que establece la derogatoria de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos, a partir de la entrada en vigencia de su reglamento. El presente decreto legislativo establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, con la finalidad de propender hacia la maximización constante de la eficiencia en el uso de los materiales y asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos económica, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a las obligaciones, principios y lineamientos de este decreto legislativo (Ministerio del Ambiente, 2016).
- Ley orgánica de Municipalidades (Ley 27972), que establece la responsabilidad de los gobiernos locales en la regulación, el control y la disposición final de los residuos sólidos. 2004: Reglamento de la Ley General de Residuos sólidos (DS N° 057-2004-PCM).

2.3 Marco teórico

2.3.1 Manejo de residuos sólidos

La primera etapa consiste en determinar la generación, que es el momento en el cuál se producen los residuos como resultado de la actividad humana (Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, 2014). Para estimar este valor, se realiza un estudio de caracterización de residuos sólidos, cuyo protocolo está determinado por la guía metodológica para el desarrollo del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales (EC-RSM) (Ministerio del Ambiente, 2017).

Esto permite obtener información sobre las características de los residuos sólidos como: cantidad de los residuos, densidad, composición y humedad. Para calcular el tamaño de muestra se utiliza la ecuación N°1 y la distribución de la muestra se hace en función al número de puestos de trabajo (Ministerio del Ambiente, 2017).

A. Determinación de la muestra

Para realizar el estudio de caracterización de residuos sólidos se debe invitar e informar previamente a los participantes de los objetivos y metodología a seguir, seguidamente se hace entrega de bolsas para que recolecten sus residuos (Ministerio del Ambiente, 2017).

Uno de los principales parámetros a determinar en el estudio de caracterización es el tamaño de muestra:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (1)$$

Definición de los parámetros para calcular la muestra:

Tabla 2.

Definición de parámetros para calcular la muestra.

| PARÁMETRO | CONTENIDO |
|--|---|
| n (número de muestras) | Número de puestos que participaran |
| N (universo) | Total de puestos de verduras y de frutas que hay en el mercado Grau. |
| Q (desviación estándar) | Cuando no se tenga información el valor de la desviación estándar es de 0.25. |
| Z_{1-α/2}: (Nivel de confianza) | Generalmente se trabaja con un nivel de confianza al 95% para lo cual Z _{1-α/2} tiene un valor de 1.96 |
| E: (error permisible) | 10% de la GPC nacional actualizada a la fecha de ejecución del estudio. |

Fuente: Elaboración propia.

B. Generación por puesto (GPP)

Para el cálculo de la generación de residuos orgánicos en los puestos se utilizó la siguiente fórmula: (Municipalidad provincial de Tacna, 2017).

$$GPP = \frac{\text{Día 1} + \text{Día 2} + \text{Día 3} + \text{Día 4} + \text{Día 5} + \text{Día 6} + \text{Día 7}}{7 \text{ Días}} \quad (2)$$

Dónde: GPP= Generación por puesto (kg/puesto/día.)

Posteriormente, se multiplica la GPP por el total de puestos de verduras y frutas en el mercado para hallar la generación total: (Municipalidad Provincial de Tacna, 2017).

$$GT = GPP \times \text{Total de puestos} \quad (3)$$

1. Densidad aparente (ρ)

Se define como la masa de suelo por unidad de volumen. Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Håkansson, 2010). Su unidad de medida en el S.I es de kg/m³ (Soldoviere, 2017). La densidad se determina siguiendo el protocolo de la guía metodológica para el desarrollo del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales (Ministerio del Ambiente, 2018.)

El cálculo de la densidad se obtiene usando la siguiente ecuación:

$$S = \frac{w}{v} = \frac{w}{\pi\left(\frac{D^2}{2}\right)\times(H-h)} \quad (4)$$

Dónde:

S: Densidad de los residuos sólidos.

W: Peso de los residuos sólidos.

V: Volumen del residuo sólido.

D: Diámetro del cilindro.

H: Altura total del cilindro.

h: Altura libre de residuos sólidos.

2. Composición

Permite que se conozcan los componentes de los residuos sólidos. La guía metodológica para el desarrollo del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales recomienda utilizar el método del cuarteo para determinar la composición (Ministerio del Ambiente, 2018).

3. Humedad

Es la cantidad de materia acuosa, concedida de los residuos orgánicos (Ministerio del Ambiente, 2018). Para su cálculo se aplica la siguiente ecuación: (Sadzawka et al., 2005).

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (5)$$

Dónde:

Humedad = contenido de agua en base muestra húmeda

a = Masa (gr) de la muestra húmeda.

b = Masa (gr) de la muestra seca a 70±5 °C

2.3.2 Parámetros en el proceso del compostaje aeróbico

Según Negro y Solano (1996), el compostaje espontáneo de la materia orgánica se produce en la naturaleza. Si se busca que el compostaje de residuos sea adecuado para su desarrollo industrial debe adaptarse a ciertos requisitos básicos como tener bajo consumo de energía, garantizar la calidad del producto final, la higiene de producción, ser rápido, etc. Para ello, el proceso debe ser cuidadosamente controlado, monitoreando los siguientes parámetros de operación:

A. Humedad

Según OPS (1999), el contenido en humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable tal es el caso de las excretas y estiércoles, donde la dieta está relacionada con el contenido en humedad. Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior al 50% necesariamente se debe buscar la forma de que el material pierda humedad antes de conformar las pilas o camellones.

Según Jaramillo y Zapata (2008), es importante evitar la humedad elevada ya que el aire de los espacios entre partículas de residuos se desplaza y el proceso pasa a ser anaerobio. Por otro lado, si la humedad es muy baja, disminuye la actividad de los microorganismos y por lo tanto el proceso se retarda. Se consideran niveles óptimos de humedades entre 40% – 60%, estos dependen de los tipos de material a utilizar.

B. pH

El valor de pH, al igual que el de la temperatura varía con el tiempo de 5 a 9 dependiendo de la etapa de compostaje (Bejarano y Delgadillo, 2007).

El rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existen grupos fisiológicos adaptados a valores externos. No obstante pH cercano al neutro (pH 6.5 – 7.5) ligeramente ácido o alcalino nos asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5.5 inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores mayores a 8 también son agentes inhibidores del crecimiento haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio de forma que no son asequibles para los microorganismos. Durante el proceso de compostaje se produce una sucesión natural del pH que es necesaria para el proceso y que es acompañada por una sucesión de grupos fisiológicos (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

C. Temperatura

Según Bueno y Diaz (2008), al disponerse el material a utilizar en el compostaje en pilas, si las condiciones son las adecuadas, comienza la actividad microbiana. El incremento de la temperatura es el síntoma más evidente de la actividad microbiana de la masa que se composta, por lo que la temperatura ha sido considerada como una variable fundamental en el control del compostaje. La evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N. Se observan tres fases en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial ($T < 45^{\circ}\text{C}$), fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C}$), y la fase mesófila final; considerándose finalizado el proceso cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial.

Según Navarro (2006), es deseable alcanzar condiciones termófilas (entre 40 y 93°C), ya que se necesitan altas temperaturas para destruir patógenos que pudieran encontrarse en la pila, ya que de lo contrario se podría producir compost infectado e infectar el lugar donde se vaya a disponer.

D. Aireación

El proceso de compostaje es un proceso aerobio, por ello la aireación es un factor muy importante. La aireación tiene un doble objetivo, por una parte, aportar el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir la máxima evacuación del CO_2 producido. Las necesidades de oxígeno varían en el transcurso del proceso, siendo bajas en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso. La aireación no debe ser excesiva, puesto que se pueden producir variaciones bruscas en la temperatura y en el contenido en humedad (Negro y Solano, 1996).

E. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso. La Conductividad eléctrica tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes. Ocurre a veces un descenso de la Conductividad eléctrica

durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por una humectación excesiva de la misma (Sánchez-Monedero, 2001).

Un compost óptimo debe tener una de conductividad eléctrica menor o igual a 5 (dS/m), o 5000 (us/cm) (Comisión de Medio Ambiente ,2000).

F. Materia orgánica

El tamaño inicial de las partículas que forman parte de la masa a compostar es una importante variable para la optimización del proceso, mientras mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, más rápida y completa será la reacción. Por ello es esencial el desmenuzamiento del material ya que facilita el ataque de microorganismos y aumenta la velocidad del proceso (Chauca, 2014).

Según Bueno y Díaz (2008), conocer el contenido de materia orgánica del compost es fundamental, pues se considera como el principal factor para determinar su calidad agronómica. Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico; estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% en peso de la masa compostada.

La Norma INN 2439 propuesta por la Comisión Nacional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Santiago-Chile. Establece que el contenido de materia orgánica para todos los tipos de compost debe ser mayor o igual al 25 % en base seca.

Las pérdidas de peso por mineralización de la materia orgánica, así como las de otros nutrientes durante el proceso de compostaje, pueden ser analizadas mediante el balance de materia. En la Figura 2 se presenta un diagrama del balance de materia durante el compostaje, de la cual se puede deducir la ecuación N° 6 (Bueno y Díaz, 2008).

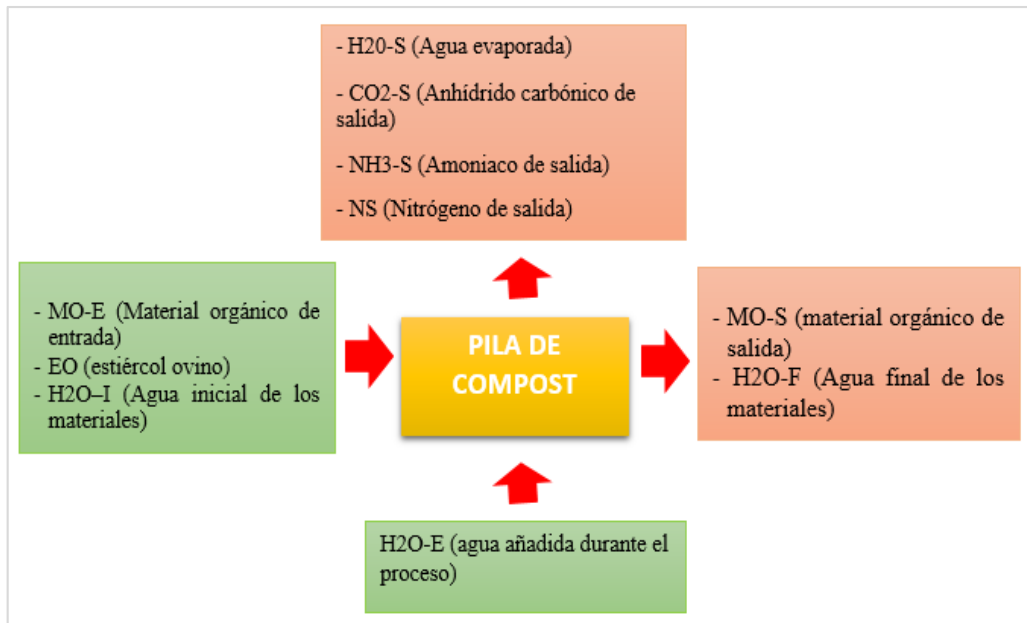


Figura 2. Balance de materia en la pila de compost (Bueno y Díaz, 2008).

Ecuación:

$$MO(E) + EO + H_2O(E) = MO(S) + H_2O(F) + H_2O(S) + CO_2(S) + NH_3(S) + NS \quad (6)$$

G. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

Según OPS (1999), la relación C/N expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica.

Se estima como relación C/N óptima de entrada valores entre 25 y 35, pues considera que los microorganismos utilizan de 15 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno (Soliva, 2001). Mientras que para una relación de C/N de salida o para el uso agronómico como abono se considera un rango adecuado de 12 a 15 (Organización Panamericana de la Salud, 1999). Sarmiento (2011), indica que un compost estabilizado tiene una relación C/N de 10.

Tabla 3.

Relación C/N de algunos materiales usados en el compostaje (Roman y Pantoja, 2013).

| NIVEL ALTO DE NITRÓGENO 1:1 -24:1 | | C:N EQUILIBRADO 25:1 – 40:1 | | NIVEL ALTO DE CARBONO 41:1 – 1000:1 | |
|--------------------------------------|------|--------------------------------|------|--|-------|
| Materiales | C:N | Materiales | C:N | Materiales | C:N |
| Purines frescos | 5 | Estiércol vacuno | 25:1 | Hierba recién cortada | 43:1 |
| Gallinaza pura | 7:1 | Hojas de frijol | 27:1 | Hojas de árbol | 47:1 |
| Estiércol porcino | 10:1 | Pulpa de café | 29:1 | Paja de caña de azúcar | 49:1 |
| Desperdicios de cocina | 14:1 | Estiércol ovino / caprino | 32:1 | Basura urbana fresca | 61:1 |
| Gallinaza camada | 18:1 | Hojas de plátano | 32:1 | Cascarilla de arroz | 66:1 |
| | | Restos de hortalizas | 37:1 | Hierba seca | 81:1 |
| | | Hojas de café | 38:1 | Bagazo de caña de azúcar | 104:1 |
| | | Restos de poda | 44:1 | Mazorca de maíz | 117:1 |
| | | | | Paja de maíz | 312:1 |
| | | | | Aserrín | 638:1 |

2.3.3 Sistema de Compostaje

Los sistemas de compostaje tienen como finalidad facilitar el control y la optimización de parámetros operacionales, para obtener un producto final con la suficiente calidad, desde el punto de vista sanitario como de su valor fertilizante.

El acortamiento del tiempo del proceso, la disminución de los requisitos de espacio y energía y de la seguridad higiénica de la planta de tratamiento son también factores muy importantes para el diseño de estos sistemas de compostaje (Negro y Villa, 1999).

Existen numerosos sistemas para llevar a cabo el proceso de compostaje; para realizar una primera clasificación, se pueden establecer dos categorías principales: sistemas abiertos y sistemas cerrados (De Bertoldi et al. ,1985).

Tabla 4.

Clasificación general de sistemas de compostaje (De Bertoldi et al. ,1985)

| | | |
|--------------------------|------------------------|---|
| Sistemas abiertos | Pilas con volteo | Con succión de aire Aire insuflado |
| | Pilas estáticas | Ventilación alternada (succión e insuflado) |
| Sistemas cerrados | Reactores verticales | Insuflado vinculado a control de temperatura |
| | Reactores horizontales | Continuos Discontinuos |
| | | Estáticos Con movimiento de material |

A. **Sistemas abiertos**

Estos son los sistemas tradicionales de compostaje. Los sustratos a compostar se disponen en montones o pilas que pueden estar al aire libre o en naves. La aireación de la masa fermentable puede hacerse por volteo mecánico de la pila o mediante ventilación forzada (Negro y Solano, 1996).

- 1. Compostaje en pilas con volteo:** Haug (1993), citado por Cochachi (2008), es uno de los sistemas más sencillos y más económico, esta técnica de compostaje se caracteriza por el hecho de que la pila se remueve periódicamente para homogenizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación.

Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 o 10 °C, subiendo de nuevo en caso de que el proceso no haya terminado. La frecuencia del volteo depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que deseamos realizar el proceso, siendo habitual realizar un volteo cada 6-10 días.

- 2. Sistema de camellones o parvas estáticas:** Cuando la aireación se realiza mediante instalaciones fijas, en las áreas o canchas de compostaje, permiten realizar una aireación forzada sin necesidad de movilizar las parvas.

Este es el caso del Método Beltsville (figura 3) (Organización Panamericana de la Salud, 1999). Las tuberías se conectan con un ventilador que asegura la entrada de oxígeno y la salida de CO₂. Esta ventilación puede hacerse por succión o inyección de aire o bien, mediante sistemas alternantes de succión e inyección (Negro y Solano, 1996).

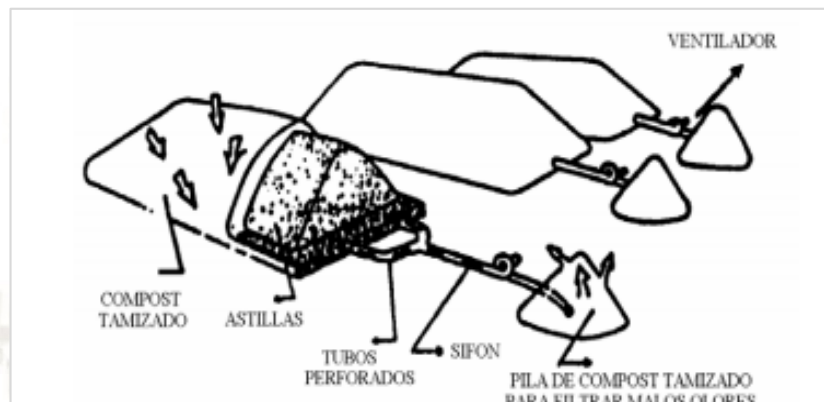


Figura 3. Pilas de compost aireadas artificialmente a través de tuberías perforadas y aspiración de aire (En Costa et al., 1991).

En el método Rutgers la aireación se consigue por succión con control de la temperatura, de esta forma al mismo tiempo que se aporta el oxígeno necesario se controla la temperatura. Este sistema tiene dos ventajas sobre el anterior: produce, por la evaporación que ocasiona, una baja humedad del producto final, garantizando una buena estabilidad, por otra parte, el control automático de temperatura evita períodos prolongados de temperatura elevada (Negro y Solano, 1996).

B. Sistemas cerrados

Haug (1993), citado por Cochachi (2008), los sistemas cerrados conllevan una infraestructura más complicada y costosa, al tener que realizar una instalación cerrada y emplear una maquinaria quizá más compleja. Dependiendo del clima del lugar en que se realice el proceso, del tipo de material que estemos tratando, de la disponibilidad de terreno o de la necesidad de abreviar el proceso, se manejan unos u otros sistemas.

Los residuos orgánicos son procesados en instalaciones las cuales pueden ser estáticas o dinámicas, estas se conocen como reactores. Estos son estructuras cilíndricas o rectangulares, donde se controlan constantemente determinados parámetros como la humedad y aireación. Los reactores móviles, además, posibilitan la mezcla continua de los

desechos mediante dispositivos mecánicos, con lo que se logra un proceso homogéneo en toda la masa en compostaje. Este tipo de sistemas permite acelerar las etapas iniciales del proceso, denominadas “fermentación”. Finalizadas estas etapas activas biológicamente, se retira el material del reactor y es acopiado para que se cumpla la “maduración”. Los sistemas de compostaje en reactores son siempre sistemas industriales. Se aplican en casos donde diariamente se reciben grandes volúmenes de desechos, y para los cuales sería necesario disponer de superficies muy extensas. (OPS, 1999).

1. Fermentadores verticales: Los reactores verticales pueden operar de forma continua o discontinua.

En los sistemas cerrados continuos se utilizan reactores de 4-10 m de altura, con un volumen total de 1000 a 3000 m³ (Figura 4). El biorreactor consta de un cilindro cerrado el cual está aislado térmicamente, este posee un sistema de aireación y extracción de material ubicado en su parte inferior. El control de la aireación se realiza por la temperatura y las características de los gases de salida que son aspirados por la parte superior del reactor. El material se introduce por la parte superior mediante un tornillo alimentador. A medida que se va extrayendo el material compostado, el material fresco va descendiendo. El tiempo de residencia es de 2 semanas (Negro y Villa, 1999).

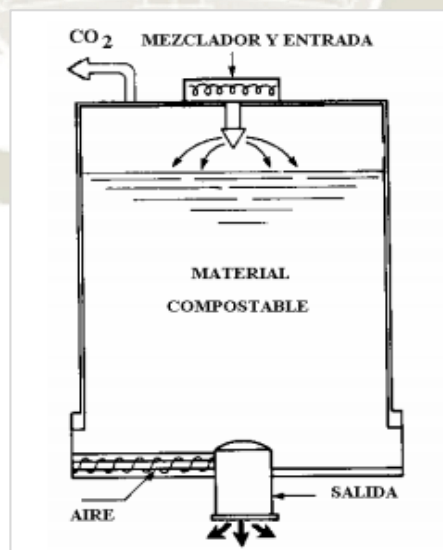


Figura 4. Reactor cilíndrico (Saña y Soliva, 1987).

Los reactores verticales discontinuos, constan de un depósito cilíndrico de grandes dimensiones dividido en varios niveles, cada nivel tiene de 2 a 3m de altura (figura 5). La

materia a compostar se coloca en el piso más alto y va descendiendo al piso inferior. Cuando la fracción orgánica ha descendido al último piso se da por concluida la fermentación y el compost sale al parque de maduración. El tiempo en el fermentador es de una semana. El inconveniente de este tipo de reactores es el elevado coste de instalación y de mantenimiento de la planta. (Negro y Solano, 1996).

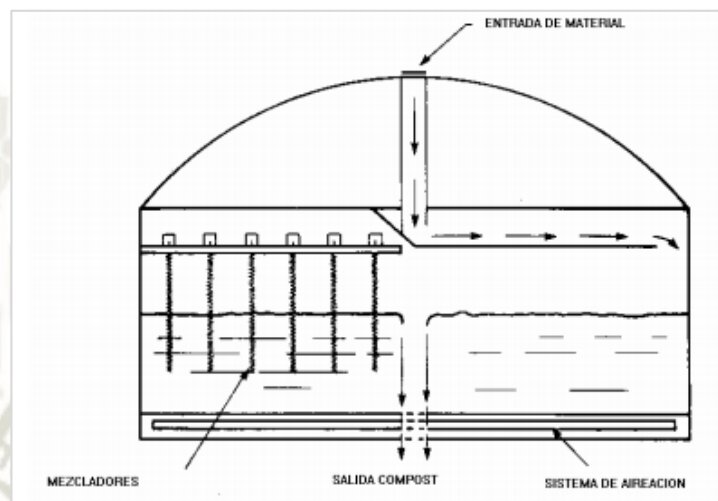


Figura 5. Reactor circular dinámico (Saña y Soliva, 1987).

2. **Reactores horizontales:** Bioestabilizador DANO. Estos reactores consisten en un cilindro horizontal que generalmente tiene de dos a tres metros de diámetro y giran a una velocidad de 2 rpm a lo largo de su eje longitudinal. El tiempo de permanencia de los residuos dentro del fermentador es de 24-36 horas durante el cual la materia orgánica es físicamente separada del resto de componentes, al mismo tiempo que se inicia el proceso de degradación microbiana. En estos reactores no se produce un auténtico compostaje sino una fase de preparación del substrato de tipo fisicoquímico. El material resultante es compostado finalmente en pilas o en el reactor (Negro y Villa, 1999).

C. Dimensionamiento y operación de un sistema de compostaje aeróbico.

Los siguientes conceptos se consideran básicos para poder diseñar y operar un sistema de compostaje aeróbico en camellones o pilas.

1. Aspectos cualitativos:

Es importante caracterizar adecuadamente los residuos que nos disponemos a compostar. En caso de que exista alguna dificultad en los balances de nutrientes, debemos identificar fuentes de desechos que nos permitan realizar las correcciones necesarias. De acuerdo con cada caso se instrumentarán los procedimientos de precompostaje necesarios (Organización Panamericana de la Salud ,1999).

2. Aspectos cuantitativos:

Según la OPS (1999), la cuantificación de los volúmenes que se disponen para compostar, tanto como la frecuencia de ingreso de los mismos, es un dato de suma importancia, ya que permite calcular la necesidad de área de compostaje y determinar la unidad de compostaje. Se aconseja manejarse con medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V), a partir de la siguiente formula:

$$D = \frac{M}{V} \quad (7)$$

Donde:

D= Densidad

M=Masa (tn)

V= volumen (m3)

i. Unidad de Compostaje (Uc)

La unidad de compostaje, es la masa de residuos que permite la conformación de un camellón y que ingresa al sistema como una unidad independiente del resto (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

ii. El Tiempo de Compostaje (Tc)

Es el tiempo transcurrido desde la conformación de una parva o camellón hasta la obtención la obtención de compost estable. El Tiempo de compostaje, varía según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas como la temperatura ambiente, el porcentaje de humedad relativa; manejo fisicoquímico; manejo microbiológico y características finales del producto que se desea obtener (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

iii. Diseño del camellón o parva

No es aconsejable conformar parvas o camellones de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura en pequeños volúmenes son bruscas.

No conforme camellones con base inferior a los dos metros. Como regla general, tome como altura la mitad de la base, lo que permitirá obtener una buena relación Superficie/Volumen. (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

En este caso, se debe utilizar la fórmula del volumen de un paralelepípedo como medida aproximada del volumen de una parva (Roman y Pantoja, 2013).

$$\text{Volumen del paralelepípedo} = X.Y.Z \quad (8)$$

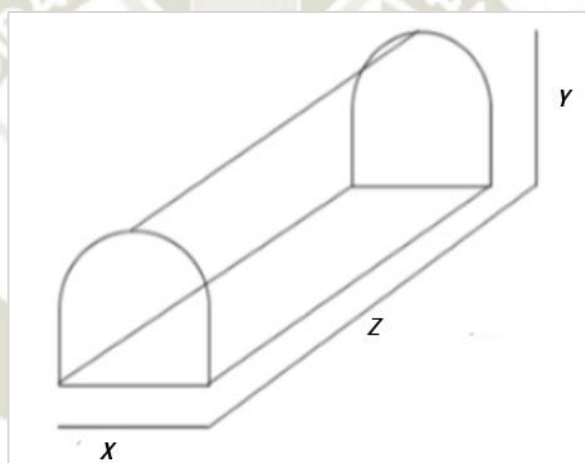


Figura 6. Volumen de un paralelepípedo como medida aproximada del volumen de una pila (Román, P; Pantoja, A., 2013).

Donde:

X = ancho

Y = altura

Z = longitud

iv. Dimensiones de la cancha de compostaje

La dimensión de la cancha estará determinada por la unidad de compostaje (U_c) y el tiempo de compostaje (T_c). Se debe considerar además el espacio necesario entre parvas (pasillos). Este espacio es necesario para manejar los camellones. Las dimensiones de este

estarán sujetas a la forma en que se realicen las operaciones de remoción y aireación. Si la operativa es manual, el ancho del pasillo puede situarse en el entorno de 2 a 2,5m². Si la operación es mecanizada (pala cargadora, tractor con pala), los pasillos tendrán el ancho suficiente para que la máquina pueda empalar perpendicularmente los camellones (Organización Panamericana de la Salud, 1999).

v. **Densidad del material compostado**

Para calcular la densidad del material se aplica la ecuación N° 7 (OPS, 1999; Roman y Pantoja, 2013).

2.4 Marco conceptual

Calidad del compost: Conjunto de propiedades inherentes a un compost que permite caracterizarlo y valorarlo con respecto a los restantes de su especie.

Calidad del suelo: Capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o tratado para sostener la productividad de plantas y animales.

Tratamiento: Método o técnica que permita modificar las características de lo que se estudia.

Compost Inmaduro: Es una materia orgánica que ha pasado por las etapas mesofílica y termofílica del proceso de compostaje donde ha sufrido una descomposición inicial pero no ha alcanzado las etapas de enfriamiento y maduración requeridas para obtener un compost idóneo.

Planta de compostaje: Establecimientos en los que se efectúa el proceso de compostaje.

Municipalidad tipo A: Municipales de ciudades principales; para su clasificación se toman criterios sociales, demográficos y geoeconómicos; también se considera el número de viviendas urbanas.

CAPITULO III

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo correlacional, compara el suelo natural y después con el mejoramiento del valor agregado del compost.

3.2 Campo de verificación

3.2.1 Ubicación

La investigación se llevó a cabo en dos distritos de la ciudad de Tacna; en centro de abastos Grau situado en el distrito de Tacna; y en el distrito la Yarada – Los Palos, en la nueva vía Los Palos, parcela N° 30.

3.2.2 Unidades de estudio

- Distrito la Yarada los Palos: Calidad de suelos agrícolas.
- Centro de Abastos Grau – Tacna: Puestos de expendio como fuente generadora de RR.OO.

3.3 Población, Muestra y muestreo

3.3.1 Población

La población analizada se conformó por 540 puestos en el centro de abastos Grau, en dos rubros de actividad comercial: 152 puestos de frutas y 388 puestos de verduras.

3.3.2 Muestra

La muestra de residuos orgánicos se obtuvo de una selección estadística representativa de la población total de puestos de expendio, dando como resultado 55 muestras, además se le adicionó un 10% como contingencia, obteniendo el tamaño final de 61 puestos.

Para calcular el número de la muestra se utilizó la ecuación N° 1.

Donde:

| | | |
|--------------------|----------------------------|---------|
| N: | Total de establecimientos | = 540 |
| $Z_{1-\alpha/2}$: | Nivel de confianza | = 1.96 |
| σ : | Desviación estándar | = 0.25 |
| E: | Error permisible | = 0.061 |
| | Porcentaje de contingencia | = 10 % |
| n: | Número de muestras | = ¿? |

$$\frac{3.84 \times 540 \times 0.06}{539 \times 0.003721 + 3.84 \times 0.06}$$

$$n = 55.5 + 10\%$$

$$n = 61$$

3.3.3 Muestreo

Se revisaron los residuos de verduras y frutas recolectados de los puestos, eliminando las que presentaban mal olor y estaban en estado de putrefacción.

3.4 Descripción de la investigación

En la presente investigación se evaluó como mejoró la calidad del suelo del distrito estudiado, y de qué manera el proceso mediante el cual se elaboró el compost influyó en la calidad del producto.

3.5 Técnicas e instrumentos para recopilación de datos

3.5.1 Determinación de la generación diaria de residuos orgánicos del centro de abastos Grau – Tacna

Para poder ejecutar este método se solicitó la autorización de la administración del mercado Grau y de la municipalidad distrital de Tacna.

El centro de abastos cuenta con una población (N_p) de 2000 puestos de expendio al mayoreo y minoreo los cuales generan residuos sólidos diariamente; debido a su amplia extensión se obtuvo una muestra representativa mediante análisis estadístico como lo recomienda “La Guía Metodológica para el desarrollo del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales “(Ministerio del Ambiente, 2017). El tamaño de muestra (n) se determinó utilizando la ecuación N°1, con un nivel de confianza ($Z_{1-\alpha/2}$) del 95%. De la muestra obtenida se realizó una distribución en función de los dos rubros de interés: frutas y verduras. Con esta información se pudo determinar la generación total diaria de los residuos orgánicos (verduras y frutas) del centro de abastos Grau. Al contar con esta información se procedió a la distribución diaria de bolsas plásticas, dichas bolsas fueron rotuladas con el código que se asignó a los puestos seleccionados. La recolección de bolsas se realizó durante 8 días, sin embargo, se registraron los datos a partir del segundo día y se trasladaron a un área autorizada dentro del mercado donde se realizó el pesaje de cada bolsa. Con los datos del pesaje se calculó la generación per-puesto (GPP) utilizando la ecuación N°2, posteriormente, se halló la generación total diaria de residuos del mercado (GT) utilizando la ecuación N°3 (Ministerio del Ambiente, 2018).

3.5.2 Determinación de la composición de los residuos orgánicos

Una vez pesadas todas las bolsas con los residuos, se procedió a vaciar su contenido sobre una lámina de plástico de 4x4, obteniendo aproximadamente 180 kg de residuos orgánicos a homogenizar; seguidamente se realiza el método del cuarteo (Sakurai, 1982), en el cuál se toman las dos partes opuestas de los cuatro lados, desechando las otras dos, formando un solo montón de 60kg aproximadamente para poder realizar la prueba del peso volumétrico o densidad de los residuos sólidos.

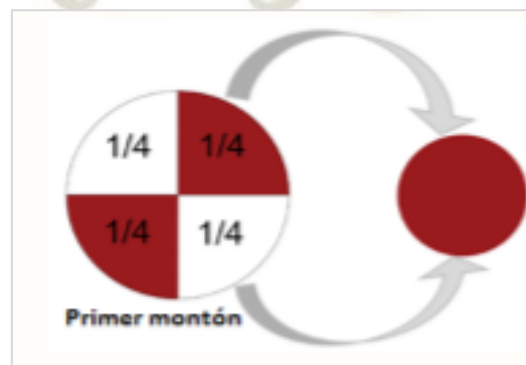


Figura 7. Método de cuarteo (Sakurai, 1982)

Con las dos partes que se desecharon se realizó la composición física de los residuos; Se separaron los residuos (verduras y frutas) se pesaron por separado y se registraron los datos. Se calculó el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día y el peso de cada componente (Ministerio del Ambiente, 2018).

$$\text{Porcentaje de RS(\%)} = \frac{P_i}{W_t} \times 100 \quad (9)$$

Dónde:

W = peso total de los residuos recolectados en un día.

P_i = peso de cada componente

3.5.3 Determinación de la densidad aparente de los residuos

Se determinó la densidad aparente (ρ) de los residuos orgánicos, para ello se utilizó un barril de plástico de 0.229m^3 de capacidad total (H: 0.90 m; D: 0.57 m) que fue llenado hasta el 60 % de su capacidad aproximadamente con los residuos recolectados, se registró el pesaje del barril lleno el cual fue levantado 15 cm sobre la superficie y se dejó caer tres veces con la finalidad de llenar los espacios vacíos. Después se midió con una cinta métrica la altura libre de los residuos sólidos después de compactarse (h) (Figura 8) y se determinó el volumen que ocupaban los residuos aplicando la ecuación N°4.

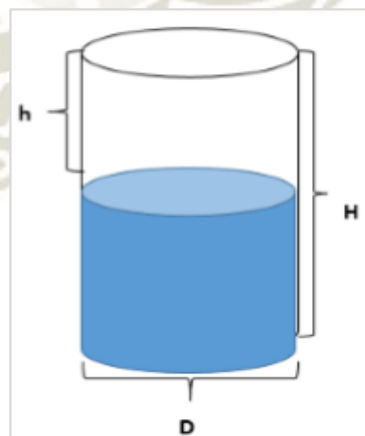


Figura 8. Esquema del balde para hallar la densidad in situ (Ministerio del Ambiente, 2017).

Donde:

H: Altura del barril: 0.90 m.

D: diámetro del barril: 0.57 m

h: altura libre de los residuos

Después de la compactación: m

3.5.4 Obtención y caracterización de los residuos orgánicos

A partir de la segregación de residuos sólidos del método anterior se tomó una muestra representativa del tratamiento 1 y otra del tratamiento 2, ambas de 1 kg, se colocaron en una bolsa con cierre hermético *Ziploc 30 x 41 cm* debidamente rotulada para facilitar su manejo y transporte al laboratorio para determinar la humedad, porcentaje carbono, porcentaje de nitrógeno y relación C/N.

3.5.5 Análisis de suelo

Las muestras de suelo provenientes de dos hectáreas del distrito “La Yarada - Los Palos fueron recolectadas según la metodología del ministerio de agricultura (2011); esta guía indica que para la obtención de las muestras de suelo en lotes homogéneos no superiores a 10 has se puede realizar un recorriendo en zigzag (figura 9), recolectando muestras simples en 10 a 20 puntos, limpiando la superficie del terreno en cada lugar a muestrear.

Estas se tomaron a 20 cm de profundidad; se mezclaron sobre un plástico y se pesó una muestra compuesta de 1kg con ayuda de una balanza; finalmente se depositó en una bolsa *Ziploc 30 x 41 cm* hermética debidamente rotulada; finalmente se envió a analizar al Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Semillas del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

Según el INIA (2017); para un muestreo de la capa arable la profundidad que se recomienda va de 0 – 25/30 cm.

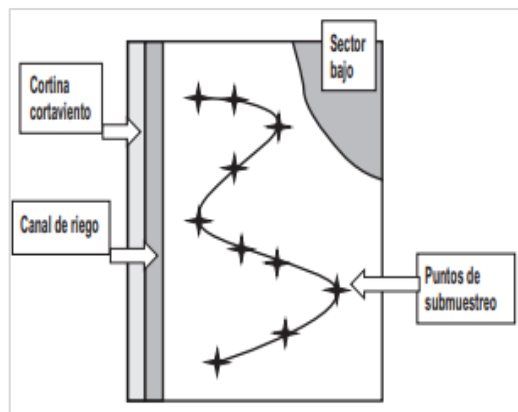


Figura 9. Muestreo siguiendo un recorrido en zigzag (Ministerio de Agricultura, 2011).

Tabla 5.

Parámetros analizados en las muestras de suelo inicial.

| <i>Parámetros analizados en las muestras de suelo inicial</i> | | | | | | | | | |
|--|------------------------|---------------|-------------|-------------|----|----|-------------|---------------|-----|
| Textura | Materia orgánica (M.O) | Nitrógeno C/N | FÓSFORO (P) | POTASIO (K) | CE | PH | Calcio (Ca) | Magnesio (Mg) | CIC |

Fuente: elaboración propia

3.5.6 Evaluación de la Calidad del Compost

El diseño de experimentación para la evaluación de la calidad de compost corresponde a un diseño completamente randomizado (DCR) donde cada una de las composteras o pilas representa una unidad experimental con tres repeticiones cada una y la diferencia de medidas de los tratamientos se determinara mediante un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas de una vía, con tratamiento como factor seguido del modelado lineal generalizado con comparaciones múltiples post hoc de Tukey para determinar diferencias significativas. Se utilizó el software STATISTICA 10.0.

Este diseño consiste en la asignación de los tratamientos en forma completamente aleatoria a las unidades experimentales, por ejemplo (individuos, grupos, parcelas, jaulas, animales, insectos, etc.). Debido a su aleatorización irrestricta, es conveniente que se utilicen unidades experimentales lo más homogéneas posibles: animales de la misma edad, del mismo peso, similar estado fisiológico; parcelas de igual tamaño, etc., a manera de disminuir la magnitud del error experimental, ocasionado por la variación intrínseca de las unidades

experimentales. Este diseño es apropiado para experimentos de laboratorio, invernadero, animales, etc., es decir, situaciones experimentales como de las condiciones ambientales que rodean el experimento (Castillo y Mejía, 2011).

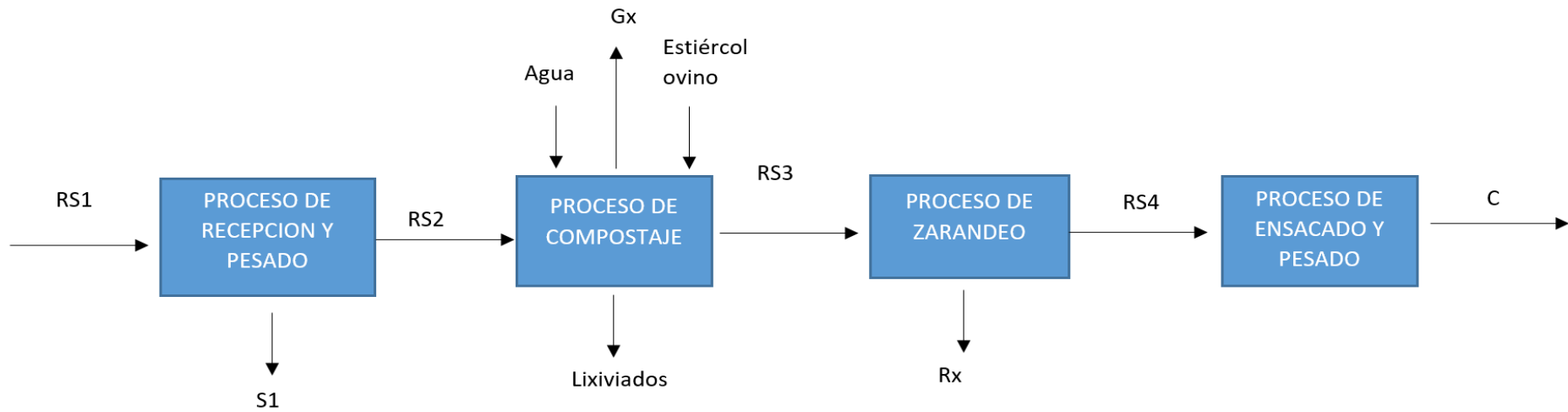
3.5.7 Implementación de las composteras

Para la elaboración de los camellones de compostaje se procedió a acondicionar el terreno donde se realizó la disposición al azar de estos, se limpió el terreno usando rastrillos y se cubrió con un plástico grueso para evitar la infiltración de lixiviados al suelo; usando palas se prepararon los camellones; la formación de los camellones duro cuatro horas. Finalmente se humedecieron y se cubrieron con un plástico.

Los tratamientos fueron monitoreados mediante el uso de un termómetro higrómetro con sonda CC4184 y un multiparámetro marca Hach. Cumplido el tiempo de compostaje (T_c), se realizó el zarandeo del compost; se recolectó una muestra por tratamiento y fueron enviadas en bolsas *Ziploc 30 x 41 cm* al laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria para el análisis de fertilidad. Al cabo de siete días, se obtuvieron los resultados del laboratorio.

3.5.8 Diseño del proceso de compostaje

Para el estudio se realizó el siguiente diagrama de bloques.



RS1 = residuos sólidos recolectados

S1= residuos que no forman parte de la ruma

RS2= residuos sólidos orgánicos

Gx= gases tóxicos

RS3= residuos sólidos maduros

Rx = residuos sin descomposición

RS4= residuos sólidos de textura fina

C= Compost

Figura 10. Diagrama de bloques del proceso de compostaje (fuente: elaboración propia)

3.5.9 Densidad del material compostado

Para calcular la densidad del material se tomó un balde con un volumen de 0.02m^3 , se pesó el balde lleno de material sin compactar y se restó el peso del balde (1kg). Por último, se dividió el peso del material entre el volumen conocido y así se obtiene la densidad del material. Se aplica la ecuación N° 7 (OPS, 1999; Roman y Pantoja, 2013).

3.5.10 Incorporación del compost al suelo

Una vez listo el compost se incorporó 10 kg de este en cada punto de muestreo del distrito “La Yarada – Los Palos”. Teniendo como base que 1m^2 de suelo con capa arable de 20 cm tiene un volumen de 0.2 toneladas (León, 2007); y que un suelo con textura arena franca, como la del suelo estudiado, tiene una densidad de $1.60 - 1.70 \text{ gr/cm}^3$ (Daddow y Warrington, 1983).

Se procedió a hacer el siguiente cálculo:

$$\text{Densidad aparente} \times \text{volumen de suelo en } 1\text{m}^2 \quad (10)$$

El tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) se incorporó en 10 puntos, de igual manera el tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas), siguiendo el mismo recorrido en zigzag que se realizó inicialmente para la recolección de las muestras de suelo (Figura 7). Estos puntos se regaron por sistema de goteo durante 60 días; pasado este tiempo se recolectaron 20 muestras simples, se mezcló y recolectó una muestra representativa de 1kg por cada tratamiento, se depositaron en bolsas *Ziploc 30 x 41 cm* herméticas debidamente rotuladas y se llevaron al laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) para su respectivo análisis, los resultados de laboratorio se muestran en el Anexo 8 y 9.

3.5.11 Propuesta del diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento aeróbico.

Se determinan las características para las áreas del sistema de compostaje (OPS,1999). Se detalla el área de la zona de producción de compost, del área de volteo y el detalle del volumen efectivo de producción de compost; para ello se utilizó el Adobe Ilustrator CS6.

3.5.12 Propuesta diseño de la planta de compostaje aerobio

- Área: (m²)
- Distribución de la planta
- Volumen de las parvas: (m³)
- Densidad de los residuos: (kg/m³)
- Peso de los residuos recolectados: (kg)

Se utiliza la fórmula del Volumen del paralelepípedo (Ec. N° 8):

$$\text{Volumen del paralelepipedo} = X \cdot Y \cdot Z$$

Donde:

X= ancho

Y= altura

Z = longitud

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Línea base de la investigación

La ciudad de Tacna está ubicada en la costa meridional del Perú, a 558 m.s.n.m. Se encuentra situada a los $70^{\circ}14'23''$ de longitud oeste del meridiano de Grenwich y a los $17^{\circ}59'39''$ de latitud sur. La ciudad de Tacna está conformada por los distritos de Tacna, Gregorio Albarracín, Palca, Pachía, Calana, Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay, Inclán, Sama y La Yarada-Los Palos. El distrito de Tacna conforma la mayor parte del área urbana de la ciudad de Tacna con 2,303.20 has., que se caracteriza por tener una configuración urbana alargada en forma paralela al río Caplina (PIGARS provincial de Tacna, 2014).

4.1.1 Ubicación geográfica La Yarada – Los Palos

El Distrito La Yarada – Los Palos es un sector productivo del valle del Caplina, está ubicada en la parte más meridional de la cuenca del río Caplina del extremo sur del Perú, entre las coordenadas $15^{\circ}17'$ y $18^{\circ}18'$ de la latitud Sur y $69^{\circ}28'$ y $71^{\circ}23'$ de la latitud Oeste, en la región costa (Ministerio de agricultura, 1972).

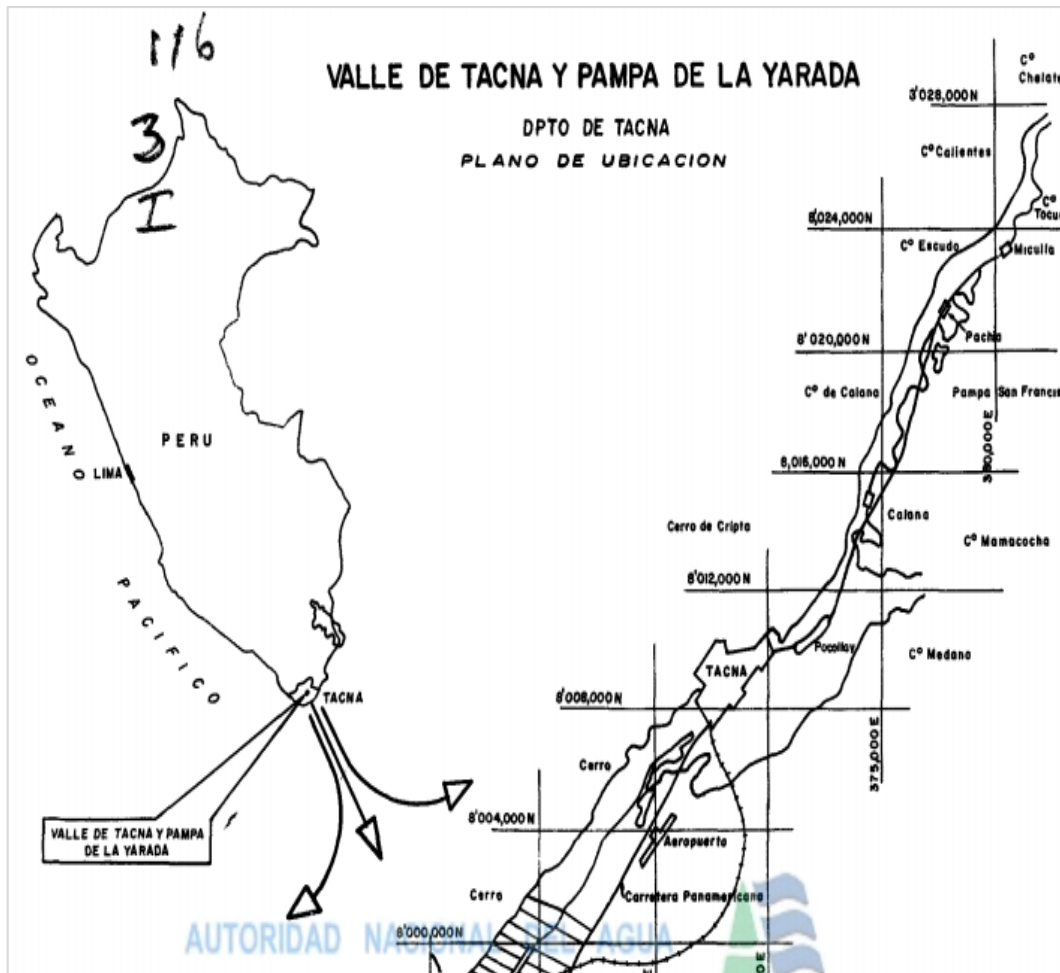


Figura 11. Plano de ubicación, valle de Tacna y pampa de la Yarada - Los Palos (Ministerio de agricultura, 1972).

4.1.2 Clima de La Yarada - Los Palos

Para Tacna, el mes con temperatura más alta es febrero (27.9°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (9.1°C); y llueve con mayor intensidad en el mes de setiembre (10.7 mm/mes) (SENAMHI, 2019).

Tabla 6.

Estadísticas climatológicas (SENAMHI, 2019).

| Mes | Temperatura Máxima (°C) | Temperatura Mínima (°C) | Precipitación (MI) |
|------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| Enero | 27.5 | 16.5 | 0 |
| Febrero | 27.9 | 16.7 | 0 |
| Marzo | 27 | 15.5 | 0 |
| Abril | 25 | 13 | 0 |
| mayo | 22.3 | 10.6 | 0 |
| Junio | 20.2 | 9.4 | 1 |
| Julio | 19 | 9.1 | 6 |
| Agosto | 19.5 | 9.4 | 4 |
| Setiembre | 20.5 | 10.1 | 11 |
| Octubre | 22.2 | 11.4 | 1 |
| Noviembre | 23.8 | 13.1 | 0 |
| Diciembre | 25.7 | 14.5 | 0 |

4.1.3 Características del suelo

Según Zúñiga y Mata (1961), los suelos de las pampas de La Yarada – Los Palos son franco arenoso, profundos, color gris claro a marrón claro; en algunas zonas alternan con capas de arena fina, existiendo en otros casos capas arenosas con pequeña proporción de grava. Su drenaje es moderado, presentan una pendiente general de 1 a 25%. Son suelos de reacción neutra o ligeramente alcalina (pH 6-7), con bajo contenido de materia orgánica y cantidades mínimas de ácido fosfórico, nitrógeno y potasio. La humedad es de 2 a 36%. La producción de sales solubles es alta y están representadas mayormente por cloruros y sulfatos.

Los suelos de las pampas de la Yarada se han formado de abanicos, aluviales y las características están determinadas por la naturaleza del material que los han derivado y la manera como estos materiales se han distribuido y depositado. La acumulación de sales en las capas superiores se ha visto favorecidas por las condiciones ecológicas del lugar: la escasa precipitación, el ascenso de las sales a las capas superiores por movimiento capilar y evaporación del agua, las brisas marinas que pueden acarrear fracciones salinas, etc. En muchos lugares los suelos presentan una capa endurecida (Hardpan) denominado “caliche”, a profundidades superficiales a lo largo de la línea litoral, también se presentan estratos con mezcla de conchuelas (Ministerio de Agricultura, 1972). Las características salino-sódicas identificadas en los suelos hicieron que los agricultores se vean obligados a aplicar prácticas de manejo para su recuperación y hacerlos fértiles mediante la aplicación de enmiendas químicas, araduras profundas, lavado de suelos, aplicación de materia orgánica y siembra de cultivos tolerantes (Ministerio de Agricultura, 1972).

4.1.4 Centro de abastos Grau

El centro de abasto Grau con un área de 35000 m² se encuentra en el distrito de Tacna, su construcción inició en el año 1998 y se fundó en el año 1999; tiene 2000 puestos privatizados los cuales se divide en cuatro rubros: carnes, frutas, verduras y abarrotes, contando también con pequeños restaurantes. En esta investigación solo son de interés los puestos de frutas (152) y los puestos de verduras (388) (Guillen, 2018).



Figura 12. Ubicación geográfica del Centro de Abastos Grau
(Google Earth, 2017).

4.1.5 Determinación de la generación total diaria de residuos orgánicos del mercado

Grau – Tacna

Como se observa en la tabla 7, la distribución de la muestra se hizo en función al número de puestos existentes en los rubros de verduras y frutas del centro de abastos. En la tabla 8 se muestra el registro del promedio de la generación por puesto durante los días de recolección de muestras.

Tabla 7.

Distribución de muestras por rubro.

| RUBRO | CANTIDAD | PORCENTAJE (%) | NUMERO DE MUESTRAS |
|-----------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| Verduras | 388 | 72 | 44 |
| Frutas | 152 | 28 | 17 |
| TOTAL | 540 | 100 | 61 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.

Generación por puesto.

| N° de puestos | Rubro | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Promedio de generación por puesto |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
| | | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | |
| | | | | | | | | | Kg/puesto/día |
| 1 | V | 2.7 | 2.2 | 3 | 2.1 | 3.2 | 4 | 3.5 | 2.957 |
| 2 | V | 6 | 4.5 | 3.1 | 3 | 2.3 | 3.4 | 5.1 | 3.914 |
| 3 | V | 3.4 | 6.2 | 3.2 | 1.19 | 3.3 | 3.1 | 1.2 | 3.084 |
| 4 | V | 3.1 | 6.5 | 3.5 | 3.2 | 2 | 2.7 | 23 | 3.371 |
| 5 | V | 4.2 | 2.6 | 1 | 3.5 | 2.6 | 1.56 | 2.6 | 2.58 |
| 6 | V | 3.1 | 3 | 5.4 | 2.4 | 3.1 | 2.7 | 1.1 | 3.343 |
| 7 | V | 2.1 | 3.2 | 2.1 | 5 | 2.6 | 2.4 | 3.5 | 1.493 |
| 8 | V | 5.7 | 2.9 | 4.1 | 3.7 | 2 | 1.2 | 2.47 | 3.153 |
| 9 | V | 6.46 | 1.2 | 5.8 | 4 | 2.84 | 3.6 | 1 | 3.128 |
| 10 | V | 5.5 | 3.1 | 1.3 | 2.2 | 2 | 0.7 | 1.5 | 2.328 |
| 11 | V | 2.2 | 2.8 | 2.8 | 1.9 | 3.4 | 1 | 5.1 | 2.743 |
| 12 | V | 7.3 | 1.1 | 4.7 | 2.2 | 0.7 | 1.6 | 1.2 | 2.743 |
| 13 | V | 2.7 | 4.2 | 3 | 3.2 | 2.4 | 4.4 | 1.16 | 2.257 |
| 14 | V | 1 | 6.2 | 3.9 | 2.5 | 4.1 | 2.2 | 1.4 | 1.521 |
| 15 | V | 2.36 | 0.59 | 2.2 | 3 | 3 | 2 | 1.6 | 2.136 |
| 16 | V | 1.07 | 0.85 | 4.69 | 3.1 | 4.5 | 1 | 5.3 | 3.184 |
| 17 | V | 3.8 | 5.9 | 1.1 | 2.36 | 1.5 | 3 | 2.4 | 2.866 |
| 18 | V | 7.8 | 4.3 | 5.8 | 1.1 | 3.5 | 4.1 | 5 | 4.371 |
| 19 | V | 2.46 | 6 | 2.9 | 2.7 | 2 | 3.38 | 3.2 | 3.32 |
| 20 | V | 5.8 | 3.3 | 4.3 | 1.9 | 4.2 | 1.8 | 1 | 3.186 |
| 21 | V | 3.1 | 1.7 | 4.2 | 3.3 | 1 | 1.7 | 3.1 | 2.586 |
| 22 | V | 1.3 | 1.5 | 2.4 | 2.6 | 5.3 | 5 | 2.7 | 2.4 |
| 23 | V | 2 | 1.7 | 3 | 4.8 | 2.6 | 3.4 | 1 | 2.586 |
| 24 | V | 2.5 | 6.34 | 2.1 | 4.7 | 2.1 | 2.5 | 1.1 | 2.617 |
| 25 | V | 1.3 | 3.6 | 2.7 | 2.65 | 3 | 2.2 | 1.7 | 1.368 |
| 26 | V | 2.3 | 1.6 | 3.5 | 3.7 | 1.4 | 1.4 | 6.2 | 2.8 |
| 27 | V | 3.4 | 0.6 | 3.8 | 1.7 | 4.9 | 1.3 | 2.4 | 2.907 |
| 28 | V | 3 | 1.4 | 3.2 | 2.4 | 2.3 | 1.1 | 1.4 | 2.093 |
| 29 | V | 2.85 | 0.5 | 5.4 | 4 | 0.5 | 2.65 | 1 | 1.953 |
| 30 | V | 1.3 | 1.8 | 2.3 | 3.4 | 1.52 | 2 | 1.3 | 1.946 |
| 31 | V | 1.7 | 2 | 1.5 | 2.6 | 6.2 | 1.5 | 1.8 | 2.614 |
| 32 | V | 1.56 | 1 | 2 | 3.4 | 5.2 | 2 | 2.3 | 2.494 |
| 33 | V | 3.44 | 0.6 | 4 | 2 | 1.6 | 1.4 | 2.5 | 2.248 |
| 34 | V | 1.83 | 0.76 | 2.7 | 1.6 | 2.5 | 0.8 | 1.2 | 1.627 |
| 35 | V | 2 | 2.6 | 2.76 | 3.15 | 4.2 | 1.3 | 2.28 | 2.613 |
| 36 | V | 3.1 | 1.4 | 2 | 4.2 | 4.5 | 3.7 | 2.3 | 3.028 |
| 37 | V | 2.1 | 0.8 | 2.9 | 3 | 5.3 | 1 | 3 | 2.443 |
| 38 | V | 1.25 | 1.3 | 3 | 3.1 | 1.67 | 1.7 | 2.1 | 1.946 |
| 39 | V | 2.5 | 0.9 | 2.3 | 3.6 | 3.5 | 0.60 | 1.6 | 2.143 |
| 40 | V | 5.2 | 2.73 | 1 | 3 | 2.9 | 0.9 | 2.6 | 2.371 |
| 41 | V | 1.7 | 1.74 | 2.3 | 3.46 | 6 | 1.7 | 1.2 | 2.586 |

| | | | | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| 42 | V | 1.23 | 1.17 | 1.8 | 4.1 | 7.83 | 3.4 | 1.6 | 3.018 |
| 43 | V | 2.8 | 1.2 | 1 | 2.3 | 2.1 | 1.2 | 1.7 | 1.757 |
| 44 | V | 2.9 | 1.63 | 2 | 3.5 | 2.3 | 1 | 2.3 | 2.233 |
| GENERACION PROMEDIO DE PUESTOS DE VERDURA | | | | | | | | | 2.59 |
| 45 | F | 7.9 | 2.7 | 5.1 | 1.73 | 2.1 | 1.5 | 6.72 | 3.964 |
| 46 | F | 8.3 | 2.3 | 2.3 | 6.7 | 3.1 | 2.35 | 4.52 | 4.224 |
| 47 | F | 6.62 | 3.4 | 1.6 | 5.6 | 3.3 | 1.2 | 7 | 1.367 |
| 48 | F | 9.3 | 3.1 | 1.26 | 2.6 | 4.6 | 6 | 4 | 2.204 |
| 49 | F | 7.6 | 3.5 | 3.6 | 3.1 | 3 | 3.5 | 2.8 | 3.871 |
| 50 | F | 7.4 | 3 | 2.1 | 3.2 | 2.5 | 1 | 3.4 | 3.228 |
| 51 | F | 4.53 | 6 | 3.14 | 1.7 | 2.25 | 4 | 2.6 | 1.73 |
| 52 | F | 4.4 | 1.1 | 2.2 | 3.5 | 3 | 2.5 | 6.8 | 3.357 |
| 53 | F | 6.25 | 3.6 | 1.8 | 3.1 | 2.5 | 2 | 1.16 | 2.916 |
| 54 | F | 6 | 5.8 | 3.5 | 3.2 | 4.2 | 3.2 | 3.2 | 4.157 |
| 55 | F | 6.85 | 3.4 | 4 | 3.2 | 1.2 | 3.5 | 5.4 | 3.936 |
| 56 | F | 6.5 | 5.7 | 2.4 | 5.6 | 3.2 | 1 | 2.4 | 3.828 |
| 57 | F | 7.23 | 2.2 | 2.3 | 3 | 2.4 | 8 | 2 | 3.876 |
| 58 | F | 2.3 | 1.3 | 1.3 | 2 | 2.5 | 1.6 | 2.8 | 1.9714 |
| 59 | F | 12 | 1.6 | 3.4 | 3.4 | 5 | 2.25 | 4 | 4.521 |
| 60 | F | 9.2 | 1.3 | 4.6 | 1.56 | 6.8 | 1.6 | 5 | 4.294 |
| 61 | F | 10.6 | 5.8 | 1.3 | 6.74 | 3.2 | 2.5 | 3.52 | 2.404 |
| GENERACION PROMEDIO DE PUESTOS DE FRUTA | | | | | | | | | 3.29 |

Fuente: Elaboración propia.

La generación total diaria estimada de los residuos sólidos resultó de 1505 kg/día o 1.505 TM/día. Como se observa en la tabla 9; el rubro de verduras es el de mayor generación de residuos con 1005 kg/día que equivale al 67 %. Además, presenta una GPP de 2.59 kg/puesto/día, debido a que las hojas de las verduras se marchitan rápidamente, generando desperdicios con facilidad.

La generación total diaria de frutas es de 500 kg/día que equivale al 33%; con una mayor GPP de 3.29 kg/puesto/día; esto se debe a que los residuos de frutas son más pesados debido a su alto contenido de agua. La generación total diaria de frutas es menor debido a que el porcentaje de puestos de este rubro (28%) es mucho menor que el porcentaje de puestos de verduras (72%).

Tabla 9.

Generación total de residuos sólidos orgánicos del centro de abastos.

| Rubro | Nº de puestos | Generación promedio por puesto (Kg/puesto/día) | Generación total por rubro (Kg/rubro/día) |
|-------------------------|---------------|--|---|
| Verduras | 388 | 2.59 | 1005 |
| Frutas | 152 | 3.29 | 500 |
| Total de puestos | 540 | Generación Total de residuos | 1505 |

Fuente: Elaboración propia.

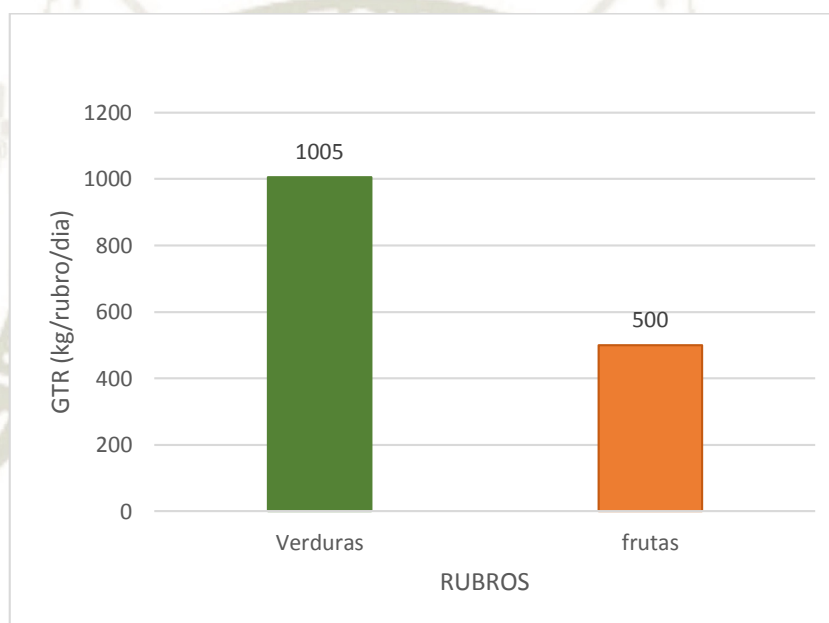


Figura 13. Generación total por rubro

Fuente: elaboración propia.

4.1.6 Determinación de la composición de los residuos orgánicos

En la tabla 10, se presenta la composición física de los residuos sólidos del centro de abastos, en donde los residuos vegetales representan el 65% y los restos de frutas el 35%.

Según el estudio de caracterización de residuos sólidos la Municipalidad Provincial de Tacna (2017), la composición física de los residuos sólidos no domiciliarios en mercados, donde se evaluaron todos los rubros, dio como resultado que el mayor porcentaje de residuos (82%) corresponde a materia orgánica; lo que propicia su aprovechamiento.

Tabla 10.

Composición física de los residuos sólidos.

| Tipo de residuos sólidos | Generación de Residuos Sólidos (verduras y frutas) – Mercado Grau | | | | | | | | | Composición Porcentual |
|--------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|---------|---------------------------|
| | Día0 0 | Día 01 | Día 02 | Día 03 | Día 04 | Día 05 | Día 06 | Día 07 | Total | |
| | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | Kg. | |
| Verduras | - | 131.91 | 111.24 | 134.05 | 130.41 | 135.16 | 96.26 | 101.21 | 840.24 | 65% |
| Frutas | - | 122.98 | 55.8 | 45.9 | 59.93 | 54.84 | 47.7 | 67.32 | 454.47 | 35% |
| TOTAL | - | 254.89 | 167.04 | 179.95 | 190.34 | 190 | 143.96 | 168.53 | 1294.71 | 100% |

Fuente: elaboración propia.

4.1.7 Determinación de la densidad aparente de los residuos del centro de abastos Grau.

Como se observa en la Tabla 11 la densidad aparente promedio de los residuos orgánicos fue 271.45 kg/m³.

Tabla 11.

Datos experimentales de densidad aparente in situ

| Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Densidad promedio (kg/m ³) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--|
| 265.83 | 269.09 | 247.87 | 246.96 | 324.43 | 224.66 | 321.347 | 271.456 |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8 Obtención y caracterización de los residuos orgánicos del centro de abastos Grau.

En la tabla 12 se muestran los resultados del laboratorio de Análisis de suelos, Aguas y Semillas del Instituto Nacional de Innovación Agraria, donde se realizó el análisis de % Humedad, % C, % N, y relación C/N de los residuos orgánicos (verduras y frutas) determinados a partir de las muestras representativas de cada tratamiento que se obtuvieron en campo (Anexo 3).

Tabla 12.

% Humedad, % C, % N, y relaciones C/N de los residuos sólidos vegetales

| Nº muestra | % C | % M.O | % N | Relación. C/N | Humedad (%) |
|------------|-------|-------|------|---------------|-------------|
| T 1 | 44.45 | 76.45 | 0.58 | 76.64/1 | 87.96 |
| T 2 | 44.46 | 76.47 | 1.06 | 41.94/1 | 88.92 |

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del INIA, 2018.

García y Gómez (2016), indican que los residuos de frutas y verduras se caracterizan por su alto contenido de humedad (95%), esto se confirma con los resultados de ambas muestras, ya que contienen una humedad de 87.96 % y 88.92 %. Según la OPS (1999); porcentajes de humedad mayores al 60 % desplazarían el aire entre las partículas de la materia orgánica, convirtiendo el medio anaerobio. Es por ello por lo que es esencial hacer que los residuos pierdan humedad extendiendo el material en capas delgadas antes de conformar las pilas o camellones.

La relación C/N de la muestra N°1, la cual es representativa del tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) es 76.64/1, y 41.94/1 para la muestra 2, representativa del tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas). Según la OPS (1999), una relación C/N de 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10 indica que el material tiene relativamente más nitrógeno, si la relación es 40, manifiesta que el material tiene relativamente más carbono; justificando el alto contenido de carbono orgánico en los residuos de verduras y frutas. En caso de que el material que dispongamos no presente una relación C/N inicial apropiada para su compostaje, se debe realizar una mezcla con otros materiales para lograr una relación apropiada.

4.1.9 Características iniciales de la muestra de suelo de la Yarada - Los Palos.

Las muestras obtenidas se enviaron a analizar al Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Semillas del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Al cabo de una semana entregaron los resultados con su respectiva interpretación

Los resultados del análisis de la muestra se pueden apreciar en el Anexo 2, sin embargo, a continuación, se muestra un resumen de tales características.

Tabla 13.

Características iniciales de la muestra de suelo del distrito la Yarada - Los Palos.

| Muestra | M.O (%) | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | CE (us/cm) | pH |
|----------------------|--------------------|--------------|----------------|--------------------|-----------------------|-----------|
| Suelo inicial | 0.41 | 0.02 | 24.19 | 437.46 | 6700 | 6.90 |

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del INIA, 2018.

Es un suelo con textura moderadamente gruesa, 82.8 % Arena, 10.4 % limo, 6.8 % arcilla; deficiente en retención de humedad y buena capacidad de aireación del suelo, con una porosidad de 37.0 %. Es una muestra con reacción neutra con 6.90 de pH, muy salino en conductividad eléctrica 6700 us/cm, deficiente en contenido de materia orgánica 0.41% y nitrógeno 0.02 %, alto en concentración de fósforo 24.19 ppm (0.002419 %) y potasio 437.46 ppm (0.04375 %).

4.1.10 Diseño de las composteras

Para la elaboración de los camellones se utilizaron 1290 kg de residuos orgánicos y 1080 kg estiércol ovino repartidos en los 6 camellones; como se observa en la tabla 14 cada camellón estuvo conformado por 215 kg de residuos orgánicos y 180 kg de estiércol ovino. El área de cada camellón fue de 1.5m de largo x 1.5m de altura, el espacio entre cada uno fue de 1.5m (figura 14).

Tabla 14.

Relaciones de mezcla de las pilas de compost.

| Tratamiento | Residuos de verduras | Residuos de Frutas | Estiércol Ovino |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Tratamiento N°1 rep. 1 | 80% 172 kg | 20% 43 kg | 180 kg |
| Tratamiento N°1 rep. 2 | 80% 172 kg | 20% 43 kg | 180 kg |
| Tratamiento N°1 rep. 3 | 80% 172 kg | 20% 43 kg | 180 kg |
| Tratamiento N°2 rep. 1 | 50% 107.5 kg | 50% 107.5 kg | 180 kg |
| Tratamiento N°2 rep.2 | 50% 107.5 kg | 50% 107.5 kg | 180 kg |
| Tratamiento N°2 rep.3 | 50% 107.5 kg | 50% 107.5 kg | 180 kg |

Fuente: Elaboración propia

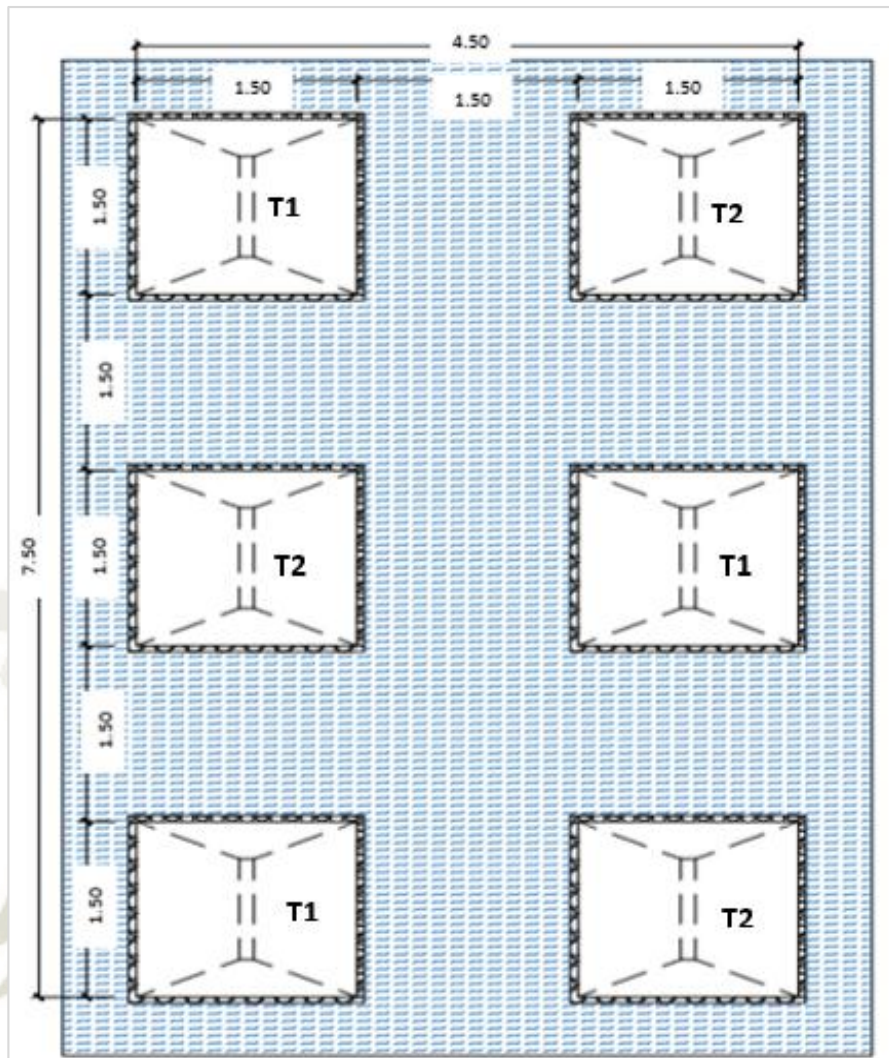


Figura 14. Distribución y dimensiones de los camellones.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.11 Evaluaciones de los parámetros de las composteras: (pH, T°, %H, CE, Densidad) durante el tiempo de compostaje.

Se realizaron 3 evaluaciones a lo largo de 86 días; la primera evaluación fue a los 31 días del inicio del compostaje; la segunda a los 61 días; la tercera a los 86 días de iniciado el proceso de compostaje (Anexo 4). Los resultados se presentan en cuadros los que son comentados y discutidos a continuación.

- **pH en el proceso de compostaje.**

Tabla 15.

Registro de pH en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje. La Yarada - Los Palos. 2018

| Tratamientos | Ph | | |
|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| | 1era Evaluación | 2da Evaluación | 3ra Evaluación |
| T 1 | 8.09 | 8.00 | 8.80 |
| T 2 | 8.20 | 8.15 | 8.94 |

Fuente: Elaboración propia.

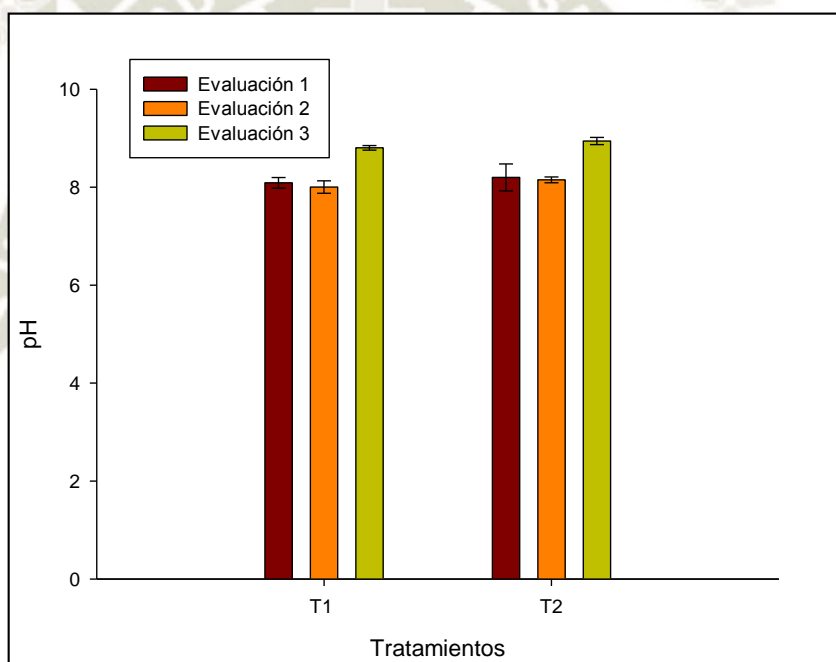


Figura 15. Evaluación del pH durante el tiempo de compostaje (31, 61 y 86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna (Fuente: Elaboración propia).

La tabla 15 y la figura 15 indican la variación del pH durante el proceso de compostaje; los resultados para el tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) y tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) muestra una ligera disminución del pH en la segunda evaluación a los 61 días (8.00 y 8.15 respectivamente) para luego, en la tercera y última evaluación mostrar un aumento del pH (8.80 y 8.94). El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos; en la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH es mayor a 8.5 cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio; una solución a este problema es la adición de material más seco y con mayor contenido en carbono, como aserrín, restos de poda y hojas secas (Pantoja et al., 2013; Alvares, 2010).

No se cumple lo establecido según la bibliografía (Pantoja et al., 2013; Alvares, 2010) en que el pH se acidifica en los primeros días para alcalinizarse al alcanzar la etapa termófila y finalmente se estabiliza en valores cercanos al neutro. Probablemente se debió realizar evaluaciones más seguidas ya que existe la posibilidad de que el compost haya llegado a la fase termófila con mayor temperatura y un pH característico de esta fase, las cuales no fueron registradas debido a que no se midieron en el debido momento.

- **Temperatura en el proceso de compostaje.**

Tabla 16.

Registro de temperatura en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje; La Yarada - Los Palos. 2018.

| Temperatura (°C) | | | |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Tratamientos | 1era Evaluación | 2da Evaluación | 3ra Evaluación |
| T 1 | 27.17 | 42.80 | 23.63 |
| T 2 | 27.06 | 41.50 | 24.03 |

Fuente: Elaboración propia.

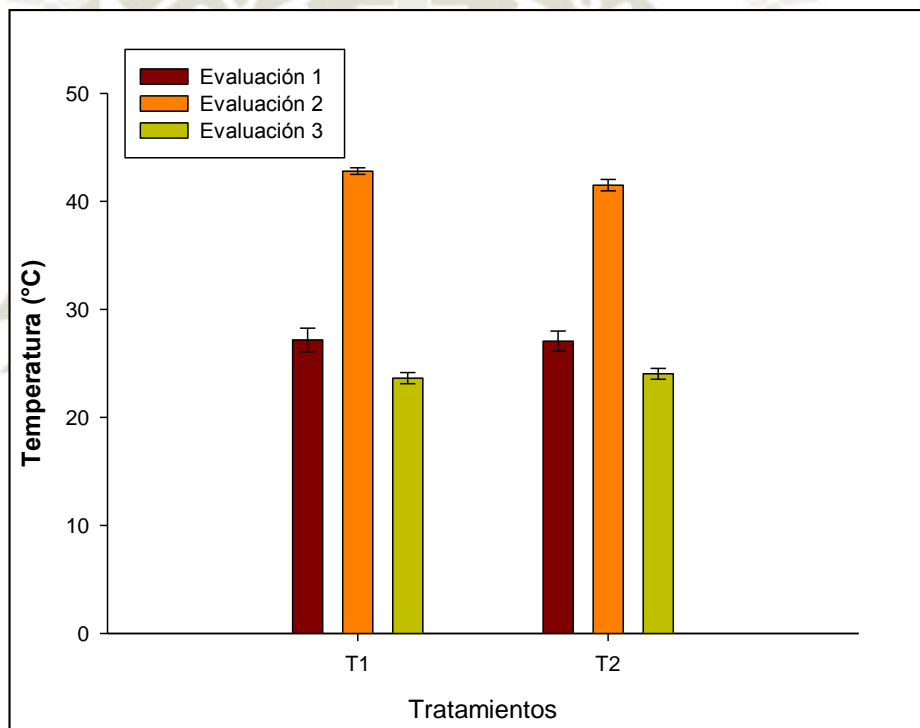


Figura 16. Evaluación de la Temperatura durante el tiempo de compostaje (31, 61 y 86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna (Fuente: Elaboración propia).

La tabla 16 y la figura 16 indican como varía la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) durante el proceso de compostaje; los resultados para las dos propuestas muestran que existe incremento de temperatura en la segunda evaluación (a los 61 días), debido a que se alcanzó la fase termófila, el tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) alcanzó 42.80°C , el tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) 41.50°C , para luego descender hasta la tercera y última evaluación.

Según Jaramillo y Zapata (2008), el rango aceptable de temperatura para el proceso de compostaje está entre 55 y 75°C ; este rango no está dentro de los datos registrados para el proceso de compostaje en la presente investigación; por otro lado Navarro (2006), indica que es deseable alcanzar condiciones termófilas (entre 40 y 93°C), ya que se necesitan altas temperaturas para destruir patógenos que pudieran encontrarse en la pila, ya que de lo contrario se podría producir compost infectado e infectar el lugar donde se vaya a disponer. Según Roman y Pantoja (2013), los parámetros deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén dentro de un rango óptimo.

No se alcanzaron temperaturas muy altas probablemente debido a que el estiércol ovino ya estaba descompuesto al momento de incorporarlo en las parvas y por ello no hubo una cantidad necesaria de microorganismos termófilos, los cuales favorecen altas temperaturas. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización (Roman y Pantoja, 2013). Se cumple lo establecido según la bibliografía (OPS, 1999) en que la temperatura aumenta en la etapa termófila para luego disminuir a temperatura ambiente.

Entre los factores externos que tienen relevancia en la eficiencia del compostaje podemos mencionar la temperatura ambiente durante el proceso debido a la influencia de la temperatura del aire durante la estación invernal; de acuerdo con el análisis de la estadística del SENAMHI, se sabe que la temperatura mínima en el distrito la Yarada – Los palos es de 9.1°C .

- **Humedad en el proceso de compostaje.**

Tabla 17.

Registro de Humedad (%) en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje. La Yarada - Los Palos. 2018.

| Tratamientos | Humedad (%) | | |
|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| | 1era Evaluación | 2da Evaluación | 3ra Evaluación |
| T 1 | 58.1 | 56.8 | 53.2 |
| T 2 | 60.4 | 59.5 | 55.2 |

Fuente: Elaboración propia

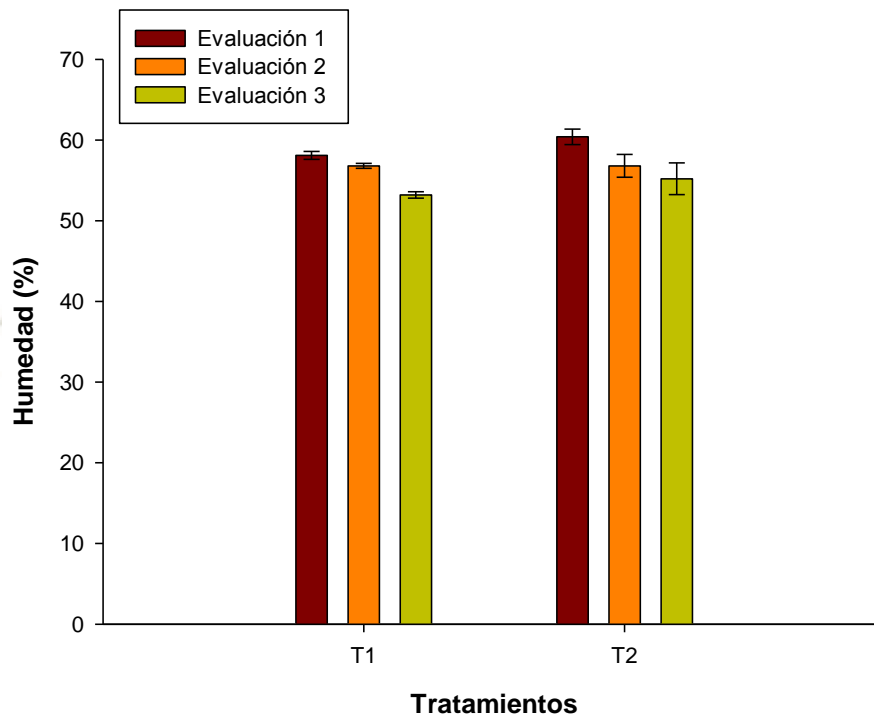


Figura 17. Evaluación de la humedad durante el tiempo de compostaje (31, 61,86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna (Fuente: Elaboración propia).

La tabla 17 y la figura 17 muestran la variación de la humedad durante el proceso de compostaje. El porcentaje de humedad más alto se obtuvo en la primera evaluación de ambos tratamientos; el tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) alcanzó 58.1 % y el tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) 60.4 %, a los 61 días. Los resultados demuestran una disminución de la humedad a medida que avanza el proceso para los dos tratamientos; siendo el tratamiento 2 (80% verduras + 20% de frutas) la que resulta finalmente con una ligera mayor humedad (55.2 %).

La humedad adecuada para cada etapa del compostaje depende de la naturaleza, compactación y textura de los materiales de la compostera. Los materiales fibrosos y finos retienen mayor humedad y aumentan la superficie específica de contacto (OPS, 1999). Si la humedad baja del 45%, disminuye la actividad microbiana, sin que se completen todas las fases de degradación, causando de esta manera que el producto obtenido sea biológicamente inestable. En el proceso de compostaje es muy importante que la humedad alcance niveles óptimos del 50% - 60 % (Jaramillo y Zapata, 2008; OPS, 1999). Los microorganismos necesitan agua como vehículo para transportar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima se puede situar alrededor del 55% aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje (Negro y Solano, 1996).

Se cumplió con los valores óptimos de humedad durante el proceso de compostaje establecidos según la bibliografía (Jaramillo y Zapata, 2008; OPS, 1999; Negro y Solano, 1996), ya que los valores de humedad de las composteras se mantuvieron entre 55-60% de humedad.

- **Conductividad eléctrica en el proceso de compostaje.**

Tabla 18.

Registro de Conductividad Eléctrica (C.E.) en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje. La Yarada - Los Palos. 2018.

| Conductividad eléctrica (C.E.: us/cm) | | | |
|---------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Tratamientos | 1era Evaluación | 2da Evaluación | 3ra Evaluación |
| T 1 | 560 | 1130 | 3140 |
| T 2 | 590 | 1140 | 3710 |

Fuente: Elaboración propia.

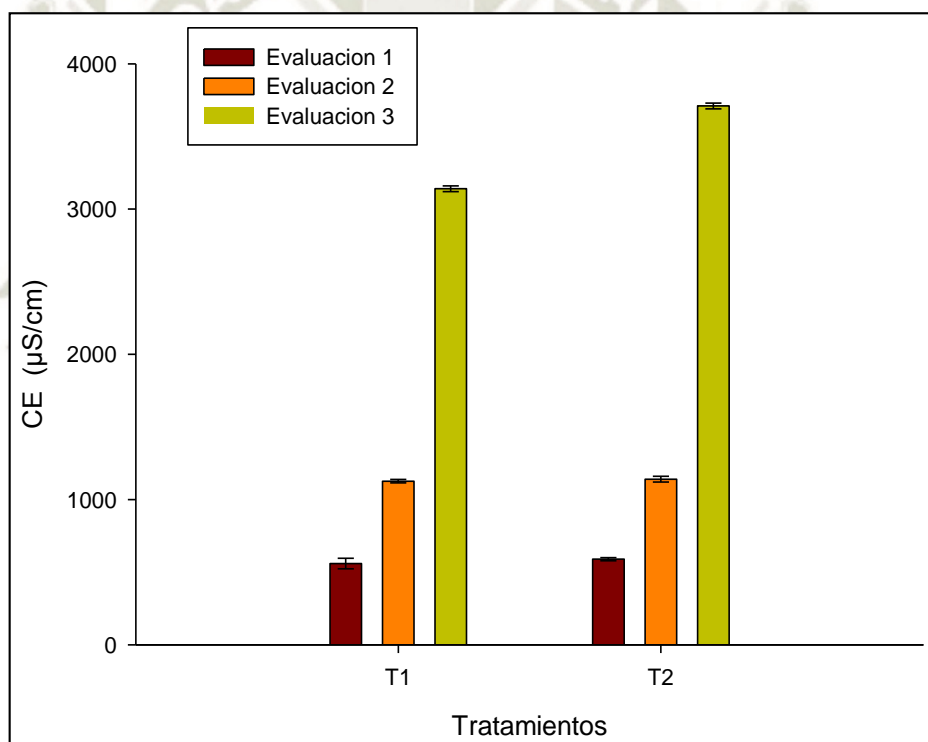


Figura 18. Evaluación de la CE durante el tiempo de compostaje (31, 61,86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna (Fuente: Elaboración propia).

La tabla 18 y la figura 18 indican como varía la salinidad durante el proceso de compostaje, los resultados para las dos propuestas muestran que existe incremento de la conductividad eléctrica en ambos tratamientos (a los 61 días), para luego seguir aumentando hasta la tercera y última evaluación, para el tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) se registró 3140 us/cm y para el tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) 3710 us/cm.

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato que se forman a lo largo del proceso. La conductividad eléctrica tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes (Sánchez-Monedero, 2001). Según la Norma Chilena de calidad de compost, la cantidad de sales que deberían existir en un compost maduro es de ≤ 5 dS/m (Compost Clase A) y de 5-12 dS/m (Compost Clase B).

Se cumple con lo establecido según la bibliografía (Sánchez-Monedero, 2001 y Norma de calidad de compost, 2000) en que la conductividad eléctrica aumenta durante el proceso de compostaje sin superar los 5 dS/m.

- **Densidad en el proceso de compostaje.**

Tabla 19.

Registro de Densidad en muestras obtenidas de cada tratamiento (y sus respectivas repeticiones) sometido al proceso de compostaje. La Yarada - Los Palos. 2018.

| Tratamientos | Densidad (gr/cm ³) | | |
|--------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| | 1era Evaluación | 2da Evaluación | 3ra Evaluación |
| T 1 | 0.21 | 0.26 | 0.29 |
| T 2 | 0.20 | 0.23 | 0.30 |

Fuente: Elaboración propia.

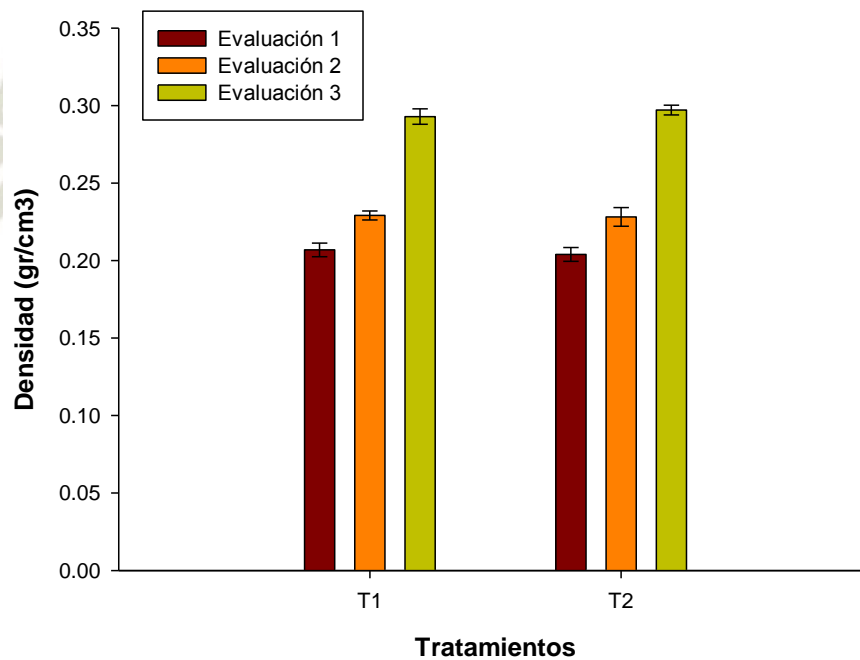


Figura 19. Evaluación de la densidad durante el tiempo de compostaje (31, 61,86 días) en las composteras ubicadas en el distrito La Yarada- Los Palos en la ciudad de Tacna (Fuente: Elaboración propia).

La tabla 19 y la figura 19 indican como varía la densidad durante el proceso de compostaje; los resultados para el tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) ofrece una densidad de 0.29 gr/cm^3 y 0.30 gr/cm^3 para el tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas).

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente $0.15 - 0.250 \text{ gr/cm}^3$, conforme va avanzando el proceso de compostaje, el tamaño disminuye, es por ello que la densidad aumenta al finalizar el tiempo de compostaje ($0.6 - 0.7 \text{ gr/cm}^3$) (Roman y Pantoja, 2013; Stoffella y Kahn, 2001).

Según Sarmiento (2011), a valores altos de densidad le corresponde valores bajos de porosidad y viceversa; en ese sentido la densidad de las muestras de compost permitiría determinar indirectamente la oxigenación del material compostado.

Se cumple con lo establecido según la bibliografía (Roman y Pantoja, 2013; Stoffella y Kahn, 2001) en que la densidad aumenta progresivamente durante el proceso de compostaje, sin embargo, el compost de ambos tratamientos no estuvo dentro del rango que debe tener el compost, finalizado el tiempo de compostaje.

4.1.12 Densidad del material compostado

Se obtiene la densidad del material aplicando la ecuación N° 7 (OPS, 1999; Roman y Pantoja, 2013). Los resultados para el tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) ofrece una densidad de 0.29 g/cm^3 y 0.30 g/cm^3 para el tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas).

4.1.13 Resultado del análisis del compost de los tratamientos T1 (80% verduras + 20% frutas) y T2 (50% verduras + 50% frutas).

Tabla 20.

Resultados de laboratorio del compost del T1 y T2

| PARAMETROS | COMPOST TRATAMIENTO 1 (80% verduras + 20% frutas) | COMPOST TRATAMIENTO 2 (50% verduras + 50% frutas) |
|----------------------|--|--|
| Fósforo (ppm) | 528 | 520 |
| Potasio (ppm) | 14532 | 15032 |
| Relación C/N | 9.16 | 10.76 |
| Nitrógeno (%) | 1.5 | 1.36 |
| M.O (%) | 23.48 | 25.16 |
| CE (us/cm) | 3140 | 3710 |
| pH | 9.31 | 9.35 |
| Humedad (%) | 53.2 | 52.2 |

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del INIA, 2018.

- **Tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas).**

Es una muestra húmeda (53.2%) y de color oscuro, moderadamente alcalino, con 9.31 de pH; moderadamente salino en conductividad eléctrica 3140 us/cm, alto en contenido de materia orgánica 23.48 %, nitrógeno 1.5 %, fósforo 528 ppm ó 0.053 % y potasio 14532 ppm ó 1.45% respectivamente, en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico CIC, es muy alto. La relación C/N: 9.1/16 (Anexo 5).

- **Tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas).**

Es una muestra húmeda (52.2%) y de color oscuro, moderadamente alcalino con 9.35 de pH; moderadamente salino en conductividad eléctrica 3710 us/cm, muy alto en contenido de materia orgánica 25.16%, nitrógeno 1.36%, fósforo 520ppm ó 0.052% y potasio 15032 ppm ó 1.5% respectivamente; con respecto a la capacidad de intercambio catiónico CIC, es muy alto. La relación C/N: 10.76/1 (Anexo 6).

En la tabla 20, se puede evidenciar que el tratamiento con mayor cantidad de materia orgánica (M.O) fue el tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) con 25.16%. Según La Comisión Nacional del Medio Ambiente (2000) el contenido de materia orgánica para el compost debe ser mayor o igual al 25 % en base seca. Por lo tanto el compost del tratamiento

2 si cumple con el porcentaje mencionado en la bibliografía (La Comisión Nacional del Medio Ambiente ,2000).

El compost del tratamiento 2 tiene una mayor relación C/N (10.76). El compost con una relación C/N entre 10 – 25 se considera maduro. La relación C/N sufre variaciones como consecuencia de la actividad microbiana sobre los compuestos carbonados, esto ayuda a valorar el ritmo de mineralización de la materia orgánica, o el grado de humificación. Cuando la relación C/N es alta quiere decir que hay mucha materia orgánica con nitrógeno orgánico, y si es baja se ha consumido carbono y el ritmo de nitrificación se acelera (Comisión Nacional del Medio Ambiente ,2000).

En la tabla 20 se presenta el contenido de nitrógeno en las muestras de compost de los distintos tratamientos; es evidente que comparativamente el contenido de nitrógeno es mayor en el tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) con 1.5% de nitrógeno. Según Cid (2000), el compost debe tener entre 1.5 - 2 % de nitrógeno; por otro lado, Jacob (1961) y Martínez (2013), indican que los porcentajes de nitrógeno en el compost están entre el 0,3% y 1,5%; por lo tanto, el tratamiento 1 se encuentra dentro de los porcentajes ya mencionados. La concentración de nitrógeno en el compost varía en función del grado de madurez, esto quiere decir que el compost fresco es pobre en nitrógeno, mientras que la concentración incrementa a medida que el compost madura (Cid, 2011). El nitrógeno es un nutriente muy importante para el crecimiento microbiano y para la degradación de la materia orgánica; la velocidad de descomposición de los materiales vegetales depende del contenido en nitrógeno de dichos materiales, siendo los sustratos ricos en proteínas metabolizados más rápidamente (Tejada, 2013).

También evidencia que el fósforo en las muestras de compost de los distintos tratamientos se encuentra en una pequeña mayor proporción en el tratamiento 1 con 528 ppm ó 0.0528%. La investigación reporta que ambos tratamientos presentan un alto contenido de fósforo; sin embargo, con respecto a la importancia del contenido de fósforo en los compost Jacob (1961) y Martínez (2013), señala que la proporción de fósforo en el compost está entre el 0,1 y el 1,0 % y varía en función del tipo de restos de las cuales proviene el compost.

En la tabla 20 se presenta el contenido de Potasio en las muestras de compost de los distintos tratamientos; la investigación reporta que ambos tratamientos presentan un alto contenido de potasio 14532 ppm ó 1.4% para el tratamiento 1 y 15032 ppm ó 1.5% para el

tratamiento 2. Sin embargo, Cid (2011), menciona que una proporción adecuada de potasio en el compost está entre el 1% y el 1,5 %, en forma mayoritaria de óxido de potasio K_2O . El compost se puede enriquecer en potasio con cenizas. Por otro lado, según Jacob (1961) y Martínez (2013), la proporción de potasio en el compost esta entre el 0.3 % y 1.0%.

4.1.14 Parámetros del compost obtenido a partir del Tratamiento 1 y Tratamiento 2 en la tercera y última evaluación.

Tabla 21.

Parámetros de las repeticiones del compost del T1 Y T2

| PARAMETROS | COMPOST TR ATAMIENTO 1 (80% verduras + 20% frutas) | | | COMPOST TRATAMIENTO 2 (50% verduras + 50% frutas) | | |
|------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| | Trat.1 rep.1 de la 3ra evaluación | Trat.1 rep.2 de la 3ra evaluación | Trat.1 rep.3 de la 3ra evaluación | Trat.2 rep.1 de la 3ra evaluación | Trat.2 rep.2 de la 3ra evaluación | Trat.2 rep.3 de la 3ra evaluación |
| C.E (μS/cm) | 3140 | 3120 | 3160 | 3730 | 3690 | 3710 |
| PH | 8.84 | 8.75 | 8.82 | 8.97 | 9 | 8.86 |
| T° (°C) | 23.2 | 23.5 | 24.2 | 24.5 | 24.1 | 23.5 |
| HUMEDAD (%) | 53.6 | 53.2 | 52.8 | 53 | 56.8 | 55.8 |
| DENSIDAD (gr/cm3) | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22 se muestra el análisis de varianza y comparaciones múltiples post hoc de Tukey de la Conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S/cm}$) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas).

Tabla 22.

Análisis de varianza de la Conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S/cm}$), de dos tratamientos de compost T1 y T2

| PARAMETRO | SC | GL | CM | F | P |
|-------------------------|--------|----|--------|--------|-----------|
| CE ($\mu\text{S/cm}$) | 487350 | 1 | 487350 | 1218.4 | 0.000004* |
| Error | 1600 | 4 | 400 | | |

| Compost | PROMEDIO | SIGNIFICANCIA |
|--------------|----------|---------------|
| T2 (50%-50%) | 3710 | A |
| T1 (80%-20%) | 3140 | B |

Letras iguales significan que no existe diferencias significativas ($p < 0.05$)

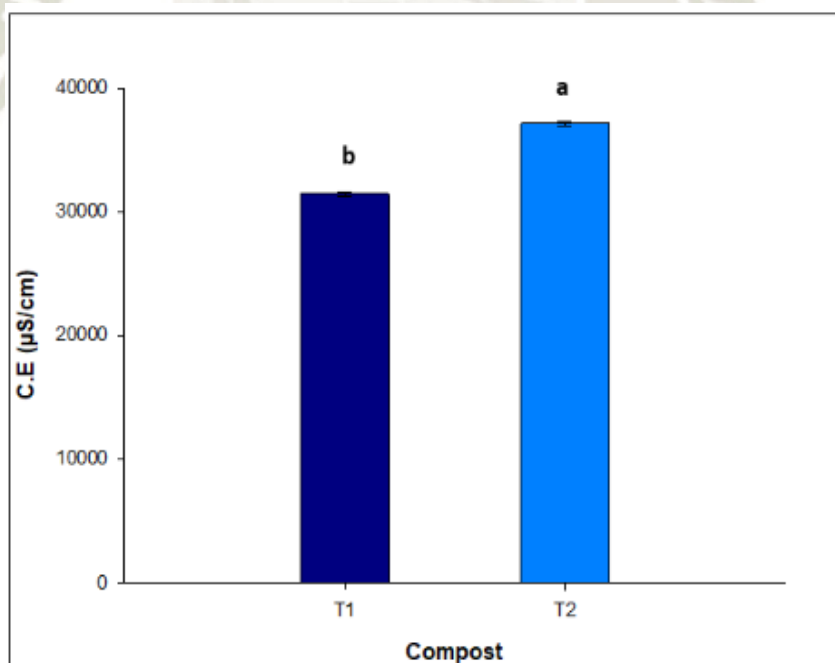
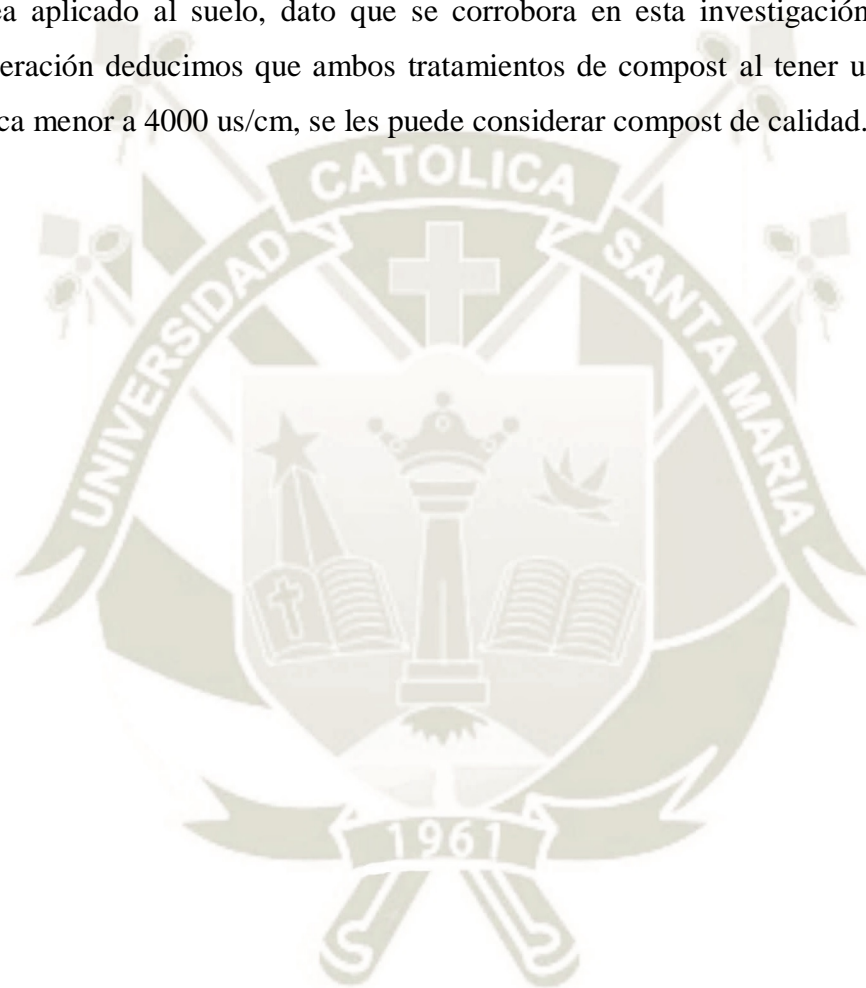


Figura 20. Conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S/cm}$) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas) (Fuente: Elaboración propia).

En la tabla 22 y en la figura 20 relacionada con la conductividad eléctrica del compost obtenido después de 86 días de compostaje, se observa que existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos 1 (80% verduras-20% frutas) con un valor de 3140 us/cm, y el tratamiento 2 (50% verduras-50% frutas) con un valor de 3710 us/cm.

Según Sarmiento (2011), un compost de calidad debe tener una salinidad menor a 4000 us/cm porque así tendrá menor posibilidad de ocasionar problemas de salinidad una vez sea aplicado al suelo, dato que se corrobora en esta investigación; en base a esta consideración deducimos que ambos tratamientos de compost al tener una conductividad eléctrica menor a 4000 us/cm, se les puede considerar compost de calidad.



En la Tabla 23 se muestra el análisis de varianza del pH de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas).

Tabla 23.

Análisis de varianza del pH de dos tratamientos de compost T1 y T2

| PARAMETRO | SC | GL | CM | F | P |
|--------------|--------|----|--------|-----|----------|
| pH | 0.0294 | 1 | 0.0294 | 7.7 | 0.050362 |
| Error | 0.0153 | 4 | 0.0038 | | |

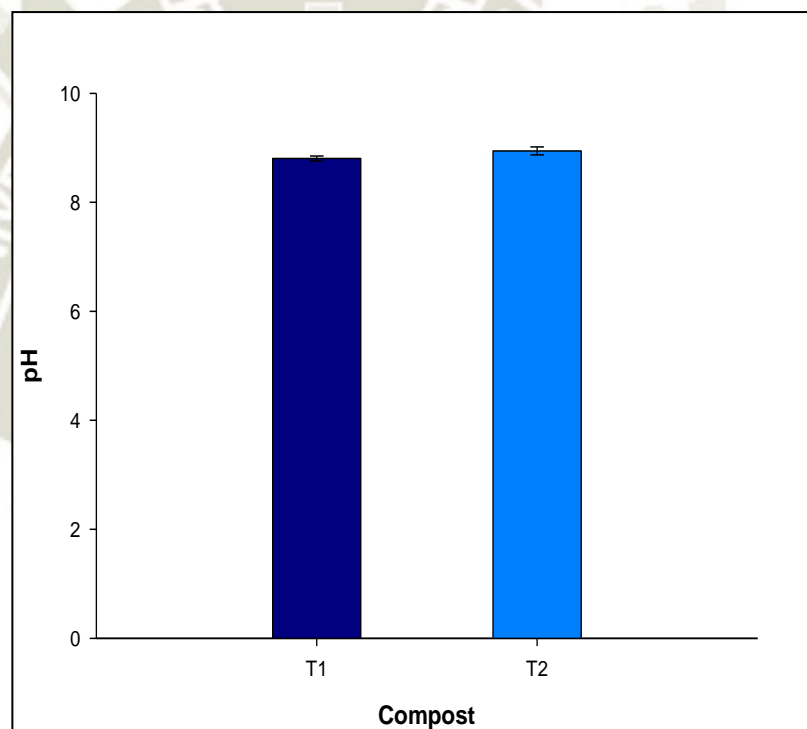


Figura 21. pH de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas) (Fuente: Elaboración propia).

Como se observa en la tabla 23 y en la figura 21 relacionada con el pH del compost obtenido después de 86 días de compostaje, no existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos 1 (80% verduras-20% frutas) con un valor de pH de 8.80 y el tratamiento 2 (50% verduras-50% frutas) con un valor de 8.94. El pH óptimo para el proceso de compostaje esta entre 6,5 y 8 sin embargo se acepta un rango de pH entre 5.5 a 9 (Jaramillo y Zapata, 2008); por ello los registros de pH evaluados en la investigación se encontraron dentro de los límites apropiados para el proceso de compostaje. Sin embargo, según Roman y Pantoja (2013), el pH óptimo para un compost maduro esta entre 6.5 – 8.5.



En la Tabla 24 se muestra el análisis de varianza de la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas).

Tabla 24.

Análisis de varianza de la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), de dos tratamientos de compost T1 y T2

| PARAMETRO | SC | GL | CM | F | P |
|------------------------------------|--------|----|--------|------|----------|
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 0.2400 | 1 | 0.2400 | 0.93 | 0.389697 |
| Error | 1.0333 | 4 | 0.2583 | | |

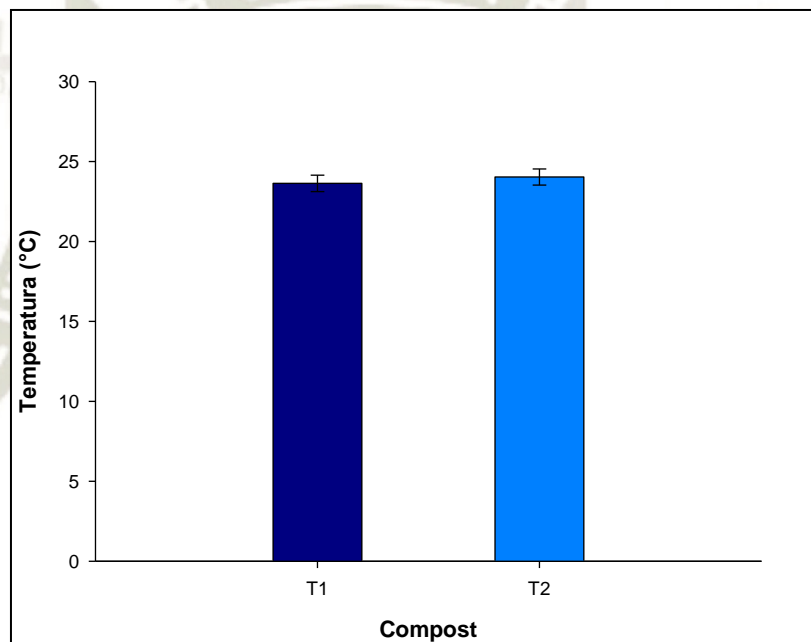


Figura 22. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas) (Fuente: Elaboración propia).

Como se observa en la tabla 24 y en la figura 22 relacionada con la temperatura del compost obtenido después de 86 días de compostaje; no existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos 1 (80% verduras-20% frutas) con un valor de (23.63 °C) y el tratamiento 2 (50% verduras-50% frutas) con un valor de (24.03 °C).

En la etapa mesófila participan los hongos; la actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura. Cuando el calor no se disipa produce un incremento aun mayor y favorece al desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos. La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de bacilos y actinomicetos termófilos; es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes porque esta etapa es de gran interés para la higienización del material; con el agotamiento de estos y la desaparición de los termófilos la temperatura desciende hasta alcanzar la temperatura ambiente. Es en ese momento cuando se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por finalizado el proceso (OPS, 1999; Roman y Pantoja 2013).

En la Tabla 25 se muestra el análisis de varianza de la Humedad (%), de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas).

Tabla 25.

Análisis de varianza de la Humedad (%), de dos tratamientos de compost T1 y T2

| PARAMETRO | SC | GL | CM | F | P |
|--------------------|--------|----|--------|------|----------|
| Humedad (%) | 6.0000 | 1 | 6.0000 | 2.97 | 0.159902 |
| Error | 8.0800 | 4 | 2.0200 | | |

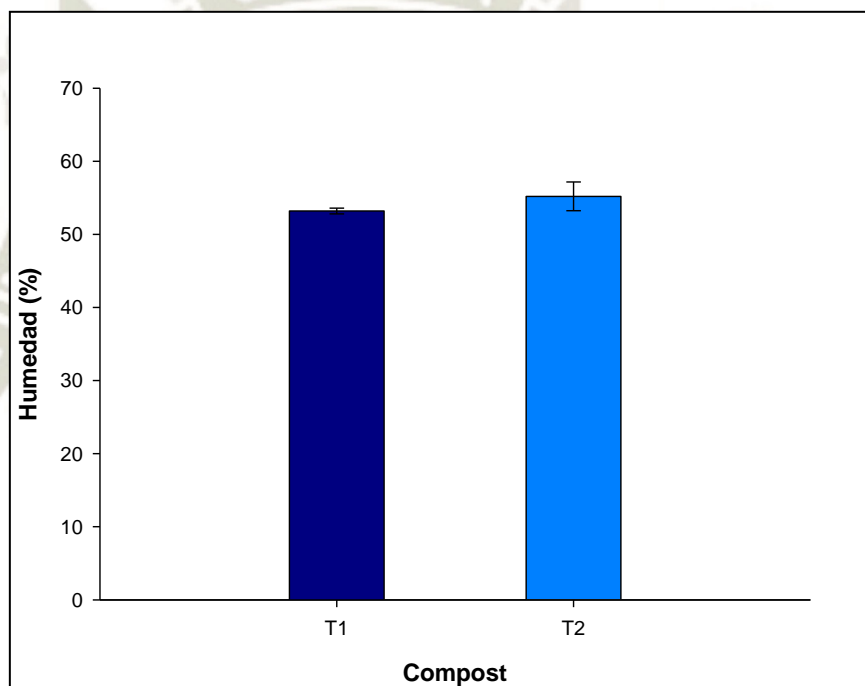


Figura 23. Humedad (%) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas) (Fuente: Elaboración propia).

Como se observa en la tabla 25 y en la figura 23 relacionada con la Humedad del compost obtenido después de 86 días de compostaje, no existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos 1 (80% verduras-20% frutas) con un valor de 53.2% y el tratamiento 2 (50% verduras-50% frutas) con un valor de 55.2% de humedad.

Según Roman y Pantoja (2013) el rango ideal de humedad de un compost maduro esta entre 30% - 40%; valores similares (35% - 40 %) son considerados adecuados por la norma UNE-EN 13040:2001. Los valores de humedad de los compost obtenidos concluido el tiempo de compostaje son altos a comparación con lo que indica la bibliografía. El exceso de humedad puede ser reducido aumentando la aireación (Haug, 1993).



En la Tabla 26 se muestra el análisis de varianza de la Densidad (gr/cm^3), de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas).

Tabla 26.

Análisis de varianza de la Densidad (gr/cm^3 , de dos tratamientos de compost T1 y T2

| PARAMETRO | SC | GL | CM | F | P |
|-------------------------------|--------|----|--------|------|----------|
| Densidad (gr/cm^3) | 0.0000 | 1 | 0.0000 | 1.48 | 0.290660 |
| Error | 0.0001 | 4 | 0.0000 | | |

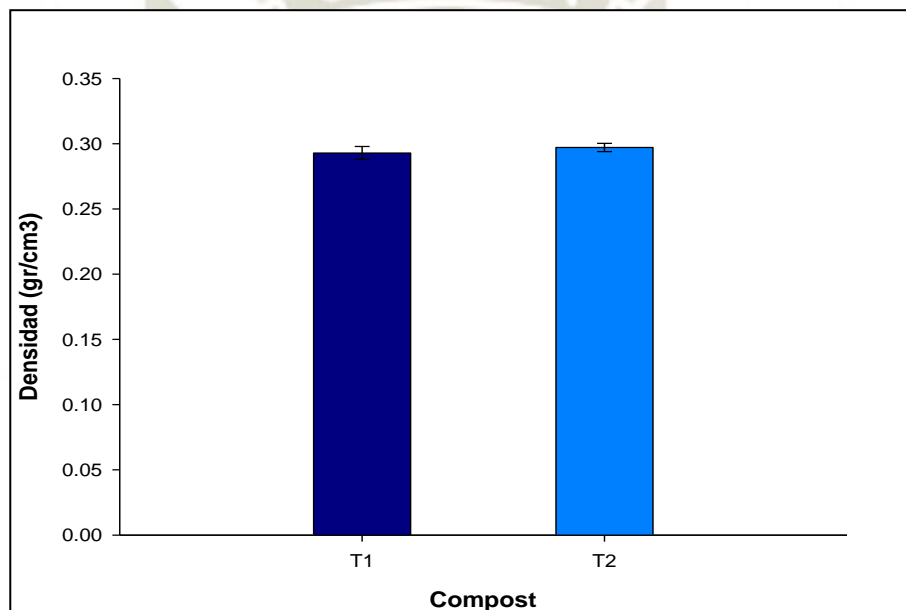


Figura 24. Densidad (gr/cm^3) de dos tratamientos de compost T1 (80% verduras-20% frutas) y T2 (50% verduras-50% frutas) (Fuente: Elaboración propia).

Como se observa en la tabla 26 y en la figura 24 relacionada con la densidad del compost obtenido después de 86 días de compostaje, se observa que no existe diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos 1 (80% verduras-20% frutas) con un valor de (0.29 g/cm^3) y el tratamiento 2 (50% verduras-50% frutas) con un valor de (0.30 g/cm^3).

El desmenuzamiento del material facilita el ataque de los microorganismos y aumenta la velocidad del proceso; pero también se reduce el espacio entre partículas y aumenta las fuerzas de fricción (Haug, 1993); esto limita la difusión de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia el exterior, restringiendo la proliferación microbiana, pudiendo dar lugar a un colapso microbiano al ser imposible la aireación por convección natural. Las dimensiones consideradas óptimas son distintas según los criterios de distintos autores, variando entre 1 y 5 cm (Haug, 1993), entre 2 y 5 cm (Kiehl, 1985) o entre 2,5 y 2,7 cm (Tchobanogolus y col., 1994).

Los valores iniciales y finales de la densidad aparente de un compost proporcionado por la literatura demuestran una amplia variación desde un mínimo de 178 kg/m^3 a un máximo de 740 kg/m^3). Durante el compostaje, la densidad aparente del compost suele incrementar debido a la diversificación del tamaño de las partículas del material (Stoffella y Kahn, 2001; y Roman y Pantoja, 2013).

A. Incorporación del compost al suelo

La relación numérica compost: suelo (C:S), se obtiene al dividir la cantidad de compost sobre la cantidad de suelo (Arteta, 2007).

Densidad aparente x volumen de suelo en 1m^2

$$1.60 \text{ gr/cm}^3 \times 0.2 \text{ TM} = 0.32 \text{ TM}$$

Teniendo este valor, se pudo obtener que la relación compost /suelo por cada punto de muestreo es 1/32 (10 kg de compost en 320 kg de suelo con textura arena franca por m^2).

Según Roman y Pantoja (2013), la cantidad media recomendada de compost por cada m^2 es de 4-5 kg.

4.1.15 Comparación de parámetros de la muestra inicial del suelo del distrito la Yarada - Los Palos, con las muestras de suelo donde se incorporó el compost del T1 y T2.

Tabla 27.

Comparación de los parámetros de la muestra inicial del suelo de la Yarada – Los Palos, con las muestras de suelo donde se incorporó compost del T1 y T2 (INIA, 2018).

| Muestra | M.O (%) | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | CE (µS/cm) | pH |
|--------------------------------------|---------|-------|---------|---------|------------|------|
| Suelo inicial | 0.41 | 0.02 | 24.19 | 437.46 | 6700 | 6.9 |
| Suelo + compost Tratamiento 1 | 3.68 | 0.17 | 139.71 | 349.97 | 500 | 8.25 |
| Suelo + compost Tratamiento 2 | 4.86 | 0.20 | 242.31 | 449.96 | 570 | 8.36 |

La muestra de suelo inicial presentó déficit en contenido de materia orgánica (0.41%); es evidente que este parámetro aumentó luego de incorporar el compost resultante del tratamiento 1 y 2. Según el reporte de la investigación la muestra de suelo + tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) es normal en contenido de materia orgánica (3.68%); mientras que la muestra de suelo + tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) es ligeramente alta en contenido de materia orgánica (4.86%). El suelo inicial presentó déficit en el contenido de nitrógeno, e incrementó significativamente tras haber incorporado compost; las muestras de suelo + tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) y la muestra de suelo + tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas), tienen valores muy cercanos de este elemento químico (0.17%) y (0.20%) respectivamente.

Según el reporte de la investigación, la muestra de suelo inicial presenta una alta concentración de fósforo; tras incorporar compost de ambos tratamientos, T1 y T2, la concentración de fósforo en el suelo incrementó significativamente (139.71 ppm ó 0.013%) y (242.31 ppm ó 0.024%) respectivamente.

La muestra de suelo inicial presenta una alta concentración de potasio (437.46 ppm ó 0.043%); según el reporte de la investigación luego de incorporar compost, la muestra de suelo + tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) redujo la concentración de potasio

(349.97ppm ó 0.035%); mientras que en la muestra de suelo + tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas), la concentración de fósforo incrementó a 449.96ppm ó 0.045%.

Es evidente que la conductividad eléctrica disminuyó significativamente después de haber incorporado compost al suelo y de haberlo sometido a riego por goteo durante 60 días. Ambos tratamientos presentaron valores similares en cuanto a la reducción de este parámetro; la muestra de suelo + tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas) 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la muestra de suelo + tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$, según los resultados de laboratorio estos valores son bajos en conductividad eléctrica.

Tras la incorporación de compost el pH del suelo paso de ser neutro (6.9) a moderadamente alcalino en ambos tratamientos, suelo + tratamiento 1 (8.25) y suelo + tratamiento 2 (8.36).

4.1.16 Estimación del compost generado por kilogramo de residuo sólido orgánico

La cantidad de compost generado y la eficiencia que se tuvo para reducir (en masa) los residuos sólidos orgánicos mediante el compostaje se pueden apreciar en la siguiente Tabla.

Tabla 28.

Cuadro de análisis de cantidad de compost obtenido.

| CUADRO DE ANALISIS DE CANTIDAD DE COMPOST OBTENIDO | | | | | |
|---|-------------|-------------|----------------|---------------|----------------------------|
| Pe (Kg) | Ps | PRSZ | RP (Kg) | RP (%) | Relación Ps/Pe (Kg) |
| 2370 | 1345 | 21.3 | 1003.7 | 42.3% | 0.6 |

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Peso de entrada (Pe)

Peso de Salida (Ps)

Peso de residuos sólidos en zarandeo (PRSZ)

Reducción de peso (RP)

En la tabla 28 encontramos que la relación del peso de salida y el peso de entrada (es de 0.6, significa que en el proceso de compostaje realizado en la práctica se obtuvo, 0.6 kg de compost por cada kilogramo de residuo sólido orgánico; la reducción en peso de los residuos sólidos que se obtuvo en esta práctica fue de 42.3 %, es decir que los 2370 kg utilizados en las pilas inicialmente redujeron 1025 kg. Se obtuvo en total 1345 kg de compost como producto final.

Según Rodríguez y Córdova (2006), indican que el proceso de compostaje puede permitir a las autoridades municipales la reducción de hasta un 50% en peso de los residuos sólidos que vayan a ser depositados en el sitio de disposición final. La cuál concuerda con los resultados hallados en la práctica ya que en esta nos muestra una reducción en peso de 42.3 % considerando los residuos generados en el proceso de zarandeo.

La Tabla 29 muestra el rendimiento de compost que alcanzo el tratamiento 1 y 2 en la presente investigación.

Tabla 29.

Rendimiento de los dos tratamientos de compost.

| TRATAMIENTO | T1 | T2 |
|---------------------|-----------|-----------|
| COMPOST (kg) | 661 | 684 |

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al rendimiento de compost la tabla 29, refiere que el tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) tubo mejor rendimiento, logrando 684 kg de compost tamizado; el tratamiento 1 (80% verduras, 20%frutas) logro 661 kg de compost tamizado; la diferencia en el rendimiento de ambos tratamientos pudo deberse a que no se pesó con exactitud el estiércol y el rastrojo; por lo tanto, el tratamiento 2 fue mayor que el tratamiento 1 en contenido de materia seca. Debemos precisar que el material inicial puesto a compostaje tuvo un peso inicial de 2370kg. Para cada tratamiento se utilizó 1185 kg de material, el que se dividido en tres pilas para las tres repeticiones realizadas por cada tratamiento. En las dos propuestas técnicas estudiadas, los residuos orgánicos de verduras y frutas compostado mostraron un alto grado de variación en su composición; sin embargo, fue posible su compostaje en combinación con estiércol ovino; representando este tipo de tratamientos una estrategia alternativa para el reciclaje de estos residuos. Sin embargo, el tiempo de

compostaje puede ser mayor para lograr un compost más maduro que el que se obtuvo en este estudio.

Según Roman y Pantoja (2013), la cantidad media recomendada de compost por cada m^2 es de 4-5 kg. Según esta información se determinó que para abastecer las dos hectáreas del terreno evaluado se necesitan entre 80 000 – 100 000 kg de compost. El compost del tratamiento 1 (661 kg) rinde aproximadamente para $165 m^2$ de terreno, y el compost del tratamiento 2 (684 kg) para $171 m^2$.

4.1.17 Propuesta del diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento aeróbico.

En la Tabla 30, se muestran las características determinadas para las áreas del sistema de compostaje (OPS, 1999; Roman y Pantoja, 2013). En la Figura 25 se detalla el área de la zona de producción de compost y del área de volteo, y en la Figura 26 el detalle del volumen efectivo de producción de compost; para ello se utilizó el Adobe Illustrator CS6.

Tabla 30.

Características geométricas del sistema de compostaje y del área de volteo.

| ÁREAS | MEDIDAS (m) | VOLUMEN (m^3) |
|----------------------|------------------------|----------------------|
| Parvas de compostaje | L: 2.2, A: 1.5, H: 1.5 | 5 |
| Área de compostaje | L: 2.2, A: 1.5 | - |

Fuente: Elaboración propia

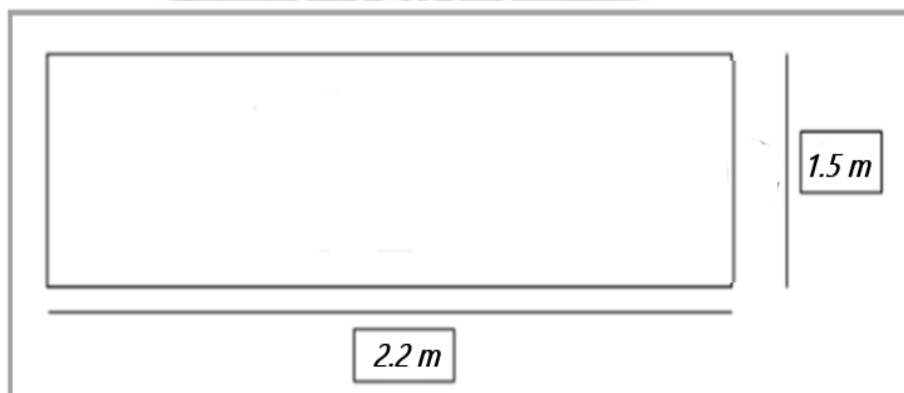


Figura 25. Detalle de cada zona de producción de compost y del área de volteo (OPS, 1999; Roman y Pantoja, 2013).

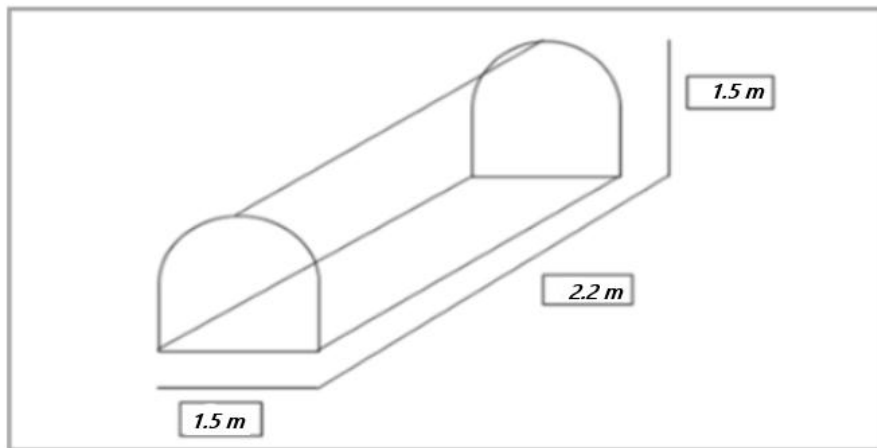


Figura 26. Detalle del volumen efectivo de producción de compost (OPS, 1999; Roman y Pantoja, 2013).

4.1.18 Diseño de la planta de tratamiento

El diseño que se propone tiene un área de 1579 m², está localizado en el Parque Perú, en el distrito de Pocollay (Figura 27), en un terreno de 30 hectáreas administrado por la gerencia de gestión ambiental de la Municipalidad provincial de Tacna, la cual actualmente cuenta con una planta de segregación de residuos sólidos inorgánicos domiciliarios del distrito de Tacna (Gutiérrez, 2018).

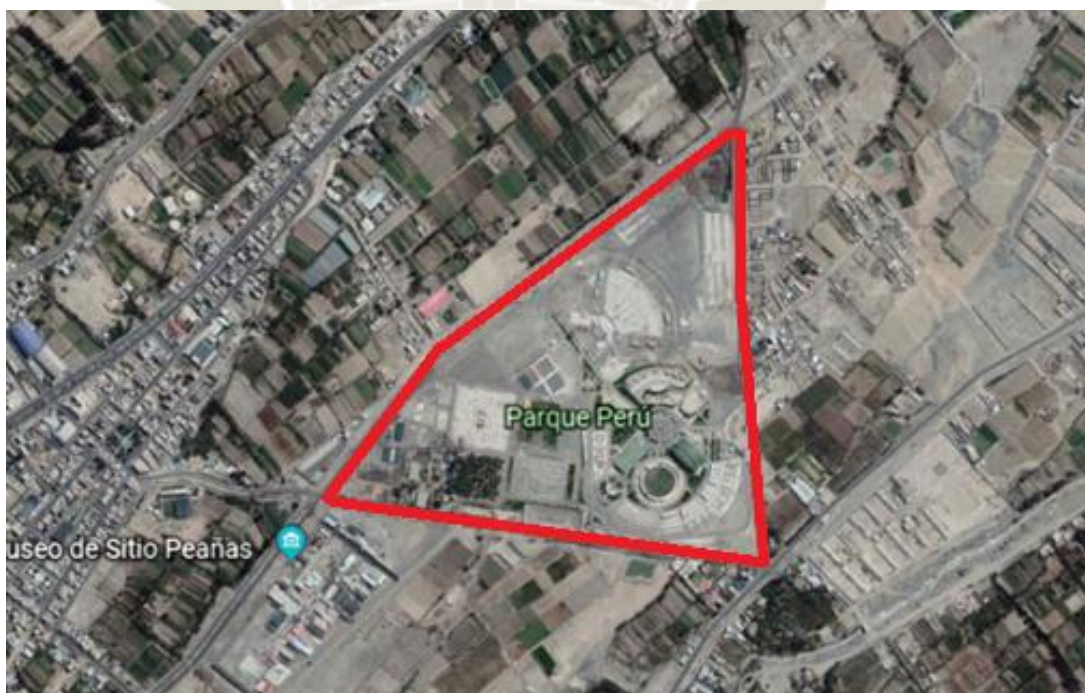


Figura 27. Ubicación del Parque Perú (Google Earth, 2017).

La planta de segregación y tratamiento tendrá una capacidad de operación de 20 m^3 de residuos al mes y contará con las siguientes áreas debidamente organizadas:

- **Área de descarga y pesaje:** 35 m^2 (preselección de control de calidad de los residuos sólidos orgánicos).
- **Área de secado:** Terminada la pre-selección de control de calidad, los residuos orgánicos, son llevados al área de secado, donde se extienden para disminuir su porcentaje de agua, esta zona tendrá un área de 25 m^2 .
- **Área picado:** En esta área se realizará un pre tratamiento mecánico como el de la trituración que facilita la descomposición de los residuos. Esta zona tendrá un área de 25 m^2 .
- **Área del sistema de compostaje:** Tendrá un área total de 193 m^2 , que incluye los pasillos entre parvas y el área de volteo.
- **Área de cribado:** 38 m^2 .
- **Área de ensacado:** 38 m^2 .
- **Reservorio de agua:** Tendrá un volumen de 115 m^3 .
- **Servicios higiénicos:** Serán espaciosos 30 m^2 , contarán con vestidores; se encontrarán a lado del almacén.
- **Área de almacenamiento de estiércol:** El cual tendrá un área de 35 m^2 .

En la figura 28 se muestra el croquis del diseño de la planta de compostaje, para ello se utilizó el programa Adobe Illustrator CS6.

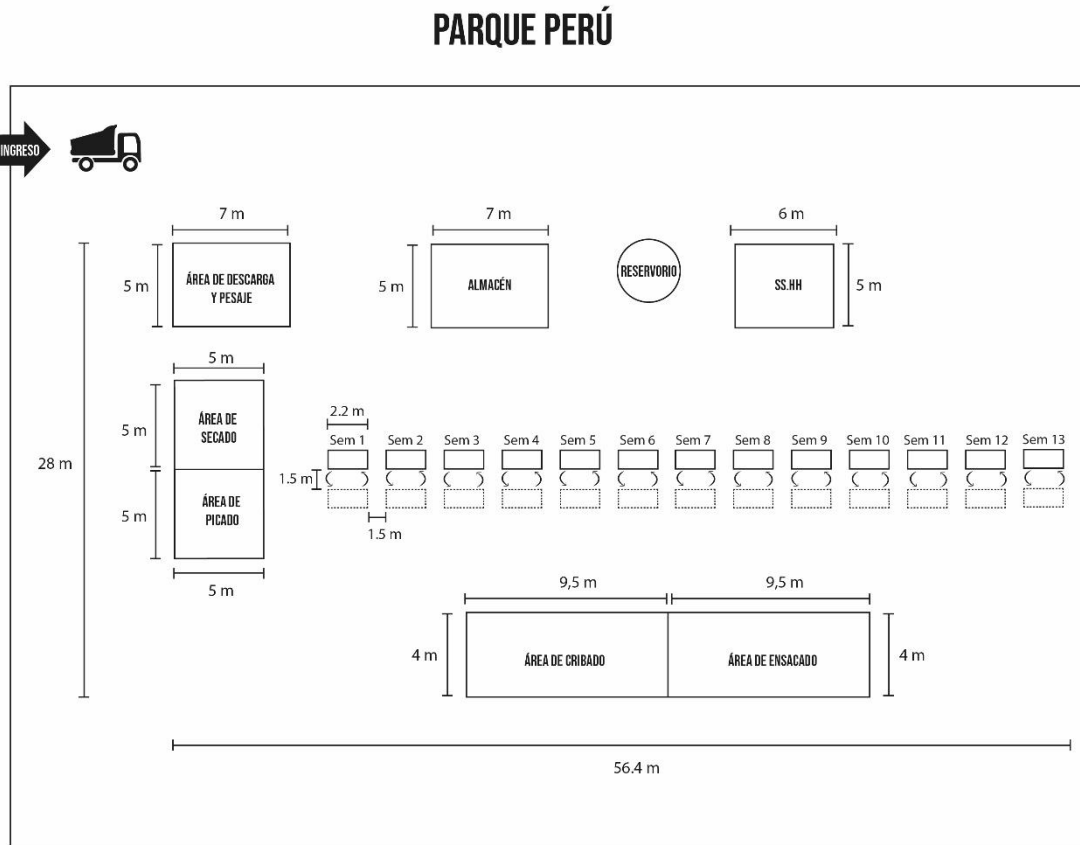


Figura 28. Croquis del diseño de la planta de compostaje.

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. A partir de la caracterización de los residuos sólidos orgánicos del centro de abastos Grau se obtuvo la generación total diaria (GTD), esta resultó de 1.505 TM/día. Siendo el rubro de verduras el de mayor generación de residuos con 1005 Kg/día que equivale al 67 % de (GTD).
2. La densidad aparente promedio de los residuos orgánicos fue 271.45 kg/m³). Los residuos sólidos de verduras y frutas analizados en laboratorio dieron como resultado: humedad 87.96 %, relación C/N 76.64/1, %C 44.45, %N 0.58 para la muestra 1 representativa del tratamiento 1(80% verduras + 20% frutas) y humedad 88.92 %, relación C/N 41.94/1, %C 44.46, %N 1.06 para la muestra 2, representativa del tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas).
3. Las muestras de suelo del distrito la Yarada – Los Palos tiene una textura moderadamente gruesa, 82.8 % Arena, 10.4 % limo, 6.8 % arcilla; es deficiente en retención de humedad y presenta una buena capacidad de aireación del suelo, con una porosidad de 37.0 %. Es un suelo con reacción neutra con 6.90 de pH, muy salino en conductividad eléctrica 6700 us/cm, deficiente en contenido de materia orgánica 0.41% y nitrógeno 0.02 %, alto en concentración de fosforo 24.19 ppm (0.002419 %) y potasio 437.46 ppm (0.04375 %).
4. Se implementaron 6 camellones o composteras de 1.5m de largo x 1.5m de ancho, el espacio entre cada camellón fue de 1.5m; cada uno está formado por 3 capas de estiércol ovino y 2 capas de residuos orgánicos según indicó el diseño experimental.
5. El compost del Tratamiento 1 (80% verduras + 20% frutas), presentó un pH moderadamente alcalino (9.31), resultó moderadamente salino en C.E (3140 us/cm) y alto en materia orgánica (23.48%). El tratamiento 2 (50% verduras + 50% frutas) presentó un pH moderadamente alcalino (9.35), moderadamente salino en C.E. (3710 us/cm) y muy alto en contenido de materia orgánica (25.16%). Tras incorporar compost al suelo inicial, este mejoró su contenido en materia orgánica, de 0.41% aumentó a 3.68% en la muestra del suelo final donde se incorporó el tratamiento 1 (80% verduras-20% frutas) y a 4.86 % en la muestra del suelo final donde se incorporó el tratamiento 2 (50% verduras-50% frutas). En cuanto a la C.E del suelo inicial, esta disminuyó considerablemente tras la incorporación del compost; pasó de

6700 us/cm a 500 us/cm en la muestra de suelo final con el tratamiento 1, y a 570 us/cm en la muestra de suelo final con el tratamiento 2. El suelo inicial presentó un pH de 6.9, este aumentó con la incorporación de ambos tratamientos, a 8.25 en la muestra de suelo final con el tratamiento 1 y 8.36 en la muestra de suelo final con el tratamiento 2. El rendimiento del compost del T1 fue de 665 Kg, y el del compost del tratamiento 2 fue de 684 Kg.

6. El diseño que se propone para la planta de tratamiento aeróbico tiene un área de 1579 m², está localizado en el Parque Perú, en el distrito de Pocollay, en un terreno de 30 hectáreas, contará con las siguientes áreas: Área de descarga y pesaje 35m², área de secado de 25m², área picado de 25m², área del sistema de compostaje de 193m², área de cribado 38m², área de ensacado 38m², reservorio de agua de 115m³, servicios higiénico serán espaciosos 30m² y área de almacenamiento de estiércol

RECOMENDACIONES

- El área de compostaje debe estar libre de malezas, arbustos u otros elementos que interfieran con las labores pertinentes; debe tener cierta pendiente (1-2%); se recomienda la recolección de lixiviados.
- Adición de material con mayor contenido en carbono (hojas secas, aserrín) y variar las proporciones de verduras y frutas en los tratamientos, para alcanzar valores de pH cercanos a 7.
- Se recomienda un tiempo de compostaje mayor a 86 días para obtener un compost con mayor madurez y por lo tanto un compost con una relación C/N mayor a 10 y menor de 25.
- Reevaluar la relación compost/suelo (1:32); la dosis de compost que puede añadirse a un suelo debe ser proporcional a la CE del compost.
- Realizar evaluaciones más seguidas ya que existe la posibilidad de que el compost haya llegado a la fase termófila con mayores temperaturas características de esta etapa, las cuales no fueron registradas debido a que no se midieron en el debido momento.
- Se recomienda a las autoridades municipales aprovechar la materia orgánica que se genera en el Centro de abastos “Grau”, para elaborar compost, y así mejorar la calidad de los suelos; es una forma de contribuir a la reducción de hasta el 50% en peso de los residuos sólidos orgánicos que son depositados en el botadero municipal; lo cual serviría de ejemplo para muchas otras municipalidades de otros distritos o ciudades.
- Se recomienda realizar el tratamiento de aguas grises de la ciudad de Tacna para abastecer la necesidad de agua de la planta de tratamiento de compostaje aeróbico que se propone, sin causar un impacto ambiental negativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteta, R; Ibáñez, J. (2007). *Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC)*. España
- Bejarano, E. Delgado, S. (2007), *Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá "La Modelo" por medio de la utilización de Microorganismos Eficientes*. Tesis de grado, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
- Borrero, G.; Pacheco, F.; Arias, D., & Campos, R. (s.f.) *Estudio comparativo del uso de dos sustratos con inóculos microbiales para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos en compostaje doméstico: Variables físicas, químicas y biológicas en el proceso de compostaje. VI Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos Sólidos: Hacia la Carbono Neutralidad 2021*. CYTED. ISBN: 978-9968-641-28-9. Pp. 522-528.
- Bueno, P., Díaz, M. (2008). *Factores que afectan al proceso compostaje*. 1ed. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos 97 p.
- Campos, R; Brenes, L; Jiménez, M. (2016). *Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras*. Tecnología en Marcha. Encuentro de Investigación y Extensión 2016. Pp. 25-32.
- Cantanhede, A.; Sandoval, L.; Caycho, C.; Monge, G. (2005). *Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos*. CEPIS- OPS. ISSN: 1018-5119. Lima, Perú. 8 p
- Cantanhede, A; Monge, G. (1993). *Compostificación de residuos de mercado, proyecto piloto de investigación. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS)*. Lima Perú.
- Cardona et al, (2004), *Biodegradación de Residuos Orgánicos de plazas de mercado*. Revista Colombiana de Biotecnología, 79-82.) vol. IV nro. 2 diciembre del 2004 78-89.

- Castillo, C.; Mejía, C., (2011), *Diseño de Experimentos al completo azar. (En línea)*. Consultado el 9 de octubre del 2019.
- Cid, S. (2011). *Los nutrientes en el compost. (En línea)*. Consultado 20 marzo del 2019.
- Cid, S. (2000). *Los Nutrientes en el compost. (En línea)*. Consultado el 23 de marzo del 2019.
- Cochachi, E. Vargas, M. (2008), *Determinación del efecto de la relación C/N y la humedad en la calidad de compost obtenido a partir del tratamiento de residuos orgánicos del Distrito de San Pedro de Saño mediante el proceso de degradación aerobia a nivel laboratorio*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Costa, F.; García, C.; T. Hernández, T. and Polo, A. (1991). *Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización*. Ed. CSIC, Madrid.
- SENAMHI (2019). *Estadísticas climatológicas de Tacna*. Tacna.
- Chauca, V. (2014), *Proceso de producción y aplicación del producto Microorganismos Eficaces sobre la calidad de compost de residuos orgánicos de mercados de Sapallanga-Huancayo*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Daddow, R.; Warrington, G., (1983). *Growth-Limiting soil bulk densities as influenced by soil texture*. Departamento de agricultura de los estados unidos.
- Decreto Legislativo N° 1065: Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos. MINAM 28 de febrero 2017. Lima Perú.
- Fontanive, V., Efron, D., Tortarolo, F. y Arrigo, N.M. (2004). *Evaluation of parameters during composting process of two contrasting raw materials*. Compost science y utilization.12:268-272.
- García. A; Gómez J. (2016). *Evaluación de la producción de biogás a partir de residuos vegetales obtenidos en la central de abastos de Bogotá mediante digestión anaerobia*. Bogotá: Fundación Universidad de América.

- (Gasco et al. 2013). *“Biorecuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos”*
Tesis Doctoral, Madrid 2011.
- Gutiérrez, D. (2018). Municipalidad provincial de Tacna – Gerencia de Gestión Ambiental.
- Guillen M. (2018). *Administración del mercado Grau*. Tacna Perú.
- Guzmán, M. & Macías, C. (2012). *Manejo de los residuos sólidos municipales: un enfoque antropológico*. El caso de San Luis Potosí, México Estudios Sociales, vol. 20, N°. 39, 235-261.
- Gobierno Regional de Tacna (2003). *Plan desarrollo de la Yarada*. Tacna.
- Haug, R.T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Hermida, H., Arrieta, G. (2014). *Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo*. Bogotá: Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Huaricallo y Gordillo (2016). *Centro sostenible de gestión integral y de reciclaje industrializado de los residuos sólidos urbanos en la provincia de Tacna*.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*.
- Jaramillo, G., Zapata L. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. Posgrado. Antioquia. Universidad de Antioquia. 116 p.
- Jacob, A., Uexkull, H. (1961). *Fertilización. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales*. Internacionales Handelmaatschappij voor Meststoffen, Ámsterdam.
- Kiehl, F.J. (1985). *Fertilizantes orgánicos*. Editora Agronómica Ceres Ltda, São Paulo.
- Ley N° 27314 - *Ley General de Residuos Sólidos*. Diario El peruano, 20 de julio 2000. Lima Perú.
- Llanos, G. (2016). *Desechos orgánicos del mercado de flores serán convertidos en abono*. Diario “ojo”, 14 de septiembre 2016.

- Machaca, J., Lozano, J., Riquelme, R., Chaparro, E. (2016). *Influencia del uso de microorganismos eficientes en el tiempo de elaboración del compost a partir de residuos sólidos orgánicos en Tacna, 2016.*
- Martínez M., Gutiérrez V., Novo R. (2011). *Microbiología aplicada al manejo sustentable de suelos y cultivos.* Ed. USM. Universidad Federico Santa María, Chile. 235p.
- Ministerio de agricultura (1972). *Estudio agrologico detallado del valle de Tacna y Pampas de la Yarada: Ministerio de agricultura.*
- Ministerio de agricultura (2011). *Guía técnica de orientación al productor.* Lima.
- Ministerio del ambiente (2009). *Decreto supremo N° 012-2009.* Lima
- Ministerio de Economía y Finanzas (2019). *Programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal del año 2019.* Guía para el cumplimiento de la meta 3.
- Ministerio de Energía y Minas. (2012). *Geología de los cuadrángulos de la Yarada, Tacna y Huaylillas.* Lima -Perú.
- Ministerio del ambiente (2015). *Guía Metodológica para el desarrollo del estudio de caracterización de RR.SS. municipales.*
- Municipalidad Provincial de Tacna (2017). *Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del distrito de Tacna.*
- Nathalie, C. (2013). *Caracterización de residuos sólidos en el poblado de Congata de Uchumayo – Arequipa, para el aprovechamiento de residuos orgánicos.*
- Navarro, R. (2006), CESTA., *Amigos de la tierra Manual para hacer composta aeróbica.*
- Negro, M.J., solano. M.L. (1996). *Producción y gestión del compost.*
- Norma Chilena INN2439-1999. *Comisión Nacional Medio Ambiente. Santiago-Chile.*
- Núñez et al. (2018). *“Propuesta de Mejora del Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de San Miguel - Cajamarca”.*

- OPS (Organización Panamericana de la Salud) (1999). *Manual para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales y Procedimientos*. OPS/HEP/HES/URU/02.99. PP. 69 p.
- OEFA (organismo de evaluación y fiscalización ambiental). (2014). *Manejo de residuos sólidos*.
- Organismo no gubernamental Ciudad Saludable. (2018). *La alarmante gestión de residuos sólidos*. Lima.
- Programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal. Cumplimiento de la meta 16 (MEF) – 2018.
- Programa de incentivos a la mejora de la gestión municipal. Cumplimiento de la meta 3 (MEF) – 2019.
- Política Nacional del Ambiente - *Decreto Supremo N° 012-2009*. MINAM, 23 de Mayo de 2009.
- PNUD-INIFAT (2002). *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. Santiago de Chile.
- Román, P; Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje Del agricultor*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Rodríguez, M., Córdova, A. (2006). *Manual de compostaje municipal tratamiento de residuos sólidos urbanos*. Instituto nacional de ecología. México D.F. (México). 106 p.
- R. M. N° 282-2003-SA/DM – *Reglamento Sanitario de Funcionamiento de Mercados de Abasto*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 27 de junio de 2003.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R. y Mora M. (2005). *Métodos de análisis de compost*. Santiago: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig A., Paredes C. Bernal M. P. (2001). *Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its*

effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Biores. Technol., 78 (3): 301-308.

Saña, J.; Soliva, M. (1987). *El compostaje: Proceso, sistemas y aplicaciones.* Quaderns d'ecologia aplicada, nº 11. Diputación de Barcelona. Servei de Medi Ambient. Barcelona.

Sarmiento, G. (2011). *Curso de Ingeniería y gestión de residuos sólidos.* (CD). Escuela de Posgrado UANCV. Programa de Doctorado en Ingeniería ambiental. Juliaca – Perú.

Soliva, M. (2011). *Materia orgánica y compostaje: control de la calidad y del proceso.* Escuela Superior de Agricultura de Barcelona.

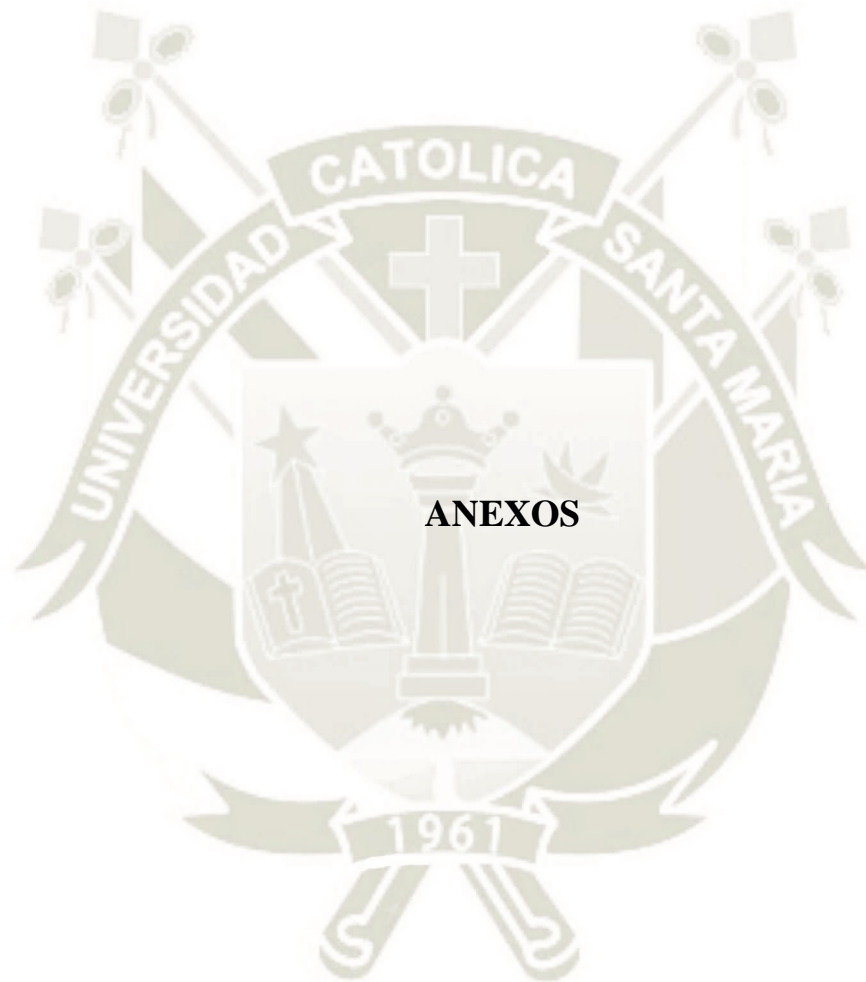
Stoffella, P. y Kahn, B. 2001. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona - España.

Tchobanogolus, G.; Theisen, H., Vigil, S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos.* Ed. McGrawHill, Madrid, 1107p.

Tejada G. (2013). “*Gestión de residuos sólidos orgánicos generados en la empresa agroindustrial de aceite de olivo “MEJIA” – AREQUIPA*”. Grado. Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín.

Uyaguari, E. (2012). *Monografía. “Manejo de residuos vegetales de los mercados de cuenca- Ecuador para la elaboración de abonos orgánicos”.*

Zúñiga, A; Mata, J. (1961). “*Estudio Agrológico de las Pampas de La Yarada y Hospicio.* (Inédito).



ANEXO 1: Permisos



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERU

CARGO

Tacna 02 de julio del 2018

Sr. JORGE INFANTAS FRANCO
ALCALDE DE LA CIUDAD DE TACNA
Presente.-

De mi mayor consideración:

Me es grato saludarlo y a la vez comunicarle que la suscrita Directora de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, me permito presentar a la Srta. Bachiller Carolina Torres Yabar, identificada con DNI: 71245354, egresada de nuestra casa de estudios, quien para optar el título Profesional, ha proyectado desarrollar la investigación "GENERACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS VEGETALES DEL MERCADO GRAU PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS DEL DISTRITO LA YARADA- LOS PALOS". Por lo anteriormente expuesto es que le solicito pueda usted gestionar con quien corresponda para que se le brinde las facilidades para la recolección de residuos sólidos (de los establecimientos de venta de vegetales) del Mercado Grau durante un periodo de 8 días, así mismo poder obtener información acerca de toneladas de residuos sólidos que se recogen al día del interior del mercado y de la plataforma, número de establecimientos de venta entre otras inquietudes que la Srta. Bachiller tenga a bien obtener. Por último los resultados de dicha investigación serán presentados a la comuna que usted tan acertadamente dirige y así contribuir con un aporte en la gestión de los residuos sólidos generados en los mercados locales.

Sin otro particular y esperando contar con su valioso apoyo, me despido cordialmente de usted

Atentamente,

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
M. Guillén
Ing. MILAGROS SOCORRO GUILLEN MALAGA
DIRECTORA DE LA ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**ANEXO 3: Resultados de los análisis los residuos orgánicos del centro de abastos
Grau.**



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIAR
ESTACION EXPERIMENTAL-AREQUIPA-INIA

| | |
|---------------------|--|
| SOLICITANTE | CAROLINA TORRES YABAR |
| PROCEDENCIA | TACNA |
| MUESTRA | Residuos solidos organicos |
| FECHA DE INGRESO | 15/03/2018 |
| TERMINO DE ANALISIS | 22/03/2018 |
| ANALISIS | Materia organica, Nitrogeno, % de Humedad Rel: C/N |

| N° Lab | N° Muestra | p.H Extrac. 1:2,5 | C.E Extrac. 1:2,5 | % C | % M.O | % N | Relación C/N | % Humedad |
|--------|------------|-------------------------|-------------------------|--------|----------|--------|-----------------|--------------|
| 8494 | 01 | | | 44.45 | 76.45 | 0.58 | 76.64/1 | 87.96 |
| 8495 | 02 | | | 44.46 | 76.47 | 1.06 | 41.94/1 | 88.92 |

Nota: Determinación de Nitrógeno por digestión en ácido fuerte en forma total.

MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
INIA

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
INIA

ANEXO 4: Datos de los parámetros de evaluación del compost.

a) Evaluación de pH

| | Ev. 1 | Ev. 2 | Ev. 3 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T1 r1 | 7.97 | 7.86 | 8.84 |
| T1 r2 | 8.18 | 8.05 | 8.75 |
| T1 r3 | 8.12 | 8.1 | 8.82 |
| T2r1 | 8.5 | 8.15 | 8.97 |
| T2r2 | 8.14 | 8.21 | 9 |
| T2r3 | 7.96 | 8.09 | 8.86 |

b) Evaluación de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

| | Ev. 1 | Ev. 2 | Ev. 3 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T1 r1 | 520 | 1120 | 3140 |
| T1 r2 | 569 | 1140 | 3120 |
| T1 r3 | 590 | 1120 | 3160 |
| T2r1 | 579 | 1160 | 3730 |
| T2r2 | 600 | 1140 | 3690 |
| T2r3 | 590 | 1120 | 3710 |

c) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

| | Ev. 1 | Ev. 2 | Ev. 3 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T1 r1 | 26.3 | 42.8 | 23.2 |
| T1 r2 | 28.4 | 43.1 | 23.5 |
| T1 r3 | 26.8 | 42.5 | 24.2 |
| T2r1 | 26 | 42.1 | 24.5 |
| T2r2 | 27.5 | 41.1 | 24.1 |
| T2r3 | 27.7 | 41.3 | 23.5 |

d) **Humedad (%)**

| | Ev. 1 | Ev. 2 | Ev. 3 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T1 r1 | 58.6 | 57.1 | 53.6 |
| T1 r2 | 57.6 | 56.5 | 53.2 |
| T1 r3 | 58.1 | 56.8 | 52.8 |
| T2r1 | 59.5 | 55.3 | 53 |
| T2r2 | 61.4 | 58.1 | 56.8 |
| T2r3 | 60.3 | 57 | 55.8 |

e) **Densidad (gr/ m³)**

| | Ev. 1 | Ev. 2 | Ev. 3 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T1 r1 | 0.203 | 0.2262 | 0.29 |
| T1 r2 | 0.2117 | 0.2291 | 0.2987 |
| T1 r3 | 0.2059 | 0.232 | 0.29 |
| T2r1 | 0.2088 | 0.2349 | 0.2958 |
| T2r2 | 0.2001 | 0.2233 | 0.29473 |
| T2r3 | 0.203 | 0.2262 | 0.3007 |

ANEXO 5: Resultado del Análisis de laboratorio del compost del tratamiento 1.



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego



**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUAS Y SEMILLAS
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA AREQUIPA - INIA**

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL SOLICITANTE | CAROLINA TORRES YABAR |
| PROCEDENCIA | TACNA |
| MUESTRA | COMPOST |

| CODIGO DE LABORATORIO | FECHA DE INGRESO | PROCEDENCIA DE LA MUESTRA | LOTE | TIPO DE ANALISIS | N° DE INFORME |
|-----------------------|------------------|---------------------------|------|------------------|---------------|
| 8202 | 07/11/2018 | LOS PALOS | T1 | CARACTERIZACION | 8160 |

ANALISIS FISICO

| ARENA (%) | LIMO (%) | ARCILLA(%) | TEXTURA | POROSIDAD (%) | CAPACIDAD DE CAMPO(%) | AGUA DISPONIBLE (%) | PUNTO MARCHITEZ PERMANENTE (%) |
|-----------|----------|------------|---------|---------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------|
| | | | | | | | |

ANALISIS QUIMICO

| ELEMENTO | UNIDAD | VALOR | DEFICIENTE | BAJO | NORMAL | ALTO | EXCESIVO |
|-------------------|----------------|-----------------|------------|-------------------|-----------------|------------------|------------|
| Materia Organica | % | 23.48 | | | | | |
| Nitrogeno Total : | % | 1.49 | | | | | |
| Fosforo : P2O5 | ppm | 528.00 | | | | | |
| Potasio : K2O | ppm | 14532.00 | | | | | |
| CO3Ca | % | 1.20 | | | | | |
| | | | NO SALINO | DEBILMENTE SALINO | MODERAD. SALINO | SALINO | MUY SALINO |
| C.E | dS/m extr. 1:5 | 3.14 | | | | | |
| | | | ACIDO | MODERAD ACIDO | NEUTRO | MODERAD ALCALINO | ALCALINO |
| pH | EXTR. 1:2:5 | 9.31 | | | | | |
| BORO | mg/Kg | | | | | | |

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CIC (meq/100gr de suelo)

| Calcio(Ca) | Magnesio(Mg) | Sodio(Na) | Potasio(k) | CIC | Suma de Bases | PSI | Interpretacion CIC |
|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|
| 32.000 | 2.000 | 4.783 | 14.359 | 53.142 | 53.142 | 9.000 | Muy-Alto |

| CULTIVO | TIPO DE SUELO REQUERIDO | INTERPRETACION |
|---------|-------------------------|---|
| | | Es una muestra, de compost en forma humeda de color oscuro. |

ANALISIS QUIMICO - INTERPRETACIONES

| CULTIVO | VALORES OPTIMOS | INTERPRETACION |
|---------|-----------------|---|
| | | Es una muestra con reaccion moderadamente alcalino en pH, muy salino en conductividad electrica, muy alto en contenido de materia organica , nitrogeno, fosforo y potasio respectivamente; con respecto a la capacidad de intercambio cationico CIC, es muy alto. (para hallar el porcentaje del elemento dividir entre 10000) Relacion C/N: 9.16/1 |

MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION
AGRARIA
ENC. LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS
EE. AREQUIPA - INIA

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
Ing Msc VALERIANO HUANOS SACACHIPANA
DIRECTOR
EEA AREQUIPA

Calle Saco Olivares 402 Cerro Juli
José Luis Bustamante y Rivero - Arequipa
T: (054) 421338

Trabajando para...

**ANEXO 7: Características finales del suelo donde se incorporó el compost del
tratamiento 1- distrito la Yarada - los palos.**



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego



**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUAS Y SEMILLAS
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA AREQUIPA - INIA**

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL SOLICITANTE | CAROLINA TORRES YABAR |
| PROCEDENCIA | TACNA |
| MUESTRA | SUELO+COMPOST |

| | | | | | |
|-----------------------|------------------|---------------------------|------|------------------|---------------|
| CODIGO DE LABORATORIO | FECHA DE INGRESO | PROCEDENCIA DE LA MUESTRA | LOTE | TIPO DE ANALISIS | Nº DE INFORME |
| 8269 | 13/12/2018 | TR1 | 1 | CARACTERIZACION | 8227 |

ANALISIS FISICO

| | | | | | | | |
|-----------|----------|------------|--------------|---------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------|
| ARENA (%) | LIMO (%) | ARCILLA(%) | TEXTURA | POROSIDAD (%) | CAPACIDAD DE CAMPO(%) | AGUA DISPONIBLE (%) | PUNTO MARCHITEZ PERMANENTE (%) |
| 86.0 | 7.4 | 6.6 | ARENA FRANCA | 37.0 | 8.5 | 6.2 | 2.3 |

ANALISIS QUIMICO

| ELEMENTO | UNIDAD | VALOR | DEFICIENTE | BAJO | NORMAL | ALTO | EXCESIVO |
|------------------|------------------|--------|------------|-------------------|-----------------|------------------|------------|
| Materia Organica | % | 3.68 | | | | | |
| Nitrogeno Total: | % | 0.17 | | | | | |
| Fosforo : P | ppm | 139.71 | | | | | |
| Potasio : K | ppm | 349.97 | | | | | |
| CO3Ca | % | 0.00 | | | | | |
| | | | NO SALINO | DEBILMENTE SALINO | MODERAD. SALINO | SALINO | MUY SALINO |
| C.E | dS/m extr. 1:2.5 | 0.50 | | | | | |
| | | | ACIDO | MODERAD ACIDO | NEUTRO | MODERAD ALCALINO | ALCALINO |
| pH | EXTR. 1:2.5 | 8.25 | | | | | |
| BORO | mg/Kg | | | | | | |

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (meq/100gr de suelo)

| | | | | | | | |
|------------|--------------|-----------|------------|--------|---------------|-------|--------------------|
| Calcio(Ca) | Magnesio(Mg) | Sodio(Na) | Potasio(k) | CIC | Suma de Bases | PSI | Interpretacion CIC |
| 8.800 | 1.200 | 0.348 | 0.600 | 10.948 | 10.948 | 3.179 | Bajo |

| CULTIVO | TIPO DE SUELO REQUERIDO | INTERPRETACION |
|---------|-------------------------|---|
| | | Es un suelo de textura moderadamente gruesa, deficiente en retencion de humedad, buena capacidad de aireacion del suelo; para mejorar la calidad de suelo agricola adicionar materia organica de acuerdo al cultivo a instalar. |

ANALISIS QUIMICO : INTERPRETACIONES

| CULTIVO | VALORES OPTIMOS | INTERPRETACION |
|---------|-----------------|---|
| | | Es un suelo con reaccion moderadamente alcalino en pH, no salino en conductividad electrica, normal en contenido de materia organica y nitrogeno, muy alto en concentracion de fosforo y alto en potasio respectivamente; para efectuar la recomendacion de nutrientes considerar la incorporacion de materia organica y fertilizantes en base de calcio de acuerdo a los resultados de analisis; con respecto a la capacidad de intercambio cationico CIC la interpretacion es Bajo. |

MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ENC. LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS
EE. AREQUIPA - INIA

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
Ing Msc VALERIA FRANCISCO SACACHIPANA
DIRECTOR EEA AREQUIPA

Calle Saco Olivares 402 Cerro Juli
José Luis Bustamante y Rivero - Arequipa
T: (054) 421338

Trabajando para

**ANEXO 8: Características finales del suelo donde se incorporó el compost del
tratamiento 2- distrito la Yarada - los palos.**



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego



**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUAS Y SEMILLAS
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA AREQUIPA - INIA**

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL SOLICITANTE | CAROLINA TORRES YABAR |
| PROCEDENCIA | TACNA |
| MUESTRA | SUELO+COMPOST |

| CODIGO DE LABORATORIO | FECHA DE INGRESO | PROCEDENCIA DE LA MUESTRA | LOTE | TIPO DE ANALISIS | N° DE INFORME |
|-----------------------|------------------|---------------------------|------|------------------|---------------|
| 8270 | 13/12/2018 | T2 | 2 | CARACTERIZACION | 8228 |

ANALISIS FISICO

| ARENA (%) | LIMO (%) | ARCILLA(%) | TEXTURA | POROSIDAD (%) | CAPACIDAD DE CAMPO(%) | AGUA DISPONIBLE (%) | PUNTO MARCHITEZ PERMANENTE (%) |
|-----------|----------|------------|---------|---------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------|
| 88.0 | 6.4 | 5.6 | ARENOSO | 33.0 | 6.8 | 5.1 | 1.7 |

ANALISIS QUIMICO

| ELEMENTO | UNIDAD | VALOR | DEFICIENTE | BAJO | NORMAL | ALTO | EXCESIVO |
|------------------|------------------|--------|------------|-------------------|-----------------|------------------|------------|
| Materia Organica | % | 4.86 | | | | | |
| Nitrogeno Total: | % | 0.20 | | | | | |
| Fosforo : P | ppm | 242.31 | | | | | |
| Potasio : K | ppm | 449.96 | | | | | |
| CO3Ca | % | 0.00 | | | | | |
| | | | NO SALINO | DEBILMENTE SALINO | MODERAD. SALINO | SALINO | MUY SALINO |
| C.E | dS/m extr. 1:2.5 | 0.57 | | | | | |
| | | | ACIDO | MODERAD ACIDO | NEUTRO | MODERAD ALCALINO | ALCALINO |
| pH | EXTR. 1:2.5 | 8.36 | | | | | |
| BORO | mg/Kg | | | | | | |

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (meq/100gr de suelo)

| Calcio(Ca) | Magnesio(Mg) | Sodio(Na) | Potasio(k) | CIC | Suma de Bases | PSI | Interpretacion CIC |
|------------|--------------|-----------|------------|-------|---------------|-------|--------------------|
| 7.200 | 0.960 | 0.287 | 0.667 | 9.114 | 9.114 | 3.149 | Bajo |

| CULTIVO | TIPO DE SUELO REQUERIDO | INTERPRETACION |
|---------|-------------------------|---|
| | | Es un suelo de textura gruesa, deficiente en retencion de humedad, buena capacidad de aireacion del suelo; para mejorar la calidad de suelo agricola adicionar materia organica de acuerdo al cultivo a instalar. |

ANALISIS QUIMICO : INTERPRETACIONES

| CULTIVO | VALORES OPTIMOS | INTERPRETACION |
|---------|-----------------|---|
| | | Es un suelo con reaccion moderadamente alcalino en pH, debilmente salino en conductividad electrica, ligeramente alto en contenido de materia organica y nitrogeno, muy alto en concentracion de fosforo y alto en potasio respectivamente; para efectuar la recomendacion de nutrientes considerar la incorporacion de materia organica y fertilizantes en base de calcio de acuerdo a los resultados de analisis; con respecto a la capacidad de intercambio cationico CIC la interpretacion es Bajo. |

MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ENC. LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS
EE. AREQUIPA - INIA

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
Ing. Msc. VALERIANO ALVARO SACACHIPANA
DIRECTOR
EEA - AREQUIPA

Calle Saco Olivares 402 Cerro Juli
José Luis Bustamante y Rivero - Arequipa
T: (054) 421338

Trabajando para...

ANEXO 9: Galería de fotos.



a) Recolección de muestras de suelo.



b) Caracterización de los residuos de verduras y frutas.



c) Método del cuarteo.



d) Determinación de la densidad de los residuos.



f) Se extienden los residuos para que pierdan humedad.



g) descarga del guano ovino.



h) Formación de las pilas



i) Determinación de la densidad del compost.



j) Ensacado del compost



k) Pesaje del compost.



l) Riego por goteo en los puntos donde se incorporó el compost.



m) Recolección de las muestras sometidas a riego por goteo.