

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingenieria Ambiental



**PRODUCCION DE COMPOST A PARTIR DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DE
MERCADOS MEDIANTE TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

T E S I S

Presentado Por:

Marcos Gabriel Alegre Chang

Para Optar el Titulo Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

LIMA - PERU

1993

DEDICO EL PRESENTE
TRABAJO A MIS PADRES.

AGRADECIMIENTO

A AQUELLAS PERSONAS QUE HICIERON
POSIBLE LA ELABORACION DEL PRESENTE
TRABAJO Y EN ESPECIAL A MI AMIGO
AXEL MACHT.

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCION

<u>CAPITULO I</u>	12
1. ANTECEDENTES	13
2. OBJETIVOS	16
<u>CAPITULO II</u>	17
3. PRINCIPIOS BASICOS PARA LA PRODUCCION DEL COMPOST	18
3.1 Principios de la descomposición orgánica en medio humedo-aeróbico	23
3.2 Fases del proceso aeróbico	24
3.2.1 Importancia de la humedad	26
3.2.2 Importancia de la temperatura y aereación	26
3.2.3 Importancia del pH	27
3.3 Relación Carbono:Nitrogeno (C/N)	27
<u>CAPITULO III</u>	29
4. DESARROLLO DEL PROYECTO	30
4.1 Estudios preliminares	31
4.1.1 Identificación de los mercados	31
4.1.2 Estudio de los residuos sólidos de mercados	32
4.1.3 Ubicación de la planta de producción de compost	40
4.1.4 Análisis de la calidad del agua y suelo de la planta	43
4.2 Selección de la técnica de compostificación	45
4.3 Diseño de la planta de producción de compost	46
4.3.1 Descripción del procedimiento técnico	48
4.3.2 Dimensionamiento y distribución del área	54
4.3.3 Estimación de los requerimientos	57

4.3.4	Identificación de la variables de evaluación de la operación de la planta de producción de compost	58
4.4	Factibilidad del proyecto	59
<u>CAPITULO IV</u>		62
5. EVALUACION DEL PROYECTO		63
5.1	Evaluación de la operación de la planta de producción de compost	63
5.1.1	Evaluación de la humedad	63
5.1.2	Evaluación de la temperatura	65
5.1.3	Evaluación del pH	67
5.1.4	Evaluación de la relación C/N	67
5.1.5	Evaluación de los sólidos volátiles	70
5.1.6	Determinación del volumen de producción	72
5.1.7	Caracterización completa del compost final	73
5.2	Estimación de los costos	74
<u>CAPITULO V</u>		77
6. CONCLUSIONES		78
7. RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

RELACION DE TABLAS

TABLA No. 1

Situación de las plantas de compost en América Latina

TABLA No. 2

Relación carbono:nitrógeno de algunos compuestos orgánicos presentes en los residuos sólidos

TABLA No. 3.

Número de Puestos de Venta por Mercado

TABLA No. 4.

Resultados del estudio de los residuos sólidos en el mercado Virgen del Carmen en San Martín de Porres

TABLA No. 5

Resultados del estudio de los residuos sólidos en el mercado Naranjal en San Martín de Porres

TABLA No. 6

Resumen del estudio de residuos sólidos en el mercado Virgen del Carmen en San Martín de Porres

TABLA No. 7

Resumen del estudio de residuos sólidos en el mercado Naranjal en San Martín de Porres

TABLA No. 8

Estimación de la producción de residuos sólidos en los mercados ASCOPRO y COOPRO en San Martín de Porres

TABLA No. 9

Resultados de análisis del agua de la planta de producción de compost en San Martín de Porres

TABLA No. 10

Plan específico de actividades para la compostificación.

TABLA No. 11

Calidad y valores de referencia del compost

TABLA No. 12

Estimación del gasto mensual por materiales y herramientas

TABLA No. 13

Estimación del gasto mensual por transporte y personal

RELACION DE GRAFICOS

GRAFICO No. 1
Fases de la Descomposición Aeróbica

GRAFICO No. 2
Humedad vs Tiempo

GRAFICO No. 3
Temperatura vs Tiempo

GRAFICO No. 4
pH vs Tiempo

GRAFICO No. 5
Relación carbono:nitrogeno vs Tiempo

GRAFICO No. 6
Sólidos Volátiles vs Tiempo

RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa rigurosamente el funcionamiento de una planta de producción manual de compost, que operaba utilizando los residuos sólidos de 4 pequeños mercados de la ciudad de Lima. La técnica aplicada es de bajo costo en la medida que privilegia el uso de mano de obra sobre maquinarias y equipos sofisticados. La planta de compost diariamente procesaba en promedio 800 kg. de residuos sólidos y producía con 3 meses de tratamiento, 240 kg de compost de buena calidad. pudo establecer que la planta de compost operaba correctamente en base a mediciones sistemáticas del material en tratamiento, efectuadas por espacio de 3 meses en los siguientes parámetros: temperatura, pH, humedad, sólidos volátiles, relación C/N, sólidos volátiles y conductividad eléctrica. A efectos de diseñar la técnica más apropiada y definir los procedimientos específicos de producción de compost se evaluó durante 8 días (descartando la muestra del primer día), el contenido de compuestos orgánicos de los residuos sólidos de los mercados. El estudio también permitió establecer que los residuos sólidos de los mercados tienen un alto y heterogéneo contenido de elementos de origen vegetal y animal (hasta 95%), y por lo tanto constituyen una excelente fuente para producir compost. La calidad del producto obtenido (compost) se comprobó determinando sus propiedades de fertilidad con mediciones del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, y evaluando el nivel de contaminación por cobre, plomo y cadmio. Finalmente se concluye que la tecnología es válida para procesar de 800 kg a 3,000 kg de residuos sólidos orgánicos por día.

INTRODUCCION

El manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales es uno de los problemas más agudos que afecta a la mayoría de las ciudades del país. Lima, capital del Perú, con cerca de 7 millones de habitantes ilustra claramente esta situación. Se estima que en la zona urbana de la ciudad de Lima, se produce cerca de 3,500 toneladas de residuos sólidos por día y la cobertura de recolección sólo alcanza al 40%, con el agravante que únicamente el 30% del total producido, se dispone correctamente en los dos rellenos sanitarios autorizados: "El Zapallal" y "Alipio Ponce", a 10 km al norte y sur de Lima Metropolitana respectivamente (1).

Así, el volumen de residuos sólidos que no se dispone correctamente en los rellenos sanitarios de la ciudad de Lima es alarmantemente grande. Se estima que cerca de 2,500 toneladas por día de residuos sólidos, cuando no terminan en las calles o vías públicas, sirven de insumo para sustentar actividades económicas de reciclaje, que no reúnen los mínimos requisitos sanitarios y ambientales, como la crianza de cerdos con residuos orgánicos no tratados o la comercialización informal de los residuos inorgánicos (plástico, metal, vidrio, etc.).

Esta situación se agrava por la formación de botaderos insalubres en diversas zonas periféricas a la ciudad de Lima, que contaminan principalmente las riberas de los ríos Chillón y Rimac, así como las zonas agrícolas de borde de la ciudad.

Aún cuando la magnitud e importancia del problema es evidente, el gobierno provincial y sus contrapartes distritales han

demostrado limitaciones, para mejorar sustancialmente la situación de la limpieza pública de la ciudad, incluyendo las prácticas ambientalmente negativas del reciclaje informal. Ello se debe en gran parte al desencuentro entre las políticas oficiales de limpieza pública con la dinámica real existente en el sector. Mientras que los programas tradicionales del sistema oficial de manejo de residuos sólidos, buscan únicamente cerrar los circuitos desde la generación domiciliaria hasta la disposición final en los rellenos sanitarios, asumiendo que los residuos sólidos son irrecuperables, existe en la práctica una intensa actividad de reciclaje informal demostrando que los residuos sólidos tienen valor de uso y de cambio (2).

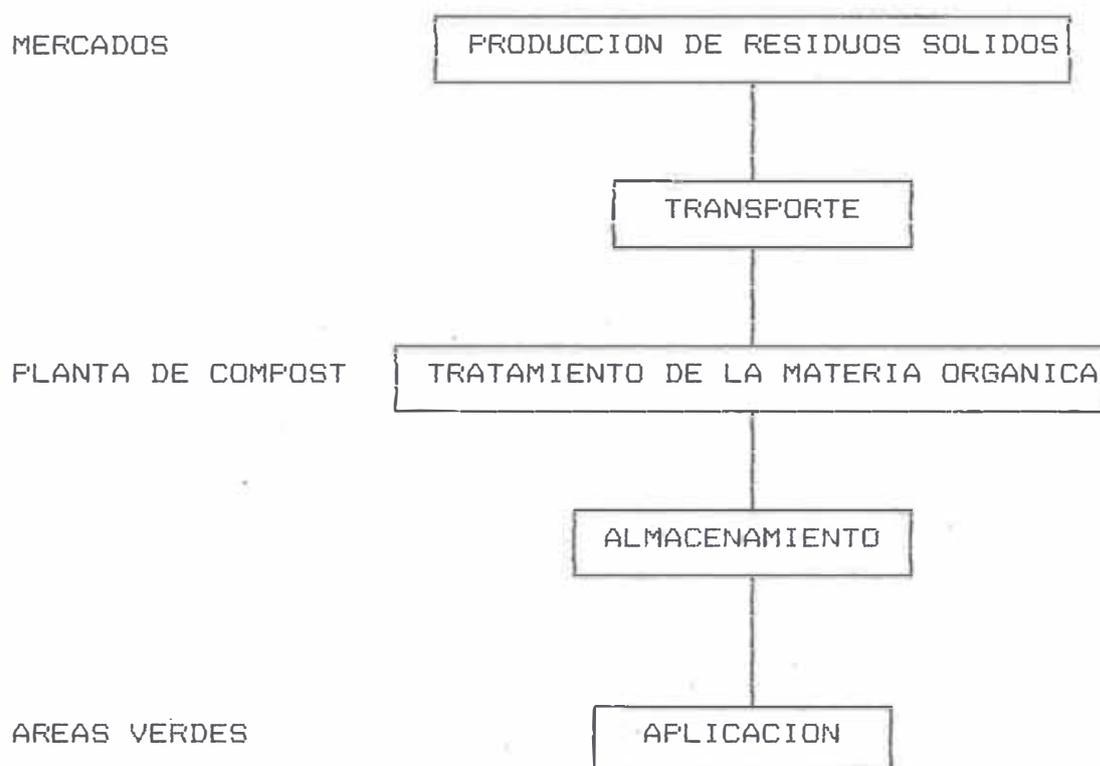
De esta manera se establece la necesidad de profundizar en el análisis de la situación del reciclaje a fin de regular y modificar ciertos aspectos de esta actividad.

Una de las mayores carencias en relación al reciclaje de residuos sólidos es la falta de información precisa sobre la viabilidad técnica y económica relacionada con los sistemas de recuperación controlada de desechos.

Por tal motivo, el presente trabajo busca contribuir en la investigación y adecuación de tecnologías de reciclaje aplicables en contextos urbanos, que utilicen insumos locales, sean de bajo costo y no presenten impactos ambientales negativos.

A una escala real de operación se ha evaluado la factibilidad técnica de la recuperación de residuos sólidos de mercados vía su transformación en un abono orgánico denominado compost.

La tecnología ensayada es netamente manual y se basa en la descomposición natural de los residuos sólidos orgánicos en un medio humedo-aeróbico controlado por un período de tres meses. A continuación se presenta un esquema resumen de los flujos principales del proyecto:



El proyecto se desarrolló en 1988 y 1989 en el distrito de San Martín de Porres, y contó con el apoyo de la Municipalidad del distrito, los comerciantes de los mercados y fue ejecutado con la asesoría técnica del Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente (IDMA) y el apoyo promocional del centro ALTERNATIVA.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

OBJETIVOS

1. ANTECEDENTES

Prácticamente todas las experiencias de compostificación se inspiraron en los trabajos empíricos de Sir Albert Howard, quien en la década del 30 ensayó sistemáticamente diversas técnicas de producción de compost en la India. Sir Albert Howard denominó su sistema como *Indore* el cual consiste en colocar desechos vegetales y animales en pozas de 9 x 4 x 0.6 m. y con sucesivos volteos a los 16, 30 y 60 días, en 90 días se logra un producto de buena calidad como mejorador de la calidad orgánica de los suelos

Las primeras referencias de plantas de producción de compost datan de la década del 40. En 1947, en el Cairo, Egipto, se construyó una planta semi-mecánica, que se rehabilitó en 1982. Otra planta se construyó en 1961 en Rabat, Morocco, que utiliza tecnología más moderna y actualmente funciona con los ingresos obtenidos por la comercialización del compost (3).

Mientras que en otros países del mundo la elaboración de compost en base a residuos sólidos municipales no es una técnica nueva o desconocida. El compost se obtiene en períodos de 4 días hasta 6 meses, empleando desde métodos manuales hasta grandes complejos industriales (4).

Existe poca información detallada de la situación de las plantas de compost en América Latina, pero se sabe que en México, Ecuador y Brasil actualmente funcionan plantas de compost, la mayoría de

ellas operando con dificultades y utilizando tecnología semi-industrial (5).

A continuación se detalla la situación de las principales plantas de compostificación en América Latina:

TABLA No. 1

Situación de las plantas de compost en America Latina

CIUDAD/PAIS	CARACTERISTICAS/SITUACION
Acapulco, México	Se compró una planta y nunca se instaló quedando la maquinaria abandonada
Guadalajara, México	160 ton/turno funcionó 15 años (cerrada)
Monterrey, México	160 ton/turno funcionó 15 años (cerrada)
Oaxaca, México	80 ton/turno, en operación
San Salvador, El Salvador	Cerrada desde hace más de 20 años
Venezuela	Se adquirió una planta y nunca funcionó
Quito, Ecuador	Planta piloto de 5 ton/turno con biodigestor rotatorio, funciona desde hace más de 20 años
Cuenca, Ecuador	Planta piloto con biodigestor rotatorio en funcionamiento
Guayaquil, Ecuador	Se compró una planta y nunca se instaló produciendo una crisis política
Brasilia, Brasil	Se instaló una planta que tuvo muchas dificultades en el inicio de su operación
Brasil	Se han instalado un cierto número de plantas pequeñas cuyo funcionamiento no ha sido evaluado a mediano plazo. En Sao Paulo y Río de Janeiro funcionan plantas grandes.

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (OPS). Guías para el Desarrollo del Sector de Aseo Urbano en Latinoamerica y el Caribe, 1991.

Como se puede apreciar de la tabla No. 1, un número importante de plantas de compostificación tuvieron dificultades para iniciar las operaciones de producción de compost. También se observa que la mayoría de estas han dejado de operar. El establecimiento de un régimen positivo de financiamiento ha constituido la mayor limitación para la disseminación de la tecnología de compostificación a nivel masivo.

En el Perú la producción de compost historicamente ha sido una práctica desarrollada exclusivamente por los agricultores, quienes utilizan una mezcla de restos de cosecha y estiércol animal como insumo para la preparación del producto, que luego lo aplican para mejorar los terrenos agrícolas (6).

En la ciudad de Lima se produce compost en pequeña escala en los viveros de plantas, el cual se prepara a partir de restos vegetales, aserrín y estiércol. En relación al uso de residuos sólidos municipales para la preparación del compost, actualmente en Lima se han implementado diversas plantas de operación manual a pequeña escala, que son muy similares al sistema que se implementó y evaluó en el presente trabajo. Las pequeñas plantas de compost existentes en Lima se implantaron en base a los resultados de la presente investigación, en tanto constituyó el primer proyecto de esta naturaleza en el Perú. Actualmente existen plantas de compost en los distritos de Ventanilla, Carabayllo, Villa El Salvador y El Agustino.

2. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo es examinar y proponer una alternativa tecnológica apropiada para la recuperación de los residuos sólidos de mercados, aplicando un método de operación manual y bajo costo para la transformación de los residuos sólidos orgánicos en compost. Para lo cual se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la cantidad y contenido de materia orgánica de los residuos sólidos de mercados a fin de obtener información básica de diseño del sistema de compostificación.
- Diseñar e implementar una planta de producción manual de compost a escala real de funcionamiento, priorizando el empleo de mano de obra y el uso de herramientas y equipos de bajo costo.
- Analizar rigurosamente el proceso de transformación de los residuos sólidos de mercados en compost con el propósito de determinar anomalías y optimizar la producción de compost.
- Determinar la calidad físico-química del compost, tanto en los parámetros indicativos de sus bondades de mejorador de suelos (N, P, como en los parámetros de contaminación (Cu, Pb y Cd).
- Establecer una aproximación del costo de producción de compost a fin de obtener información básica para su comercialización.
- Arribar a conclusiones y recomendaciones que permitan disponer de un modelo tecnológico **apropiado** la elaboración de compost con residuos sólidos orgánicos de mercados, que pueda ser implementado por los municipios.

CAPITULO II

PRINCIPIOS BASICOS PARA LA PRODUCCION DEL COMPOST

3. PRINCIPIOS BASICOS PARA LA PRODUCCION DE COMPOST

Por definición el compost es un excelente mejorador de la calidad orgánica del suelo y se puede aplicar en terrenos agrícolas, parques y jardines y en la recuperación de zonas eriaceas (7).

Existen diversos tipos de compost según las características del insumo utilizado para su preparación. Por lo general, tanto mejor es el compost cuando este se obtiene a partir de material orgánico heterogéneo. Es decir mientras más diversa sea la mezcla de materiales de origen animal y vegetal, que se utilice para la preparación del compost mayor será la riqueza del mismo (8).

Dado que la relación carbono:nitrogeno (C/N) suministra información sobre la naturaleza de la materia orgánica esta relación se viene utilizando como parámetro de madurez del compost, así como indicador del correcto balanceo del insumo inicial (ver mayor información en el punto 4.3 del presente capítulo). Es recomendable preparar compost con un insumo balanceado en compuestos con alta y baja relación de carbono:nitrogeno, tratando de tener un relación inicial de 30:1 (9). A continuación se presenta una relación de elementos orgánicos con alta y baja relación carbono:nitrogeno, que normalmente se pueden encontrar disponibles en los residuos sólidos municipales.

TABLA No. 2

Relación carbono:nitrógeno de algunos compuestos orgánicos presentes en los residuos sólidos

Alta relación carbono:nitrogeno	Baja relación carbono:nitrogeno
Cascaras de papa	Plantas frescas
Cascara de platano	Visceras de pescado
Hojas secas de arboles	Sangre deshidratada
Restos de caña de azucar	Visceras de pollo
Papel	Leche malograda
Paja	Residuos de cerveza
Ramitas	Visceras de res
Pigeon pea stalks	Cascos y cuernos
Residuos de algodón	Alga marina
Fibras de coco	
Cascara de maní	

Fuente: Marietjevvan Eeghen. The Preparation and Use of Compost. Holanda, 1983.

La calidad del compost se mide en función al contenido de los elementos esenciales para la mayoría de las plantas, como son el contenido total de materia orgánica y los valores de nitrógeno, fósforo y potasio. Además su pureza o nivel de contaminación se establece de acuerdo al contenido de metales pesados tales como cobre, plomo y cadmio.

Como se mencionó líneas arriba la producción de compost se realiza utilizando residuos de origen vegetal y animal. En general, se busca aprovechar la capacidad natural de la materia orgánica de degradarse, creando condiciones controladas de descomposición a fin de obtener en un tiempo pre-determinado el compost.

El proceso de compostificación se puede clasificar, según el requerimiento predominante de oxígeno, en dos grandes grupos o tipos de tratamiento: anaeróbico y aeróbico. La compostificación anaeróbica se realiza en un medio carente de oxígeno y se caracteriza por la producción de olores desagradables y la baja temperatura alcanzada durante el proceso. La compostificación aeróbica se desarrolla en presencia de oxígeno y posee múltiples ventajas respecto al método anaeróbico (3), tales como:

- La escasa producción de olores objetables, que permite instalar plantas de producción de compost en zonas urbanas
- La alta temperatura del medio que posibilita la eliminación de la mayoría de microorganismos patógenos.
- La relativamente alta velocidad de descomposición de la materia orgánica, que exige menos espacio de tratamiento que la compostificación anaeróbica.

Debido a las desventajas que el método anaeróbico posee sobre la compostificación aeróbica, la aplicación de este último proceso se ha difundido predominantemente para la recuperación de residuos sólidos orgánicos a distinta escala. Prácticamente todas las plantas de producción de compost existentes en el mundo operan procesando la materia orgánica en medios aeróbicos naturales o con inyección forzada de oxígeno.

Además, de acuerdo al tipo de tecnología aplicada el proceso de transformación de los residuos sólidos municipales en compost en condiciones aeróbicas, se puede dividir en tres grandes grupos:

- Compostificación manual.
- Compostificación semi-industrial
- Compostificación industrial.

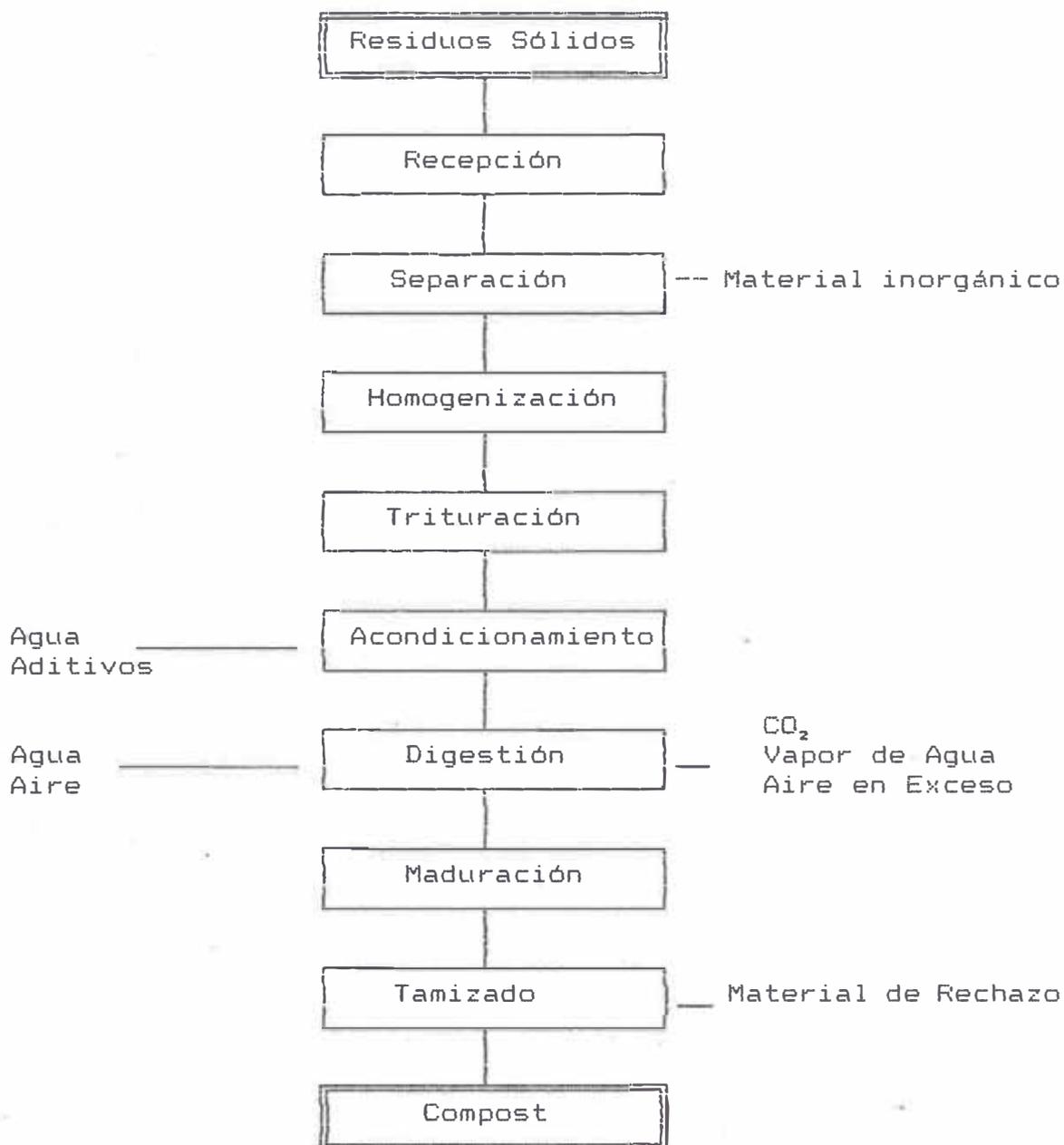
En términos generales, los distintos métodos de preparación de compost aplican -con distintos niveles de empleo de mano de obra directa-, los mismos principios de tratamiento de los residuos sólidos, como: separación del material inorgánico, molienda, oxigenación y humedecimiento del material orgánico y tamizado del producto final.

Aparte de la materia orgánica, la producción de compost por lo general se realiza utilizando aditivos esenciales fáciles de obtener como agua, aire y algún regulador de pH, tipo cal apagada o cenizas. Los sub-productos que se desprenden de los procesos de compostificación son principalmente los elementos inorgánicos tales como metales y plásticos, y compuestos orgánicos difíciles de descomponer como papel y cartón. Los sub-productos de la compostificación normalmente se disponen en algún relleno sanitario.

De otro lado, la selección del tipo de tecnología a aplicar para la preparación de compost depende de:

- La posibilidad de acceder a tecnología sofisticada
- La disponibilidad y costo de la mano de obra
- La cantidad y calidad de residuos sólidos a tratar
- La disponibilidad de espacio
- la disponibilidad de capital para realizar la inversiones requeridas.

Diagrama de Flujo de un Proceso Típico de Compostificación



Considerando las ventajas del método de compostificación aeróbico y los criterios de selección de la tecnología anteriormente indicados, la presente investigación se ha **realizado** implementando y evaluando un sistema completamente manual y de bajo costo para la obtención de compost en condiciones húmedo-aeróbicas.

En este sentido se estableció como período de maduración de la materia orgánica en compost a un plazo de 3 meses, siendo la técnica empleada de formación de rumas en hilera. A efectos de homogenizar, rectificar el nivel de humedad y permitir la aereación del material en tratamiento, se efectuaron en cada ruma tres volteos durante ese período. El primero a la 2da. semana, el segundo a la 5ta. semana y tercero a la 8ava. semana.

El período total de maduración (3 meses), así como la frecuencia y número de volteos se establecieron preliminarmente en base la lectura de la literatura pertinente. De todas maneras, parte de la investigación consistió en evaluar el acierto de tales consideraciones preliminares.

3.1 Principios de la descomposición orgánica en medio humedo-aeróbico

La descomposición de la materia orgánica en condiciones humedo-aeróbicas, se basa en la degradación microbiana de los sólidos orgánicos por medio de una respiración aerobia (9) La oxidación de la materia orgánica se ve favorecida por un nivel adecuado de humedad y pH, y produce una liberación espontánea de energía (reacción exotérmica) que, en este caso, se manifiesta con el incremento de la temperatura del medio. Aún cuando existen diferentes compuestos en los residuos sólidos orgánicos con complejas y diferentes dinámicas de degradación, la siguiente reacción de un hidrato de carbono ilustra un caso típico de metabolismo en un medio aeróbico (10):



La reacción aeróbica mostrada se desarrolla espontáneamente y libera dióxido de carbono, agua y energía, los cuales no deben generar impactos ambientales negativos al entorno de operación.

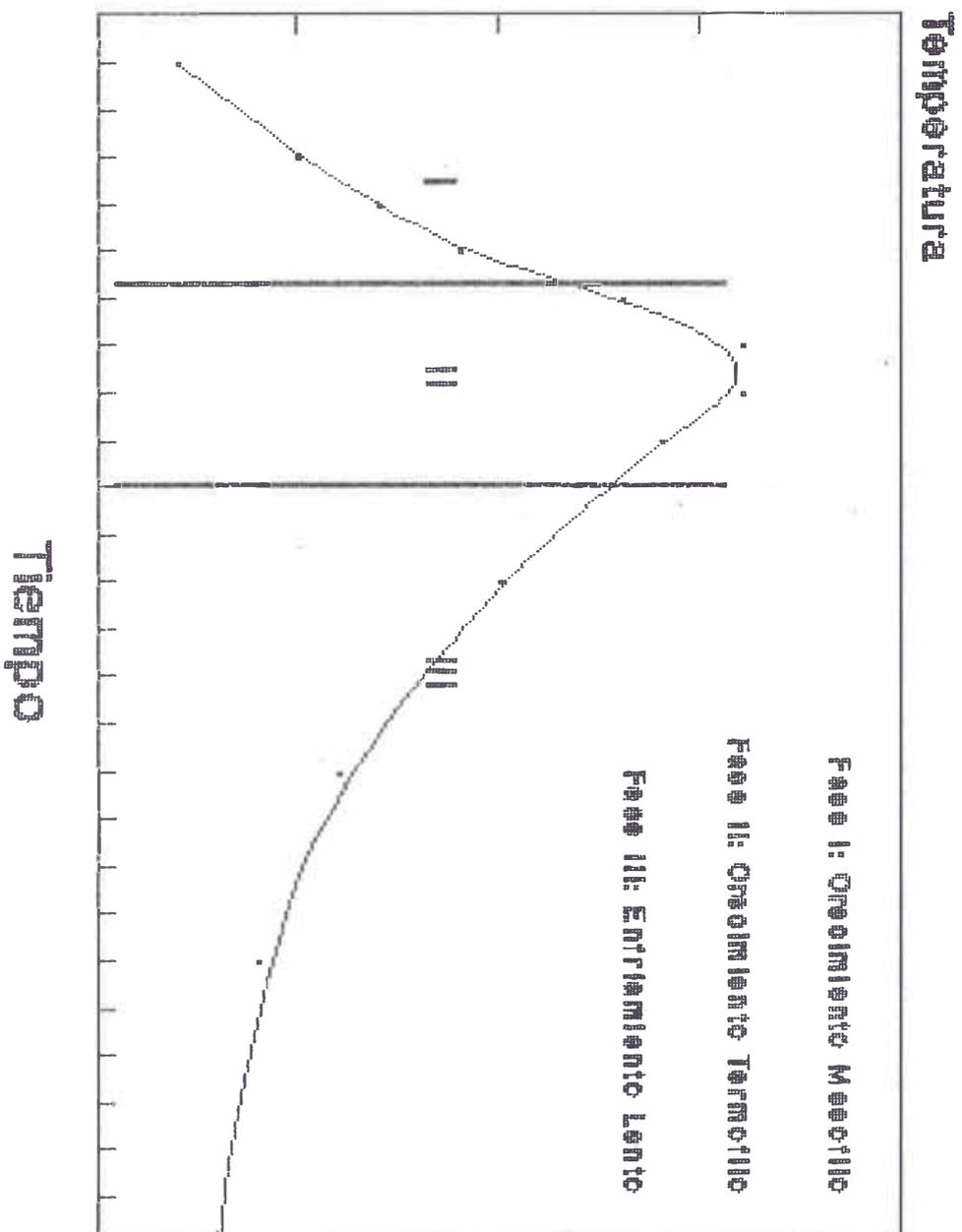
3.2 Fases del proceso aeróbico

Durante la descomposición de la materia orgánica se observan tres fases claramente diferenciadas por los distintos niveles de temperatura y poblaciones microbianas interactuantes (9). La primera fase de incremento acelerado de temperatura hasta los 45 °C, ocurre bajo condiciones óptimas entre las primeras 12 a 24 horas, y se caracteriza por la predominancia de microorganismos mesófilos que sobreviven entre los 10 y 45 °C. La segunda fase se establece en el rango de 45 a 55 °C de temperatura llegando hasta los 90 °C, se define por la presencia masiva de microorganismos termófilos o termo-tolerantes, quienes sobreviven hasta los 65 °C. Finalmente la última fase se genera ante la estabilización de las reacciones biológicas, que dan lugar a un enfriamiento lento del medio con la consiguiente aparición de microorganismos mesófilos y especies de hongos como actinomicetos.

A continuación se presenta un gráfico que resume las fases por la que la descomposición aeróbica atravieza.

Gráfico No. 1

Fases de la Descomposición Aeróbica



3.2.1 Importancia de la humedad

Según la disponibilidad del agua en forma de humedad en el sustrato (materia orgánica), este representa diferentes situaciones para las poblaciones microbianas. La utilización del agua esta en relación directa con el grado de dificultad que pueden tener los diversos tipos de microorganismos para metabolizar los elementos necesarios para su crecimiento. Se indica que la humedad óptima para la fermentación de los residuos sólidos orgánicos municipales es del 50% al 60%, y de 67% cuando el contenido de papel periódico sea superior al 40% (9).

El valor mínimo de humedad necesario para mantener una actividad microbiana relevante para los fines de la compostificación es de 40%, mientras que valores superiores al 70% de humedad, generan procesos anaeróbicos con presencia de olores desagradables por obstrucción de los pequeños espacios libres disponibles entre las partículas orgánicas, que impiden el ingreso del aire.

La humedad adecuada se logra con la práctica mediante el riego dosificado del material en tratamiento.

3.2.2 Importancia de la temperatura y aereación

La aereación es importante a fin de evitar procesos anaeróbicos, además de permitir la reducción de la temperatura sobre todo cuando esta supera los 70 °C. Un exceso de calor en el material en tratamiento afectaría la población microbiana, con la consiguiente alteración del proceso de compostificación.

La demanda de oxígeno en residuos orgánicos municipales llega a 500 g O₂/hora/ton, la cual se consigue satisfacer mediante el volteo periódico del material en tratamiento o por la inyección forzada de oxígeno al substrato.

3.2.3 Importancia del pH

Inicialmente el substrato donde ocurren los procesos de la compostificación suele desplazarse al rango ácido por la generación de ácidos orgánicos, lo cual afecta el normal desarrollo de las poblaciones microbianas, por ello es importante controlar el pH, sobre todo en la primera fase del tratamiento. En general, es necesario verificar que el pH no se ubique en rangos extremos de alcalinidad o acidez, siendo el medio neutral el óptimo para la producción del compost.

En la práctica el control del pH se realiza aplicando regularmente cenizas o alguna forma comercial de carbonato de calcio.

3.3 Relación Carbono:Nitrogeno (C/N)

Constituye el aspecto más importante de la compostificación, en tanto define la calidad de la materia prima y nivel de maduración del compost. El valor inicial recomendado de la relación carbono:nitrógeno (C/N) es de 26 a 35 siendo 30 el óptimo, dado que la mayoría de los microorganismos utilizan 30 partes en peso de carbono por cada parte de nitrógeno.

Por lo general los residuos de origen animal poseen alto contenido de nitrógeno y los desechos de madera o paja

contienen bajo nivel de nitrógeno. Si se emplea material con predominio de compuestos de alta relación C/N existen riesgos de que el proceso de compostificación sea lento. Mientras que si existe en el insumo excesivo material con baja relación C/N la pérdidas de nutrientes y fundamentalmente nitrógeno serán altas.

Finalmente, la relación óptima de C/N se logra utilizando una masa heterogénea de residuos sólidos orgánicos.

CAPITULO III
DESARROLLO DEL PROYECTO

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

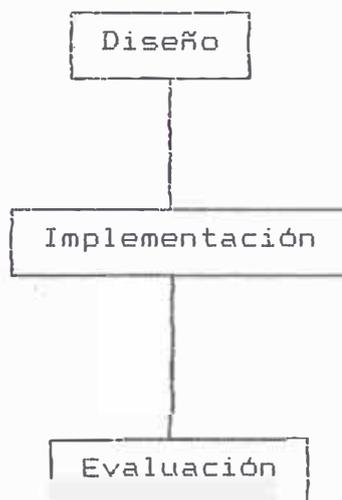
La investigación se desarrolló en el distrito de San Martín de Porres, Lima, entre 1988 y 1989, que contaba con 432,768 habitantes en 1989 (11). Cabe señalar que el proyecto tuvo buena acogida por parte de la población y gobierno local debido a las graves carencias del servicio de limpieza pública en el distrito de San Martín de Porres: se estima que la cobertura del servicio de limpieza pública de los mercados y hospitales, en aquella fecha sólo alcanzaba al 62.1% y la cobertura de recolección a domicilio llegaba al 57.4% (12).

La investigación tuvo tres momentos claramente diferenciados: diseño, implementación y evaluación. Así:

- . Estudios preliminares
- . Selección de la técnica

- . Organización de mercados
- . Habilitación del terreno

- . Medición de parámetros físico-químicos
- . Control de calidad del compost



Como se puede observar en el esquema, en la primera etapa se realizaron los estudios preliminares de identificación y estudio de los residuos sólidos de los mercados, así como la ubicación

y evaluación del agua y suelo de la planta de compost, que permitieron diseñar del proyecto. En la segunda etapa se intensificaron las actividades de promoción y organización y se habilitó el terreno de la compostificación con la ayuda del personal de la municipalidad de San Martín de Porres. En la tercera etapa se evaluó la operación de la planta, así como la calidad del compost final, con mediciones sistemáticas de campo.

4.1 Estudios preliminares

Los estudios preliminares se realizaron durante los meses de setiembre, octubre y noviembre de 1988. En esta etapa se evaluó información de campo sobre la cantidad y contenido de materia orgánica de los residuos sólidos de los mercados del distrito de San Martín de Porres. Además se determinó la calidad del suelo y agua de la planta a fin de preveer la posible contaminación del material en tratamiento al incorporar agua o al ponerse en contacto con el suelo.

4.1.1 Identificación de los mercados

En el distrito de San Martín de Porres existen 29 mercados y 37 asociaciones de comerciantes ambulantes. La mayoría de los mercados y asociaciones de comerciantes son pequeñas agrupaciones de trabajadores privados, que se reúnen para comercializar diversos productos de primera necesidad como verdura, pollo, pescado, carne, etc., trabajando en promedio de 7:00 am. a 3:00 pm. El número de socios en los pequeños mercados y asociaciones varía entre 20 y 360, pudiendo establecerse que cada socio representa un puesto de venta (12).

Por lo general, la limpieza de los mercados la realiza un barrendero contratado por la propia organización, que se encarga de limpiar el área del mercado con herramientas simples como escoba y carretilla. El mismo barrendero coloca los residuos sólidos de los mercados en algún depósito cercano o en la vía pública, esperando que el camión del servicio municipal de limpieza pública evacue los desechos hacia el relleno sanitario. El municipio trata de proporcionar un servicio diario de recolección de residuos sólidos en los mercados, sin embargo esto no se logra cumplir la mayoría de las veces, lo cual se refleja en la limitada cobertura anteriormente indicada.

Debido a la ubicación cercana a la planta de compost y al interés de los comerciantes de participar en el proyecto, se seleccionaron 4 pequeños mercados del distrito de San Martín de Porres: Naranjal, Virgen del Carmen, ASCOPRO y COOPRO con 117, 55, 68 y 55 puestos de venta cada uno respectivamente para que participen en el proyecto. El mercado Naranjal se ubica en el km. 17.5 de la Panamericana Norte, Virgen del Carmen se encuentra en la Urbanización Infantas y ASCOPRO y COOPRO se ubican en la Urbanización PRO (ver plano de ubicación en el punto 4.1.3).

En cada uno de los 4 mercados la organización interna es similar: Los puestos de venta se encuentran agrupados por giros o rubros y existe una dirigencia central que representa al grupo de comerciantes. A continuación se

proporciona información específica de cada uno de los mercados, indicando el número total de puestos de venta por giros.

TABLA No. 3.

Número de Puestos de Venta por Mercado

Mercado	Naranjal	Virgen del Carmen	ASCOPRO	COOPRO	Total
Giro					
Verdura	24	18	24	15	81
Pollo	15	7	5	5	32
Pescado	8	4	3	3	18
Fruta	14	4	10	5	33
Carne	7	5	5	5	22
Comida	14	7	10	17	48
Otros(1)	35	10	11	5	61
TOTAL	117	55	68	55	295

(1) Residuos inorgánicos de los giros de especería, abarrotes, y juguería.

4.1.2 Estudio de los residuos sólidos de mercados

Por motivos presupuestales y logísticos no se pudo realizar el estudio en cada uno de los mercados. Así, se eligieron 2 mercados: Naranjal y Virgen del Carmen para realizar los estudios de producción y contenido de materia orgánica de los residuos sólidos, los cuales se realizaron en coordinación con los dirigentes de cada uno de los mercados. Estos mercados fueron seleccionados debido a que, en las reuniones de coordinación, mostraron bastante interés en colaborar con los estudios de los residuos sólidos.

Según el nivel de precisión esperado y por cuestiones operativas, se estimó conveniente realizar el estudio de los residuos sólidos de los mercados por espacio de una semana completa con la primera muestra de descarte. De esta manera el estudio se realizó pesando los residuos sólidos por espacio de 8 días consecutivos. Debido a que se buscó obtener el volumen de desechos producido por día, la muestra del primer día se desechó para todos los efectos, en tanto se desconocía si estos desechos correspondían a la producción de uno o más días.

Dado que era necesario conocer la cantidad neta de residuos orgánicos y una aproximación del tipo de desecho predominante, se obtuvieron pesos totales y parciales por día, para cada uno de los componentes de los residuos sólidos, según la siguiente definición:

- Restos de verdura: tallos y hojas de verduras
- Restos de pollo: principalmente plumas
- Restos de pescado: visceras de pescado
- Restos de frutas: cascaras de frutas
- Otros: inertes (plástico, metal, vidrio, papel, etc.).

El desarrollo de la medición de pesos fue simple y directa. Se aprovechó la propia organización habitual de los comerciantes según el tipo de producto que comercializan (por giros), para colocar un recipiente metálico de 200 litros en cada uno de ellos. Así, se dispuso un recipiente para cada elemento de los desechos

a analizar, el cual se pesó por por espacio de 8 días, descartando la muestra del primer día.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en 1988:

TABLA No. 4.

Resultados del estudio de los residuos sólidos en el mercado Virgen del Carmen en San Martín de Porres.

FECHA	Vie 7.10	Sab 8.10	Dom 9.10	Lun 10.10	Mar 11.10	Mie 12.10	Jue 13.10
MEDICION	1	2	3	4	5	6	7
GIRO\FESO (kg)							
Verdura	30	32	43	35	34	24	25
Follo	35	70	140	125	50	71	75
Pescado	22	50	100	35	35	21	22
Fruta	12	19	18	8	10	11	10
Otros(1)	9	10	9	10	10	9	3
TOTAL (kg)	108	181	310	213	139	134	135

(1) Residuos inorgánicos de los giros de especería, abarrotes, y juguería.

Los resultados revelan una gran variación en la producción de residuos sólidos por día, que se pudo constatar se debe a la variación en la magnitud de las ventas de los comerciantes de los mercados. Los días de menor y mayor producción de residuos sólidos son el viernes y domingo con 108 kg. y 310 kg. respectivamente. El giro que aporta mayor cantidad de residuos sólidos orgánicos es el de Pollo, cuyos desechos están constituidos principalmente por plumas.

Siguiendo la misma metodología se analizó la cantidad de residuos sólidos por giros en el mercado Naranjal con el siguiente resultado:

TABLA No. 5

Resultados del estudio de los residuos sólidos en el mercado Naranjal en San Martín de Porres.

FECHA	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun	Mar
MEDICION	1	2	3	4	5	6	7
GIRO\PESO (kg)							
Verdura	54	106	58	134	164	77	56
Pollo	103	126	115	146	270	105	157
Pescado	45	62	71	99	153	56	82
Fruta	51	28	51	29	17	24	27
Otros(1)	90	55	51	55	19	18	33
TOTAL (kg)	343	377	346	463	623	280	355

(1) Residuos inorgánicos de los giros de especiería, abarrotes, y juguería.

Los resultados también muestran una variación diaria bastante alta: el domingo se pesó 623 kg. y el lunes 280 kg., ambos pesos representan el valor máximo y mínimo respectivamente.

Con los resultados obtenidos de cada uno de los mercados se calculó el peso máximo maximorum obtenido al sumar los máximos pesos por rubro, el peso promedio y la desviación estandar. El motivo de determinar el peso máximo maximorum fue establecer el caso de diseño más desfavorable, en la

medida que el sistema de recolección debería estar diseñado por seguridad para soportar, no el promedio de los pesos sino el valor máximo entre los máximos.

De esta manera se tiene para el mercado Virgen del Carmen lo siguiente:

TABLA No. 6

Resumen del estudio de residuos sólidos en el mercado Virgen del Carmen en San Martín de Porres.

RESULTADO GIRO	Promedio		Peso Diario		s(n-1)	
	kg.	%	Máximo kg.	Mínimo kg.	kg.	%
Verdura	31.8	18.3	43.0	17.5	4.9	15.4
Pollo	80.8	46.4	140.0	35.0	38.2	47.3
Pescado	40.6	23.3	100.0	20.5	28.2	69.5
Fruta	12.5	7.1	19.0	8.0	4.3	34.4
Otros(1)	8.5	4.9	10.0	3.0	2.5	29.4
TOTAL	174.2	100.0	312.0	84.0		

(1) Residuos inorgánicos de los giros de especiería, abarrotes y jugueria.

De la tabla se tiene que el peso promedio para el mercado Virgen del Carmen es de 174.2 kg/día con un máximo maximorum de 312 kg/día.

Análogamente, la información correspondiente al mercado Naranjal, es:

TABLA No. 7

Resumen del estudio de residuos sólidos en el mercado Naranjal en San Martín de Porres.

RESULTADO GIRO	Promedio		Peso Diario		s(n-1)	
	kg.	%	Máximo kg.	Mínimo kg.	kg.	%
Verdura	92.7	23.3	164.0	54.0	43.3	46.7
Pollo	146.0	36.7	270.0	103.0	58.3	39.9
Pescado	81.1	20.4	153.0	45.0	36.3	44.8
Fruta	32.4	-	51.0	24.0	13.3	41.0
Otros(1)	45.9	11.5	90.0	18.0	25.2	54.9
TOTAL	398.1	100.0	728.0	244.0		

(1) Residuos inorgánicos de los giros de especiería, abarrotes y juguería.

Se observa que la producción promedio de residuos sólidos en el mercado Naranjal es de 398.1 kg./día, con un máximo maximorum de 728.0 kg/día.

De la información obtenida se puede estimar que entre el mercado Naranjal y Virgen del Carmen se generan 572 kg/día de residuos sólidos con un máximo maximorum de 1040 kg., y contenido de materia orgánica entre 88-95%.

En ambos mercados la información sobre la desviación estandar confirma la alta dispersión de los datos respecto del promedio, por ejemplo la producción de restos del giro de pollos en el mercado Virgen del Carmen es de 80.8 kg/día con una desviación estandar bastante alta de 38.2 kg. o como el promedio de los restos del giro de verduras

del mercado Naranjal de 92.7 kg/día con un desviación estandar notoriamente alta de 43.3 kg. Esta elevada dispersión indica la importancia de preveer en el diseño los valores máximos (caso más desfavorable).

En relación a la "calidad" de los residuos de los mercados es importante anotar que, aun cuando en los residuos sólidos predominan los restos del giro de pollos, estos presentan un contenido bastante heterogeneo y aparentemente balanceado respecto a la relación carbono:nitrogeno. Existen por ejemplo los siguientes desechos (enumerados de mayor a menor relación C/N): restos de pescado entre un 20 y 23%, restos de verduras entre 18 y 23% y restos de frutas entre 7 y 8%. Lo cual justificaría a nivel de preliminar utilizar los residuos sólidos orgánicos de los mercados como insumo para preparar el compost, sin necesidad de incorporar ningún aditivo.

La expansión de la información para los 4 mercados, se realizó aproximándola en base al número de puestos de venta de cada uno de ellos. Dado que las diferencias entre las proporciones del número de puestos por giro entre cada uno de los mercados no es sensiblemente alta -como se aprecia en la tabla No. 3 del punto 5.1.1-, la expansión de la información se realizó teniendo en cuenta el número total de puestos de venta y la producción de residuos sólidos obtenida en los estudios.

Así, entre los mercados Virgen del Carmen y Naranjal suman 172 puestos de venta, que producen en promedio 572.0 kg/día y 1,040 kg/día como peso máximo maximorum, lo cual por simple proporción arroja un promedio de 3.3 kg-día/puesto, con 6.04 kg-día/puesto como peso máximo maximorum, estos valores unitarios permiten estimar la siguiente información para los mercados ASCOPRO y COOPRO:

TABLA No. 8

Estimación de la producción de residuos sólidos en los mercados ASCOPRO y COOPRO en San Martín de Porres

DATOS MERCADO	No. de puestos (unidad)	Promedio por día (kg./día)	Máximo Maximorum (kg./día)
ASCOPRO	68	224.4	410.7
COOPRO	55		332.2
TOTAL	123	405.9	742.9

Finalmente, la producción total promedio estimada de los 4 cuatro mercados es de 977.9 kg./día con un peso máximo maximorum de 1,782.9 kg./día.

4.1.3 Ubicación de la planta de producción de compost

El terreno para la planta de producción de compost se ubicó a la altura del Km. 24.5 de la autopista Panamerica Norte en el distrito de San Martín de Porres. El lugar se seleccionó debido a que es bastante aparente para instalar un pequeña planta de producción de compost. Dispone de

agua de acequia procedente del río Chillón, su topografía es plana, el área es suficiente (aproximadamente 2000 m²) y, presenta un cerco vegetal natural que lo aísla del asentamiento humano Chillón, la zona habitada más cercana, y finalmente, la distancia del terreno al mercado más alejado es manejable (no mayor de 10 km.). El terreno fue concedido en uso por la Municipalidad de San Martín de Porres.

Según el diseño (ver el punto 4.3.2 del Capítulo III) el área mínima requerida es de 1000 m². El terreno se niveló y limpió de malezas y piedras a fin de disponer del área requerida, además se colocó un cerco de plantones de alamos y sauces en el perímetro con el propósito de crear una cortina rompevientos y delimitar el espacio ocupado por la planta de compost, finalmente se instalaron 2 carteles informativos en cada frente, con señales precisas para evitar el arrojado de residuos sólidos por personas ajenas al proyecto.

Finalmente, el terreno se utilizó en forma natural, no se construyó ninguna base de concreto, debido a que es recomendable, que el agua excedente del proceso de compostificación se infiltre o drene hacia el sub-suelo, a fin de evitar saturar de agua las capas inferiores del material orgánico en tratamiento, lo cual generaría un medio anaeróbico no deseado. Respecto a la probable contaminación del agua subterránea existente en el lugar,

se descartó un impacto negativo sobre este recurso, en tanto se pudo comprobar por simple inspección que el nivel estático de la napa freática se encuentra a más de 3.0 m.

4.1.4 Análisis de la calidad del agua

Se evaluó la calidad del agua de la acequia procedente del río Chillón colindante al terreno de elaboración del compost, debido a que se planteó utilizarla como fuente de agua para regar periódicamente el compost, y de estar contaminada el agua podría contaminar el material en tratamiento y perjudicar la calidad del producto final (compost).

Sin embargo, en la medida que el control de calidad final del producto se realizaría analizando ampliamente el mismo compost, tanto en parámetros indicadores de fertilidad como en indicadores de contaminación, el análisis de calidad del agua de la acequia tuvo un **carácter** referencial y de seguridad.

Se estimó conveniente determinar nitratos, fosfatos, conductividad eléctrica y pH, debido a que grandes alteraciones en estos valores respecto a estándares referenciales establecidos para cursos superficiales de agua, indicarían la contaminación de la acequia, por agentes que podrían ser causados por el uso intensivo de una serie de agroquímicos, en las zonas agrícolas del valle de Chillón aguas arriba.

Se realizaron tres mediciones en las horas que se estimó se iba a trabajar en la planta de compost. El resultado es:

TABLA No. 9

Resultados de análisis del agua de la planta de producción de compost en San Martín de Porres, en 1989.

Fecha/hora	22.09.88 (10:00)	24.09.88 (09:45)	27.09.88 (11:05)
Conductividad eléctrica (uS/cm)	1,230	1,300	1,250
pH	7.8	7.75	7.8
NO ₃ (ppm)	0.27	0.27	0.27
F ₂ O ₃ (ppm)	1.0	<1.0	<1.0

En la tabla se aprecia que los resultados se mantienen similares durante los tres días muestreados, lo cual indica que la calidad del agua de la acequia se mantiene constante. Así mismo, el pH indica una tendencia leve al rango alcalino, y los valores de nitratos y óxido de fósforo son bajos, mientras que la conductividad eléctrica es normal, según las referencias de calidad de cursos superficiales de agua. Sin embargo, de acuerdo a la Ley General de Aguas del Perú, el contenido de NO₃ del agua (>0.10 ppm) de la acequia obligaría a un uso restringido en la agricultura.

En conclusión el agua de la acequia se encuentra apta para la preparación del compost.

4.2. Selección de la técnica de compostificación

La técnica de compostificación se seleccionó teniendo en cuenta el volumen total de residuos sólidos a procesar (cerca a 1000 kg/día), además, como ya se mencionó líneas arriba, tuvo gran peso en el diseño de la técnica la selección de un sistema sencillo de operar y de baja inversión inicial.

Se optó por el método de compostificación en medio húmedo-aeróbico de operación manual y formación de rumas en hilera. El cual consiste en construir diariamente en la superficie del terreno una pequeña ruma con los residuos sólidos orgánicos, que se va apoyando a la ruma del día anterior formando una hilera continua. La aereación y homogenización de la ruma se logró con 3 volteos espaciados en los 3 meses, que se estableció como plazo de maduración del compost. Finalmente la ruma se tamiza, y se retira el compost construyendo en el mismo lugar una ruma con residuos orgánicos del día, así la producción es continua y el terreno no se agota o satura (ver mayores detalles en el punto 4.3.1). Este método presenta las siguientes ventajas:

- No requiere de excavación de pozas
- Utiliza mano de obra
- La inversión inicial es baja
- La técnica es sencilla
- Emplea recursos locales
- Permite recepcionar residuos sólidos a diario
- Permite la producción diaria de compost
- No genera malos olores.
- No genera moscas

La desventaja del método elegido es su limitada capacidad de procesar un mayor volumen de residuos sólidos, y el escaso impacto que la tecnología como tal, genera en la promoción del desarrollo de la industria nacional.

Conviene mencionar que, en general se evitó emplear un sistema semi-industrial o industrial, debido a la poca cantidad de residuos sólidos a procesar, y porque no se disponía de recursos económicos suficientes para invertir en maquinaria industrial para tratar los residuos sólidos, que dicho sea de paso no se produce en el Perú.

4.3 Diseño de la planta de producción de compost

El proyecto técnico se diseñó distinguiendo principalmente tres componentes; el almacenamiento de los residuos sólidos en los mercados, la recolección y transporte, y el procesamiento de los residuos sólidos para convertirlos en compost.

El almacenamiento de los residuos sólidos se realizó en los mercados, bajo responsabilidad de los propios comerciantes. En el mercado Naranjal diariamente un barrendero recojía y depositaba los residuos sólidos en cilindros metálicos de 200 litros colocados en lugares estratégicos y de fácil acceso. Mientras que en el mercado Virgen del Carmen, COOPRO y ASCOPRO un barrendero colòcaba los residuos sólidos en ambientes acondicionados según el diseño arquitectónico de los mercados.

A excepción del domingo, la recolección de los residuos sólidos se realizaba a diario con un pequeño camión de baranda de 2.5 toneladas de capacidad de carga, a fin de soportar el peso máximo maximorum estimado (1782.9 kg/día), que eventualmente se podría tener.

Debido a que no se pudo encontrar referencias sobre rendimientos de obreros para plantas de compost de operación manual, el número de obreros que conformarían la cuadrilla de apoyo en la recolección de los residuos sólidos de los mercados, así como participarían en las tareas propias de la compostificación, se estableció correlacionando el indicado peso máximo maximorum de residuos sólidos, con las diferentes manipulaciones que estos sufren (ver punto 5.1.3), versus estimaciones empíricas de rendimientos registradas por el autor en experiencias de micro-relleno sanitarios de operación manual en el distrito de Ate-Vitarte en 1988.

Como referencia aproximada, se tuvo que 1 obrero en 3 horas de trabajo neto puede realizar, con 1 tonelada de residuos sólidos, el siguiente trabajo principal: separar el material inorgánico, construir una celda de 1.2 m. de altura, compactarla y cubrirla con tierra. Dado que estas tareas son más o menos equivalentes a las que se desarrollarían para la compostificación, preliminarmente se asumió el rendimiento indicado, respetando además el horario de trabajo del personal del municipio de San Martín de Porres que participaría en el proyecto (de 7:00 am. a 1:00 pm.).

De esta manera se tuvo que para manipular cerca de 2.0 toneladas por día en el caso más desfavorable (peso máximo maximorum), se requeriría de 2 obreros por 3 horas netas. Al agregarle a ello el tiempo de apoyo en la recolección y transporte de residuos sólidos de mercados, se estableció preliminarmente una cuadrilla de 3 obreros, que luego de constituida recibieron entrenamiento en conceptos teóricos y prácticos de la compostificación por el equipo técnico responsable del proyecto.

La recolección se iniciaba, de lunes a sábado, a las 7:00 am. en el punto más alejado a la planta de producción de compost: mercado Naranjal, continuando luego en el mercado Virgen del Carmen, y terminando con el mercado ASCOPRO y COOPRO. El camión llegaba a la planta de producción de compost a las 10:30 am., en donde se iniciaba el tratamiento de los residuos sólidos.

4.3.1 Descripción del procedimiento técnico

Se ensayó un método de compostificación húmedo-aeróbico de operación netamente manual: se extrae la fracción orgánica de los residuos sólidos que se coloca diariamente en rumas en el terreno habilitado, de tal manera que la materia fresca se adhiera a la ruma del día anterior, formando así una hilera larga y continua.

Inicialmente, se estableció que el proceso de transformación de los residuos sólidos orgánicos en compost exigiría 3 meses (13,14). Durante este tiempo

cada ruma manualmente se voltea y riega uniformemente para **garantizar** una adecuada oxigenación, aereación y uniformización del material en tratamiento, por último el producto se tamiza y se obtiene el compost.

El diseño se realizó de tal manera que cada día se colocó una ruma de residuos sólidos orgánicos por espacio de 3 meses numeradas del 1 al 90 (un número por día), tiempo en el cual el terreno se saturó. Al cabo de los 3 meses se obtuvo la primera producción de compost, y el espacio que diariamente iba dejando cada ruma ya transformada en compost se llenó con residuos sólidos orgánicos. Así, se logró que todos los días se recepcionen y procesen residuos sólidos orgánicos.

La altura máxima de cada ruma se fijó en 1.5 m. considerando que una mayor altura impediría o anularía la oxigenación natural del material del interior de la ruma, generando procesos anaeróbicos no deseados. La altura mínima de cada ruma se estableció en 1.0 m. debido a que no ocurriría el previsto incremento espontaneo de la temperatura en la ruma, si la esta es demasiado pequeña. Se estimó que el largo de cada ruma sería de 2.5 m. en promedio. Además cada ruma se cubrió diariamente con maleza del lugar para evitar que los rayos solares sequen prematuramente la capa superior de la ruma, y para no crear un espacio desagradable a la vista, al tener residuos sólidos al descubierto.

La aereación, homogenización y humectación del material se realizó en cada uno de los 3 volteos de la ruma, diseñados tentativamente: el primer volteo a la 2da. semana, el segundo volteo a la 5ta. semana y el último volteo a la 8ava. semana. El primer volteo de la ruma se efectúa hacia el costado de la misma, el segundo volteo retorna la ruma a su posición original y el tercero volteo la coloca nuevamente al costado. El número de volteos (03) se diseñó conjugando las necesidades técnicas de la compostificación versus el volumen de trabajo que representa incorporar un nuevo volteo en cada ruma en tratamiento.

El primer volteo se fijó a las 2 semanas debido a que al principio la descomposición de la materia orgánica se desarrolla rápidamente y es necesario regular oportunamente la temperatura y el pH (ver puntos 4.2.2 y 4.2.3). El segundo volteo intermedio a la 5ta. semana también permitiría regular todos los parámetros necesarios para orientar la descomposición hacia la producción de compost, quedando un período de 1 mes entre el tercer y último volteo para que el material se estabilice.

A continuación se resumen las principales tareas específicas realizadas en la planta de compost, que se inician desde la separación de los compuestos inorgánicos y terminan con el tamizado y almacenamiento del compost.

a. Primer paso, selección del material inorgánico: los elementos inorgánicos se separaron para que no afecten el proceso de la descomposición y reduzcan la calidad del compost.

El material inorgánico seleccionado se almacenó en la misma planta de compost y se evacuó diariamente hacia un relleno sanitario por un camión recolector.

b. Segundo paso, trituración de las partes grandes: para que se realice un buen proceso de descomposición, todo el material orgánico debe estar bien desmenuzado, por lo que los restos orgánicos mayores de 10 cm. se fraccionaron con la ayuda de machetes.

c. Tercer paso, homogenización de la materia orgánica: aquí se procuró mezclar bien todos los elementos orgánicos de diferentes procedencias, es decir se mezclaron los restos de animales (visceras, carnes, plumas, etc.) con los desechos vegetales (tallos, hojas, cascaras, etc.).

d. Cuarto paso, formación de la ruma: la ruma se construyó en forma de pirámide por capas de 30 cms. añadiendo agua y cal uniformemente hasta llegar a la altura indicada. Cada ruma se construyó a continuación de la otra formando una hilera continua.

e. Quinto paso, acabado final: se cubrió la ruma con maleza disponible en el lugar, a fin de evitar que el sol

seque las capas superiores de la ruma y minimizando el impacto estético, finalmente se colocó un cartelito que indicaba el número de la ruma (del 1 al 90).

f. Sexto paso, volteo de la ruma: el volteo se realizó a la 2da., 5ta. y 8ava. semana de tal forma que la capa exterior de la ruma forme el centro de la nueva ruma, a fin de garantizar una descomposición homogénea en toda la masa. La nueva ruma se forma también por capas, acondicionándola con agua y cal.

g. Séptimo paso, tamizado de compost: luego de 3 meses se inicia producción continua del compost que se obtiene tamizando la correspondiente ruma con una malla metálica (en este caso se usó tamiz de 1/2"). El material retenido en el tamiz se desecha y el que pasa se utiliza como compost.

h. Octavo paso, almacenamiento del compost: la forma de almacenamiento depende del uso posterior del compost, y fundamentalmente de la manera más adecuada para su comercialización. En nuestro caso se almacenó en costalillos de plástico de 50 kg.

De otro lado, fue de bastante utilidad identificar cada una de las rumas con un numerito según el día que se recepcionaba, a fin de cumplir oportunamente con el volteo, según el plan operativo diseñado.

TABLA No. 10

Plan específico de actividades para la compostificación.

Recepción Fecha	Formación de Ruma No.	Volteo Ruma No.			Tamizado Ruma No.
		1er.	2do.	3er.	
Enero de 1989					
09	1				
	2				
11	3				
12	4				
13	5				
14	6				
15	7				
16	8				
17	9				
18	10				
19	11				
20	12				
21	13				
22	14				
23	15	1			
24	16	2			
25	17	3			
.	.	.			
.	.	.			
Febrero					
	34	20			
12	35	21			
	36	22	1		
14	37	23	2		
15	38	24	3		
16	39	25	4		
17	40	26			
18	41	27	6		
.	.	.	.		
.	.	.	.		
Marzo					
04	55	41	20		
05	56	42	21		
06	57	43	22	1	
07	58	44	23	2	
08	59	45	24	3	
09	60	46	25	4	
.	
.	
Abril					
06	88	74	53	32	
07	89	75	54	33	
08	90	76	55	34	
09	1	77	56	35	1
10	2	78	57	36	2
.

De la tabla se observa que durante los primeros 3 meses la cantidad de trabajo va aumentando hasta llegar a estabilizarse a partir del día 09 de abril, que se debe tamizar y extraer la ruma No. 1, formar en el mismo lugar la nueva ruma No. 1, realizar el 1er. volteo de la ruma 77, el 2do. volteo de la ruma No. 57 y 3er. volteo de la ruma No. 36. La tabla debe leerse así: por ejemplo, el día 07 de marzo se debe formar la ruma No. 58, voltear por primera vez la ruma No. 58, realizar el 2do. volteo de la ruma 44, y realizar el volteo correspondiente a la 8ava. semana de descomposición de la ruma No. 2.

4.3.2 Dimensionamiento y distribución del área

El terreno para la elaboración del compost se dimensionó a fin de soportar el volumen total de residuos sólidos orgánicos generados en 3 meses, y añadiéndole el área necesaria para el tránsito del camión recolector y personal de trabajo.

El área neta ocupada por los residuos sólidos orgánicos se calculó como sigue.

Datos:

Tiempo de compostificación : 90 días
Producción promedio de residuos sólidos: 977.9 kg/día.
Densidad de residuos sólidos orgánicos : 450 kg/m³
Altura útil (caso más desfavorable) : 1.0 m.

Calculo:

Cantidad de residuos sólidos a recepcionar = 90 días x
977.9 kg. <> 90,000 kg.

$$\text{Volumen total a recepcionar} = \frac{90,000 \text{ kg}}{450 \text{ kg/m}^3} = 200 \text{ m}^3$$

$$\text{Area a utilizar en 90 días} = \frac{200 \text{ m}^3}{1 \text{ m.}} = 200 \text{ m}^2$$

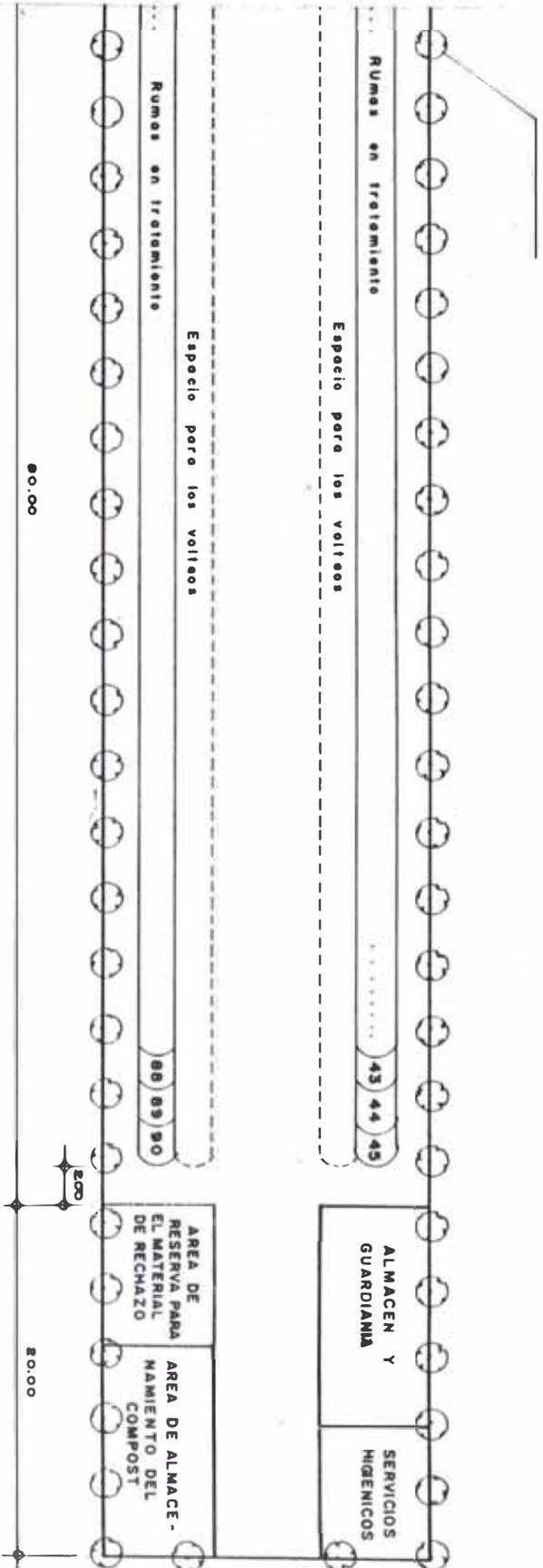
Como se construirán rumas en forma de piramide con 45° de inclinación el área neta utilizada en 90 días es = 200 m² x 2 = 400 m².

De otro lado se consideró 600 m² de espacios de retiro y tránsito. Finalmente se tiene:

$$\text{Area total necesaria} = 400 \text{ m}^2 + 600 \text{ m}^2 = 1000 \text{ m}^2$$

La distribución del terreno se realizó como se indica en la lámina (L-2) siguiente:

Carco vivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA SANITARIA		Lamina:
TESIS PARA OPTAR TITULO PROFESIONAL		
Nombre : MARCOS ALEGRE CHANG	Codigo : az1199x	
Plano : DISTRIBUCION DEL TERRENO DE LA PLANTA DE COMPOST		
Fecha : JULIO '93	Escala : 1:400	L-2

4.3.3 Estimación de los requerimientos

Dado que el método de compostificación ensayado es manual, los requerimientos iniciales se centraron en disponer de personal y sus correspondientes herramientas y equipos de seguridad e higiene en el trabajo.

En base a la aproximación preliminar de rendimientos para manipulación de residuos sólidos, se estimó que el personal estaría conformado por una **cuadrilla de 3** obreros, que trabajarían en un sólo turno al día de 7:00 am. a 1:00 pm. (ver punto 4.3).

Así fue necesario dotar a la cuadrilla de 3 obreros del siguiente equipamiento:

- 3 Uniformes (bota, guantes, mascarilla, mameluco y gorro)
- 2 Lampas
- 2 Rastrillos
- 2 Regaderas
- 2 Zapas
- 1 Carretilla
- 1 Tamiz de 1.2 m² de 1/2"
- 90 Cartelitos numerados del 1 al 90
- 2 bolsas de cal.

Así mismo en el terreno cedido por el municipio de San Martín de Porres se colocaron dos carteles de información sobre el proyecto y un cerco perimétrico de plantones de álamos y sauces.

Se contrató un camión de baranda privado a fin de recolectar los residuos sólidos de los mercados. Mientras que en los mercados los propios comerciantes instalaron cilindros y recipientes apropiados para almacenar los residuos sólidos.

Como se puede apreciar el requerimiento inicial se limitó a herramientas y equipos básicos de bajo costo.

4.3.4 Identificación de la variables de evaluación de la operación de la planta de producción de compost

Las variables de evaluación de la operación de la planta de producción de compost se establecieron en función los principales parámetros indicativos de la evolución del proceso de descomposición de la materia orgánica en un medio húmedo- aeróbico. De esta manera la evaluación de la operación de a planta se realizó por espacio de meses en base a una medición sistemática de los siguientes parámetros:

- a. Humedad, sirve de referencia para regular el riego
- b. Temperatura, permite evaluar el avance de la descomposición
- c. pH, sirve de referencia para conocer el estado del medio
- d. Carbono:Nitrogeno (C/N), indicador por excelencia de la madurez del compost

e. Sólidos volátiles, permite evaluar el contenido de materia orgánica en el compost y es un parámetro indicador de su calidad

f. Conductividad eléctrica, provee información sobre el nivel de salinidad del compost y es un parámetro indicador de su calidad.

También se midió el rendimiento de la planta de producción de compost pesando diariamente los diferentes productos y sub-productos de la compostificación.

Además, la calidad del compost se evaluó determinando los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y manganeso, así como de elementos contaminantes como cobre, plomo y cadmio.

4.4 Factibilidad del proyecto

El proyecto no sólo tuvo un carácter de investigación sino también se pretendió, que se convierta en un modelo de manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales, autofinanciado económicamente a fin de que pueda ser asumido por los municipios. Por tanto se diseñó y trató de implementar un esquema de comercialización del compost que permita cubrir los gastos de operación y mantenimiento, y se propuso un esquema de organización, en la cual los representantes de los mercados participantes se encargarían de la gestión del proyecto.

En este sentido se estudiaron de manera general algunos elementos de factibilidad del proyecto a fin de reducir los riesgos de fracaso.

Al margen de la factibilidad técnica que luego se comprobaría conforme se indica en las conclusiones del presente trabajo, la principal preocupación del proyecto fue establecer los puntos críticos de la factibilidad económica y organizativa del esquema de gestión planteado.

La factibilidad económica del proyecto se garantizó de manera preliminar considerando la pequeña cantidad de compost producido por día (240 kg.) respecto a: i) la demanda potencial del producto en todas las zonas agrícolas de borde de Lima Metropolitana, que se estimó en 575,000 kg/día (6) y, ii) la demanda potencial del compost en los viveros y puestos de venta de plantas ornamentales.

Siguiendo con el esquema planteado para la gestión del proyecto parte de los esfuerzos se concentraron en conformar un núcleo de gerenciamiento constituido por los representantes de los 4 mercados participantes. El núcleo de gerenciamiento tendría como primera tarea consolidar una cartera de clientes del compost, que luego sería transferida a una micro-empresa constituida por los trabajadores de la planta de producción, quienes se convertirían en los conductores finales del proyecto.

Primariamente se estableció que el mayor reto y punto crítico del proyecto, giraría alrededor de la consolidación de la cartera de clientes y de los mecanismos de comercialización.

La viabilidad del proyecto dependía de la eficacia de comercialización del compost y de la demostración de la factibilidad empresarial del sistema como tal. Concientes del reto y animados por comprobar la validez de la tecnología diseñada, se inició la operación de la planta de compost el 8 de enero de 1989.

CAPITULO IV

EVALUACION DEL PROYECTO

5. EVALUACION DEL PROYECTO

5.1 Evaluación de la operación de la planta de producción de compost

La evaluación de la operación de la planta de producción de compost se realizó midiendo los parámetros indicados en el capítulo 5.3.4 en la segunda y tercera ruma del compost. A excepción de la temperatura, que se determinó en diversas rumas "in situ", las muestras se tomaron e inmediatamente se procesaron en un laboratorio especializado. En el Anexo No. 1 se describen los métodos de laboratorio que se aplicaron para el análisis de las muestras.

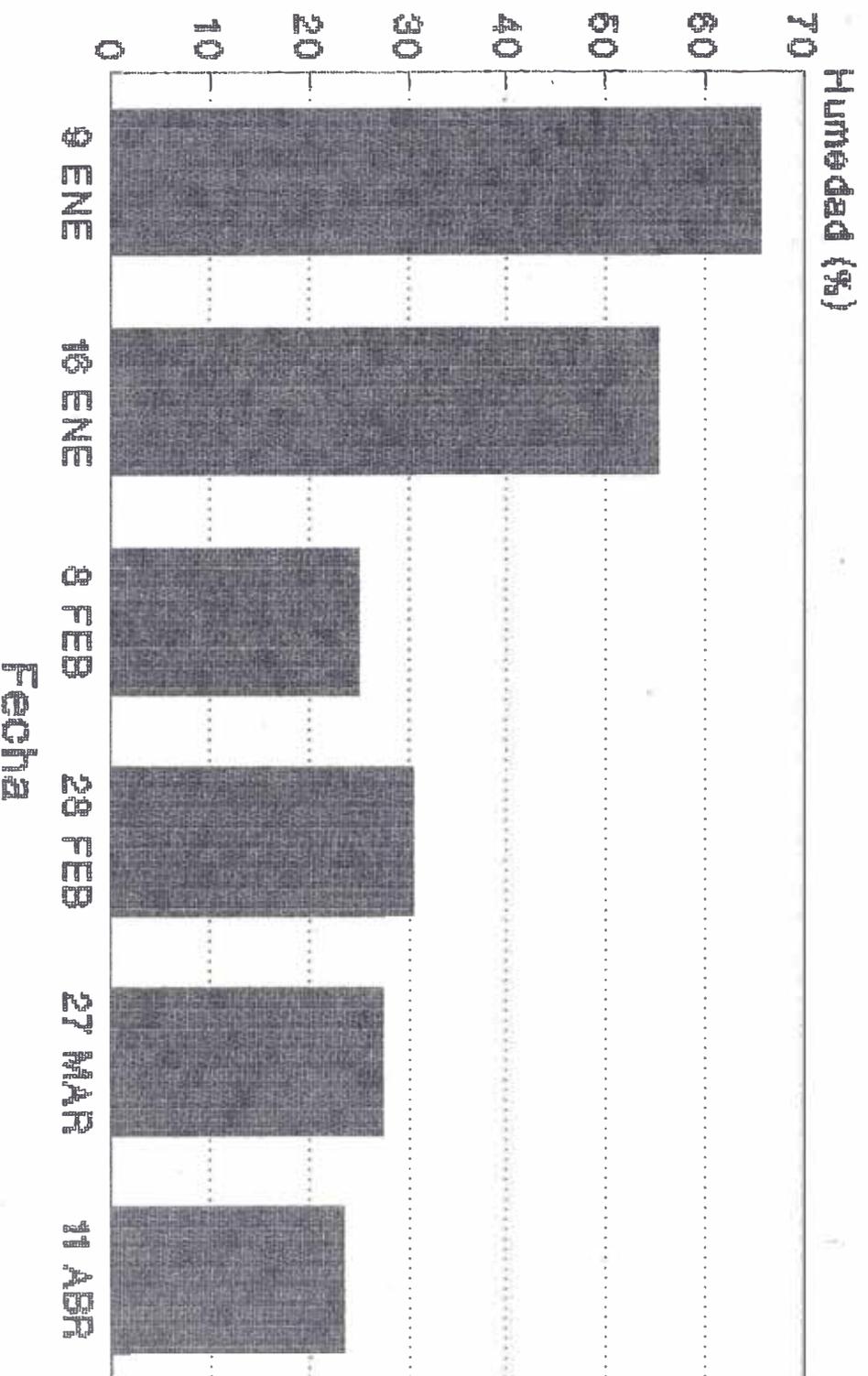
5.1.1 Evaluación de la humedad

La humedad se midió extrayendo muestras a 30 cm. de profundidad y 30 cm. de altura de la ruma de compost. El resultado de la variación de la humedad respecto al tiempo se aprecia en el grafico No. 2.

El grafico refleja la dificultad de lograr un nivel de humedad adecuado a lo largo del proceso de compostificación. Durante las 2⁷ primeras semanas se observó que la humedad se mantuvo en los niveles óptimos y luego decayó hacia valores entre 23% y 30%. En la operación posterior se corrigió este detalle haciendo un riego adicional semanal de las rumas.

Gráfico No. 2

Humedad vs Tiempo



Medición en 1988

Adicionalmente, por simple inspección se observó que la distribución de la humedad no fue homogénea en todas las secciones de la ruma. Como era de esperarse se notó que la ruma tiene tres zonas de humedad, según la altura:

- la zona superior (20-30 cm.): seca
- la zona intermedia (20 cm): semi-húmeda
- la zona baja (20-50 cm): muy húmeda.

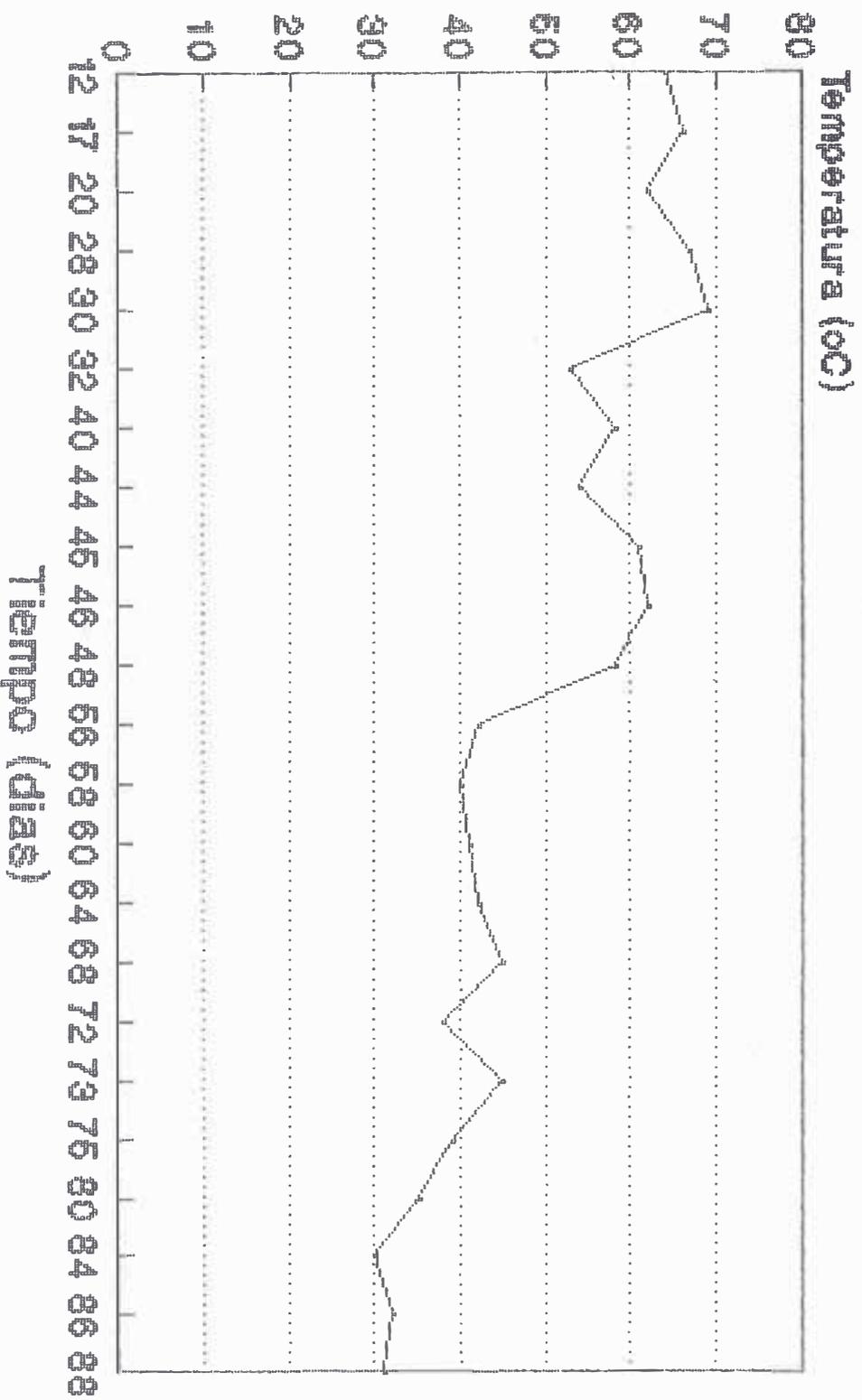
5.1.2 Evaluación de la temperatura

La temperatura se midió "in situ" introduciendo un tubo de aluminio al centro de la ruma, dentro del cual se desplazó un "termómetro máximo". La temperatura se midió a diario con el resultado que se muestra en el gráfico No. 3. Al evaluar el desarrollo de la temperatura se deduce que la descomposición de la materia orgánica durante los primeros días es bastante intensa, en dos días la temperatura sube de 27 °C a 60 °C, ello indica que las condiciones iniciales como humedad, contenido de nitrógeno y calidad de la materia orgánica es óptima.

Luego se verificó que la temperatura se mantiene por encima de los 60 °C hasta el primer mes (día 30), siendo interesante notar que el primer volteo de la ruma a la 2da. semana ó 14 días, prácticamente no afecta la permanencia de una alta temperatura.

Gráfico No. 3

Temperatura vs Tiempo



Finalmente se aprecia que la temperatura siguiendo un patrón decreciente, se estabiliza en 25 °C, indicando que la intensa actividad de descomposición orgánica se esta agotando.

5.1.3 Evaluación del pH

El pH se midió en las muestras puntuales obtenidas del centro de la ruma, con el siguiente resultado.

El grafico No. 4 indica que el pH del medio luego de una semana de descomposición de la materia orgánica, se desplazó ligeramente hacia al rango ácido, ello estableció la necesidad de acondicionar el material con cal a fin de mantener un pH neutro, óptimo para el desarrollo de los microorganismos de interés para la compostificación.

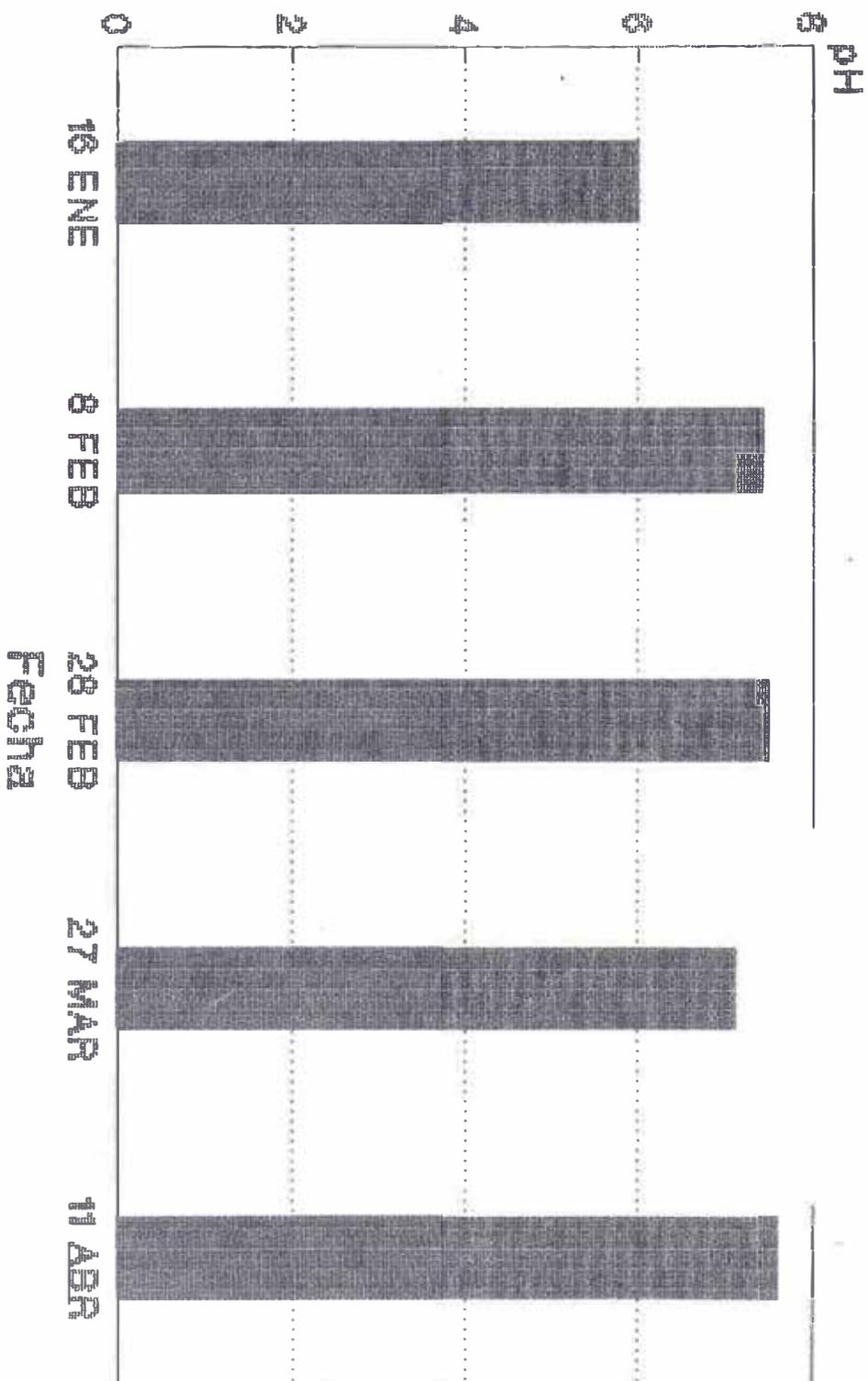
Los otros valores del grafico muestran un substrato ligeramente alcalino con un máximo de 7.6, lo cual indica que el desarrollo del pH a lo largo del proceso de compostificación fue bastante eficiente.

5.1.4 Evaluación de la relación C/N

La evaluación de la relación carbono:nitrogeno fue la parte más imprecisa del estudio. La dificultad radicó en que no se encontró un laboratorio con equipamiento idóneo para realizar la medición de carbono, a sugerencia de especialistas en análisis de suelos se empleó el método de análisis de Walkkle y Black, el cual se ajustaba más para este tipo de estudio. Los resultados se muestran en el gráfico No. 5.

Gráfico No. 4

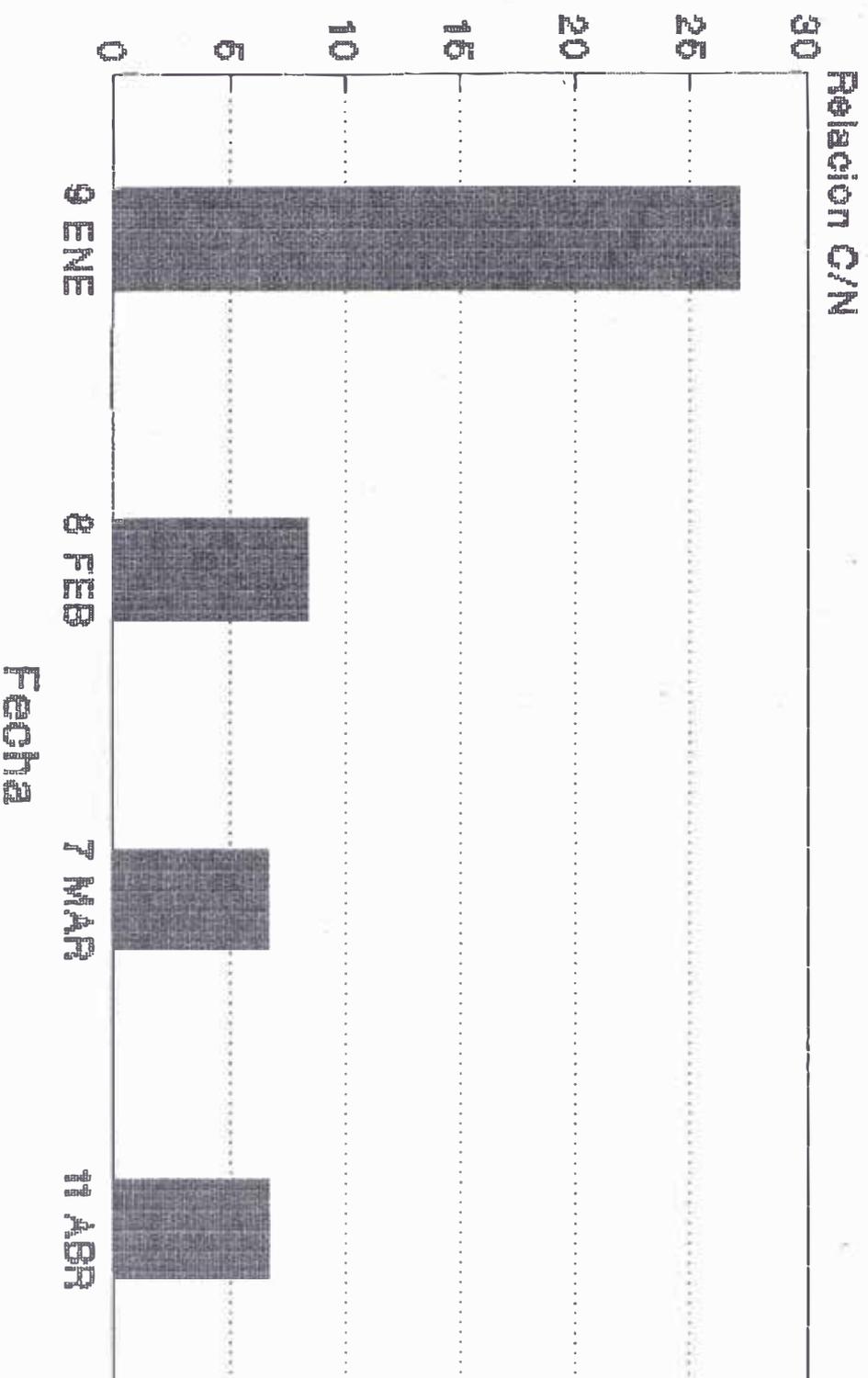
pH vs Tiempo



Medición en 1998

Gráfico No. 5

Variación de la Relación C/N



Medición en 1988

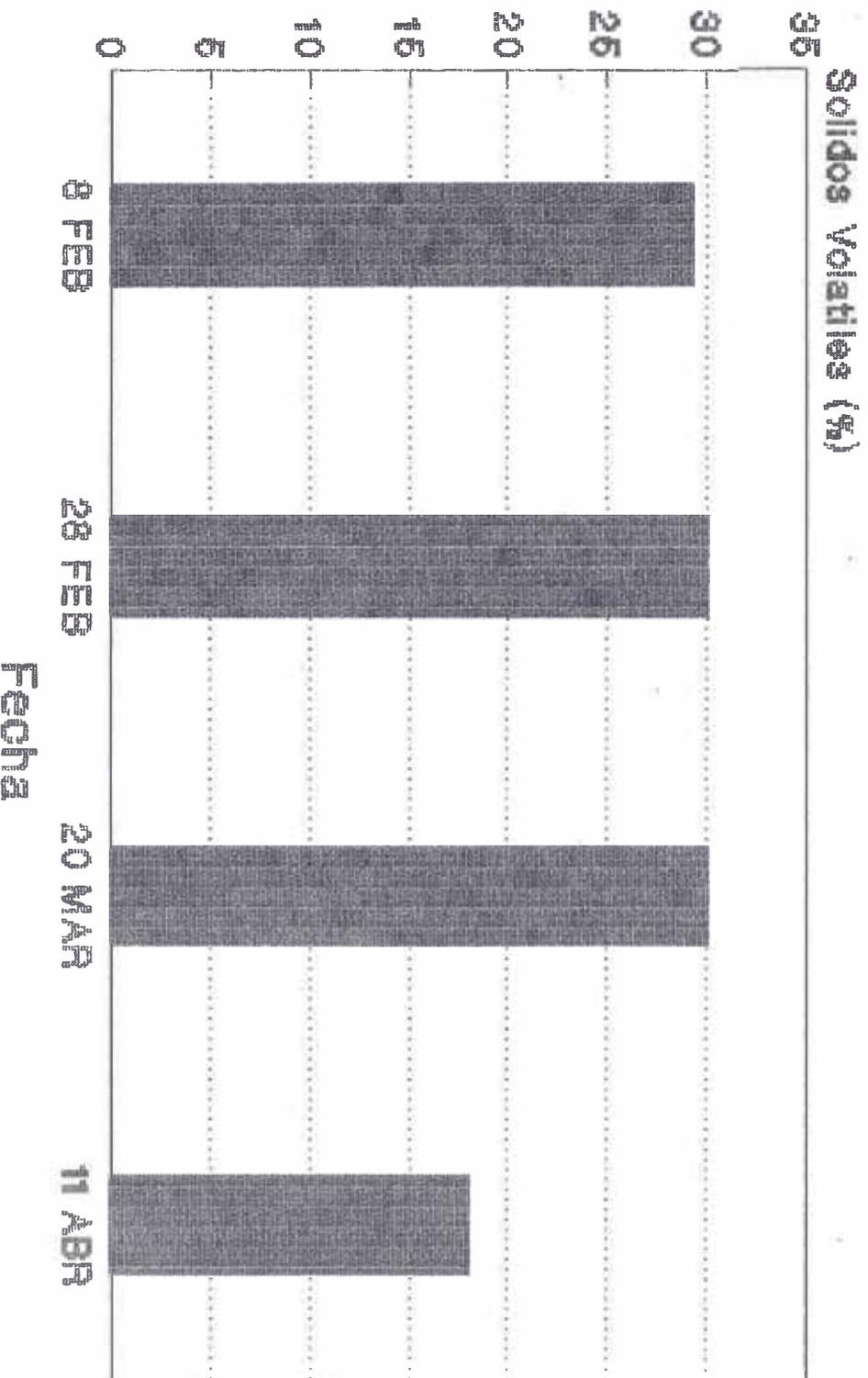
Se puede deducir del grafico No. 5 que la relación carbono:nitrogeno se inició en un valor aceptable y decayó drásticamente hacia 6.6 al término del primer mes de descomposición de la materia orgánica. Ello indicaría una concentración relativamente baja de materia orgánica en el producto en tratamiento, lo cual se corroboró con la medición de calidad del compost final (ver punto 6.1.7).

5.1.5 Evaluación de los sólidos volátiles

Aun cuando el contenido inicial de materia orgánica en los residuos sólidos es alto (ver Tablas No. 6 y 7), es común que por efectos de la mineralización o anomalías en el proceso de compostificación este valor descienda significativamente durante los procesos de compostificación (15). Los resultados obtenidos comprueban estas tendencias. En el gráfico No. 6 se observa que luego de 1 mes de descomposición el contenido de sólidos volátiles (materia orgánica) en las muestras obtenidas es 29.2%, manteniendose alrededor del 30% hasta los 2 1/2 meses de tratamiento, el contenido final de sólidos volátiles es de 18%. Este último valor es ligeramente menor al 20% recomendado en plantas de compost de Alemania Federal (6) y muy similar al 19% obtenido en la planta de compost de Cochabamba, Bolivia, en 1984 (15).

Gráfico No. 6

Sólidos Volátiles vs Tiempo



Medición en 1988

5.1.6 Determinación del rendimiento de producción de compost

El rendimiento del proyecto se evaluó de manera directa pesando por tres días intercalados el volumen de compost producido, la cantidad de material separado o de rechazo (inorgánicos) y el material retenido en el tamiz. Luego se comparó con el volumen promedio real recibido por la planta de compost también medido en 800 kg/día, y por diferencia se obtuvo la cantidad de pérdidas como CO₂ y agua, así como una aproximación del rendimiento de los residuos sólidos orgánicos en compost. A continuación se resumen los promedios de rendimiento obtenidos:

Volumen promedio real recibido	: 800 kg/día
10 % de material segregado (inorgánicos)	: 80 kg/día
25 % de material retenido en el tamiz	: 200 kg/día
35 % de pérdida como CO ₂ y H ₂ O	: 280 kg/día
30 % de compost	: 240 kg/día

Se aprecia que el 30% de la materia orgánica que ingresa se convierte en compost. De esta manera se tuvo una producción diaria de 240 kg. en promedio, y 7,200 kg. de compost mensual.

5.1.7 Caracterización completa del compost final

La caracterización final del compost se realizó tomando muestras compuestas de compost de los primeros 5 días de producción. A continuación se muestran los resultados finales de calidad del compost así como valores promedios de referencia:

TABLA No. 11

Calidad y valores de referencia del compost

Parámetro	Compost	Valor de (1) referencia	Valor de (2) orientación
N	1.68%	0.6 - 1.3%	
K ₂ O	0.95%	0.2 - 1.5%	
P ₂ O ₅	1.28%	0.4 - 0.6%	
Mn	430 ppm	430 - 600 ppm	
Materia orgánica	18.0%	20 - 60%	
Cu	100 ppm	80 - 120 ppm	150 ppm
Pb	40 ppm		100 ppm
Cd	ppm		2.5 ppm

(1) y (2) valores promedio y límites tolerables en Alemania Federal respectivamente.

De la tabla No. 11 se observa que en general el compost producido es de buena calidad. El contenido de nitrógeno y fósforo es superior a los valores de referencia para plantas de compost en Alemania Federal, mientras que el contenido de potasio se encuentra dentro del rango de referencia. En relación al contenido de materia orgánica, se encuentra en 18% y está ligeramente por debajo del rango de referencia, porque inicialmente se cubrió la ruma

de residuos sólidos orgánicos con una capa de tierra (luego se recomendó cubrir las rumas con malezas). Así mismo, todos los valores indicadores de contaminación como Cu, Pb y Cd se encuentran por debajo de los límites tolerables en Alemania Federal.

5.2 Estimación de los costos

A continuación se presenta una aproximación del costo unitario del producto, sin incluir los costos del terreno dado que fue cedido por el municipio.

Los precios de las herramientas son el promedio en el mercado local y la remuneración corresponde al salario pagado por el municipio de San Martín de Porres a los obreros de limpieza pública.

Se ha calculado el gasto y la respectiva amortización por depreciación usando como base de tiempo el mes. La depreciación resulta de dividir el precio entre la vida útil del producto, asumiendo un valor final de recupero igual a cero por ser herramientas de bajo costo. Finalmente el interés (I) se ha aproximado aplicando la siguiente aproximación (16):

$$I = \frac{c \times i}{2}$$

donde:
I = Interés
c = costo
i = interés bancario

De esta manera se tienen los siguientes costos mensuales de herramientas (en dólares americanos):

TABLA No. 12

Estimación del gasto mensual por materiales y herramientas

Producto	Unid.	Costo Unit.	Inversión Inicial	Depreciación Tiempo	Costo	Interés (I)	Costo Total Mensual
Lampa	3	11.11	33.33	6	1.85	0.07	5.77
Zapa	2	6.97	94	12	0.58	0.02	1.21
Carretilla	1	111.93	111.93	12	9.33	0.06	9.70
Tamiz	1	117.00	117.00	36	3.25	0.09	3.38
Balde	1	2.00	2.00	2	1.00	0.04	1.04
Guantes, mascarilla	4	3.24	12.96	6	0.54	0.02	2.25
Cal (30Kg.)	1	6.25	6.25		6.25	0.00	6.25
TOTAL US \$							29.60

Además se incluyen los gastos de combustible y personal por mes, así:

TABLA No. 13

Estimación del gasto mensual por transporte y personal

Descripción	Cantidad/ Mes	Costo Unitario	Costo Total Mensual
Combustible (galones)	130	0.72	93.60
Alquiler (días)	26	5.03	130.78
Obreros (incluye prestaciones de ley)		93.75	375.00
TOTAL US \$			599.38

De las tablas No. 12 y No. 13 se tiene un gasto total directo mensual ascendente a US \$ 628.99

Como también se estimó la que producción neta diaria de compost es de 240 kg. se tiene una producción mensual promedio de 7,200 kg., luego el costo unitario es:

630.00 US \$

Costo Unitario = $\frac{630.00 \text{ US \$}}{7,200 \text{ kg.}}$ = 0.082 US\$/kg.

7,200 kg.

A este costo mínimo habría que comercializar el compost para por lo menos garantizar la vigencia del proyecto.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

6. CONCLUSIONES

- La metodología empleada para determinar la producción de residuos sólidos en los mercados (pesos diarios por una semana), permitió una aproximación relativamente buena y suficiente para los efectos del dimensionamiento del área de la planta de producción de compost.
- Los residuos sólidos de los mercados constituyen una excelente fuente de insumos para la producción de compost, por lo diverso de la composición de los restos de origen animal y vegetal y alto contenido de materia orgánica (de 88% a 95%).
- El elemento predominante en peso en los residuos sólidos de los mercados son los desechos de plumas generados por la comercialización de pollo.
- La variación diaria en la producción de residuos sólidos de los mercados es significativa llegando a superar el 150% del peso promedio diario. Esta variación depende de las oscilaciones diarias en los volúmenes de comercialización. Los fines de semana son los días de mayor producción de residuos.
- El almacenamiento de los residuos sólidos en cilindros por giros favoreció la recolección de los desechos en los mercados.
- La frecuencia de recolección fue prácticamente diaria y facilitó la organización de las tareas de compostificación. La recolección diaria también tuvo amplia aceptación por los comerciantes de los mercados.

- El tiempo estimado de 3 meses y la rutina de los 3 volteos en ese período fue acertado, porque permitió obtener en el plazo previsto un producto de calidad aceptable.
- La cobertura de las rumas de los residuos sólidos orgánicos en tratamiento con malezas, demostró ventajas sobre el uso de tierra. Además, se estableció la importancia de cubrir las rumas, dado que ello impidió que las capas superiores se sequen prematuramente, aparte de mejorar la estética de la planta de compost.
- Sólo durante los volteos de las rumas se pudo notar cierto nivel de desprendimiento de olores desagradables. En general, no se apreció una presencia significativa de moscas y malos olores durante el proceso de elaboración de compost.
- La técnica empleada, por su sencillez, pudo ser rápidamente dominada por el personal que realizaba las tareas de compostificación. Al respecto, fue conveniente emplear personal del área de limpieza pública del municipio con experiencia en el manejo de los residuos sólidos.
- La técnica de elaboración de compost desarrollada es una forma sencilla y sanitaria de recuperar los residuos sólidos orgánicos de los mercados.
- La elaboración manual de compost constituye una tecnología apropiada para países en vías de desarrollo, donde la mano de obra es relativamente barata y la tecnología sofisticada es costosa y, en muchos casos, difícil de manejar.
- Debido al bajo costo de inversión inicial la técnica de compostificación manual pudo ser asumida por otros municipios.

- La técnica ensayada es suficientemente flexible para reajustar ciertos parámetros sin afectar negativamente la continuidad de la producción de compost.
- No se trabajó correctamente el esquema de administración y gestión del proyecto y no se tuvo una adecuada estrategia de promoción del compost.
- EL costo del compost aparentemente no fue determinante en la definición de la cartera de clientes, mientras que la falta de promoción del producto impidió establecer un regimen sostenido de comercialización del compost.
- Es posible tratar de 800 kg a 3,000 kg de residuos sólidos orgánicos por día utilizando la técnica desarrollada.
- La compostificación permite recuperar la fracción orgánica de los residuos sólidos, que más impacto negativo origina sobre el ambiente.
- La planificación y el desarrollo de un proyecto de compost demanda tiempo, recursos económicos y perseverancia por parte de los organizadores. En este sentido es imprescindible no escatimar esfuerzos.
- No se apreció una contaminación relevante del compost, y su calidad en términos de fertilidad fue bastante aceptable.

7. RECOMENDACIONES

- Antes de iniciar un proyecto de preparación de compost es necesario realizar un estudio de factibilidad económica, con énfasis en la demanda del compost. A este nivel también es importante evaluar otras técnicas de reciclaje de los residuos orgánicos, como la lombricultura, la producción de biogás o la alimentación de animales.
- El correcto almacenamiento de los residuos sólidos en los mercados facilita la recolección de los mismos, por lo cual se debe poner especial énfasis para lograr una adecuada difusión del proyecto a nivel de los mercados.
- Paralelamente a la implementación de un proyecto de compostificación se debe definir con claridad la esquema de gestión del proyecto, estableciendo un núcleo operativo constituido por los trabajadores y supervisores de campo, y otro núcleo de promoción y comercialización.
- A efectos de reducir los costos unitarios sería ventajoso trabajar con mayor cantidad de residuos sólidos, siendo interesante ensayar un sistema de compostificación con tres toneladas por día.
- Se debería optimizar el proceso de compostificación, ensayando un sistema con 2 1/2 meses de maduración de los residuos sólidos orgánicos.
- Debido al ligero desprendimiento de olores al momento de voltear las rumas de residuos orgánicos es recomendable instalar la planta de compostificación en lugares alejados de los centros poblados. Al respecto la distancia mínima debería ser 200 m.

- Se recomienda utilizar la metodología empleada para evaluar la cantidad y contenido de materia orgánica de los residuos sólidos, en proyectos similares.
- Aún cuando un proyecto de preparación de compost puede ser implementado por el municipio, una empresa privada o una empresa mixta, se recomienda que la operación de la planta de compost se realice bajo la responsabilidad de una empresa privada.
- En caso de que el municipio implemente un proyecto de elaboración de compost, se debe procurar que el mismo camión que descarga los desechos orgánicos en la planta de compost, en el acto, retire el material de rechazo como los plásticos y metales, entre otros.
- Si el compost es de baja calidad (contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica por debajo de los niveles recomendables), es preferible utilizarlo para la creación de parques y/o recuperación de tierras con fines agrícolas.
- Si la contaminación del compost es alta (contenido de plomo, cobre y cadmio) es recomendable evaluar periódicamente la aplicación del producto, restringiendo su uso al mantenimiento de parques.
- El sistema de compostificación ensayado es recomendable para pequeños municipios con limitaciones de presupuesto y zonas agrícolas cercanas.
- Es importante realizar un adecuado control de calidad del producto realizando al menos, una medición mensual de la calidad del compost.

- Durante el proceso de implementación de un proyecto de compostificación, es útil **lograr** un buen nivel de capacitación de los trabajadores, quienes además deben adquirir conciencia de la importancia de usar los equipos de seguridad e higiene en el trabajo.
- Finalmente, se recomienda estudiar la posibilidad de enriquecer la calidad del compost incorporando en el proceso de preparación aditivos como fosfatos minerales.

BIBLIOGRAFIA

1. Oficina de Asesoría y Consultoría Ambiental (OACA); **Medio Ambiente: La Cuestión Urbana.** Lima, Perú. 1993.
2. DESCO; **Las basuras de Lima: Una Mirada Global al Servicio.** Lima, Perú. 1992.
3. Environmental Sanitation Information Center, ENSIC; **Composting of Domestic Refuse.** Tailandia, 1983.
4. Environmental Sanitation Information Center, ENSIC; **Recycling of Solid Waste.** Tailandia, 1984.
5. Organización Panamericana de la Salud (OPS); **Guías para el Desarrollo del Sector de Aseo Urbano en Latinoamérica y el Caribe.** 1991
6. Macht A., Alegre M.; **Elaboración de Compost con Residuos de Campos FERIALES. Informe Técnico Final.** Lima, Perú. 1988.
7. Suarez O., La Dirección de Desarrollo Social de la Gobernación del Distrito Federal y la Universidad Nacional Experimental Sesión Rodríguez; **La Basura es un Tesoro.** Caracas, Venezuela 1981.
8. Eeghen, Marietjevvan, van; **The preparation and use of compost.** Wageningen, Holanda, 1983
9. Monroy, O., et. al.; **Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos,** Ed. AGT S.A. México. 1981.
10. Raiswell, R.W., et. al; **Química Ambiental.** Ed. Omega S.A. España 1983.
11. Instituto Nacional de Estadística; **Boletín No.11 Agosto 1989.** Lima, Perú. 1989.

12. IDMA et, al. **Limpieza Pública: Situación en el Cono Norte de Lima Metropolitana.** Lima, 1990.
13. Tierra Viva; **Conocimiento y prácticas de la agricultura ecológica, las ventajas de hacer compost...** Cuenca, Ecuador. 1986.
14. Kaurady, Ludmilla; **El Manual del Compostero.**
15. Villarroel, Jorge. **Proyecto AGRUCO; Experiencias en Producción de Compost de Basuras Urbanas y su Utilización Agrícola en el Departamento de Cochabamba, Bolivia.** Cochabamba Bolivia. 1987.
16. Moises Ayona; **Matemáticas Financieras.** Lima, Perú, 1978.