



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

COMPOSTACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA

Alfredo Julián Ruiz Ubillús

Piura, 20 de febrero de 2003

FACULTAD DE INGENIERÍA

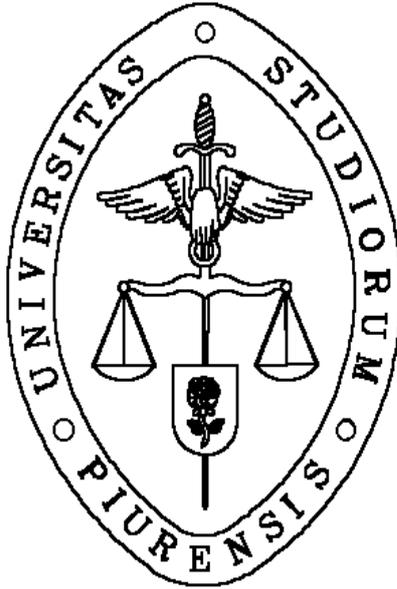
Área Departamental de Ingeniería Industrial y Sistemas



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“COMPOSTACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN
LA UNIVERSIDAD DE PIURA”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

ALFREDO JULIÁN RUIZ UBILLÚS

Piura, Diciembre 2002

**A mi madre y abuela por su
esfuerzo, apoyo y aliento en la
culminación de mi carrera.**

Prólogo

En la naturaleza todo se reutiliza. Lo que sale de la tierra vuelve a ella en forma de estiércol, hojas, residuos de comida, cadáveres, etc. El suelo está vivo debido a la gran cantidad y variedad de seres que en él viven. La naturaleza necesita aproximadamente 100 años para producir una capa de buena tierra de 1 cm de espesor. El aporte de estos seres vivos al suelo es lo que le da la fertilidad, es decir, la capacidad de producir alimentos en forma abundante, sana y permanente.

Construyendo una pila de compost, se crean las condiciones naturales para que los organismos del suelo (microorganismos: micro-flora y micro-fauna) descompongan restos de vegetales y animales produciendo un abono natural que es un compuesto de gran calidad para fertilizar el suelo y de esta manera, obtener mejores productos en los cultivos. La cantidad de microorganismos que “actúan” en una pila de compost es mayor que la cantidad de seres humanos que viven en el mundo.

La compostación es practicada desde la antigüedad. Desde hace miles de años, los chinos han recogido y compostado todas las materias de sus jardines, de sus campos y de sus casas, incluyendo materias fecales. En las puertas de Jerusalén, había lugares dispuestos para recoger las basuras de la ciudad: unos residuos se quemaban y con otros se elaboraba compost.

Básicamente con la compostación se trata de enriquecer la tierra de nuestras plantas y, al mismo tiempo, defender el ambiente pues ésta es una alternativa de tratamiento de desechos orgánicos generados tanto en las ciudades como en el campo. Por estos dos motivos, el presente trabajo pretende brindar un conocimiento general del compost y del proceso de compostación. Además, se busca mejorar el proceso de compostación empleado actualmente en la Universidad de Piura desde el punto de vista de los insumos utilizados en el proceso y de la actividad operativa del mismo.

Quisiera expresar mi agradecimiento al personal y amigos del Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria por el apoyo recibido durante el desarrollo del presente trabajo. En especial, a mi asesora la Ing. Ana María Chávez, así como al Ing. Mario Matorrel y al Tco. Willian Mejía del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria por su apoyo y

tiempo dedicado. También agradezco la colaboración del personal que trabaja en las cafeterías de la universidad por las facilidades brindadas para la realización del monitoreo de residuos de comida generados en éstas y a los señores jardineros de la universidad por su apoyo en la construcción de las pilas de compost y asistencia en el monitoreo y control del proceso de compostación.

Resumen

El objetivo principal del estudio es evaluar el proceso de compostación de los residuos sólidos orgánicos generados en las cafeterías (residuos de comida), durante la poda de las áreas verdes (residuos de jardín), por la crianza de ovejas (estiércol) y por los algarrobos existentes en el campus de la Universidad de Piura.

Esta evaluación incluye la cuantificación y caracterización físico-química de estos residuos, caracterización físico-química del compost elaborado actualmente utilizando los residuos de jardín, el estiércol de oveja y el puño de algarroba y del compost que se podría producir añadiendo los residuos de comida. Para el compost en que se utilizó residuos de comida, se obtuvo el valor más alto de la relación C/N, indicador de la mejora de la calidad de éste. Además, se propone una metodología de elaboración de compost, que permite satisfacer, en parte, la demanda continua de abono en la UDEP con un compost de mejor calidad y lo suficientemente estable.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Conceptos básicos sobre el proceso de compostación.....	3
1.1. Consideraciones generales.....	3
1.1.1. El compost	3
1.1.2. Proceso de compostación.....	4
1.1.3. Objetivo de la compostación	4
1.1.4. Aplicaciones del compost.....	4
1.2. Importancia de la elaboración y utilización del compost	5
1.2.1. A nivel de manejo de desechos sólidos	5
1.2.2. A nivel de manejo de tierras agrícolas	5
1.2.3. Usos del compost.....	6
1.3. Metodologías para la elaboración de compost	6
1.3.1. La producción de abonos orgánicos a través de la descomposición de materia orgánica	6
1.3.2. Las actividades operativas de producción de compost.....	7
1.4. Factores de control técnico en el proceso de compostación.....	8
1.4.1. Materiales utilizados.....	8
1.4.2. Factores climáticos	8
1.4.3. Fases del proceso de descomposición	9
1.4.4. Caracterización físico-química del compost.....	10
1.4.4.1. Temperatura.....	11
1.4.4.2. Humedad.....	11
1.4.4.3. Ventilación	11
1.4.4.4. Relación carbono/nitrógeno (C/N)	11
1.4.4.5. pH	12
1.4.4.6. Tiempo de compostación.....	12
1.5. Metodologías particulares para la producción de compost por descomposición aeróbica.....	13
1.5.1. Compostación en montón o en pilas.....	13
1.5.1.1. Uso de contenedores en pilas	15

1.5.1.2.	Problemas y soluciones	16
1.5.2.	Compostación en silos.....	16
1.5.3.	Compostación en superficie	17
1.6.	Especificaciones referenciales de calidad del compost.....	17
Capítulo 2: Caracterización de los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura.....		19
2.1.	Técnicas existentes	19
2.2.	Generación de residuos sólidos orgánicas en la Universidad de Piura	20
2.2.1.	Fuentes de generación	20
2.2.2.	Cuantificación de los residuos sólidos orgánicos.....	21
2.2.2.1.	Antecedentes	21
2.2.2.2.	Metodología utilizada.....	21
2.2.2.3.	Resultados	23
2.2.2.4.	Evaluación de resultados obtenidos	29
2.3.	Caracterización físico-química de los residuos sólidos orgánicos	30
2.3.1.	Método de cuarteo	30
2.3.2.	Preparación de muestras para su análisis en laboratorio.....	31
2.3.3.	Determinación de la humedad.....	32
2.3.4.	Determinación del pH	36
2.3.5.	Determinación del nitrógeno total.....	38
2.3.6.	Determinación de la materia orgánica y cenizas	43
2.3.7.	Determinación del carbono	46
2.3.8.	Determinación de fósforo.....	46
2.3.9.	Resultados y evaluación de resultados	51
2.3.10.	Conclusiones y recomendaciones preliminares.....	56
Capítulo 3: Elaboración de compost con residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura		57
3.1.	Metodología utilizada para la construcción de las pilas.....	57
3.2.	Monitoreo y control del proceso	69
3.2.1.	Aspectos previos	69
3.2.2.	Parámetros evaluados en el proceso de compostación.....	70
3.2.3.	Evaluación de resultados	77
3.2.4.	Conclusiones y recomendaciones preliminares.....	88
Capítulo 4: Metodología de compostación propuesta.....		89
4.1.	Descripción general del sistema de compostación propuesto	89
4.2.	Manejo de las rumas de compostación.....	91
4.3.	Parámetros de operación a controlar	98
4.4.	Evaluación de oferta-demanda y costos de compostación	98
4.5.	Conclusiones y recomendaciones adicionales.....	104
Conclusiones		105
Bibliografía.....		107

Introducción

Alrededor del 50 % de nuestras basuras son materia orgánica. En nuestros días, todo este material casi no se reutiliza, pues una vez desechado es llevado directamente a vertederos. La compostación se nos presenta como una solución ideal de reciclado y como una forma perfecta de cuidar nuestro planeta.

La compostación es un proceso de descomposición biológica oxidativa de los constituyentes orgánicos contenidos en los materiales de desecho, que se desarrolla bajo condiciones controladas sobre sustratos sólidos orgánicos heterogéneos, originando un producto que representa considerables beneficios cuando es adicionado al suelo. La compostación intenta reproducir las condiciones que podrían ocurrir en un sistema no perturbado, donde la materia orgánica se acumula sobre la superficie del suelo. Dependiendo de las variaciones en la temperatura del sistema, producto de la acción microbiana desarrollada, el proceso puede ser dividido en seis etapas claramente definidas: latente, calentamiento, temperatura máxima, enfriamiento, madurez y estabilización. Ya que la compostación es un proceso exclusivamente biológico, puede afirmarse que resulta afectado por todos los factores que influyen directa o indirectamente en el metabolismo microbiano; así los aspectos más importantes que deben ser considerados para llevar a cabo una buena compostación son: el sustrato, la aireación, la temperatura, la humedad, el pH y la relación carbono/nitrógeno (C/N).

El presente trabajo de tesis se desarrolló con el fin de evaluar el proceso de compostación de los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura, planteándose como objetivos específicos los siguientes: 1. Realizar la caracterización físico-química de estos residuos para verificar si su composición físico-química es la más adecuada para su utilización en el proceso de compostación, 2. Evaluar mediante una caracterización físico-química, la calidad del compost elaborado actualmente en la UDEP, 3. Evaluar la incorporación de los residuos de comida al proceso de compostación existente, mediante la elaboración y seguimiento de una pila de compostación experimental; 4. Comparar los resultados obtenidos en ambos casos, 5. Evaluar la metodología de compostación utilizada actualmente a partir de estiércol de oveja, puño de algarrobo y residuos de jardín; 6. Establecer propuestas orientadas a mejorar la actual metodología de compostación. El siguiente trabajo ha sido dividido en cuatro capítulos:

En el primer capítulo se presenta el marco teórico relacionado al compost y al proceso de compostación incluyendo las aplicaciones que tiene el compost según el grado de descomposición de éste y la importancia de la elaboración y utilización del compost como alternativa de tratamiento de desechos orgánicos y mejoramiento de la calidad de los suelos. También se definen las metodologías existentes para la elaboración del compost, una referida al desarrollo técnico del proceso de descomposición de la materia orgánica y la otra, basada en las actividades operativas de este proceso. Se presentan los factores de control técnico usados en un proceso de compostación: tipos de materiales utilizados, influencia de los factores climáticos, fases del proceso de compostación y caracterización físico-química del compost. Por último se explican algunas metodologías particulares para producción de compost por descomposición aeróbica dentro de las cuales se encuentra la utilizada actualmente en la Universidad de Piura.

En el segundo capítulo se presenta la caracterización físico-química realizada a los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura: residuos de comida, residuos de jardín, estiércol de oveja y puño de algarrobo. Se presentan las técnicas en las que se ha basado la realización de la caracterización, las fuentes de generación y cuantificación de estos residuos con la correspondiente evaluación de los resultados obtenidos. Se explican cada una de las metodologías utilizadas en esta caracterización físico-química: el método del cuarteo, la preparación de las muestras para su análisis en el laboratorio y los parámetros analizados: humedad, pH, nitrógeno total, carbono orgánico y fósforo. Se realiza la evaluación de los resultados para determinar la posibilidad de utilizar los residuos de comida en un proceso de compostación.

En el tercer capítulo se explica la metodología utilizada para la construcción de las pilas de compost (con y sin residuos de comida), la misma que es utilizada en la actualidad en la Universidad de Piura para la elaboración de compost que incluye: el procedimiento para la acumulación y preparación de los residuos a compostar, dimensiones de las pilas a construir y el porcentaje en peso de cada tipo de residuos a utilizar. También se explica, la técnica de monitoreo y control de las pilas: la frecuencia de volteo y riego de las pilas, los parámetros analizados durante el proceso de compostación y la evaluación de los resultados obtenidos para establecer la calidad del compost obtenido en cada una de las pilas.

Por último, en el cuarto capítulo se presenta una metodología de compostación que contribuya al aprovechamiento eficaz de los residuos de comida generados en las cafeterías de la universidad, en función de su disponibilidad, así como satisfacer mejor la actual demanda de compost que hay en ésta. Se realiza una evaluación de la oferta-demanda de compost en la UDEP y de los costos en los que se incurren para su elaboración tanto aplicando la metodología actual como la propuesta, utilizando –en ambos casos– los residuos de comida de las cafeterías de la universidad.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL PROCESO DE COMPOSTACIÓN

1.1. Consideraciones generales

1.1.1. El compost

El compost es un abono orgánico resultante de la descomposición de desechos orgánicos vegetales y animales, transformados por la micro-fauna y la micro-flora del suelo en una sustancia que mejora la estructura y la estabilidad de la tierra¹.

El compost no puede ser catalogado como un "fertilizante" puesto que éste se conceptualiza como cualquier sustancia orgánica o inorgánica con que se abona la tierra de cultivo con el objetivo de hacerla más fecunda para obtener una producción agrícola abundante y copiosa a corto plazo.

A diferencia de los fertilizantes, el compost sólo puede ser obtenido de una manera natural y sus efectos sobre una mayor productividad son a largo plazo, aunque ambientalmente más seguros pues no causan los impactos negativos que producen los primeros.

Aunque todas las experiencias obtenidas en la elaboración de compost en el ámbito agrícola coinciden en que el compost no es un fertilizante, esto no disminuye su importancia, puesto que permite la fijación, incorporación y mantenimiento de los minerales y materias orgánicas necesarias para un adecuado crecimiento de los vegetales, contribuyendo con el aumento de las cantidades de carbono y nitrógeno en el suelo, mejorando su capacidad productiva.

¹ CEPIS, FUNDACIÓN NATURA, G.T.Z., REPAMAR: "Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador", Quito, 1998.

1.1.2. Proceso de compostación²

La *compostación* o *proceso de elaboración de compost* es definido como el proceso técnico utilizado para la obtención de compost, en el cual existe un control permanente de la descomposición de los residuos.

La compostación está basada en un proceso de descomposición bioquímica y de estabilización de sustratos orgánicos bajo condiciones que generan temperaturas termofílicas, dando lugar a un producto final lo suficientemente estable para ser almacenado y aplicado en la tierra con la seguridad de no obtener efectos ambientales adversos. Condiciones especiales de humedad y aireación son requeridas para alcanzar estas temperaturas y la consecuente estabilización de los residuos.

En la actualidad la compostación se ha convertido en una alternativa para el manejo ambiental de desechos sólidos orgánicos. El proceso técnico de la elaboración del compost no se limita únicamente a la descomposición de la materia orgánica, sino que en su aprovechamiento se integran actividades de recuperación, separación y transporte de los materiales orgánicos a descomponerse y están directamente influenciados por factores sociales, políticos y económicos que enmarcan toda problemática de manejo de residuos.

Estos aspectos son importantes de considerar, porque cuando en los programas de compostación uno de los componentes no trabaja con eficiencia, las consecuencias afectan directamente al logro de los objetivos del proceso.

1.1.3. Objetivo de la compostación

El objetivo de la compostación es convertir la materia orgánica putrescible a una forma estable y destruir los organismos patógenos perjudiciales para el hombre. El compost, dispuesto de manera sanitaria y conveniente, es una fuente de materia orgánica que nutre la tierra, proporcionándole una mayor capacidad de retención de humedad.

El reciclaje de esta materia orgánica, contribuye a solucionar los efectos ambientales creados por la acumulación de residuos en vertederos y por la incineración. La compostación es una solución barata, viable y ecológica.

1.1.4. Aplicaciones del compost³

De acuerdo al estado de descomposición del compost, éste puede ser aplicado a diferentes tipos de cultivo y suelo:

1. **Compost maduro.-** Es aquel que está muy descompuesto y puede utilizarse para cualquier tipo de cultivo pero para cantidades iguales tiene un mayor valor enriquecedor del suelo que el compost joven. Se emplea en aquellos cultivos que no soportan materia orgánica fresca o poco descompuesta y como cobertura en los viveros.

² CEPIS, FUNDACIÓN NATURA, G.T.Z., REPAMAR: "Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador", Quito, 1998.

³ <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.asp#1>. ¿Qué es el compostaje?

2. **Compost joven.**- Está poco descompuesto y se emplea en el abonado de plantas que soportan bien este tipo de compost (papa, maíz, tomate, pepino, etc.).

1.2. Importancia de la elaboración y utilización del compost

La importancia de la elaboración del compost radica en que éste se ha convertido en un nexo entre los sistemas espaciales urbanos y rurales, pues la compostación es una alternativa de tratamiento de desechos orgánicos generados tanto en las ciudades como en el campo y al mismo tiempo de mejoramiento de la calidad de los suelos, generalmente ubicados en las zonas rurales.

1.2.1. A nivel de manejo de desechos sólidos

Dentro de la problemática del manejo de los desechos sólidos la importancia se encuentra en que la compostación permite:

- Crear una conciencia ambiental en la población en cuanto a los hábitos de separación de desechos en origen y la utilización que éstos pueden tener. Uno de los principales costos en materia de residuos que una municipalidad tiene que hacer frente es el del recojo y transporte de las basuras. Si se lograran establecer sistemas de tratamiento de la materia orgánica de forma doméstica, como viene realizándose en muchos municipios de países desarrollados, sin duda estos costos se verían reducidos considerablemente. Otro tanto podríamos decir en cuanto a los costos económicos que genera el vertido o la disposición a campo abierto de la materia orgánica, que conlleva a instalación de vertederos, contaminación de suelos y aguas, tratamiento de lixiviados, grandes incendios, etc.
- Disminuir los niveles de contaminación que producen los residuos orgánicos por el proceso natural de descomposición, el mismo que genera gas metano, proliferación de vectores transmisores de enfermedades y roedores.
- Utilizar de una manera ambientalmente segura los residuos orgánicos.
- Aumentar las posibilidades de producción de viveros y jardines en zonas urbanas o poblaciones en proceso de crecimiento que no cuentan con terrenos fértiles para ello.
- Aumentar el nivel de la oferta de abonos orgánicos existentes para poblaciones rurales.

1.2.2. A nivel de manejo de tierras agrícolas

La utilización del compost a nivel agrícola, permite en el suelo:

- Aumentar la disponibilidad favorable de nitrógeno para las plantas, mejorando la relación C/N del suelo.

- Facilitar las labores agrícolas, aumentando la retención de agua y aireación de las raíces.
- Disminuir la rapidez del flujo de sustancias nutritivas del suelo y por lo tanto mejorar la capacidad de crecimiento de las plantas.
- Contribuir mediante la utilización de abono orgánico, a la formación de humus permanente.
- Aumentar la desintegración de sustancias difícilmente solubles.
- Reducir los niveles de utilización de fertilizantes químicos nocivos.

1.2.3. Usos del compost

Como consecuencia de esta acción directa, el compost puede tener varios usos, por ejemplo:

- El mejoramiento físico, químico y biológico de suelos agrícolas o erosionados.
- La implementación de huertos familiares, escolares o comunitarios.
- Reforestación (es muy recomendable aplicar compost en zonas quemadas para facilitar de nuevo la colonización por la vegetación natural).
- Viveros y jardines ornamentales para asentamientos poblacionales urbanos, semi urbanos o rurales.
- Semilleros.

1.3. Metodologías para la elaboración de compost⁴

Existen dos tipos de metodologías básicas para la elaboración de compost. La primera tiene que ver con el desarrollo técnico del proceso de descomposición de la materia orgánica en si mismo y se inserta dentro de las teorías para producción agrícola con el uso de abonos orgánicos. La segunda está basada en las actividades operativas de la compostación que abarca su organización y estructura de funcionamiento.

1.3.1. La producción de abonos orgánicos a través de la descomposición de materia orgánica

Los métodos técnicos utilizados para la elaboración de compost bajo esta categoría, están clasificados en función del tipo de descomposición de la materia orgánica que realizan y se dividen fundamentalmente en descomposición aeróbica o anaeróbica.

⁴ CEPIS, FUNDACIÓN NATURA, G.T.Z., REPAMAR: “Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador”, Quito, 1998.

A. Aeróbicos

Son aquellos sistemas en los cuales el proceso de descomposición es realizado mediante aireaciones periódicas, que aceleran el trabajo de bacterias y microorganismos aeróbicos que descomponen la materia orgánica por oxidación.

Los residuos generados en la descomposición aeróbica de materia orgánica son dióxido de carbono (CO_2), agua y grandes cantidades de biomasa.

B. Anaeróbicos

Se diferencia de los métodos aeróbicos debido a que el proceso de descomposición se realiza totalmente cubierto y no utiliza ningún proceso de oxigenación puesto que utilizan el trabajo de microorganismos anaeróbicos que descomponen la materia orgánica por reducción.

Los residuos producidos por la descomposición anaeróbica son dióxido de carbono (CO_2), una pequeña cantidad de biomasa y un volumen considerable de gas metano (CH_4).

Cada uno de estos métodos tiene sus propias metodologías particulares y varias posibilidades de realización. En el Apartado 1.5 se explican algunas metodologías particulares para la producción de compost por descomposición aeróbica.

1.3.2. Las actividades operativas de producción de compost

Aunque el principio básico de elaboración del compost es el mismo, operativamente el tipo de materiales utilizados así como la tecnología, cambian de acuerdo a las condiciones sociales, económicas y ambientales del proceso de compostación.

Los métodos de compostación aeróbico y anaeróbico pueden realizarse bajo sistemas operativos diferentes y es por ello que la siguiente categorización del método está basada en el "sistema" empleado para la elaboración del compost, así tenemos:

A. Sistemas de compostación artesanal

Son aquellos en que en ninguna de las actividades del proceso de elaboración del compost se utiliza tecnología, herramientas mecánicas o eléctricas y la capacidad de producción generalmente es a baja o mediana escala.

B. Sistemas de compostación semi-industrial

Son aquellos en los cuales el sistema de descomposición cuenta con algunos equipos mecánicos o eléctricos para una o varias actividades del proceso.

C. Sistemas de compostación industrial

Son aquellos procesos de elaboración de compost completamente mecanizados en los cuales la tecnología cuenta un papel muy importante para la realización del proceso.

1.4. Factores de control técnico en el proceso de compostación

El proceso de compostación debe ser adecuadamente controlado, especialmente en aquellos factores que inciden directamente en la calidad del producto final y que a continuación se mencionan:

1.4.1. Materiales utilizados

Técnicamente se requiere de un control minucioso de los desechos orgánicos que van a ser utilizados. Los desechos orgánicos en general pueden clasificarse en:

- Desechos orgánicos rápidamente putrescibles.- Como desechos orgánicos frescos provenientes de alimentos, hierbas, cáscaras de frutas, etc.
- Desechos orgánicos lentamente putrescibles.- Como hojas de ramas y árboles, paja, aserrín, etc.
- Desechos orgánicos difícilmente putrescibles.- Como piezas de madera, ropas elaboradas con fibras naturales, cuero, cuernos, huesos, etc.
- Desechos orgánicos peligrosos.- Básicamente desechos provenientes de hospitales.

Los desechos orgánicos utilizados en proyectos de compostación, deben tener ciertas características específicas para garantizar la obtención de un buen compost:

- Los desechos deben ser rápidamente putrescibles.
- Si pertenecen a la categoría de los lenta o difícilmente putrescibles deben ser triturados antes del proceso de compostación.
- No deben contener desechos peligrosos provenientes de industrias (con excepción de las alimenticias) o centros hospitalarios.

1.4.2. Factores climáticos

Los factores climáticos como la temperatura, el viento y la lluvia son factores de control en el proceso de compostación pues tienen una alta influencia en la rapidez de la descomposición.

El proceso de compostación es más rápido en lugares húmedos y calientes pero debe ser protegido de los rayos del sol, pues generalmente éstos reducen la actividad microbiana del proceso, esto quiere decir que matan los microorganismos que convierten las sustancias orgánicas en minerales. También debe ser protegido de la lluvia en demasía pues provoca un exceso de humedad que disminuye la rapidez de la descomposición.

El control técnico de los factores climáticos mejora las condiciones de elaboración del compost y su calidad.

1.4.3. Fases del proceso de descomposición

El proceso físico, químico y microbiológico de la compostación consta de 6 fases bien diferenciadas sobre las cuales debe existir un control minucioso para determinar correctamente el control de la estructura físico-química del compost.

Durante el tiempo que duran estas fases ocurren cambios cualitativos y cuantitativos en la micro-flora y micro-fauna activa. Algunas especies se multiplican rápidamente al inicio cambiando el medio en que se desarrollan y luego desaparecen para permitir ser sucedidas por otras poblaciones de microorganismos.

Al iniciarse el proceso de compostación, predominan los microorganismos mesófilos (microorganismos capaces de vivir en un rango de temperatura de 25 a 55 °C), los que son responsables de la mayor parte de la actividad metabólica que sucede. Como resultado, la temperatura se incrementa y la población mesófila es reemplazada por especies termófilas, las cuales se desarrollan a los 55 °C .

1. Fase latente

Durante la fase inicial latente, que empieza después de la muerte de los organismos que habitan en la materia orgánica a ser compostada, los microorganismos saprófitos (seres vivos que se nutren de sustancias que integran la materia orgánica en descomposición) colonizan el material muerto. La fase latente es principalmente influenciada por la naturaleza de la materia orgánica y por las condiciones climáticas.

En los climas tropicales dura entre 1 y 4 días, mientras que en los climas fríos el tiempo es mayor. El inicio de esta fase se fija en el momento de la colecta de los desechos sólidos y su inmediata utilización. Sin embargo, es posible que por razones de generación, éstos sean acumulados y almacenados durante algunos días o semanas antes de su utilización, tiempo en el que el proceso de descomposición se habría iniciado. Esto haría difícil el control del proceso de compostación desde la fase inicial.

2. Fase de calentamiento

En esta fase los microorganismos se multiplican rápidamente e invaden la materia orgánica absorbiéndola desde la parte más fácilmente asimilable como por ejemplo azúcares, almidones, proteínas y ácidos orgánicos, para luego terminar con lo demás. El consumo de oxígeno y la producción de óxido de carbono por metabolismo microbiano es muy elevado durante esta fase. La actividad metabólica máxima y los métodos exotérmicos realizados en el lapso de algunos días, dan lugar a un aumento rápido de la temperatura al interior de la masa en descomposición.

3. Fase de la temperatura máxima

Las temperaturas del sustrato se elevan a más de 55 °C . Estos niveles de temperatura tienen un efecto selectivo importante en favor de los microorganismos termófilos, los cuales impiden el crecimiento de un gran número de otros microorganismos y reducen el número de patógenos y parásitos.

Existen pocos microorganismos termófilos que sobreviven a una actividad metabólica sobre los 70 °C . Cuando los sustratos fácilmente asimilados han sido

metabolizados, la tasa de actividad microbiana disminuye y la temperatura comienza a bajar.

4. Fase de enfriamiento

Durante esta fase, la temperatura disminuye hasta alcanzar condiciones mesófilas (inferior a los 55 °C) y otros grupos de microbios, los mesófilos, retoman su importante actividad metabólica.

5. Fase de maduración

Al final del proceso, a un estado avanzado de maduración y estabilización, la tasa de actividad de hongos (actinomicetos) es más elevada mientras que la actividad bacteriana comienza a disminuir. Algunas especies de microorganismos mesófilos y termófilos descomponen de manera activa importantes polímeros, tales como celulosa y lignina.

6. Fase de estabilización

La descomposición de la celulosa por acción de los hongos es prácticamente intensiva durante esta fase final. La degradación de la lignina está reservada a un grupo limitado de microbios como hongos superiores (bacidiomicetos).

Durante esta última fase, la temperatura baja y corresponde a la temperatura ambiental. Las fases finales de la compostación conducen a la actividad de algunos otros tipos de hongos y de un gran número de pequeños animales como cucarachas y pequeños insectos. Estas actividades son esenciales para la humificación de materias orgánicas.

Todas las materias descritas anteriormente terminan por degradarse con el tiempo y a menudo más allá de las fases habituales del proceso biológico de la compostación, como es el caso de la lignina que se descompone sólo de una manera lenta. La celulosa es relativamente resistente a la biodegradación si está asociada a la lignina como ligno–celulosa, tal como se la encuentra por ejemplo en el aserrín o paja. La unión de agentes de conservación y de aditivos, por ejemplo aquellos utilizados para la elaboración de papel bond o parafina, puede convertir a estos materiales aún más resistentes a la biodegradación.

1.4.4. Caracterización físico–química del compost⁵

La estructura físico–química de los materiales utilizados en la elaboración del compost, incide directamente en la asimilación microbiana de los minerales en el proceso. Los factores físico–químicos que cuentan en este aspecto son:

⁵ Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) – División Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la salud – Oficina Sanitaria Panamericana y Oficina regional de la Organización Mundial de la Salud, y Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima: Proyecto de Investigación “Compostificación de Residuos de Mercados”, Lima, 1993.

1.4.4.1. Temperatura

De acuerdo a las fases por las que atraviesa la descomposición de materia orgánica, la temperatura va cambiando gradualmente hasta alcanzar un máximo de 70 °C para luego descender y estabilizarse. La temperatura al momento de la cosecha del compost debe ser estable y debe alcanzar el grado de la temperatura ambiental o máximo 25 °C .

El rango óptimo de temperatura es de 40 – 70 °C . La más satisfactoria es usualmente 60 °C . Sin embargo, para mantener temperaturas altas durante la descomposición es necesario proporcionar condiciones aeróbicas.

1.4.4.2. Humedad

En el proceso de compostación es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40 – 60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento.

El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75 – 85 % mientras que para materiales vegetales frescos, ésta oscila entre 50 – 60 %.

1.4.4.3. Ventilación

Este factor es importante únicamente en el caso de que el método de compostación sea aeróbico y por tanto debe ser controlado según el tipo de método empleado.

1.4.4.4. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos.

Teóricamente una relación C/N de 25 – 35 es la adecuada a pesar de que en la práctica este valor es demasiado elevado. Esta relación variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostación, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado.

A medida que avanza el proceso de compostación, los organismos responsables usan el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para la formación de células. La relación C/N llega con el tiempo a ser más pequeña debido a que el nitrógeno permanece en el sistema mientras que el carbono es liberado como dióxido de carbono.

Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el aserrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno

son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero. A continuación se presenta esquemáticamente en el **Cuadro 1.1** algunos ejemplos de proporciones en carbono y nitrógeno de varias materias orgánicas.

Cuadro 1.1
Proporciones en carbono y nitrógeno de algunas materias orgánicas⁶

Materias orgánicas	Ricos en carbono	Ricos en nitrógeno	Relación C/N
Césped		●	10–20
Residuos de verduras		●	13
Deyección de animales domésticos		●	15
Residuos de jardín	●	●	10–60
Hojas secas	●		30–60
Cortezas	●		100–130
Ramas trituradas	●		100–150
Aserrín, virutas	●		100–150
Estiércol de gallinas, con o sin lecho		●	10–20
Estiércol de granja		●	15–30
Paja de cereales	●		50–150
Basura de cocina		●	10–20
Residuo del café		●	20

1.4.4.5. pH

El pH cae a 5 o menos durante los primeros dos o tres días de compostación, y luego empieza a incrementarse; generalmente alcanza niveles de 8,5 y permanece si se mantienen las condiciones aeróbicas. Si se presentaran condiciones anaeróbicas en el proceso de compostación, tal como sucede cuando está almacenado en pilas muy grandes o profundas, el pH cae hasta 4,5.

El pH inicial es ácido fluctuando entre 4,5 – 6,0 tendiendo a permanecer en el rango alcalino entre 7,5 – 9,0 para el compost maduro.

1.4.4.6. Tiempo de compostación

El tiempo de compostación varía según la metodología utilizada en el proceso y el control que se tenga durante el mismo. El tiempo promedio que la compostación utiliza en atravesar las fases anteriormente mencionadas es de aproximadamente 4 meses, pudiendo variar en función de las condiciones climáticas, la metodología utilizada y el control que se tenga sobre el proceso.

⁶ KRAFT VON, HEYNITZ: “El Compost en el Jardín”, 1991 y SANO, M.: “El Compostaje”, 1985.

Generalmente el compost puede utilizarse cuando el material presenta color oscuro; en este momento ya no se distinguen los materiales inicialmente utilizados. El compost tiene un olor agradable, suave textura, una humedad aproximada al 40 % y 25 °C de temperatura.

En la **Figura 1.1** se aprecia el compost listo para ser utilizado o almacenado.

Figura 1.1
Compost cernido y listo para ser usado



1.5. Metodologías particulares para la producción de compost por descomposición aeróbica.⁷

Dentro de esta clasificación podemos citar algunas metodologías particulares para el proceso de elaboración del compost:

1.5.1. Compostación en montón o en pilas

Es la técnica más conocida y se basa en la construcción de un montón formado por las diferentes materias primas, y en el que es importante:

⁷ <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.asp#1>. ¿Qué es el compostaje?

A. Realizar una mezcla correcta

Los materiales deben estar bien mezclados y homogeneizados, por lo que se recomienda una trituración previa de los residuos, ya que la rapidez de formación del compost es inversamente proporcional al tamaño de los materiales. Cuando los residuos son demasiado grandes se corre el peligro de una aireación y desecación excesiva del montón lo que perjudica el proceso de compostación.

Es importante que la relación C/N esté equilibrada, ya que una relación elevada retrasa la velocidad de humificación y un exceso de N ocasiona fermentaciones no deseables. La mezcla debe ser rica en celulosa, lignina (restos de poda, pajas y hojas muertas) y en azúcares (hierba verde, restos de hortalizas y orujos de frutas). El nitrógeno será aportado por el estiércol, las leguminosas verdes y los restos de animales de mataderos. Se mezclarán de manera tan homogénea como sea posible materiales pobres y ricos en nitrógeno pero también materiales secos y húmedos.

En el presente trabajo se ha utilizado estiércol de oveja y residuos de comida como materiales ricos en nitrógeno y puño de algarrobo, residuos de jardín y hojas secas como materiales ricos en carbono.

B. Formar el montón con las proporciones convenientes

El montón debe tener el suficiente volumen para conseguir un adecuado equilibrio entre humedad y aireación y debe estar en contacto directo con el suelo. Para ello se intercalarán entre los materiales vegetales algunas capas de suelo fértil.

La ubicación del montón dependerá de las condiciones climáticas de cada lugar y del momento del año en que se elabore. En climas fríos y húmedos conviene situarlo al sol y al abrigo del viento, protegiéndolo de la lluvia con una lámina de plástico o similar que permita la oxigenación. En zonas más calurosas, como en el caso de Piura, conviene situarlo a la sombra durante los meses de verano.

Se recomienda la construcción de montones alargados, de sección triangular o trapezoidal, con una altura de 1,5 metros, con una anchura de base no superior a su altura. Se recomienda también, intercalar cada 20 – 30 cm de altura una fina capa de 2 – 3 cm de espesor de compost maduro o de estiércol para facilitar la colonización del montón por parte de los microorganismos.

C. Manejo adecuado del montón

Una vez formado el montón es importante realizar un manejo adecuado del mismo, ya que de él dependerá la calidad final del compost. El montón debe airearse frecuentemente para favorecer la actividad de la oxidasa por parte de los microorganismos descomponedores. El volteo de la pila es la forma más rápida y económica de garantizar la presencia de oxígeno en el proceso de compostación, además de homogeneizar la mezcla e intentar que todas las zonas de la pila tengan una temperatura uniforme. La humedad debe mantenerse entre 40 – 60 %.

Si el montón está muy compactado, tiene demasiada agua o la mezcla no es la adecuada se pueden producir fermentaciones indeseables que dan lugar a sustancias tóxicas para las plantas. El manejo del montón dependerá de la estación del año, del clima y de las condiciones del lugar. Normalmente se voltea cuando han transcurrido entre 4 y 8

semanas, repitiendo la operación dos o tres veces cada 15 días. Así, transcurridos unos 2 – 3 meses obtendremos un compost maduro.

1.5.1.1. Uso de contenedores en pilas⁸

No es necesario un contenedor, pero ayuda para que la pila se vea más ordenada y es útil para apurar el proceso. Hay varios contenedores (composteras) que se pueden construir o habilitar tales como la de la **Figura 1.2**. Estas pueden ser de los siguientes tipos:

1. **Compostera cúbica.-** Esta es de ladrillos o madera. Se recomienda dejar un lado libre o que sea sencillo de desmontar, para facilitar el volteo del material así como para retirar el compost listo. Se debe dejar espacios entre las tablas o ladrillos para la entrada de aire. Pueden cubrirse los lados y fondo con una rejilla galvanizada, para el control de vectores y mascotas. Ponerle tapa es opcional, dependiendo de la cantidad de lluvia en la zona. Las dimensiones son de 1 metro por lado, lo cual asegura una compostación adecuada.
2. **Barriles o tambores plásticos.-** Hacer entre 24 a 48 hoyos de 1 cm de diámetro, para una buena aireación. Por no tener contacto con la tierra se recomienda agregar algunos puñados de compost viejo o tierra del jardín a la mezcla para ayudar a iniciar la compostación. Colocar bajo techo para evitar entrada de agua de lluvia.
3. **Compostera de rejilla.-** Conseguir una rejilla de 3,5 metros de largo por 1 metro de alto. Juntar y anudar los extremos. Cuando sea necesario levantar la rejilla, revolver la mezcla, colocarla a un lado y volver a llenarla. De esta manera, se asegura una buena aireación.

Figura 1.2
Tipos de composteras



⁸ <http://www.conama.cl/rm/568/article-1091.html>

1.5.1.2. Problemas y soluciones⁹

En el **Cuadro 1.2** se muestran las causas de los problemas más frecuentes que se presentan durante el proceso de compostación en pilas o montón con sus respectivas alternativas de solución

Cuadro 1.2
Soluciones a problemas frecuentes en la compostación

Problema	Causa	Solución
Mal olor	Falta de oxígeno. Demasiada agua. Demasiado material verde. La pila es muy compacta o grande.	Voltear la pila. Agregar hojas secas, aserrín o paja. Voltear la pila o disminuir su tamaño.
Centro muy seco	Falta de agua.	Voltear y humedecer.
Temperatura no sube	La pila es muy chica. Falta material verde. Tiempo frío.	Agregar materiales o aisle los lados. Agregar cortes recientes de pasto o restos de vegetales o frutas.
Pila muy húmeda	Excesiva lluvia. Excesivo riego.	Tapar con plástico, cuidar que se permita la aireación a través de hoyos. Agregar material seco (hojas, aserrín, paja). Revolver.
Vectores, moscas	Restos de cocina (comida).	Cubrir los restos de cocina con tierra, compost viejo u hojas secas.

1.5.2. Compostación en silos

Los materiales se introducen en un silo vertical de unos 2 ó 3 metros de altura, redondo o cuadrado, cuyos lados están calados para permitir la aireación. El silo se carga por la parte superior y el compost ya elaborado se descarga por una abertura que existe debajo del silo. Si la cantidad de material es pequeña, el silo puede funcionar de forma continua: se retira el compost maduro a la vez que se recarga el silo por la parte superior.

⁹ <http://www.conama.cl/rm/568/article-1091.html>

1.5.3. Compostación en superficie

Consiste en esparcir sobre el terreno una delgada capa de material orgánico finamente dividido, dejándolo descomponerse y penetrar poco a poco en el suelo. Este material sufre una descomposición aeróbica y asegura la cobertura y protección del suelo, sin embargo las pérdidas de N son mayores pero son compensadas por la fijación de nitrógeno atmosférico.

1.6. Especificaciones referenciales de calidad del compost

El contenido de nutrientes en el compost es bastante variado y depende de la naturaleza y características del material que se emplea. En el **Cuadro 1.3** se muestra el rango de valores para diferentes parámetros, en base seca, entre los cuales se encuentran las características químicas del compost terminado. Estos rangos son bastante amplios debido a los diferentes materiales iniciales, proporcionando características químicas variadas.

Cuadro 1.3
Rango de valores de algunos parámetros de calidad de compost¹⁰

PARÁMETRO	PORCENTAJE EN PESO
Materia Orgánica	25 – 50 %
Carbono	8 – 50 %
Nitrógeno Total	0,4 – 3,5 %
Fósforo (como P ₂ O ₅)	0,3 – 3,5 %
Cenizas	20 – 65 %

En el **Cuadro 1.4** presentamos los valores promedio de algunos parámetros de calidad de compost producido por la empresa uruguaya BIOAGRO FERTILIZANTES. Esta empresa produce diferentes tipos de compost (compost de lombriz, full compost, compost tradicional), cuya composición físico-química varía en función de las necesidades del suelo y el tipo de cultivo. Debido a que la producción del compost es realizada a nivel industrial y controlada de manera automatizada, el rango de valores de los parámetros del **Cuadro 1.4** son más estrechos que los del **Cuadro 1.3**.

¹⁰ Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) – División Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la salud – Oficina Sanitaria Panamericana y Oficina regional de la Organización Mundial de la Salud, Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima: Proyecto de Investigación “Compostificación de Residuos de Mercados”, Lima, 1993.

Cuadro 1.4
Rango de valores promedio de la composición físico-química del compost¹¹

PARÁMETRO	VALOR PROMEDIO
Humedad	40 – 45 %
pH	7,8 – 8 %
Materia Orgánica	35 – 40 %
C/N	16 – 20
Nitrógeno Total	1,5 – 1,8 %
Fósforo Total	0,8 – 1 %

¹¹ <http://www.webs.montevideo.com.uy/bioagro/compost.html>

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA

2.1. Técnicas existentes

La mayoría de las técnicas usadas en la determinación de las diferentes pruebas aplicadas a los residuos sólidos orgánicos que produce la Universidad de Piura están basadas las Normas Técnicas de Residuos Sólidos (NTRS), las cuales han sido establecidas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología – México (SEDUE)¹² y estas son las siguientes:

- Norma Técnica NTRS–3 SEDUE. Muestreo – Método de cuarteo.
- Norma Técnica NTRS–7 SEDUE. Determinación de humedad.
- Norma Técnica NTRS–8 SEDUE. Determinación del pH.
- Norma Técnica NTRS–9 SEDUE. Determinación de cenizas.
- Método Modificado Kjeldhal. Determinación del nitrógeno total.
- Método Modificado de Olsen. Determinación de fósforo.

La información sobre la composición físico–química de los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura es importante si se quiere utilizar éstos en un proceso de compostación, debido a que la calidad del compost está en función del material empleado en su elaboración.

¹² <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fultext/cursos/especifici/especifici.html>

Las diferentes pruebas a estos residuos se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura y fueron:

- pH
- Humedad
- Nitrógeno
- Fósforo
- Cenizas
- Materia orgánica
- Carbono

2.2. Generación de residuos sólidos orgánicas en la Universidad de Piura

2.2.1. Fuentes de generación

Actualmente la Universidad de Piura cuenta con dos cafeterías, las cuales representan las únicas fuentes de generación de residuos de comida (cocina) que constituyen, uno de los cuatro tipos de residuos sólidos orgánicos que se generan dentro de institución. Una de las cafeterías está ubicada entre el primer estacionamiento de la universidad y el edificio central a la cual se le denominará “Cafetería Principal” y la otra, ubicada en las instalaciones del Post grado, se le denominará “Cafetería Master”.

En ambas cafeterías se expenden platos a la carta y menús (desayunos y almuerzos) siendo estos últimos los que originan la mayor cantidad de residuos de comida. En la “Cafetería Principal”, la cantidad de menús preparados diariamente, durante el tiempo que duró el monitoreo, varió entre 7 – 30 platos mientras que en “Cafetería Master” esta cantidad osciló entre 5 – 15 platos.

Se observó que los restos de comida eran variados pero predominantemente se podía encontrar: cáscaras de frutas como melón, papaya, piña, plátano, limón, maracayá, palta, membrillo; cáscaras de vegetales y hortalizas como papa, zanahoria, cebolla, tomate y otros como cáscaras de huevo, huesos de pollo, arroz, fideos, maíz morado, residuos de pan, residuos de café pasado etc.

Otro tipo de residuo sólido orgánico son los residuos de jardín que se generan durante la poda y limpieza de las áreas verdes con las que cuenta la Universidad de Piura y cuya actividad está a cargo de 6 jardineros. Cada uno de ellos tiene bajo su responsabilidad una determinada área de trabajo dentro de la cual realizan otras tareas como la de riego y abono de plantas y jardines.

EL estiércol de oveja y puño de algarrobo constituyen los otros dos tipos de residuos sólidos orgánicos que se generan en la Universidad de Piura. El estiércol es obtenido de la

crianza de un rebaño de aproximadamente 110 ovejas mientras que el puño es generado por los algarrobos que se encuentran dentro del terreno de la institución.

En la práctica de compostación realizada actualmente en la Universidad de Piura, no se considera la utilización de los residuos de comida generados por las cafeterías.

2.2.2. Cuantificación de los residuos sólidos orgánicos

2.2.2.1. Antecedentes

Del total de residuos sólidos generados por la Universidad de Piura, aproximadamente el 32 % corresponde a residuos de jardín y el 18 % a residuos de comida, lo cual sumados da el 50 % es decir, una cantidad no despreciable de los residuos sólidos generados por la UDEP pueden ser utilizados para fines de compostación.¹³

2.2.2.2. Metodología utilizada

Se realizó la cuantificación (monitoreo de generación) de los residuos sólidos orgánicos generados en las cafeterías de la Universidad de Piura. Para el caso de los residuos de jardín, se contaba con la información obtenida en un estudio anteriormente realizado en la universidad donde se cuantificó la generación de residuos de jardín en dicha institución.¹⁴

La cuantificación del estiércol de oveja y puño de algarrobo se calculó matemáticamente teniendo en cuenta algunos argumentos teóricos. El procedimiento se explica en el Apartado **2.2.2.3**.

Pasos previos

1. Se definió el número de semanas y las fechas en que se iba a realizar el monitoreo de generación, teniendo en cuenta la afluencia de alumnos a dichas cafeterías. La finalidad de elegir estas fechas era para cuantificar los valores máximos y mínimos de generación de residuos de comida.

Para la “Cafetería Principal”, se programó tomar 2 semanas durante los exámenes parciales (tiempo total que duran los exámenes en las distintas facultades), 2 semanas durante el dictado normal de clases y 2 semanas durante las vacaciones de medio año que tienen los alumnos de las distintas facultades.

En cuanto a la “Cafetería Master”, se programó realizar el monitoreo sólo durante 3 semanas continuas. Las clases para los alumnos del post grado son

¹³ CALLE, RIOFRÍO PAOLA: Tesis " Plan de manejo ambiental de los residuos sólidos de la Universidad de Piura", 2001. (no se consideró en este estudio los restos generados por la cafetería ubicada en las instalaciones del Post grado).

¹⁴ CALLE, RIOFRÍO PAOLA: Tesis " Plan de manejo ambiental de los residuos sólidos de la Universidad de Piura", 2001.

continuas durante el año y no cuentan con estas semanas de vacaciones por lo que ellos concurren a esta cafetería de manera casi constante. La fecha de inicio se fijó dentro del periodo de vacaciones de los alumnos de la universidad.

2. Se estableció el lugar donde se iba a realizar el pesado de las bolsas recogidas en las cafeterías. En este mismo lugar se almacenarían dichas bolsas para el posterior muestreo de su contenido (método del cuarteo), explicado en el Apartado **2.3.1**.
3. Se coordinó con la persona encargada de cada cafetería para establecer la hora de recojo diario de las bolsas con los residuos de comida. Dichas bolsas eran de color negro y serían entregadas semanalmente durante los periodos que duraría la cuantificación de estos residuos.

Aparato y equipos

- Balanza romana¹⁵ (spring hanging scales)¹⁶ con capacidad de 25 kg
- Bolsas de plástico negras (polietileno) de 1,15 m x 0,85 m

Procedimiento

1. Durante la semana anterior a la del recojo de los residuos de comida, se entregaban las bolsas de polietileno. Se usaron de 2 a 3 bolsas diarias dependiendo de la cantidad de residuos generados ese día.
2. Las bolsas se recogieron diariamente durante las semanas en que duró la cuantificación de los residuos, explicado en la metodología. En la “Cafetería Principal”, las bolsas se recogieron de lunes a sábado mientras que en la “Cafetería Master” de lunes a viernes. Las bolsas se recogieron a las 4 de la tarde en ambas cafeterías a excepción del día sábado que se realizó a las 2 de la tarde.
3. Una vez recogidas las bolsas diariamente, éstas se llevaron a la parte posterior del Instituto de Hidráulica en donde se pesó su contenido utilizando una balanza romana. Posteriormente se almacenaron dichas bolsas con su contenido hasta el día siguiente, pues el cuarteo se realizaba cada 2 días y se debía esperar el recojo y pesado de las bolsas con residuos de comida del siguiente día.

¹⁵ Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo–Americana – Espasa Calpe S.A. Editores, Tomo VII, Pág. 295.

¹⁶ Catálogo Cole – Parmer U.S.A., 20001/02, Balances, Pág. 82.

2.2.2.3. Resultados

A. Resultados del monitoreo de generación

Fechas de monitoreo

Para la “Cafetería Principal”:

- Primer monitoreo → 30-04-01 al 12-05-01 (periodo de exámenes parciales)
- Segundo monitoreo → 11-06-01 al 23-06-01 (periodo de dictado de clases)
- Tercer monitoreo → 09-07-01 al 21-07-01 (periodo de vacaciones)
- Cuarto monitoreo → 23-07-01 al 28-07-01 (periodo de vacaciones)

Durante el periodo de vacaciones se tomaron 3 semanas de monitoreo debido a que al haber transcurrido las 2 primera semanas, la actividad de esta cafetería había aumentado debido a las numerosas charlas y conferencias que se dieron en dichas fechas. Por consiguiente, la generación de los residuos de comida se había también incrementado.

Para la “Cafetería Master”:

- Primer y único monitoreo → 09-07-01 al 28-07-01 (periodo de clases en el Post grado)

Durante el periodo de vacaciones de los alumnos de las distintas facultades, los alumnos del Post grado están en periodo de dictado de clases.

A continuación se presentan en los **Cuadros 2.1 – 2.5** los valores obtenidos durante este monitoreo:

Cuadro 2.1
Generación de residuos de comida en la “Cafetería Principal” durante el periodo de exámenes parciales (30-04-01 al 12-05-01)

Fecha	Peso(kg)
Lunes 30 de Abril	13,5
Martes 1 de Mayo	Feriado
Miércoles 2 de Mayo	10,5
Jueves 3 de Mayo	11,0
Viernes 4 de Mayo	10,0
Sábado 5 de Mayo	9,5
Lunes 7 de Mayo	10,5
Martes 8 de Mayo	11,5
Miércoles 9 de Mayo	9,0
Jueves 10 de Mayo	9,0
Viernes 11 de Mayo	10,5
Sábado 12 de Mayo	14,5
Total	119,5
Promedio diario generado	10,9

Cuadro 2.2
Generación de residuos de comida en la “Cafetería Principal” durante el periodo de dictado de clases (11-06-01 al 23-06-01)

Fecha	Peso(kg)
Lunes 11 de Junio	11,0
Martes 12 de Junio	13,5
Miércoles 13 de Junio	10,5
Jueves 14 de Junio	15,0
Viernes 15 de Junio	15,0
Sábado 16 de Junio	6,5
Lunes 18 de Junio	12,5
Martes 19 de Junio	14,5
Miércoles 20 de Junio	9,5
Jueves 21 de Junio	15,5
Viernes 22 de Junio	10,5
Sábado 23 de Junio	8,0
Total	142,0
Promedio diario generado	11,8

Cuadro 2.3
Generación de residuos de comida en la “Cafetería Principal” durante el periodo de vacaciones (09-07-01 al 21-07-01)

Fecha	Peso(kg)
Lunes 9 de Julio	9,0
Martes 10 de julio	7,0
Miércoles 11 de julio	15,0
Jueves 12 de julio	14,0
Viernes 13 de julio	12,0
Sábado 14 de julio	6,0
Lunes 16 de julio	14,0
Martes 17 de julio	18,0
Miércoles 18 de julio	12,0
Jueves 19 de julio	17,0
Viernes 20 de julio	14,0
Sábado 21 de julio	12,0
Total	150,0
Promedio diario generado	12,5

Cuadro 2.4
Generación de residuos de comida en la “Cafetería Principal” durante el periodo de vacaciones (23-07-01 al 28-07-01)

Fecha	Peso(kg)
Lunes 23 de Julio	9,0
Martes 24 de Julio	8,5
Miércoles 25 de Julio	8,0
Jueves 26 de Julio	9,0
Viernes 27 de Julio	8,5
Sábado 28 de Julio	7,0
Total	50,0
Promedio diario generado	8,3

Cuadro 2.5
Generación de residuos de comida en la “Cafetería Master” durante el periodo de
clases (09-07-01 al 28-07-01)

Fecha	Peso(kg)
Lunes 9 de Julio	3,5
Martes 10 de julio	4,0
Miércoles 11 de julio	2,5
Jueves 12 de julio	3,0
Viernes 13 de julio	4,0
Lunes 16 de julio	4,0
Martes 17 de julio	6,0
Miércoles 18 de julio	5,0
Jueves 19 de julio	4,5
Viernes 20 de julio	4,0
Lunes 23 de Julio	5,0
Martes 24 de Julio	5,5
Miércoles 25 de Julio	2,5
Jueves 26 de Julio	3,0
Viernes 27 de Julio	3,5
Total	60,0
Promedio diario generado	4,0

B. Cálculo de la cantidad de residuos de jardín, puño de algarrobo y estiércol de oveja generados

En el **Cuadro 2.6** se muestra la generación de residuos de jardín de la Universidad de Piura. Estos datos fueron obtenidos de un estudio realizado anteriormente en la universidad.¹⁷

Cuadro 2.6
Residuos de jardín generados durante el 17-11-99 al 24-11-99
y del 17-01-00 al 22-01-00

Fecha	Peso (kg/semana)
Semana del 17-11-99 al 24-11-99	207,5
Semana del 17-01-00 al 22-01-00	208,5

La cantidad de puño de algarrobo generado en la Universidad de Piura se calculó partiendo de la siguiente información¹⁸:

- Producción Anual Promedio de Puño para bosque joven → 0,519 t/ha
- Extensión de terreno de la Universidad de Piura → 80 ha Aproximadamente

Con estos datos se calculó que en la Universidad de Piura, la generación de puño de algarrobo es:

$$0,519 \frac{t}{ha * año} * 80 ha * 1000 \frac{kg}{t} * \frac{año}{12 meses} = 3460 \frac{kg}{mes}$$

En el caso del cálculo de la cantidad de estiércol de oveja generado, se partió de la siguiente información¹⁹:

- Producción de estiércol de una oveja al año → 25 veces su peso viva
- Peso de una oveja → 30 kg

¹⁷ CALLE, RIOFRÍO PAOLA: Tesis " Plan de manejo ambiental de los residuos sólidos de la Universidad de Piura", 2001.

¹⁸ ASENIO, DÍAZ FAUSTO: "La Producción de Algarroba de los Bosques Secos: Economía y Medio Ambiente en la Región Grau", CEPESER (Centro Peruano de Servicios), Piura, 1995.

¹⁹ PINEDA, M. RICARDO: Folleto informativo "Nuestros Recursos" – Tema "Fosfocompost: Preparación y uso", CIPCA (Centro de Investigación y Promoción del Campesino), 1993.

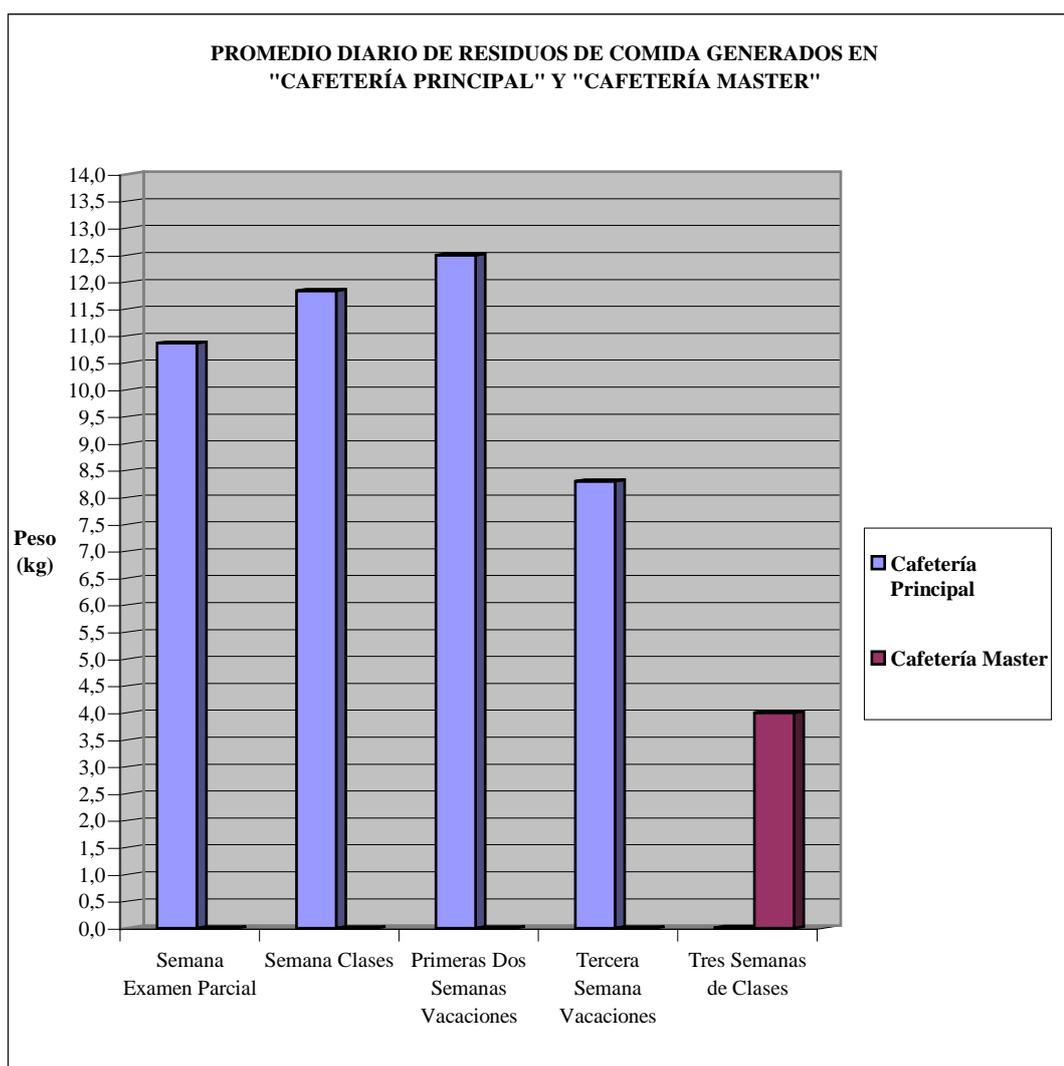
Teniendo como dato adicional que la Universidad de Piura cuenta con un rebaño de aproximadamente 110 ovejas, se calculó que la generación de estiércol es:

$$110 \text{ ovejas} * 30 \frac{\text{kg}}{\text{oveja}} * 25 \frac{\text{veces el peso}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 6875 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

2.2.2.4. Evaluación de resultados obtenidos

A continuación se muestran en el **Gráficos 2.1** los promedios diarios de residuos de comida generados por las cafeterías de la universidad, presentados en los **Cuadros 2.1 – 2.5**.

Gráfico 2.1



Del **Gráfico 2.1** se puede concluir lo siguiente:

- El promedio de residuos de comida generados en la “Cafetería Principal” durante las semanas de exámenes parciales es ligeramente menor que el promedio correspondiente a la semana de dictado de clases y era de esperarse debido a que la cantidad de alumnos que acuden a dicha cafetería es menor.
- El promedio más alto de residuos de comida generados en esta cafetería ocurre durante las dos primeras semanas de vacaciones. Era de esperarse que el promedio más alto ocurriese durante la semana de dictado de clases, época donde el alumnado concurre en mayor número a esta cafetería. Sin embargo, no fue así, debido a que durante las dos primeras semanas de vacaciones hubieron algunas actividades extracurriculares (seminarios y conferencias) que originaron la concurrencia de un mayor número de personas a la “Cafetería Principal”.
- Para la tercera semana de vacaciones, estas actividades extracurriculares habían terminado y el número de concurrentes a la “Cafetería Principal” fue mucho menor. El promedio más bajo de generación de residuos de comida ocurre en esta semana debido a que los alumnos aun se encontraban de vacaciones.
- La “Cafetería Principal” genera una mayor cantidad de residuos de comida que la “Cafetería Master”.

2.3. Caracterización físico-química de los residuos sólidos orgánicos

2.3.1. Método de cuarteo

Este procedimiento permite la obtención de especímenes para el análisis físico-químico de los residuos de comida de las cafeterías y de jardín. Para el caso del puño y estiércol no fue necesario realizar el cuarteo, pues la muestra se tomó directamente para el análisis en laboratorio.

Aparatos y equipos

- Balanza romana con capacidad de 25 kg
- Bolsas de plástico de 1,15 m x 0,85 m y de 0,30 m x 0,22 m para el manejo de los residuos de comida de las cafeterías
- Pala curva
- Escoba
- Mascarillas protectoras
- Guantes de plástico

- Baldes plásticos
- Recogedor plástico de basura
- Plástico de 2m x 2m
- Papelería y varios (Plumones, lapiceros)

Procedimiento

El contenido de las bolsas plásticas (1,15 m x 0,85 m) que se recogieron diariamente en las cafeterías de la UDEP, se vaciaron sobre un plástico cuyas dimensiones fueron de 2m x 2m, el cual se colocó en un área plana de cemento. Esto se realizó cada 2 días por ejemplo: las bolsas con los residuos de comida del día lunes eran pesadas y almacenadas hasta el día martes; después que se recogían las bolsas ese día y se pesaba su contenido, recién se podía proceder al cuarteo de los residuos de comida de ambos días.

El cuarteo consistió en formar con los residuos de comida un montón, el cual fue removido con la ayuda de una pala hasta homogeneizarlo. A continuación se procedió a dividir el montón en cuatro partes aproximadamente iguales: A, B, C y D; se eliminaron las partes opuestas A y C, o B y D, repitiéndose esta operación hasta dejar un mínimo de 1 kg de residuos de comida. Esta muestra se trasladó al laboratorio en una bolsa de plástico (0,30m x 0,22 m) previamente rotulada para los análisis físico-químicos.

Para el caso de los residuos de jardín, el cuarteo fue realizado en el mismo lugar donde es almacenado por los jardineros. El procedimiento utilizado fue el mismo que para los residuos de comida de las cafeterías.

Los demás utensilios mencionados anteriormente fueron usados para la limpieza del lugar de trabajo (balde plástico, escoba, recogedor de basura).

2.3.2. Preparación de muestras para su análisis en laboratorio.

Una vez obtenida la muestra por el método de cuarteo y llevada al laboratorio en una bolsa rotulada, se procedió a la trituration y licuado de ésta (sólo los residuos de comida se licuaron). El rótulo de la bolsa hacía referencia al día en que se realizó el cuarteo y la fuente de generación y la muestra que entraba al laboratorio para ser analizada recibía este mismo nombre.

Sólo las muestras de residuos de comida que pertenecieron a las semanas del 09-07-01 al 28-07-01 contenían residuos tanto de la “Cafetería Principal” como de la “Cafetería Master”.

Aparatos y equipo

- Licuadora de cocina
- Mortero de madera
- Cuchillo de cocina
- Guantes de plástico

Procedimiento

Se sacaron los residuos de la bolsa rotulada y se colocaron en una tabla. Las cáscaras fueron cortadas en pequeños trozos (1 – 2 cm) con el propósito de facilitar el licuado. Lo mismo se hizo con los demás tipos de residuos de comida (pedazos de papa, pan, alcachofas, frutas etc.). En el caso de los huesos, estos se trituraron previamente en un mortero de madera y luego se incorporaron en la licuadora.

Los restos licuados fueron colocados en una pequeña olla la cual era rotulada para evitar confusiones y se guardaba en un refrigerador hasta el día siguiente en que los análisis antes mencionados se realizaban.

2.3.3. Determinación de la humedad²⁰

Para ello se utilizó el denominado método de la estufa, el cual determinó el porcentaje de humedad contenido en los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de Piura. Este método se basó en la pérdida de peso que sufrió la muestra cuando se sometió a las condiciones de tiempo y temperatura que se establece en esta norma, considerando que dicha pérdida se originó por la eliminación de agua.

Aparatos y equipo

- Balanza analítica con sensibilidad de 0,001 g
- Espátula para balanza
- Estufa
- Placas petri
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio

²⁰ Norma Técnica NTRS-7 SEDUE. Determinación de la humedad.

Procedimiento

Se coloca una placa petri abierta y su tapa en la estufa a 120 °C durante dos horas, transcurrido ese tiempo se tapa la placa dentro de la estufa e inmediatamente se pasa al desecador durante dos horas como mínimo o hasta obtener peso constante.

Luego se deposita la muestra sin compactar hasta un 50 % del volumen de la placa. Se pesa la placa cerrada con la muestra y se introduce destapada a la estufa a 60 °C durante dos horas, se deja enfriar y se pesa nuevamente. Se repite esta operación las veces que fuesen necesarias hasta obtener peso constante. Ver **Foto 2.1 – 2.2.**

Cálculo

El porcentaje de humedad de la muestra se calcula de la siguiente manera:

$$W(\%) = \frac{(G - G1)}{G} \times 100$$

Donde:

W = Porcentaje de humedad

G = Peso de la muestra húmeda en gramos

G1 = Peso de la muestra seca en gramos

Se tendrá en cuenta que para obtener G y G1, se descuenta el peso de la placa petri.

Los resultados obtenidos se muestran en los **Cuadros 2.8 – 2.11.**

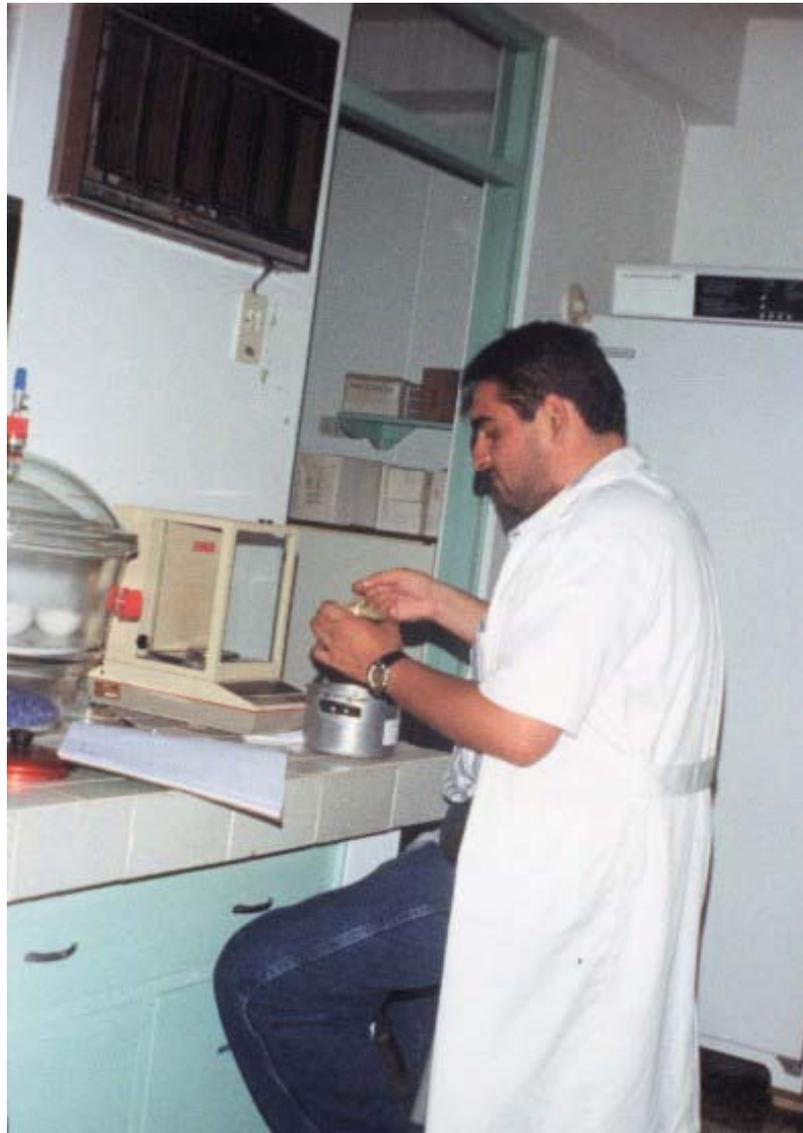


Foto 2.1 Determinación de humedad: Pesado de la muestra en placa petri



Foto 2.2 Determinación de humedad: Utilización de estufa para el secado de la muestra

2.3.4. Determinación del pH²¹

Aparatos y equipo

- Balanza analítica con sensibilidad de 0,001 g
- Potenciómetro
- Agitador magnético

Reactivos

- Solución amortiguadora de pH = 4,0
- Solución amortiguadora de pH = 7,0
- Solución amortiguadora de pH = 11,0

Procedimiento

Se calibra el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH = 4, pH = 7 y pH = 11; según fuese el tipo de residuos por analizar.

Se pesan 10 g de la muestra y se transfieren a un vaso de 250 ml . Añadir 90 ml de agua destilada, mezclar por medio de un agitador durante 10 minutos. A continuación se sumerge el electrodo. El valor del pH de la solución, es la lectura obtenida en la pantalla del potenciómetro.

Se saca el electrodo de la solución y se lava con agua destilada. La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuadas por duplicado, no debe exceder 0,1 unidades de pH, en caso contrario se debe repetir la operación. Ver **Foto 2.3**.

Los resultados obtenidos se muestran en los **Cuadros 2.8 – 2.11**.

²¹ Norma Técnica NTRS-8 SEDUE. Determinación del pH.



Foto 2.3 Lectura del potenciómetro para determinación de pH

2.3.5. Determinación del nitrógeno total²²

La cantidad de nitrógeno presente en la muestra se determinó con el método modificado “Kjedhal”. Este método se emplea en la determinación del contenido de nitrógeno en sustancias de origen animal o vegetal y en forma de compuestos orgánicos.

Procedimiento

Se pesa con exactitud 200 mg de la muestra previamente secada a 75 °C durante dos horas en papel fino y el conjunto se introduce en un tubo de digestión. Luego se agrega 0,4 g de sulfato de cobre (CuSO_4), 0,1 g de selenio metálico, 2 ml de agua destilada y 4 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), con la finalidad de convertir las aminas de los materiales orgánicos en sulfatos de amonio.

Se procede a realizar la digestión de la muestra llevando el tubo de digestión a la coccinilla del digestor. Se realizan 5 repeticiones y un blanco. El sistema de digestión está formado por 6 tubos de digestión (ver **Foto 2.4**). El sistema se lleva a una temperatura de 175 °C por espacio de 6 a 8 horas. En este tiempo se observa la formación de humos blancos. La digestión termina cuando la solución toma un color blanquecino verdoso.

Seguidamente se retiran los tubos de la coccinilla, se dejan enfriar y se agrega agua destilada hasta completar 15 a 20 ml. Estos tubos (uno a la vez) se conectan cuidadosamente a un sistema de destilación. Antes de destilar se agrega a la muestra en el tubo de digestión 20 ml de soda al 40 % (NaOH), con la finalidad de realizar la destilación en un medio alcalino.

En el punto final del condensador del sistema de destilación se coloca un frasco de erlenmeyer de 250 ml con 20 ml de ácido bórico al 2 % ($\text{H}_3\text{BO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), 0,5 ml de indicador rojo de metilo y 0,25 ml de indicador azul de metilo, toda esta mezcla se torna a un color fucsia en donde será absorbido el amoniaco. Cuando la primera gota de destilado cae en el frasco de erlenmeyer con ácido bórico, la solución vira de un color fucsia a verde si la muestra contiene amoniaco (en caso contrario mantiene el color inicial). La destilación se mantiene durante 10 minutos, que es tiempo suficiente para que destile todo el amoniaco presente en la solución tratada. Se utilizan 6 frascos de erlenmeyer, pues el proceso de destilación se realiza para cada uno de los tubos de digestión. Ver **Foto 2.5 – 2.6**.

Finalmente se retira el frasco de erlenmeyer con la solución ácida y se lleva a titular con ácido clorhídrico 0,1 N y se anota el gasto. Ver **Foto 2.7**.

El ensayo en blanco se realiza pesando 0,5 g de azúcar de caña o sacarosa, y se somete a un tratamiento similar (se toma el primer tubo de digestión para el ensayo en blanco) y se anota también el gasto.

²² Método Modificado Kjedhal. Determinación del nitrógeno total. Norma Técnica estandarizada en el laboratorio de Valle Grande, Cañete – Lima, 1975. Referencia: Dr. Ing. Ignacio Benavet.



Foto 2.4 Determinación de nitrógeno: Tubos de digestión del sistema “Kjedhal”



Foto 2.5 Determinación de nitrógeno: Retiro del tubo de digestión del sistema de destilación



Foto 2.6 Determinación de nitrógeno: Retiro del frasco de erlenmeyer del sistema de destilación



**Foto 2.7 Determinación de nitrógeno: Titulación con ácido clorhídrico
0,1 N**

Cálculo

El cálculo del contenido de nitrógeno se obtiene por la siguiente fórmula:

$$NT(\%) = \frac{(G - G_0)}{P} \times 1,4 \times 100$$

Donde:

NT = Porcentaje de nitrógeno total en la muestra

G = Gasto de ácido clorhídrico durante la valoración de la muestra

Go = Gasto de ácido clorhídrico durante la valoración de la muestra en blanco

1,4 = Factor de relación mg de nitrógeno/ml de ácido clorhídrico 0,1 N

P = Peso de la muestra inicial seca en mg

Los resultados se muestran en los **Cuadros 2.8 – 2.11**.

2.3.6. Determinación de la materia orgánica y cenizas²³

Aparato y equipos

- Horno de secado
- Balanza analítica
- Crisoles de porcelana
- Mufla con indicador de temperatura.

Procedimiento

Se coloca de 3 a 6 g de muestra seca y molida en un crisol, previamente tarado y calentado a 600 °C . Luego se reseca la muestra durante dos horas a 75 °C y se pesa, este valor se toma como el peso de la muestra inicial.

A continuación se elevan los crisoles a la mufla fría y gradualmente se eleva la temperatura a 600 °C manteniéndola durante dos horas (ver **Foto 2.8**). Finalmente se enfría y se calcula el porcentaje de cenizas.

²³ Norma Técnica NTRS-9 SEDUE: Determinación de cenizas.

Cálculo

El porcentaje de cenizas se obtiene usando la siguiente formula:

$$Cenizas (\%) = \frac{P_{Secada}}{P_{Inicial}} \times 100$$

Donde:

P_{Secada} = Peso de la muestra secada a 600 °C

$P_{Inicial}$ = Peso de la muestra inicial

Los resultados se muestran en los **Cuadros 2.8 – 2.11**.

Sólidos volátiles es lo mismo que materia orgánica, puesto que la calcinación de la muestra es realizada para eliminar la materia orgánica presente. La materia orgánica presente en los residuos sólidos se calcula así:

$$MO(\%) = 100 - Cenizas(\%)$$

donde:

MO = Porcentaje de materia orgánica en la muestra

Los resultados se muestran en los **Cuadros 2.8 – 2.11**.



Foto 2.8 Determinación de cenizas: Retiro de los crisoles de la mufla

2.3.7. Determinación del carbono

El carbono orgánico, multiplicado por 1,72 proporciona una estimación de la materia orgánica. Esta definición se basa en el procedimiento de Walkley–Black. En este caso se tiene el dato de la materia orgánica, por tanto el cálculo del carbono orgánico se determina de la siguiente manera:

$$C (\%) = \frac{MO(\%)}{1,72}$$

Donde:

C = Porcentaje de carbono orgánico

Los resultados se muestran en los **Cuadros 2.8 – 2.11**.

2.3.8. Determinación de fósforo²⁴

Reactivos

1. **Bicarbonato sódico 0,1N** (para 1000 ml de solución).- Pesar 42,5 g de bicarbonato sódico libre de fosfatos o con muy bajo contenido de ellos. Diluir a volumen en fiola volumétrica de 1000 cm³. Ajustar a pH = 8,5 con NaOH.
2. **Carbón decolorador**.- Deberá lavarse previamente con la solución de bicarbonato sódico y luego con agua destilada. Repetir esta operación varias veces hasta que el extracto sea menos de 2 ppm. de fósforo. Después deberá ser secado.
3. **Solución de molibdato de amonio–ácido sulfúrico** (para 1000 ml de solución).- En vaso de 250 cm³ se disuelve 1 g de heptamolibdato de amonio en agua destilada. A la solución se agregan 0,024 g de tartrato de antimonio y potasio, disolviéndolos. Posteriormente, se agregan 16 ml de ácido sulfúrico concentrado y se completa con agua destilada hasta 1 L en fiola de 1000 cm³.

Nota.- Inmediatamente antes de usarse este reactivo se agrega 1 g de ácido ascórbico.

4. **Solución estándar de fosfato** (para 500 ml de solución).- Se disuelven 0,1097 g de fosfato de potasio deshidrógeno recristalizado (KH₂PO₄) en 500 ml de bicarbonato sódico. Esta solución contiene 50 ppm. de fósforo.

²⁴ Método Modificado de Olsen. Determinación de fósforo. Norma Técnica estandarizada en el laboratorio de Valle Grande, Cañete – Lima, 1975. Referencia: Dr. Ing. Ignacio Benavet.

5. **Solución 5 ppm. de fósforo** (se prepara la solución necesaria para la curva).- Se diluye la solución estándar de fosfato de 50 ppm. con agua destilada en la proporción 1:10.

Procedimiento

- Colocar en un erlenmeyer (de 125 ml) 0,5 g de suelo tamizado en tamiz de 2 mm .
- Agregar aproximadamente 1 g de carbón decolorador.
- Agregar 25 ml de la solución de bicarbonato sódico.
- Agitar 15 minutos o dejarlo al menos 1 hora, mientras se hace otra cosa agitando de vez en cuando.
- Filtrar en frasco de erlenmeyer de 125 ml .
- Tomar 2 ml del extracto en tubo de ensayo.
- Añadir 8 ml de la solución de molibdato de amonio-ácido sulfúrico (no olvidar que para 8ml de solución se añaden 0.008 g de ácido ascórbico).
- Tomar lectura en 30 minutos. Para ello se usa un espectrofotómetro (Milton Ray – Spectronic Génesis 5), filtro 640.

Ver Fotos 2.9 – 2.11.



Foto 2.9 Determinación de fósforo: Filtrado en frasco de erlenmeyer de 125 ml



Foto 2.10 Determinación de fósforo: Toma de extracto en tubo de ensayo



Foto 2.11 Determinación de fósforo: Colocación de las muestras en el espectrofotómetro

Determinación de la curva

En tubo de ensayo se agregan las cantidades de solución 5 ppm. de fósforo, agua destilada y solución de molibdato de amonio-ácido sulfúrico tal como se muestran en el **Cuadro 2.7**, luego se lleva al espectrofotómetro para obtener la curva con la que se trabajará.

Cuadro 2.7
Cantidades utilizadas para la curva de fósforo

Punto	Solución 5 ppm. de fósforo	Equivalente a	Agua destilada	Sol. molibdato de amonio-ácido sulfúrico
0	0,0 ml	0,0 ppm.	2,0 ml	8,0 ml
1	0,4 ml	0,2 ppm.	0,0 ml	9,6 ml
2	0,8 ml	0,4 ppm.	0,0 ml	9,2 ml
3	1,2 ml	0,6 ppm.	0,0 ml	8,8 ml
4	1,6 ml	0,8 ppm.	0,0 ml	8,4 ml
5	2,0 ml	1,0 ppm.	0,0 ml	8,0 ml

Los resultados obtenidos se encuentran en los **Cuadros 2.8 – 2.11**.

2.3.9. Resultados y evaluación de resultados

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados a los residuos de comida, jardín, estiércol y puño generados en la UDEP. Ver **Cuadros 2.8 – 2.11**.

Cuadro 2.8

RESIDUOS DE COMIDA GENERADOS POR LA UNIVERSIDAD DE PIURA							
MUESTRA	PARÁMETROS						
	Humedad (%)	pH	Cenizas (%)	Sólidos Volátiles (%)	Carbono Orgánico Total (%)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (%)
Jueves 3 de Mayo	76,5	4,25	22,8	77,2	44,9	1,55	0,09
Sábado 5 de Mayo	77,2	5,59	20,8	79,2	46,0	1,71	0,06
Martes 8 de Mayo	76,3	5,48	25,8	74,2	43,2	1,81	0,06
Jueves 10 de Mayo	76,8	5,81	28,1	71,9	41,8	1,66	0,07
Martes 12 de Junio	76,5	5,48	26,7	73,3	42,6	2,30	0,06
Jueves 14 de Junio	75,5	5,40	29,6	70,4	40,9	1,73	0,08
Martes 19 de Junio	73,7	5,66	29,1	75,2	41,2	2,50	0,07
Jueves 21 de Junio	70,2	5,67	24,8	75,2	43,7	1,61	0,06
Martes 10 de Julio	71,0	5,72	25,4	74,6	43,4	1,50	0,05
Jueves 12 de Julio	80,7	5,53	26,9	73,1	42,5	2,61	0,08
Martes 17 de Julio	72,9	5,89	25,6	74,4	43,2	2,29	0,07
Jueves 19 de Julio	81,2	5,68	24,0	76,0	44,2	1,19	0,09
Martes 24 de Julio	71,0	5,91	30,5	69,5	40,4	2,57	0,08
Jueves 26 de Julio	73,0	5,69	32,3	67,7	39,4	1,66	0,09
PROMEDIO	75,2	5,55	26,6	73,7	42,7	1,91	0,07

Cuadro 2.9

RESIDUOS DE JARDÍN GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA							
MUESTRA	PARÁMETROS						
	Humedad (%)	pH	Cenizas (%)	Sólidos Volátiles (%)	Carbono Orgánico Total (%)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (%)
20 de Enero de 2000	42,6	5,90	38,3	61,9	36,0	1,17	0,09
25 de Enero de 2000	46,1	5,60	28,2	71,7	41,7	1,33	0,08
PROMEDIO	44,4	5,75	33,3	66,8	38,9	1,25	0,09

Cuadro 2.10

ESTIÉRCOL GENERADO EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA							
MUESTRA	PARÁMETROS						
	Humedad (%)	pH	Cenizas (%)	Sólidos Volátiles (%)	Carbono Orgánico Total (%)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (%)
14 de Julio	10,9	9,04	31,4	68,6	39,9	1,93	0,06
10 de Julio	11,9	8,60	31,5	68,5	39,8	2,59	0,06
PROMEDIO	11,4	8,82	31,5	68,6	39,9	2,26	0,06

Cuadro 2.11

PUÑO GENERADO EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA							
MUESTRA	PARÁMETROS						
	Humedad (%)	pH	Cenizas (%)	Sólidos Volátiles (%)	Carbono Orgánico Total (%)	Nitrógeno Total (%)	Fósforo Total (%)
14 de Julio	7,2	7,90	46,6	53,4	31,0	2,15	0,04
10 de Julio	6,8	8,42	53,9	46,1	26,8	1,73	0,06
PROMEDIO	7,0	8,16	50,3	49,8	28,9	1,94	0,05

De los datos obtenidos en los **Cuadros 2.8 – 2.11** se han elaborado los **Cuadros 2.12 – 2.13** con la finalidad de realizar un análisis comparativo entre el rango de valores de los parámetros que fueron objeto de estudio en este capítulo y los de referencia del Capítulo 1.

Cuadro 2.12
Rango de valores de los parámetros analizados a los residuos de comida

Parámetros	Rango de valores
Humedad (%)	70,2 – 81,2
pH	4,25 – 5,91
Cenizas (%)	20,8 – 32,3
Sólidos Volátiles (%)	67,7 – 79,2
Carbono Orgánico Total (%)	39,4 – 46,0
Nitrógeno Total (%)	1,19 – 2,61
Fósforo Total (%)	0,05 – 0,09

Cuadro 2.13
Relación promedio carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos generados

Residuos	Relación carbono/nitrógeno
Comida	22,2
Jardín	31,1
Estiércol	17,7
Puño	14,9

- **Para los residuos de comida.-** Los rangos de valores de los parámetros analizados para este tipo de residuos que han sido sintetizados en el **Cuadro 2.12** coinciden con los rangos de valores referenciales de los parámetros de calidad de compost del **Cuadro 1.3**. Además, la relación promedio carbono/nitrógeno para este tipo de residuos que se muestra en el **Cuadro 2.13** concuerda también con los valores referenciales del **Cuadro 1.1**, lo que indica que la naturaleza y características de estos residuos son apropiados para emplearlos en un proceso de compostación.
- **Para los otros tipos de residuos.-** Los valores promedio de los parámetros analizados para estos tipos de residuos presentados en los **Cuadros 2.9 – 2.11** también se encuentran dentro de los rangos de valores referenciales del **Cuadro 1.3** y además, la relación promedio carbono/nitrógeno para estos tipos de residuos que se muestran en el **Cuadro 2.13** concuerdan con los valores referenciales del **Cuadro 1.1**, por lo tanto, estos residuos también pueden ser compostados.

2.3.10. Conclusiones y recomendaciones preliminares

- Los residuos de comida generados por las cafeterías de la Universidad de Piura son adecuados para ser utilizados en un proceso de compostación y no deben ser desechados sin darles alguna utilización.
- Los demás residuos orgánicos generados en la UDEP no sólo son apropiados sino, necesarios en un proceso de compostación debido a que su variado rango de valores de contenido de carbono y nitrógeno permite obtener una equilibrada relación carbono/nitrógeno durante el proceso.

CAPÍTULO 3

ELABORACIÓN DE COMPOST CON RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA UNIVERSIDAD DE PIURA

3.1. Metodología utilizada para la construcción de las pilas

A partir del año 2000 se inició en la Universidad de Piura la elaboración de compost para ser utilizado en el abono de sus áreas verdes. El proyecto está a cargo del Ingeniero. Mario Matorel, quien tuvo la idea de aprovechar los residuos de jardín, puño de algarrobo y estiércol de oveja, basándose en las experiencias del Dr. Ricardo Pineda del CIPCA.

Lo que se propone en el presente trabajo de tesis es la elaboración de compost a partir de la mezcla no sólo de residuos de jardín, puño de algarrobo y estiércol de oveja sino también, de residuos de comida los cuales son generados por las cafeterías de la universidad. Actualmente estos residuos son desechados sin darles utilidad alguna.

Se construyeron 2 pilas. Una de ellas, denominada “Pila 1”, fue construida utilizando residuos de jardín, puño de algarrobo y estiércol de oveja. La otra, denominada “Pila 2”, fue una pila experimental formada con una mezcla de los residuos anteriormente mencionados más residuos de comida. Con la construcción de ambas pilas se buscó evaluar las ventajas del uso de residuos de comida en el proceso de compostación.

Para este trabajo se empleó una metodología basada en la expuesta en el Apartado **1.5.1** (compostación en montón o pilas) que es la misma que se utiliza actualmente para la elaboración de compost en la Universidad de Piura y es realizada de manera manual o artesanal.

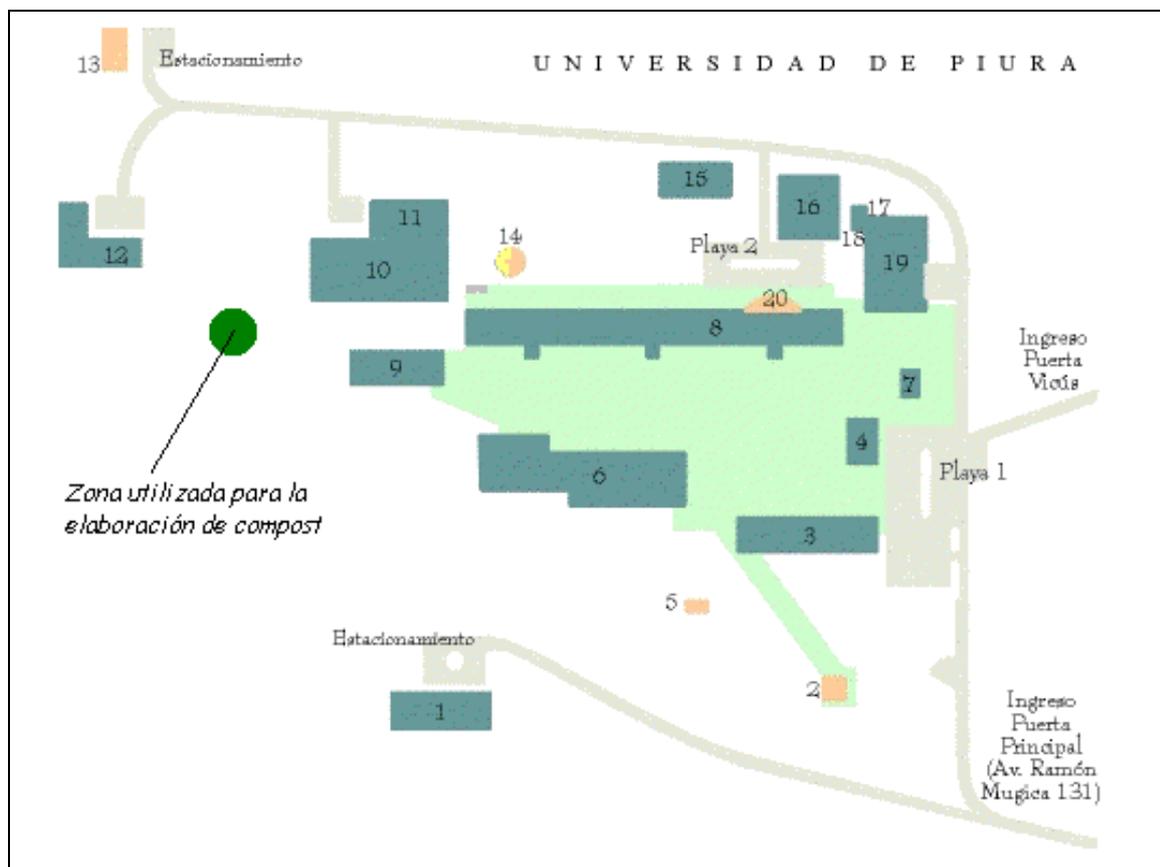
A continuación se presenta detalladamente los pasos que se siguieron para la construcción de dichas pilas.

Pasos para la construcción de las pilas:

1. **Acumulación de los residuos a compostar.-** Los residuos de jardín, estiércol de oveja y puño de algarrobo son ya recolectados y acumulados por los jardineros de la universidad para la elaboración de su propio compost en la zona que tienen destinada para esta labor (zona de trabajo). El estiércol es transportado desde el criadero de ovejas a la zona de trabajo en sacos de polietileno al igual que los residuos de jardín y puño de algarrobo desde los lugares donde son obtenidos. Ver **Figura 3.1** y **Foto 3.1 – 3.2**.

Los residuos de comida, que diariamente fueron recogidos, se almacenaron por un periodo de dos semanas en un cilindro ubicado en la zona de trabajo (ver **Foto 3.3**). Este tiempo estuvo en función de la cantidad necesaria de residuos de comida para la construcción de la “Pila 2” y del grado de descomposición que sufre este tipo de residuo al ser almacenado.

Figura 3.1
Ubicación de la zona de trabajo²⁵



1.Post Grado; 2.Ermita; 3.Biblioteca y Librería; 4.Centro Médico; 5.Centro Copiado; 6.Edificio 80; 7.Cafetería Principal; 8.Edificio Principal; 9.Facultad Educación; 10.Instituto Hidráulica; 11.Imprenta y Almacén; 12.Laboratorio Química; 13.Plataforma Deportiva; 14.Tanque Elevado; 15.Escuela Tecnológica Superior; 16.Centro Proyección Audiovisual; 17.Servicios Técnicos; 18.Centro Idiomas; 19.IME; 20.Proscenio de Actos Académicos

²⁵ Mapa UDEP obtenido de la página WEB de la Universidad de Piura.



Foto 3.1 Acumulación de los residuos de jardín



Foto 3.2 Acumulación de estiércol de oveja



Foto 3.3 Cilindro usado para la acumulación de los residuos de comida

- 2. Limpieza del lugar para la colocación de la ruma.-** Fue necesario limpiar el lugar de piedras u otros materiales que pudieran interferir negativamente en el proceso. La limpieza se realizó sobre un área de 2,5 m x 1,5 m que representó la base de la pila cuya altura fue de 0,6 m y sección trapezoidal. Estas dimensiones estuvieron en función de la cantidad de material a compostar necesario para obtener un volumen que permitiese conseguir un adecuado equilibrio entre humedad y aireación en la pila. Al centro de esta base rectangular se colocó un tubo de concreto con la finalidad de facilitar la aireación de la pila. Ver **Foto 3.4 – 3.5**.



Foto 3.4 Limpieza de la zona de trabajo donde se construyeron las pilas



Foto 3.5 Preparación de pila: Se observa el tubo de concreto instalado para facilitar la aireación de la pila

3. Trituración de las partes grandes.- Para que se realice un buen proceso de descomposición, todo el material orgánico debió estar bien desmenuzado. Los residuos fueron reducidos a un tamaño máximo de 5 cm en especial los frutos con cáscara dura, pues éstos impiden la descomposición interna.

4. Formación de la pila o montón

A. Fecha de construcción

Pila 1 → 17 de Mayo de 2001

Pila 2 → 9 de Julio de 2001

Nota: Para la fecha en que fue construida la “Pila 2”, ya habían transcurrido las dos semanas de recojo y almacenamiento de los residuos de comida. Para esta pila sólo se utilizaron los residuos de comida generados por la “Cafetería Principal”.

B. Cantidad de residuos utilizados

Pila 1:

- **Residuos de jardín** → 190 kg
- **Puño de algarrobo** → 260 kg
- **Estiércol de oveja** → 980 kg

TOTAL 1430 kg

Pila 2:

- **Residuos de jardín** → 180 kg
- **Puño de algarrobo** → 240 kg
- **Estiércol de oveja** → 850 kg
- **Residuos de comida** → 115 kg

TOTAL 1385 kg

En los **Gráficos 3.1 y 3.2** se puede apreciar en porcentajes, las cantidades de materiales utilizadas para la construcción de cada pila. Se trató de mantener la relación de peso en 2,4 entre los residuos ricos en nitrógeno (estiércol de oveja y residuos de comida) y los residuos ricos en carbono que representan la “Fibra Vegetal Verde” que son los residuos de jardín y puño de algarrobo.²⁶

C. Procedimiento

Se colocó en la base de la pila una primera capa formada con residuos de jardín. Seguidamente se puso una capa de estiércol de oveja formada con la mitad de la cantidad de estiércol con la que se contó para construir cada pila. A continuación se formó otra capa con puño de algarrobo para luego terminar con una última capa formada con el resto de estiércol de oveja. En el caso de la “Pila 2”, se colocó después de la primera capa formada con el estiércol de oveja, la capa con los residuos de comida.

Para ambas pilas, cada capa formada era humedecida tratando de no dejar zonas secas o demasiado húmedas (no debía escapar agua de la base). En un estado avanzado de descomposición, cuando el material ya estaba más desmenuzado y homogéneo, se pudo hacer la prueba del puño: se llenó una mano con el material y se le apretó, no debía chorrear agua, sino caer algunas gotas. Ver **Fotos 3.6 – 3.7**.

²⁶ CAVERO, C.E., GARCÍA, C.A., PINEDA, M.R.: “Fosfocompost: Un Abono Órgano – Mineral”, CIPCA (Centro de Investigación y Promoción del Campesinado), Piura, 1988.

Gráfico 3.1

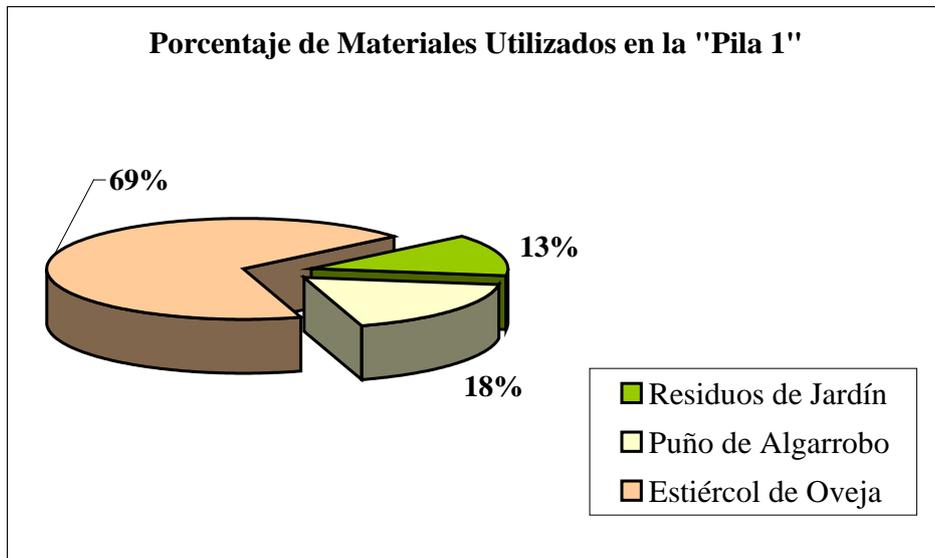


Gráfico 3.2

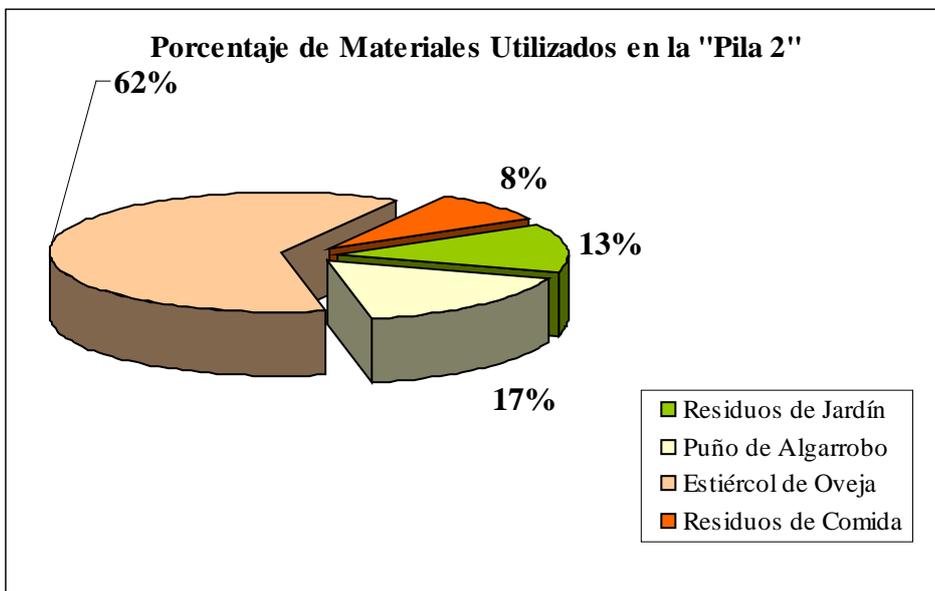




Foto 3.6 Humedecimiento de cada una de las capas que forman la pila



Foto 3.7 Formación de la capa con residuos de comida

3.2. Monitoreo y control del proceso

3.2.1. Aspectos previos

Una vez formadas las pilas, fue necesario establecer la frecuencia de volteo de las pilas, la regulación de la humedad y la obtención de las muestras para el análisis físico-químico en el laboratorio.

A continuación se detalla cada uno de estos puntos:

1. **Frecuencia de volteo.**- El primer volteo se realizó después de cuatro semanas de haberse formado cada una de las pilas. Estos volteos fueron realizados en forma manual con la ayuda de una pala y un trinche. Los volteos fueron realizados para cada pila en fechas distintas, debido a que primero se construyó la “Pila 1” y luego la “Pila 2”.

A continuación se detallan las fechas en las cuales se realizaron los volteos:

Pila 1:

- **Primer volteo:** 18 de Junio de 2001
- **Segundo volteo:** 25 de Junio de 2001
- **Tercer volteo:** 02 de Julio de 2001
- **Cuarto volteo:** 16 de Julio de 2001
- **Quinto volteo:** 23 de Julio de 2001
- **Sexto volteo:** 13 de Agosto de 2001

Pila 2:

- **Primer volteo:** 13 de Agosto 2001
- **Segundo volteo:** 27 de Agosto 2001
- **Tercer volteo:** 10 de Septiembre de 2001
- **Cuarto volteo:** 24 de Septiembre 2001
- **Quinto volteo:** 1 de Octubre de 2001

De la experiencia obtenida durante el manejo de la “Pila 1”, se consideró realizar los volteos de la “Pila 2” cada 15 días, debido a que el tamaño de la pila no permitía variaciones significativas de los parámetros evaluados. Al finalizar el periodo de compostación, se tamiza el compost maduro utilizando una malla con ranuras de 5 – 20 mm .

2. **Regulación de la humedad.-** En muchos casos, la mayor dificultad fue mantener la humedad de las pilas en un nivel óptimo durante el proceso. Aunque durante la formación y los volteos se acondicionaron las pilas con agua, ésta se evaporaba con el tiempo, y las pilas podían llegar a secarse. Por el peligro de putrefacción, no se podía simplemente añadir más agua durante los volteos sino debía aumentarse la frecuencia de riego. El riego se realizó diariamente hasta el primer volteo, luego cada dos días hasta el cuarto volteo y de allí en adelante cada 3 días. La cantidad de agua estaba determinada por la prueba del puño anteriormente mencionada. Ver **Foto 3.8**.
3. **Obtención de muestra para laboratorio.-** Las muestras para el análisis físico-químico del proceso de compostación fueron tomadas durante el volteo de las pilas. Para la “Pila 1” se extrajeron 6 muestras mientras que para la “Pila 2” fueron 5 muestras durante el tiempo que duró el proceso de compostación.

3.2.2. Parámetros evaluados en el proceso de compostación

Se llevó un control periódico de la temperatura y de los parámetros que indican el grado de avance del proceso de compostación (pH, carbono, nitrógeno, cenizas, sólidos volátiles, fósforo). Al igual que para la caracterización físico-química de los residuos sólidos orgánicos que genera la Universidad de Piura, las muestras de compost de las pilas construidas fueron llevadas al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la UDEP, en donde se analizaron utilizando la misma metodología explicada en el Capítulo 3. La toma de la muestra se realizó al momento de los volteos de las pilas.

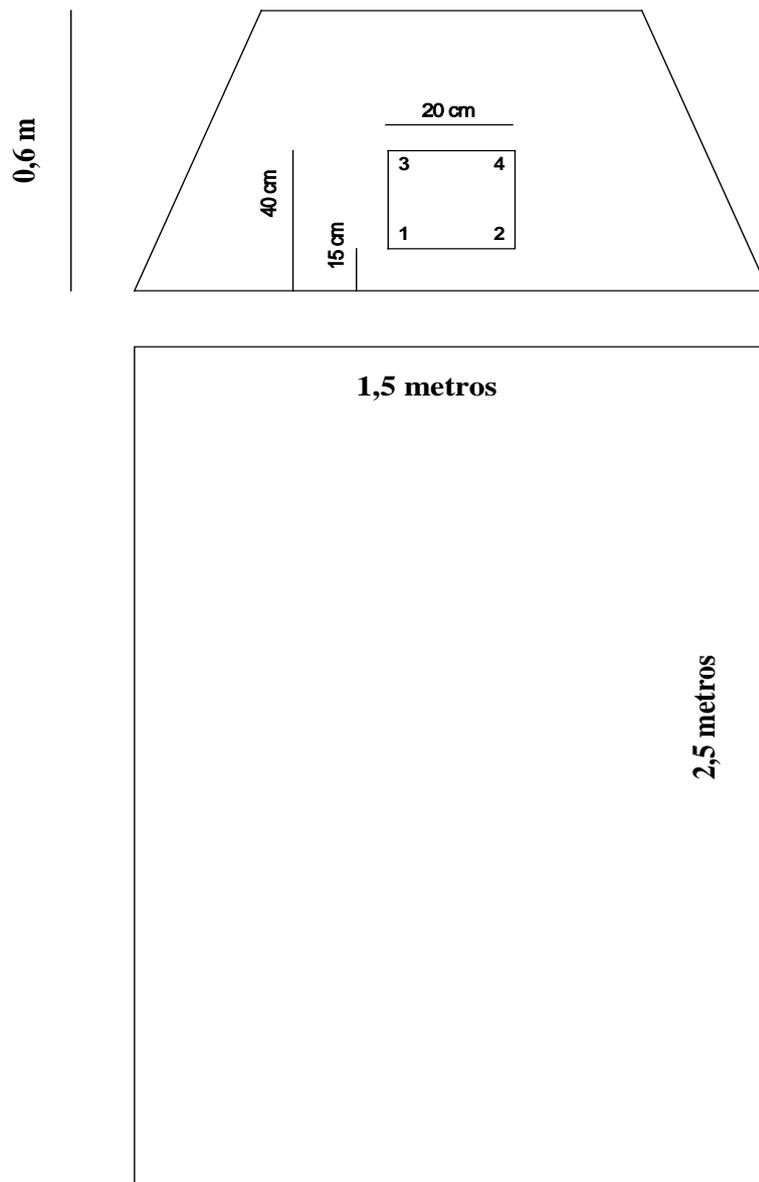
El control de la temperatura de las pilas se realizó también al momento de los volteos de las mismas en 4 puntos de una sección transversal de éstas. Dos de ellos (punto1 y punto 2) a 15 cm y los otros dos (punto3 y punto4) a 40 cm de la superficie de la pilas. Ver **Figura 3.2**.

En los **Cuadros 3.1 – 3.4** se muestran los resultados de los análisis realizados a las muestras de compost durante el proceso incluyendo la temperatura.



Foto 3.8 Volteo de la pila de compost

Figura 3.2
Puntos de medición de temperatura en las pilas de compost



Cuadro 3.1
Temperatura de la “Pila 1” medida durante los volteos

	Punto 1 (°C)	Punto 2 (°C)	Punto 3 (°C)	Punto 4 (°C)	Promedio (°C)
Primer Volteo	50,0	49,0	49,0	51,0	49,8
Segundo Volteo	52,0	55,0	50,0	48,0	51,3
Tercer Volteo	49,0	48,0	52,0	55,0	51,0
Cuarto Volteo	54,0	53,0	51,0	50,0	52,0
Quinto Volteo	51,0	52,0	49,0	48,0	50,0
Sexto Volteo	32,0	32,0	31,0	32,0	31,8

Cuadro 3.2
Temperatura de la “Pila 2” medida durante los volteos

	Punto 1 (°C)	Punto 2 (°C)	Punto 3 (°C)	Punto 4 (°C)	Promedio (°C)
Primer Volteo	59,0	58,5	58,0	57,0	58,1
Segundo Volteo	59,0	58,0	56,5	55,0	57,1
Tercer Volteo	56,0	57,0	54,0	55,5	55,6
Cuarto Volteo	52,5	51,0	48,0	48,5	50,0
Quinto Volteo	34,0	35,0	34,0	33,0	34,0

Cuadro 3.3
Resultados del análisis físico-químico de la “Pila 1”

Parámetros	Primer Volteo	Segundo Volteo	Tercer Volteo	Cuarto Volteo	Quinto Volteo	Sexto Volteo
Humedad (%)	59,37	59,64	55,18	59,81	54,78	45,09
pH	8,03	8,42	8,40	8,54	8,68	8,75
Cenizas (%)	40,4	48,5	51,7	52,7	55,9	60,1
Sólidos Volátiles (%)	59,6	51,5	48,3	47,3	44,1	39,9
Carbono Orgánico Total (%)	34,7	29,9	28,1	27,5	25,7	23,2
Nitrógeno Total (%)	1,60	1,53	1,74	1,86	1,80	1,66
Fósforo Total (%)	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05

Cuadro 3.4
Resultados del análisis físico-químico de la “Pila 2”

Parámetros	Primer Volteo	Segundo Volteo	Tercer Volteo	Cuarto Volteo	Quinto Volteo
Humedad (%)	63,25	51,45	45,16	44,28	39,97
PH	6,80	7,87	8,33	8,60	8,94
Cenizas (%)	36,0	46,01	52,27	56,03	63,61
Sólidos Volátiles (%)	64,0	53,99	47,73	43,97	36,39
Carbono Orgánico Total (%)	37,2	31,39	27,75	25,57	21,16
Nitrógeno Total (%)	1,60	1,50	1,34	1,42	1,34
Fósforo Total (%)	0,07	0,05	0,05	0,07	0,08

3.2.3. Evaluación de resultados

A continuación, en los Cuadros 3.5 – 3.6, se muestran las relaciones carbono/nitrógeno de cada una de las pilas durante el proceso de compostación, a partir de los porcentajes de carbono y nitrógeno obtenidos en los Cuadros 3.3 – 3.4 del análisis físico-químico realizado:

Cuadro 3.5
Relación carbono/nitrógeno de la “Pila 1”

	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
Primer Volteo	34,68	1,60	21,7
Segundo Volteo	29,94	1,53	19,6
Tercer Volteo	28,11	1,74	16,2
Cuarto Volteo	27,52	1,86	14,8
Quinto Volteo	25,66	1,80	14,3
Sexto Volteo	23,19	1,66	13,9

Cuadro 3.6
Relación carbono/nitrógeno de la “Pila 2”

	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
Primer Volteo	37,22	1,60	23,3
Segundo Volteo	31,39	1,50	20,9
Tercer Volteo	27,75	1,33	20,9
Cuarto Volteo	25,57	1,42	18,0
Quinto Volteo	21,16	1,34	15,8

Los **Gráficos 3.3 – 3.11** muestran el comportamiento de cada uno de los parámetros analizados durante el proceso de compostación para cada una de las pilas construidas.

Gráfico 3.3

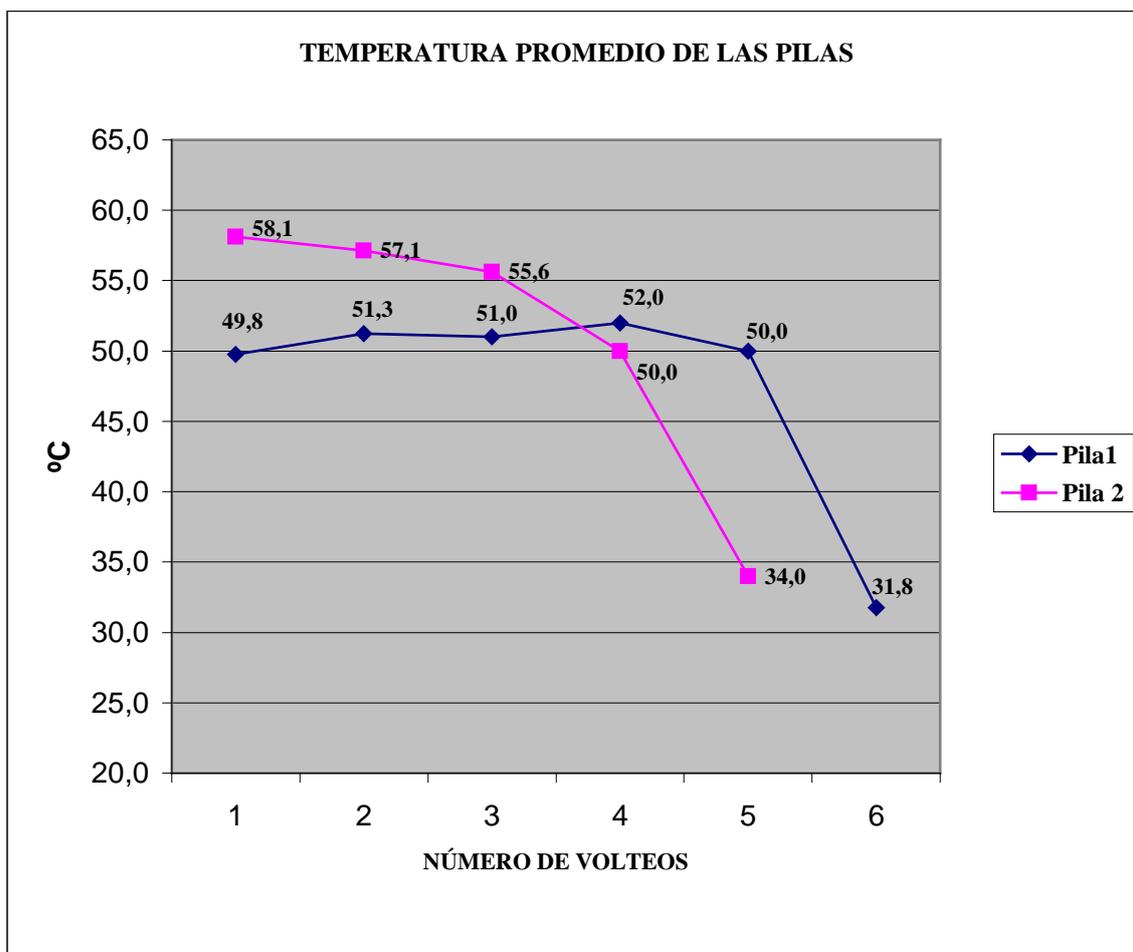


Gráfico 3.4

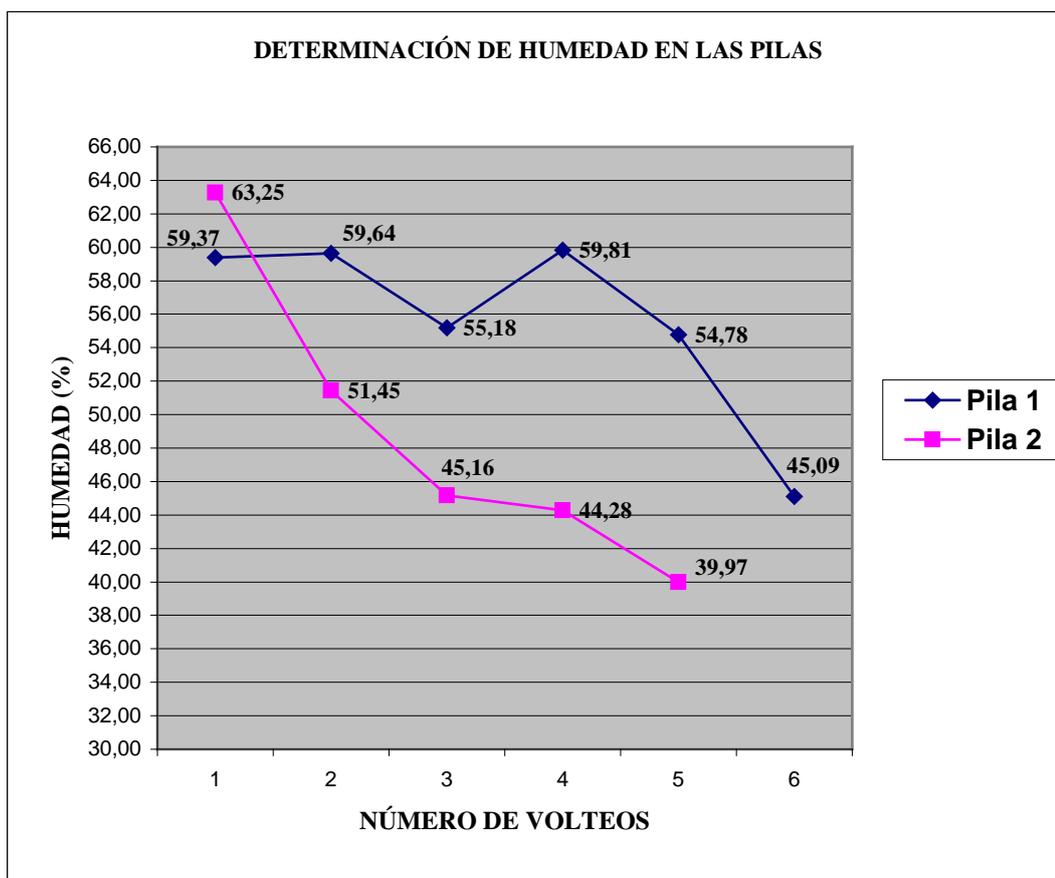


Gráfico 3.5

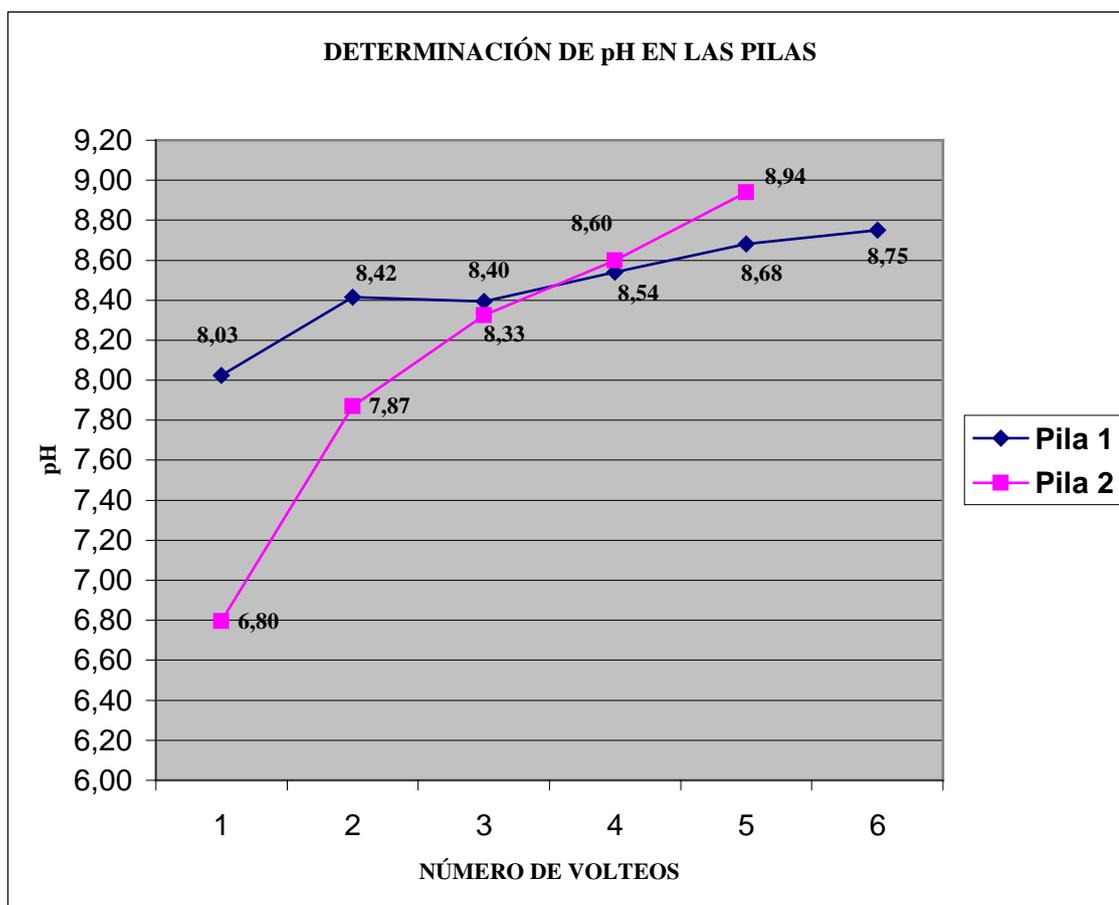


Gráfico 3.6

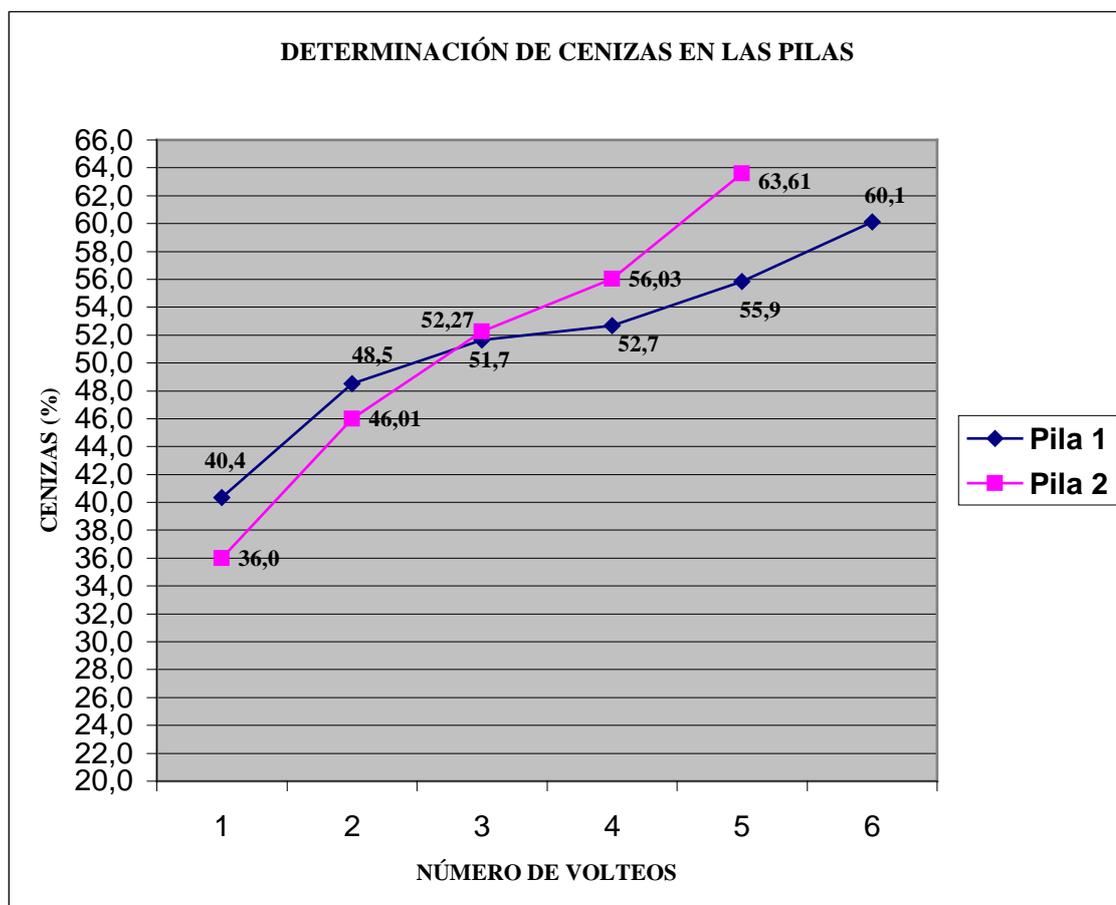


Gráfico 3.7

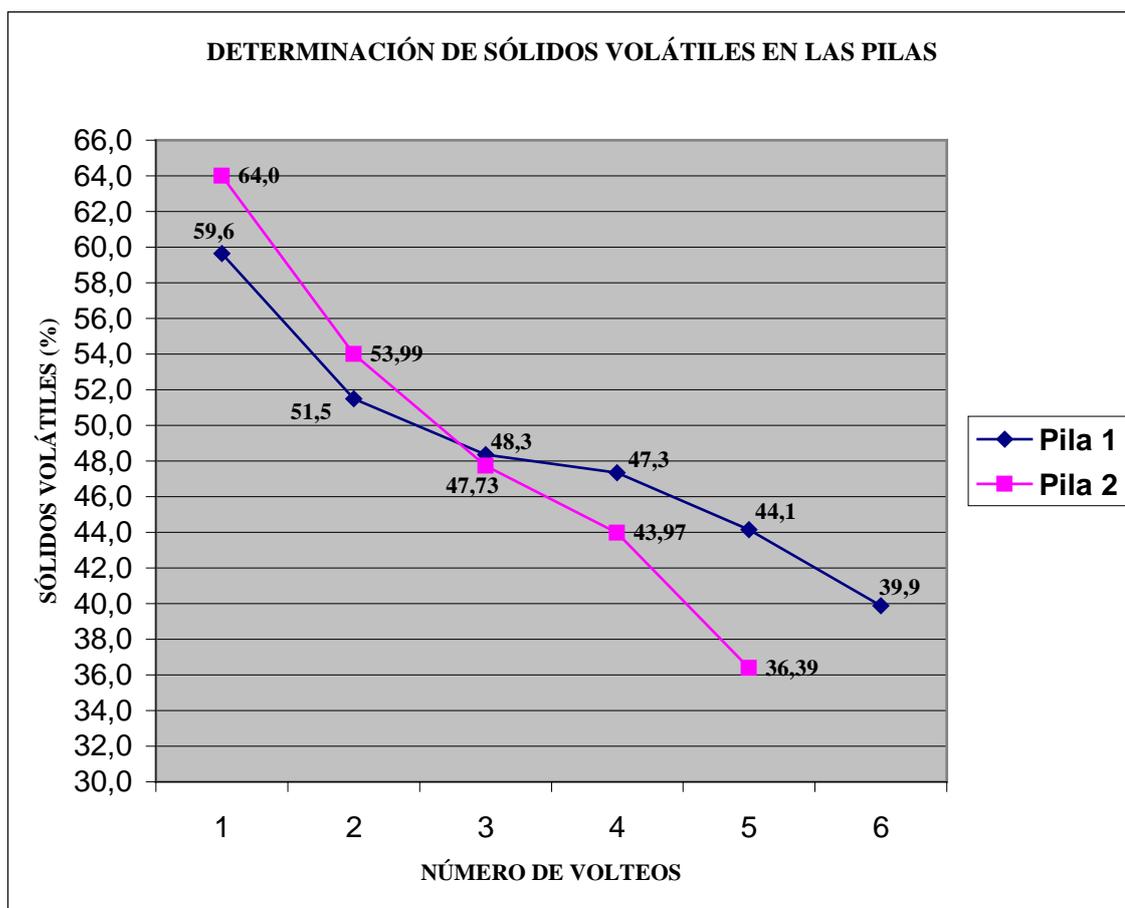


Gráfico 3.8

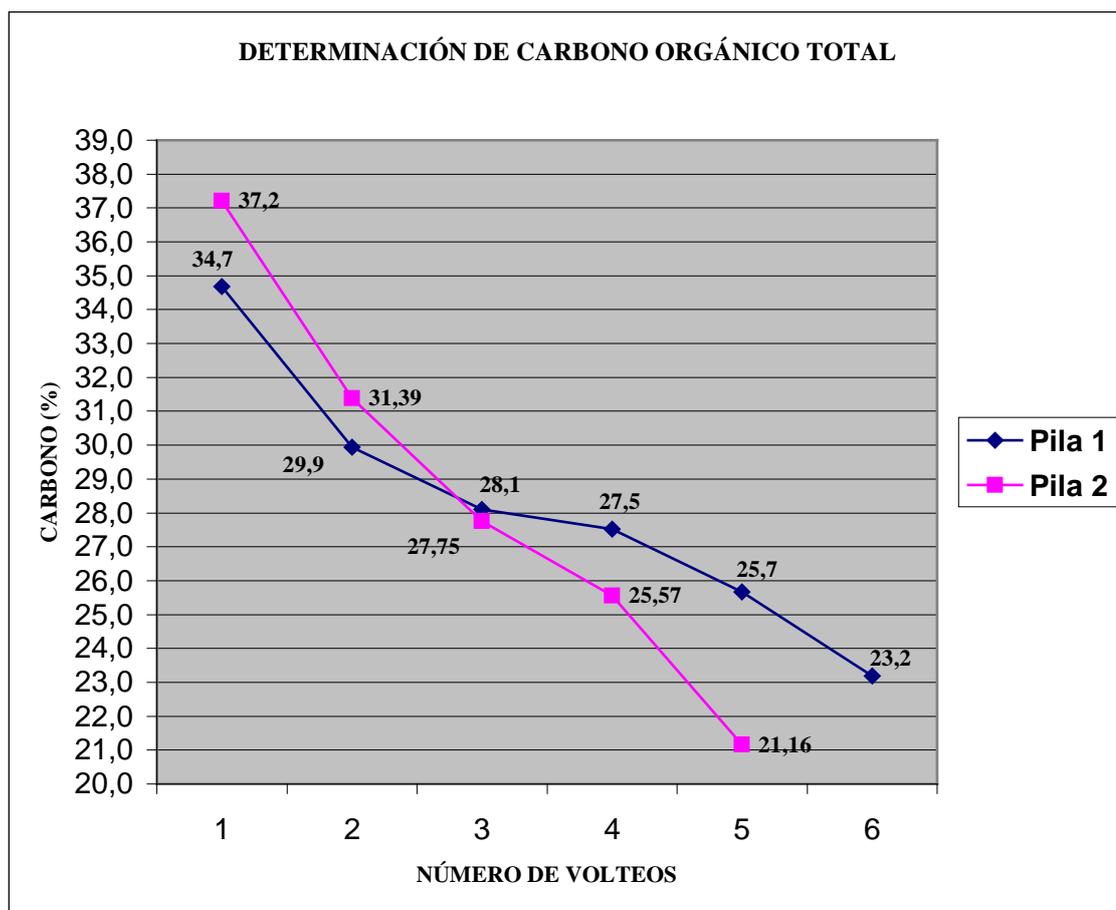


Gráfico 3.9

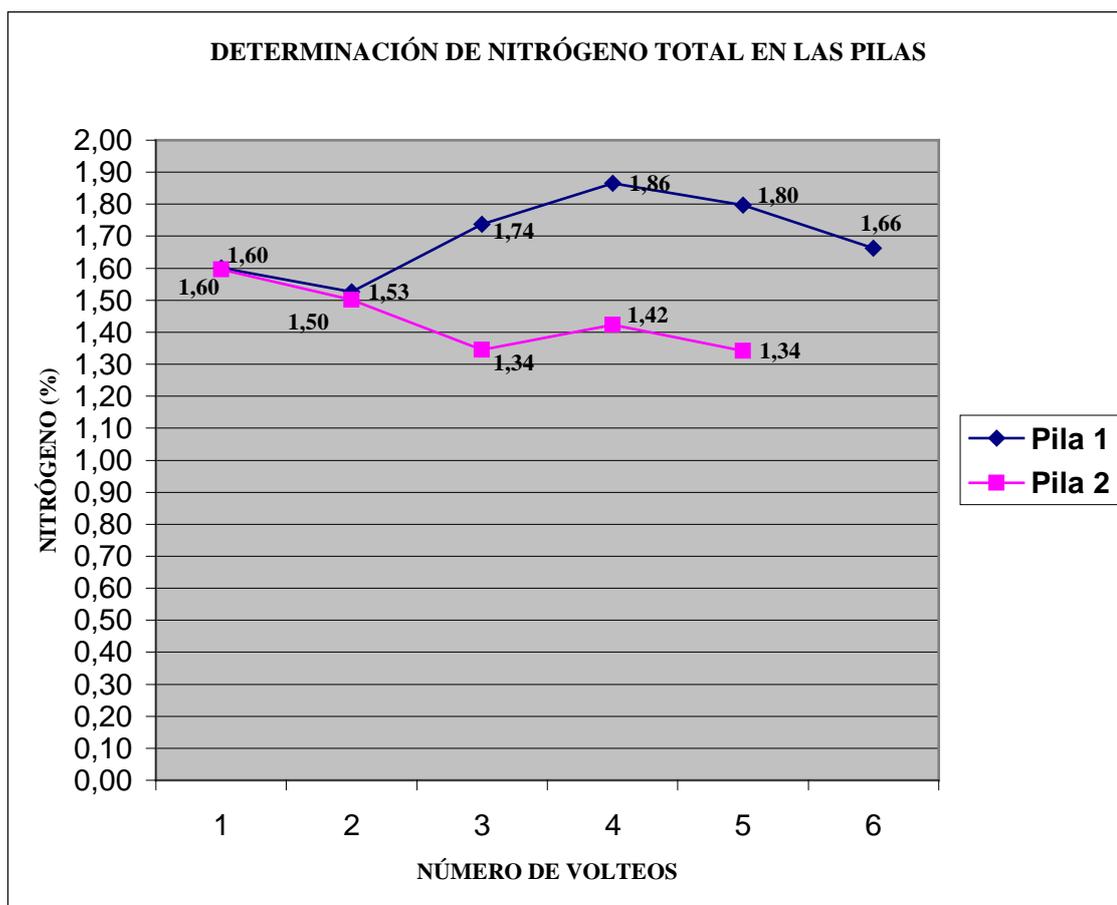


Gráfico 3.10

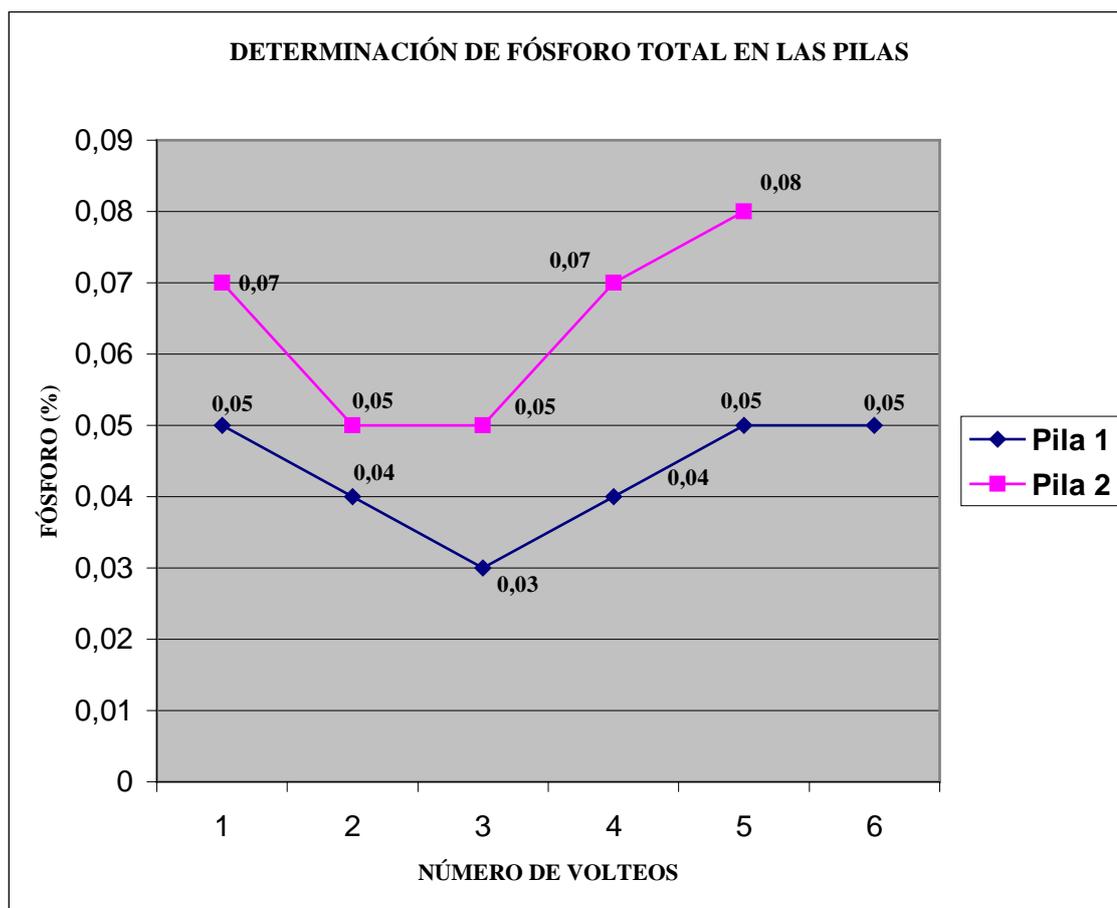
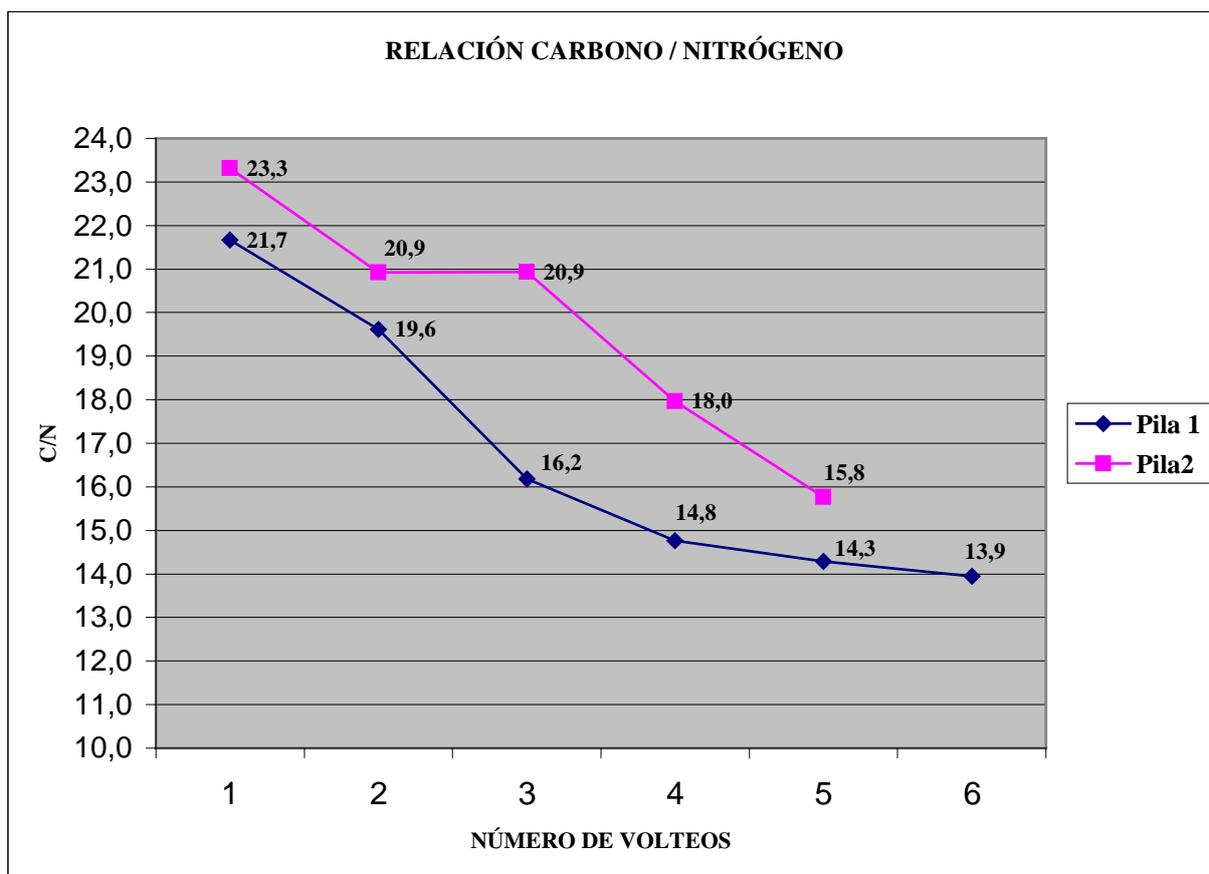


Gráfico 3.11



- La temperatura de las pilas se mantuvo dentro del rango óptimo (40 – 70 °C) durante el proceso de compostación para las fases de calentamiento y temperatura máxima. En el **Gráfico 3.3** se puede apreciar que para la “Pila 2” se alcanzó la temperatura promedio máxima de 58,1 °C mientras que para la “Pila 1” ésta fue de 49,8 °C . En ambos casos, para la semana del último volteo, la temperatura disminuyó considerablemente siendo éste, un indicador que el proceso ya se encontraba en una de sus últimas fases (fase de maduración y estabilización). Estos valores fueron de 31,8 °C para la “Pila 1” y 34 °C para la “Pila 2”, tendiendo a alcanzar valores de temperatura ambiente.
- El porcentaje de humedad para ambas pilas osciló entre 40 – 65 %, que son niveles óptimos para un proceso de compostación. Se puede notar un decremento paulatino en el contenido de humedad debido a que la frecuencia de riego de las pilas disminuyó con el transcurso de las semanas. Al igual que la temperatura, se puede observar que el valor máximo de humedad se alcanzó para la “Pila 2” que fue de 63,25 %, mientras que para la “Pila 1” éste fue de 59,17 %. Ambos valores pertenecientes a la semana en que se realizó el primer volteo. Ver **Gráfico 3.4**.
- El monitoreo de las pilas mostró un incremento del pH durante el proceso de compostación. Para la “Pila 1” el pH inicial fue de 8,03, cuyo valor se fue incrementando hasta alcanzar un valor máximo de 8,75 en la semana en que se realizó el último volteo de la pila. Para la “Pila 2”, el pH inicial fue menor que el de la “Pila 1” debido a que se utilizó para su construcción residuos de comida, los cuales tienen un rango de pH ácido. Este valor fue de 6,8, el cual se incrementó hasta alcanzar un valor final de 8,94. En ambas pilas el pH se mantuvo en un rango básico para la etapa del compost maduro (fase de maduración y estabilización). Ver **Gráfico 3.5**.
- El porcentaje de cenizas representa la cantidad de materia inerte en la muestra de compost. Los análisis mostraron un incremento en el valor de este parámetro para ambas pilas. Para la “Pila 1”, el valor inicial fue de 40,4 % mientras que para la “Pila 2” éste fue de 36 %. Estos valores se fueron incrementando hasta alcanzar un valor máximo de 60,1 % y 63,61 % respectivamente. Esto sucedió, principalmente, porque el contenido de materia orgánica disminuyó con el tiempo debido a las reacciones de fermentación aeróbicas de compuestos orgánicos y desprendimiento de dióxido de carbono y agua. Ver **Gráfico 3.6**.
- Sólidos volátiles pueden ser considerados como el porcentaje de materia orgánica presente en la muestra de compost. Se observó, para cada una de las pilas, una disminución en el valor de este parámetro y esto se debió básicamente a la razón señalada en el apartado anterior. El contenido de sólidos volátiles para la “Pila 1” disminuyó de 59,6 % a 39,9 % y para la “Pila 2” de 64 % a 36,39 %. Ver **Gráfica 3.7**.

- El carbono es usado como fuente de energía por los organismos responsables y se libera en forma de dióxido de carbono, por lo que su valor disminuye con el tiempo. Los análisis reportaron una disminución en el contenido de carbono para la “Pila 1” de 34,7 % a 23,2 % y para la “Pila 2” de 37,2 % a 21,16 %. Ver **Gráfico 3.8**.
- El monitoreo de las pilas también mostró que durante el proceso de compostación, el contenido de nitrógeno inicial y final para la “Pila 1” fue de 1,6 %, llegando a tener un valor mínimo de 1,53 % y un máximo de 1,86 %. Para la “Pila 2”, el contenido de nitrógeno inicial fue el mismo que el de la “Pila 1”, alcanzando un valor mínimo de 1,34 % en el transcurso del proceso y al final de éste. Ver **Gráfico 3.9**.
- En el caso de la “Pila 1”, el contenido de fósforo total inicial y final fue de 0,05 % alcanzando en el transcurso del proceso un valor mínimo de 0,03 %, mientras que para la “Pila 2” el valor inicial fue de 0,07 % y el final de 0,08 %, alcanzando en el transcurso del proceso un valor mínimo de 0,05 %. El pequeño incremento en la cantidad de fósforo se debe a la reducción de la materia orgánica por el proceso de fermentación aeróbica. La cantidad de fósforo podría disminuir en caso de existir lixiviación en las pilas, situación que prácticamente no se dio en ningún caso. Ver **Gráfico 3.10**.
- La relación carbono/nitrógeno al finalizar el proceso de compostación había variado para la “Pila 1” de 21,7 a 13,9. Para la “Pila 2”, esta relación había variado de 23,3 a 15,8, pero se mantuvo por encima del rango de valores de la “Pila 1”. A pesar de esta diferencia, se puede decir que estos valores corresponden a un compost bastante estable (maduro) y de calidad aceptable. Se puede observar que conforme pasa el tiempo, la relación carbono/nitrógeno llega a ser más pequeña debido a que los organismos responsables usan el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para la formación de células. El nitrógeno permanece en el sistema mientras que el carbono es liberado como dióxido de carbono. Ver **Gráfico 3.11**.

3.2.4. Conclusiones y recomendaciones preliminares

- La metodología utilizada en la construcción de las pilas y mantenimiento de éstas, durante el tiempo que duró el proceso de compostación, dio buenos resultados, obteniéndose un compost de calidad aceptable para ser utilizado en las áreas verdes de la UDEP.
- La calidad del compost obtenido en la pila experimental (“Pila 2”) es de mejor calidad que el compost obtenido en la “Pila 1”. Esto se refleja en los mayores valores en la relación C/N de la “Pila 2”.
- Los residuos de comida generados en las cafeterías de la UDEP contribuyeron a mejorar la calidad del compost el cual se obtuvo utilizando la misma metodología que se emplea actualmente en la Universidad de Piura para producir compost.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE COMPOSTACIÓN PROPUESTA

Uno de los problemas que se presentó para la construcción de la “Pila 2”, fue el almacenamiento de los residuos de comida. Estos residuos debieron ser almacenados en un cilindro durante el tiempo que fue necesario hasta acumular la cantidad suficiente que permitiese armar la pila con las dimensiones anteriormente definidas (según la metodología empleada). El tiempo que se necesitó para acopiar esta cantidad de residuos de comida fue de 2 semanas lo que originó que estos residuos entraran en un estado de descomposición y esto a su vez originó malos olores en la zona de trabajo.

Por otro lado, la demanda de abono (compost) en la Universidad de Piura es continua y el trabajo para su elaboración es realizado por cada uno de los jardineros responsables de esta tarea de manera independiente, es decir cada jardinero produce compost para las áreas verdes que tienen a cargo. Sin embargo, algunas tareas como el recojo de estiércol de oveja y el riego de las pilas es realizado de manera conjunta y planificada.

Considerando lo anteriormente mencionado, proponemos un sistema continuo que dé solución al problema de la putrefacción de los residuos de comida que se utilizarían en el proceso de compostación y a la vez se consiga atender, en parte, la demanda con un compost lo suficientemente maduro y de calidad aceptable. Este sistema propiciaría un trabajo completamente organizado y planificado por parte de las personas encargadas de esta labor desde su fase inicial (recojo de los residuos) hasta su fase final (cernido del compost).

4.1. Descripción general del sistema de compostación propuesto

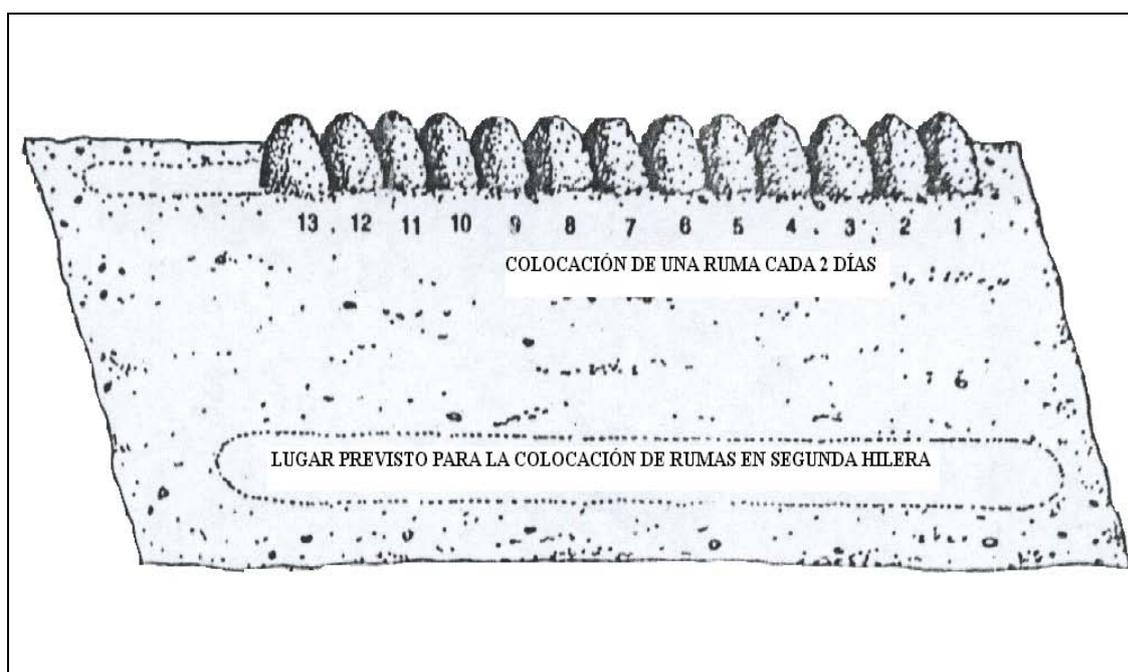
El sistema que se propone consiste en un manejo netamente manual. A diferencia de la metodología usada en el proceso de compostación actual de la Universidad de Piura, explicado en el Capítulo 3, las pilas de compost tendrían una menor dimensión y se construiría una de estas cada 2 días. Con esta nueva metodología sólo se necesitaría

almacenar los residuos de comida generados por las cafeterías durante 48 horas y se tendría un sistema que generaría compost maduro listo para ser usado cada 2 días.

La materia orgánica (residuos de comida, residuos de jardín, puño de algarrobo y estiércol de oveja) se colocaría en rumas en el terreno seleccionado y habilitado dentro de la zona de trabajo, de tal manera que la materia fresca se apiñaría, en una nueva ruma, a la que fuese construida 2 días antes, formándose así una hilera larga. Según el perímetro del terreno destinado a este fin, se podrían formar 2 ó 3 hileras paralelas. Ver **Figura 4.1**.

La cantidad de residuos de jardín y puño de algarrobo (residuos ricos en carbono) a utilizar estarían en función de la cantidad de residuos de comida y estiércol de oveja (residuos ricos en nitrógeno), tratando de mantener la relación en 2,4 entre la cantidad de residuos ricos en nitrógeno y los residuos que representan la “Fibra Vegetal Verde” conformada por los residuos ricos en carbono. Ver **Gráfico 3.2**.

Figura 4.1
Apiñamiento de las rumas en el perímetro de trabajo



De la experiencia realizada se sabe que el proceso de compostación dura entre 10 y 12 semanas, tiempo en el cual los desechos deben ser volteados y humedecidos a fin de mantener condiciones óptimas para la descomposición biológica. Luego de este periodo de tiempo, la materia orgánica se habrá convertido en compost y el espacio del terreno se habrá saturado. Para entonces, se deberá sacar la primera ruma y reemplazarla por una nueva formada con material fresco, logrando así un sistema continuo (cada 2 días sale una ruma de compost maduro y se forma una ruma de materia orgánica fresca).

Se aplicaría un plan de operación²⁷ que incluya el volteo de las rumas a partir de la 4^o, 6^o, 9^o y 11^o semana contada en cada caso desde el momento de la colocación de la ruma y un riego diario de las mismas. Los volteos se realizarían hacia el costado de la fila, obteniéndose “hileras interrumpidas”.

4.2. Manejo de las rumas de compostación

En la **Figura 4.2** se muestra la distribución que tendrían las rumas al final de la 4^o semana. Se puede observar para entonces, la formación de 12 rumas debido a que semanalmente se construyen 3 de éstas (cada 2 días se forma una ruma fresca). Después de 3 semanas, al comenzar la semana 4^o, la ruma 1 es volteada por primera vez y en el transcurso de esta semana lo mismo ocurre para la ruma 2 y 3 las cuales son puestas al costado de la fila original donde se construyeron.

En la **Figura 4.3** se muestra la distribución que tendrían las rumas al final de la 6^o semana. Durante esta semana, se construyen las rumas 16, 17 y 18; se prosigue a dar el primer volteo a otras rumas (en esta semana les toca a las rumas 7, 8 y 9) y además, se inicia el segundo volteo con las rumas 1, 2 y 3 por lo que éstas se vuelven a colocar en la fila de origen.

En la **Figura 4.4** se puede apreciar que al comenzar la 9^o semana se forma la ruma 25, se efectúa el primer volteo a la ruma 16, el segundo volteo a la ruma 10 y por último, se inicia el tercer volteo con la ruma 1. Durante esta semana, continúa éste mismo procedimiento para las 2 rumas subsiguientes a cada una de éstas.

En la **Figura 4.5** se puede observar que durante la 12^o semana se forman las rumas 34, 35 y 36, se efectúa el primer volteo a las rumas 25, 26 y 27, el segundo volteo a las rumas 19, 20 y 21, el tercer volteo a las rumas 10, 11 y 12 y además, el cuarto volteo a las rumas 4, 5 y 6 (el cuarto volteo empieza al comenzar la 11^o semana). A partir de la semana 13^o comenzará el sistema dinámico: cada 2 días sale una ruma de compost y entra una nueva ruma de residuos orgánicos frescos (residuos de comida).

Para el caso práctico se puede utilizar la siguiente fórmula para saber qué rumas deben ser volteadas a partir del número de ruma formado:

$$\begin{array}{rcl}
 N_2 + 6 \rightarrow & N_1 & 1^\circ \text{ Volteo} \\
 N_3 + 9 \rightarrow & N_2 & 2^\circ \text{ Volteo} \\
 N_4 + 6 \rightarrow & N_3 & 3^\circ \text{ Volteo} \\
 N_0 + 6 \rightarrow & N_4 & 4^\circ \text{ Volteo} \\
 & \uparrow & \\
 & N_0 & \\
 & \downarrow & \\
 N_0 - 9 \rightarrow & N_1 & 1^\circ \text{ Volteo} \\
 N_1 - 6 \rightarrow & N_2 & 2^\circ \text{ Volteo} \\
 N_2 - 9 \rightarrow & N_3 & 3^\circ \text{ Volteo} \\
 N_3 - 6 \rightarrow & N_4 & 4^\circ \text{ Volteo}
 \end{array}$$

²⁷ OFICINA DE ASESORÍA Y CONSULTORÍA AMBIENTAL (OACA): “Manual de Tecnología Apropiaada Para el Manejo de Residuos Sólidos”.

Donde:

N_0 = Número de ruma fresca formada y número de pila lista para ser usada

N_1 = Número de ruma que le toca el primer volteo

N_2 = Número de ruma que le toca el segundo volteo

N_3 = Número de ruma que le toca el tercer volteo

N_4 = Número de ruma que le toca el cuarto volteo

A partir del número de ruma formado, se irá sumando para obtener el número de ruma a voltear, según la fórmula, sin exceder el número de ruma 36 y restando con el mismo objetivo, hasta que la diferencia no sea menor que 1 incluyendo los 4 volteos que se deben de realizar en un determinado día. Por ejemplo, para el día en que se forma la ruma 10 (se retira la ruma 10 que ya está lista y al costado se forma una nueva), según el método antes explicado, se realiza el primer volteo a la ruma 1, el segundo volteo a la ruma 31, el tercer volteo a la ruma 22 y el cuarto volteo a la ruma 16:

$$\begin{array}{rcl}
 22+9 = \text{Ruma } 31 & \rightarrow & 2^\circ \text{ Volteo} \\
 16+6 = \text{Ruma } 22 & \rightarrow & 3^\circ \text{ Volteo} \\
 10+6 = \text{Ruma } 16 & \rightarrow & 4^\circ \text{ Volteo} \\
 & \uparrow & \\
 N_0 = \text{Ruma } 10 & & \\
 & \downarrow & \\
 10-9 = \text{Ruma } 1 & \rightarrow & 1^\circ \text{ Volteo}
 \end{array}$$

En el **Cuadro 4.1** se explica el manejo de las rumas durante el ciclo completo de 12 semanas.

Figura 4.2
Distribución de las rumas al término de la 4^o semana

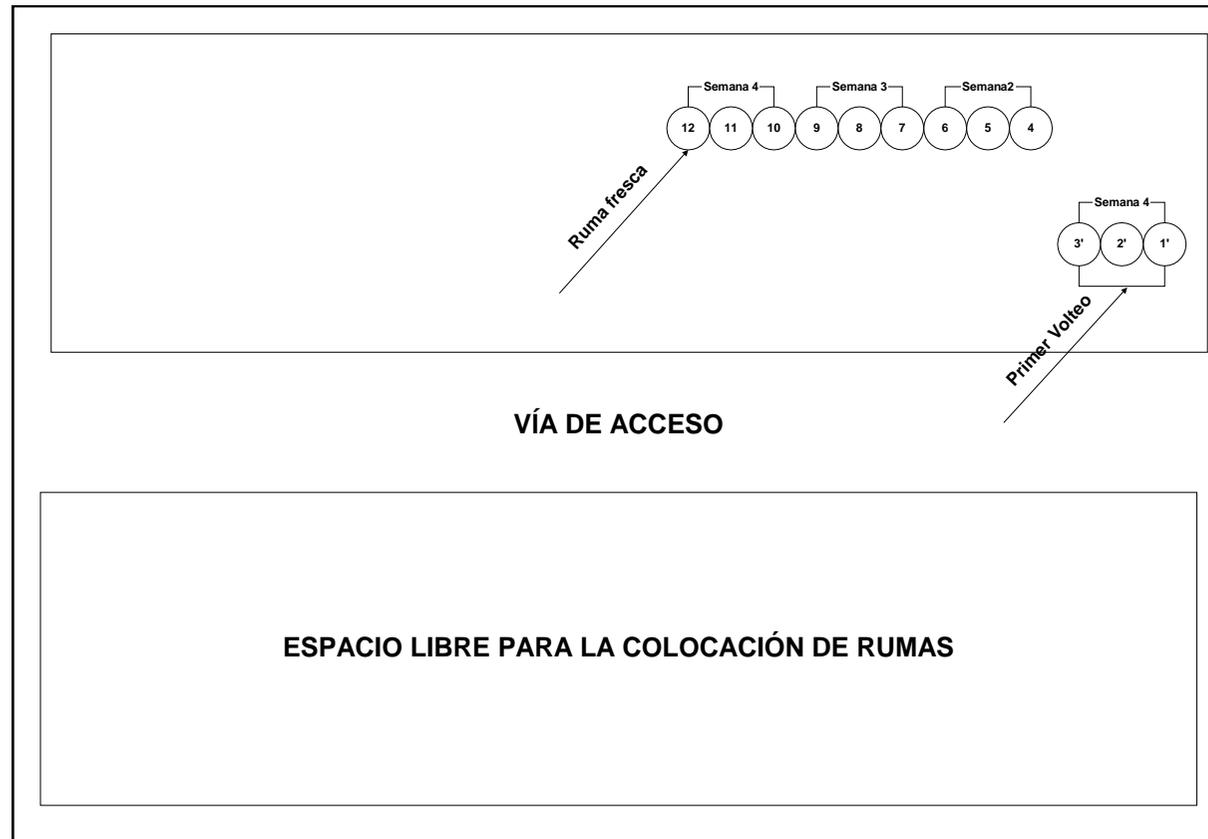


Figura 4.3
Distribución de las rumas al término de la 6^o semana

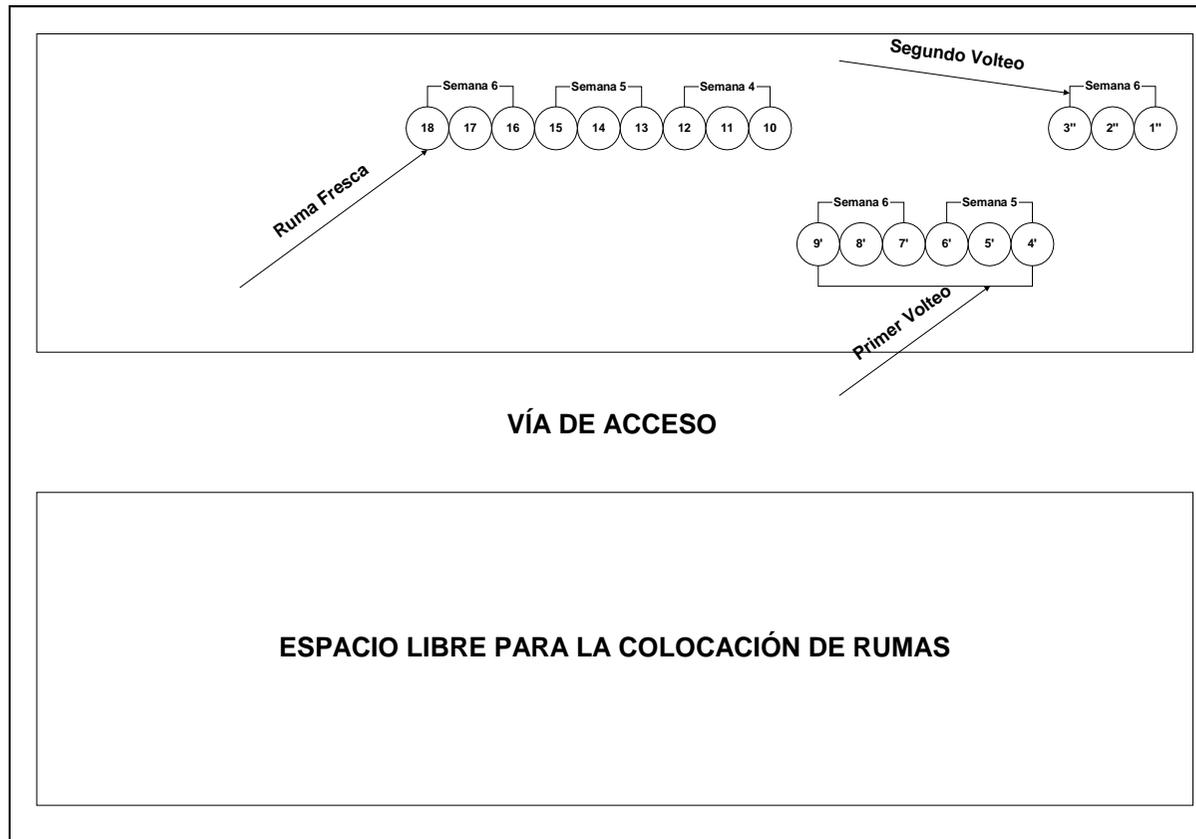


Figura 4.4
Distribución de las rumas al término de la 9ª semana

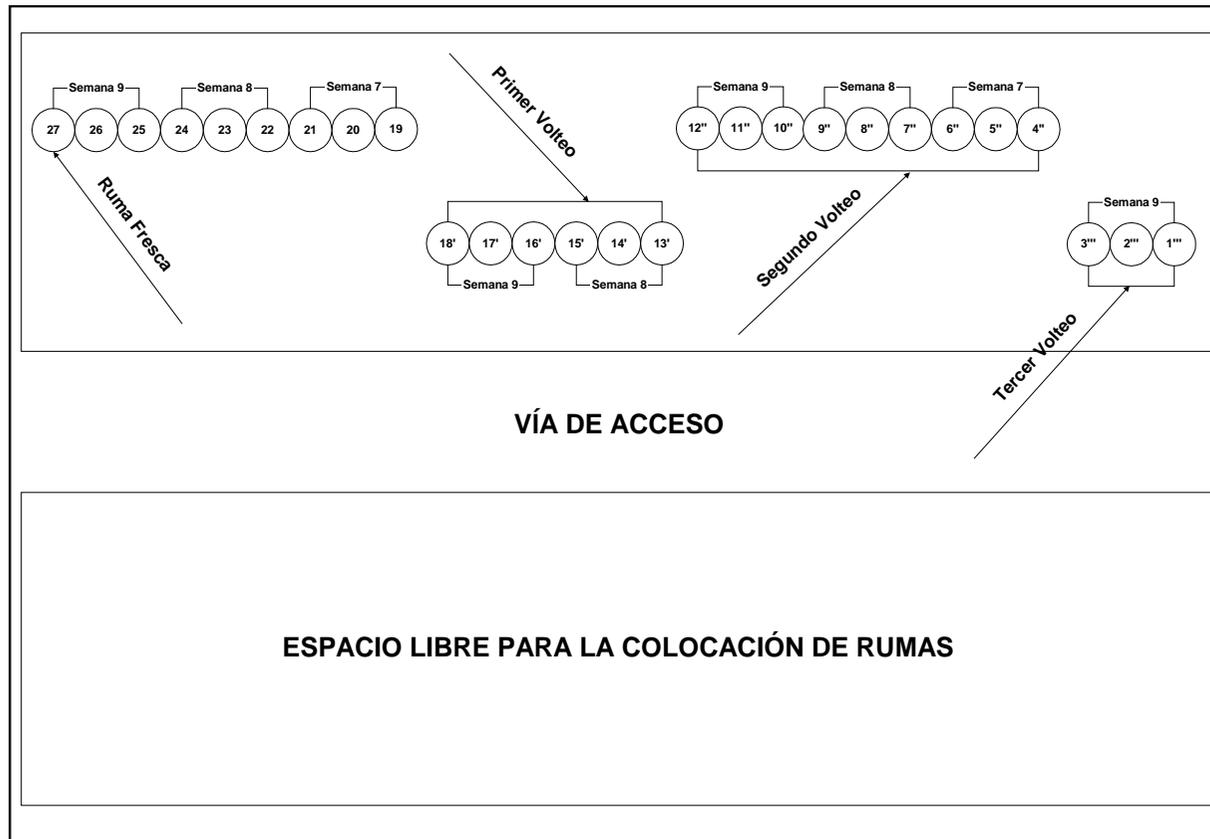
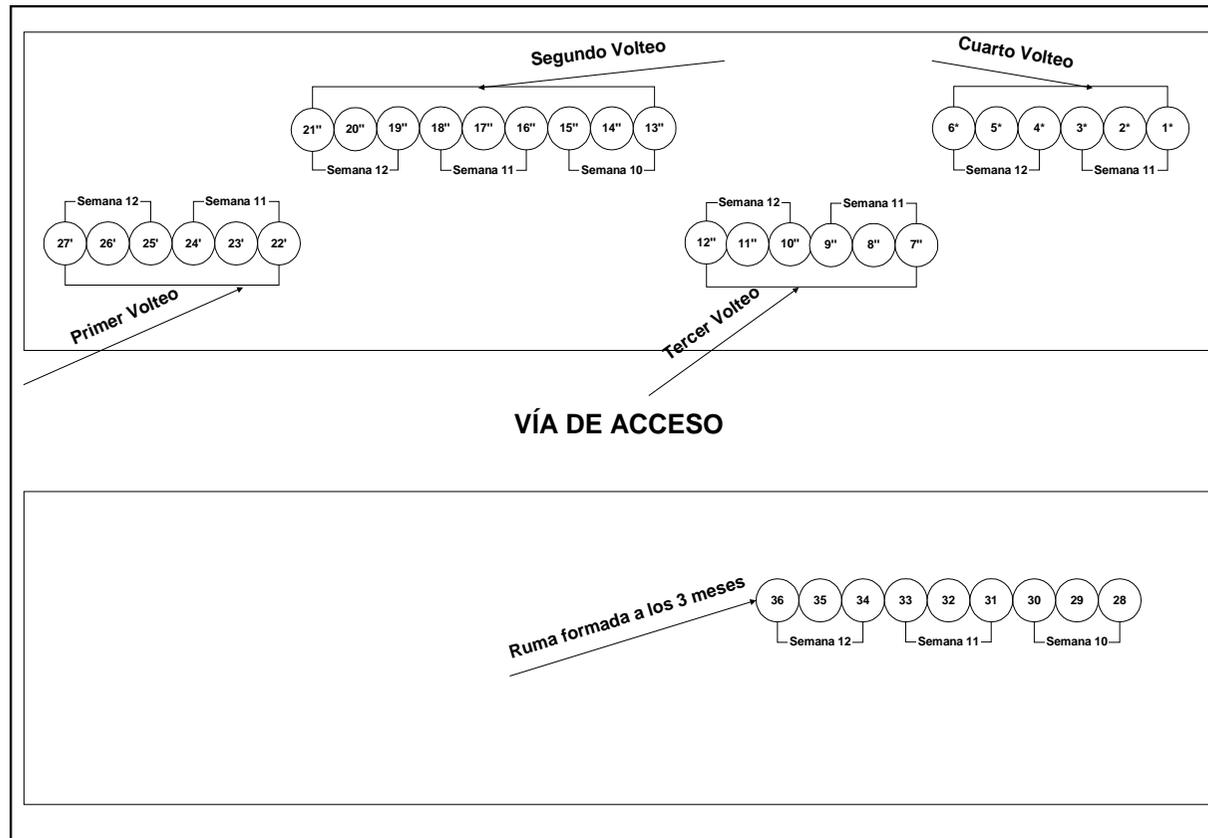


Figura 4.5
Distribución de las rumas al término de la 12^o semana



Cuadro 4.1
Manejo de rumas para un ciclo completo

Número de ruma a formar y ruma lista	Número de ruma para primer volteo	Número de ruma para segundo volteo	Número de ruma para tercer volteo	Número de ruma para cuarto volteo
1	28	22	13	7
2	29	23	14	8
3	30	24	15	9
4	31	25	16	10
5	32	26	17	11
6	33	27	18	12
7	34	28	19	13
8	35	29	20	14
9	36	30	21	15
10	1	31	22	16
11	2	32	23	17
12	3	33	24	18
13	4	34	25	19
14	5	35	26	20
15	6	36	27	21
16	7	1	28	22
17	8	2	29	23
18	9	3	30	24
19	10	4	31	25
20	11	5	32	26
21	12	6	33	27
22	13	7	34	28
23	14	8	35	29
24	15	9	36	30
25	16	10	1	31
26	17	11	2	32
27	18	12	3	33
28	19	13	4	34
29	20	14	5	35
30	21	15	6	36
31	22	16	7	1
32	23	17	8	2
33	24	18	9	3
34	25	19	10	4
35	26	20	11	5
36	27	21	12	6

4.3. Parámetros de operación a controlar

Los parámetros que se deberían de controlar durante el proceso de compostación utilizando esta metodología propuesta son los mismos que fueron objeto de análisis durante el desarrollo del presente trabajo de tesis, es decir, utilizando la metodología que actualmente se emplea en la Universidad de Piura para la elaboración de compost y estos son:

- Temperatura
- pH
- Humedad
- Nitrógeno
- Fósforo
- Cenizas
- Materia Orgánica
- Carbono

Para el análisis de estos parámetros (a excepción de la temperatura) se deberá tomar una muestra de compost, la cual se efectuaría al momento de realizar el volteo de las rumas. La primera muestra se puede tomar, aleatoriamente, de cualquier ruma de compost formada en el transcurso de las dos primeras semanas. A partir de aquí, se tomará la muestra a la misma ruma cada vez que le toque ser volteada hasta culminar el ciclo que dura el proceso de compostación. Este mecanismo de control deberá ser realizado siempre para garantizar la obtención de un buen compost.

También se debe de controlar la aireación de las rumas de compost realizando el volteo de éstas tal como se señala en el **Cuadro 4.1** y midiendo su temperatura al momento de realizar el volteo de las rumas en un punto central de éstas.

4.4. Evaluación de oferta–demanda y costos de compostación

Demanda de compost

La Universidad de Piura cuenta aproximadamente con 4 hectáreas de áreas verdes (gras) de las cuales, 2000 m² son atendidos con compost y el resto de éstas, con una mezcla de compost y algunos fertilizantes (fosfato diamónico, urea, sulfato de amonio) durante todo el año. La cantidad de compost que se emplea por m² de suelo depende de las condiciones en las que se encuentre éste: suelo de calidad aceptable y suelo por regenerar. El primer tipo de suelo demanda aproximadamente de 0,01 m³ de compost por m² y el segundo de 0,02 m³ de compost por m² de suelo. Sabiendo que el compost es adicionado al suelo 2 veces al año, la demanda es calculada de la siguiente manera:

Para el suelo de calidad aceptable:

$$0,01 \frac{m^3 \text{ compost}}{m^2 \text{ suelo}} * 38\,000 m^2 \text{ suelo} * 2 \frac{\text{veces}}{\text{año}} * \frac{\text{año}}{12 \text{ meses}} \approx 63 \frac{m^3 \text{ compost}}{\text{mes}}$$

Para el suelo por regenerar:

$$0,02 \frac{m^3 \text{ compost}}{m^2 \text{ suelo}} * 2000 m^2 \text{ suelo} * 2 \frac{\text{veces}}{\text{año}} * \frac{\text{año}}{12 \text{ meses}} \approx 6.5 \frac{m^3 \text{ compost}}{\text{mes}}$$

Sabiendo que el m^3 de compost tiene un peso promedio aproximado de 500 kg, expresamos la demanda de compost de la Universidad de Piura en kg/mes:

$$(63 + 6.5) \frac{m^3 \text{ compost}}{\text{mes}} * 500 \frac{\text{kg compost}}{m^3 \text{ compost}} = 34\,750 \frac{\text{kg compost}}{\text{mes}}$$

Oferta de compost

La oferta de compost está en función de la cantidad de residuos orgánicos generados dentro de la UDEP (Apartado 2.2.2):

- Estiércol de oveja → 6875 kg/mes
- Residuos de comida → 341 kg/mes (promedio de las 2 cafeterías)
- Residuos de jardín → 830 kg/mes
- Puño de algarrobo → 3460 kg/mes

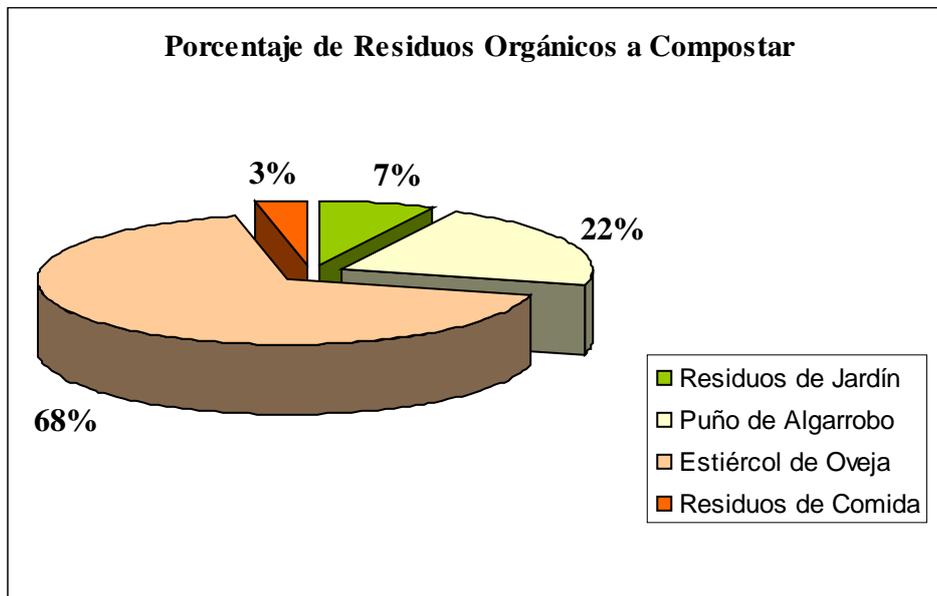
Residuos orgánicos generados → 11 506 kg/mes

Tratando de mantener la relación en 2,4 entre la cantidad de residuos ricos en nitrógeno y ricos en carbono (según la metodología utilizada), se podrían usar en su totalidad la cantidad generada de estiércol de oveja y residuos de comida pero no toda la cantidad de residuos de jardín y puño de algarrobo. A continuación se presentan las cantidades aproximadas de residuos que se podrían compostar y sus porcentajes.

- Estiércol de oveja → 6875 kg/mes
- Residuos de comida → 341 kg/mes
- Residuos de jardín → 750 kg/mes
- Puño de algarrobo → 2200 kg/mes

Residuos orgánicos a compostar → 10 166 kg/mes

Gráfico 4.1



Al final del proceso de compostación, se obtendrán, aproximadamente, los 2/3 del peso de materiales que se utilizaron. Por lo tanto la cantidad de compost que se podría producir a partir de los residuos generados en la UDEP es de 6777 kg mensuales.

Costos de compostación

En los **Cuadros 4.2 – 4.3** se presentan los costos en los que se incurrirían para la elaboración de compost en la UDEP aplicando la metodología actual y la propuesta, utilizando –en ambos casos– los residuos de comida en el proceso de compostación. El **Subtotal** que se calcula en cada cuadro corresponde al costo que incurre un jardinero cuyo jornal diario es de 24 soles. Teniendo en cuenta que el trabajo es realizado por 6 jardineros y que se emplea una camioneta para el transporte del estiércol desde el lugar donde se encuentra el rebaño de ovejas hasta la zona de trabajo y que éste es realizado por un chofer cuyo jornal diario es de 24,71 soles, el **Total** se calcula de la siguiente manera:

$$TOTAL = (Sub\ Total * 6) + (Agua\ para\ las\ pilas * 6) + Combustible\ camioneta + Transporte\ de\ estiércol\ de\ oveja$$

Cuadro 4.2
Costo de elaboración de compost

METODOLOGÍA DE COMPOSTACIÓN ACTUAL				
Tarea	Tiempo empleado por trabajador (Horas/tarea)	No de tarea por mes	Tiempo Total (Horas)	Costo (Soles)
Recojo de puño de algarrobo y transporte hacia zona de trabajo	0,5	1	0,5	1,5
Recojo de estiércol de oveja y transporte hacia zona de trabajo	4	1	4	12
Recojo de residuos de jardín y transporte hacia zona de trabajo	2	4	8	24
Recojo de residuos de comida y transporte hacia zona de trabajo	0,5	4	2	6
Construcción de pilas	3	1	3	9
Riego de las pilas	1,5	11	16,5	49,5
Volteo de las pilas	3	2	6	18
Cernido de compost	1	4	4	12
Subtotal			44	132
Transporte de estiércol de oveja	1	2	2	6,18
Otros gastos	Cantidad (unidades/mes)	Unidades	Costo unidad (Soles)	Costo (Soles)
Agua para las pilas	13,2	m ³	1,8	23,76
Combustible camioneta	0,5	galón	8,45	4,2
			TOTAL	945,0

Cuadro 4.3
Costo de elaboración de compost

METODOLOGÍA DE COMPOSTACIÓN PROPUESTA				
Tarea	Tiempo empleado por trabajador (Horas/tarea)	No de tarea por mes	Tiempo Total (Horas)	Costo (Soles)
Recojo de puño de algarrobo y transporte hacia zona de trabajo	0,5	1	0,5	1,5
Recojo de estiércol de oveja y transporte hacia zona de trabajo	4	1	4	12
Recojo de residuos de jardín y transporte hacia zona de trabajo	2	4	8	24
Recojo de residuos de comida y transporte hacia zona de trabajo	0,5	4	2	6
Construcción de pilas	1,5	2	3	9
Riego de las pilas	4,5	8	36	108
Volteo de las pilas	2	2	4	12
Cernido de compost	1	4	4	12
Subtotal			61,5	184,5
Transporte de estiércol de oveja	1	2	2	6,18
Otros gastos	Cantidad (unidades/mes)	Unidades	Costo unidad (Soles)	Costo (Soles)
Agua para las pilas	28,8	m ³	1,8	51,84
Combustible camioneta	0,5	galón	8,45	4,2
			TOTAL	1428,4

Beneficios que conlleva la compostación en la UDEP

Cualquiera que fuese la metodología de compostación utilizada, el beneficio que se consigue no sólo es económico, producto de la disminución paulatina en la compra de fertilizantes. Esto se debe, a que el compost permite la fijación, incorporación y mantenimiento gradual de los minerales y materias orgánicas necesarias para un adecuado crecimiento de los vegetales, que contribuye al aumento de las cantidades de carbono y nitrógeno en el suelo mejorando de esta manera, la capacidad productiva del suelo destinado a áreas verdes en la UDEP.

A pesar que los efectos sobre una mayor productividad son a mediano y largo plazo, existe un beneficio ambiental en el uso del compost. La compostación, utilizando los desechos de comida, es una alternativa de tratamiento de desechos orgánicos generados en la Universidad de Piura que contribuiría a crear una conciencia ambiental en las personas que trabajan en las cafeterías y en aquellas que usan los servicios de éstas, en cuanto a los hábitos de separación de desechos en origen y la utilización que éstos pueden tener.

Desde el punto de vista social, la compostación contribuye a disminuir los niveles de contaminación que produce el inadecuado manejo de los desechos orgánicos, el mismo que genera vectores transmisores de enfermedades y roedores. La compostación permite reciclar la materia orgánica lo cual, contribuye a disminuir los efectos ambientales negativos creados por la acumulación de residuos en botaderos a cielo abierto, desde el punto de vista de contaminación, estética e inadecuado aprovechamiento por animales como el ganado porcino, problema que aqueja en la actualidad a la ciudad de Piura y en general, a todas las ciudades de nuestro país.

La metodología propuesta permitiría obtener otros beneficios que no se pueden conseguir utilizando la actual metodología de compostación. Se conseguiría obtener un compost lo suficientemente maduro es decir, un producto final lo suficientemente estable para ser almacenado y aplicado en la tierra con la seguridad de no obtener efectos ambientales adversos. Se conseguiría obtener un compost de mejor calidad, empleando una metodología que permite usar los residuos de comida de las cafeterías de la UDEP sin que éstos lleguen a un estado de putrefacción antes de ser utilizados. Se lograría también, satisfacer, en parte, la demanda continua de abono de la Universidad de Piura de una mejor manera, pues esta metodología permite conseguir una línea de producción continua de compost.

La metodología propuesta tiene un mayor costo que la metodología actual (ver **Cuadro 4.2–4.3**) debido a que se emplean un mayor número de horas–hombre en el proceso, que pueden ser cubiertas por el mismo número de jardineros con que cuenta actualmente la UDEP y a la mayor cantidad de agua que se requiere para el riego de las pilas debido a que la frecuencia de riego es mayor. Sin embargo, esta metodología propuesta permite utilizar de mejor manera los residuos de comida generados por las cafeterías y a la vez, obtener todas estas ventajas que se han mencionado anteriormente. En conclusión se puede decir que sí compensa producir este producto en la UDEP.

4.5. Conclusiones y recomendaciones adicionales

- El costo total de compostación utilizando la metodología propuesta, sería mayor que utilizando la metodología actual. Esto se debe a que en la metodología propuesta, el riego de las pilas es diario, aumentando las horas de mano de obra y la cantidad de agua utilizada en éstas. Sin embargo, ésta metodología propiciaría un trabajo completamente organizado y planificado por parte de las personas encargadas de esta labor desde su fase inicial (recojo de los residuos) hasta su fase final (cernido del compost) y se cubriría parte de la demanda de abono con un compost lo suficientemente maduro el cual no se consigue utilizando la actual metodología.
- La demanda de compost en la UDEP es mucho mayor que la cantidad de compost producido. Por esta razón es necesario, no sólo la compra de fertilizantes como fosfato diamónico, urea, sulfato de amonio, etc. con los que se trata de cubrir la necesidad de abono en la universidad sino también, la compra de estiércol de ganado, el cual se coloca directamente sobre las áreas verdes. Este estiércol comprado debería ser usado en el proceso de compostación que se realiza en la actualidad y de esta manera obtener una mayor cantidad de compost que a mediano plazo proporciona mayores beneficios, a través de una mejora paulatina de la productividad del suelo.
- Si se llegasen a utilizar los residuos de comida (residuos de cocina generados por las cafeterías de la UDEP) para la elaboración de compost, utilizando la metodología actual o la propuesta, es necesario que el perímetro del lugar de trabajo destinado a esta labor sea cercado con malla de metal debido a la presencia de animales como zorrillos, huanchacos, ardillas, etc. Éstos llegan hasta este lugar debido al olor de los residuos de comida almacenados y colocados en las pilas y originan destrozos de las mismas.
- La variación de temperatura observada en las pilas durante el proceso es un indicativo de la actividad bioquímica que tiene lugar en la masa en compostación. Sería recomendable que las personas encargadas de este proceso cuenten con un termómetro y sepan manejarlo adecuadamente para que puedan monitorear este parámetro y tengan información de cómo se va desarrollando el proceso. Por ejemplo una baja temperatura a medio proceso (5 ó 6 semanas) podría ser un indicativo que la pila no está siendo bien aireada o que la altura de la misma no es la más recomendable (necesitaría una mayor altura).

CONCLUSIONES

1. La Universidad de Piura genera cuatro tipos de residuos orgánicos sólidos: Residuos de jardín los cuales son generados durante la poda y limpieza de las áreas verdes con las que cuenta la universidad, estiércol de oveja obtenido de la crianza de aproximadamente 110 ovejas, puño de algarrobo que es obtenido de los algarrobos que se encuentran dentro del perímetro de la UDEP y los residuos de comida los cuales son generados únicamente por las cafeterías con las que cuenta dicha institución.
2. La mayor cantidad de residuos de comida se originan debido a la preparación de menús en cada una de las cafeterías. En la actualidad, a estos residuos no se les da ninguna utilización.
3. La “Cafetería Principal” genera la mayor cantidad de residuos de comida. El promedio más alto de residuos de comida generados en esta cafetería ocurrió durante las dos primeras semanas de vacaciones (12,5 kg/día), a pesar que se esperaba obtener en este periodo los mínimos valores. Esta situación se produjo debido a que durante las dos primeras semanas de vacaciones hubo algunas actividades extracurriculares (seminarios y conferencias) que originó la concurrencia de un mayor número de personas a la “Cafetería Principal”. El segundo promedio más alto de residuos de comida generados ocurrió durante la semana de dictado de clases (11,8 kg/día), época en donde un considerable número de alumnos concurre a esta cafetería, por esta razón, se esperó obtener el promedio más alto. El promedio más bajo de generación de estos residuos se obtuvo en la tercera semana de vacaciones, periodo en el que las actividades extracurriculares habían finalizado (8,3 kg/día).
4. La “Cafetería Master” genera la menor cantidad de residuos de comida. El promedio de residuos de comida generados en esta cafetería fue de 4 kg/día, cantidad que representa aproximadamente la mitad de los residuos que se originaron durante el periodo de generación más bajo en la “Cafetería Principal”.

5. La cantidad de residuos de comida generados por ambas cafeterías, incluso en los periodos más bajos de generación, son suficientes para ser utilizados en la producción de compost, independientemente de la metodología a seguir.
6. De la caracterización físico-química realizada a los residuos sólidos orgánicos generados por la Universidad de Piura, se puede concluir que los residuos de comida generados por las cafeterías son adecuados para ser utilizados en un proceso de compostación, comparando los resultados de los parámetros analizados con los rangos de valores recomendados en trabajos de investigación realizados anteriormente. Lo mismo se concluyó para los residuos de jardín, puño de algarrobo y estiércol de oveja.
7. La metodología utilizada para la construcción y monitoreo de las pilas y el control del proceso de las mismas dio buenos resultados, a pesar que los residuos de comida utilizados para la construcción de la “Pila 2” permanecieron almacenados durante 2 semanas, tiempo en que se alcanzó la cantidad necesaria para formar la pila correspondiente. Esto fue verificado con los resultados de la caracterización físico-química realizada periódicamente a las pilas de compost.
8. De la caracterización físico-química realizada a las pilas de compost construidas y comparación de los resultados de los parámetros analizados en ésta con los valores de calidad promedio del compost producido a escala industrial por la empresa uruguaya BIOAGRO y con los rangos de valores recomendados en la bibliografía consultada, se puede concluir que el compost producido actualmente en la Universidad de Piura es de buena calidad.
9. El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica, por ello la relación C/N es un buen indicador de la calidad del compost y del material utilizado para su elaboración. De la comparación de la relación C/N obtenida durante el proceso de compostación de la “Pila 1” con la de la “Pila 2”, se puede concluir que la utilización de los residuos de comida contribuyen a mejorar la calidad del compost reflejada en el aumento del rango de valores de C/N de la “Pila 2”.
10. La metodología de compostación propuesta permitiría abastecer parcialmente la demanda de abono de la UDEP con un compost lo suficientemente maduro, pues con la metodología actual muchas veces el compost es utilizado antes de que concluya su proceso de elaboración.
11. La metodología de compostación propuesta utilizando residuos de comida daría solución al problema de putrefacción de éstos pues, con la metodología actual los residuos de comida deberán ser almacenados hasta alcanzar la cantidad suficiente para construir las pilas con las dimensiones necesarias.
12. El costo total de compostación, utilizando la metodología propuesta, sería mayor que el alcanzado con la metodología actual.

Bibliografía

ASENCIO, DÍAZ FAUSTO: “La Producción de Algarroba de los Bosques Secos: Economía y Medio Ambiente en la Región Grau”, CEPESER (Centro Peruano de Servicios), Piura, 1995.

CALLE, RIOFRÍO PAOLA: Tesis " Plan de manejo ambiental de los residuos sólidos de la Universidad de Piura", 2001.

Catálogo Cole – Parmer U.S.A., 20001/02, Balances, Pág. 82.

CAVERO, C.E., GARCÍA, C.A., PINEDA, M.R.: “Fosfocompost: Un Abono Órgano – Mineral”, CIPCA (Centro de Investigación y Promoción del Campesinado), Piura, 1988.

CEPIS, FUNDACIÓN NATURA, G.T.Z., REPAMAR: “Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador”, Quito, 1998.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS) – DIVISIÓN SALUD Y AMBIENTE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD – OFICINA SANITARIA PANAMERICANA Y OFICINA REGIONAL DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Y EMPRESA DE SERVICIOS MUNICIPALES DE LIMPIEZA DE LIMA: Proyecto de Investigación “Compostificación de Residuos de Mercados”, Lima, 1993.

Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo–Americana – Espasa Calpe S.A. Editores, Tomo VII, Pág. 295.

KRAFT VON, HEYNITZ: “El Compost en el Jardín”, 1991 y SANO, M.: “El Compostaje”, 1985.

OFICINA DE ASESORÍA Y CONSULTORÍA AMBIENTAL (OACA): “Manual de Tecnología Apropriada Para el Manejo de Residuos Sólidos”.

PAGINAS WEB:

<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fultext/curso/especifici/especifici.html>

<http://www.conama.cl/rm/568/article-1091.html>

<http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.asp#1>. ¿Qué es el compostaje?

<http://www.udep.edu.pe>

<http://www.webs.montevideo.com.uy/bioagro/compost.html>

PINEDA, M. RICARDO: Folleto informativo “Nuestros Recursos” – Tema “Fosfocompost: Preparación y uso”, CIPCA (Centro de Investigación y Promoción del Campesino), 1993.