

**Conferencia Internacional sobre Tratamiento Biológico
de los Residuos y el Ambiente - ORBIT 99**

**2-4 Septiembre 1999
Weimar, Alemania**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
COMPOSTIFICACIÓN DE RESIDUOS DE MERCADO EN
LIMA, PERU**



**Centro Panamericano de Ingeniería
Sanitaria y Ciencias del Ambiente
OPS/OMS**

ESMLL

**Servicio Municipal de Limpieza
Compañía de Lima**

COMPOSTIFICACIÓN DE RESIDUOS DE MERCADO

Ing. Alvaro Cantanhede

Ing. Gladys Monge

1. RESUMEN

El objetivo de este proyecto piloto, realizado en forma conjunta por el CEPIS y la Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima (ESMLL), fue determinar la factibilidad técnica y económica del aprovechamiento de los residuos orgánicos de mercados en la producción de compost, considerando los beneficios agrícolas y ecológicos que se obtendrían. Primeramente se realizó la caracterización de los residuos de mercados con el fin de conocer su composición física, química y bacteriológica. Para determinar el proceso óptimo de producción se evaluaron 9 pilas, y 6 frecuencias diferentes de volteo. A tres de las pilas evaluadas se adicionó cal viva y virutas de madera para conocer su influencia en el proceso de compostificación. Durante todo el proceso controlaron las pilas mediante análisis físico-químicos y bacteriológicos.

Se concluyó que el proyecto de producción de compost es factible y favorable porque además de aprovechar un recurso que actualmente no se utiliza, se evita la disposición final de estos residuos que por su alto contenido de humedad generan mayor cantidad de lixiviados. El compost obtenido representa el 30% de la materia prima empleada. No es necesario adicionar cal ni virutas de madera. Se recomienda evaluar la posibilidad de utilizar los residuos domésticos para la producción de compost, por su alto contenido de materia orgánica.

2. INTRODUCCION

La Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima (ESMLL), entidad que hasta junio de 1996 fue la responsable de los servicios de recolección, transferencia, transporte y disposición final de los residuos en la ciudad de Lima Metropolitana, y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), con el objeto de conseguir un mejor aprovechamiento de los residuos, decidieron desarrollar un proyecto de investigación conjunto orientado a la recuperación y utilización de los residuos de mercados para la producción de compost.

Este proyecto piloto representa un esfuerzo dirigido a buscar soluciones a los grandes problemas del manejo de los residuos y tiene como objetivos determinar la factibilidad técnica de la producción de compost utilizando los residuos de mercados y evaluar su relación costo/beneficio, considerando las ventajas ecológicas y agrícolas que se obtendrían. En general, los residuos sólidos en la ciudad de Lima tienen un alto porcentaje de materia orgánica, y son, por lo tanto, ideales para ser usados en el proceso de compostificación como un tratamiento final. Las condiciones climáticas de Lima, con su déficit de agua y pobre estructura de suelos para cultivo, hacen de la compostificación una alternativa óptima, ya que este abono orgánico enriquece la calidad del suelo y retiene agua.

La compostificación está precedida generalmente por un proceso de segregación para eliminar la materia inorgánica. Esto crea una situación ideal para llevar a cabo un programa de recuperación de materiales reciclables que funcionaría en forma conjunta con la producción de compost. Como es conocido, la segregación de los residuos es una fuente de

ingresos y es la actividad económica de un gran porcentaje de la población de Lima. Se sabe también que existen botaderos donde los camiones de recolección descargan la basura, la que se segrega para vender lo reciclable y la materia orgánica restante se utiliza para alimentar cerdos en condiciones altamente insalubres. Esto afecta la apariencia estética del área y origina serios problemas a la salud. Por otro lado, los ríos son utilizados como lugares de descarga y reciclaje de los residuos, contaminándolos y perjudicando el servicio de recolección, ya que los camiones abandonan sus rutas para dirigirse a estos lugares donde comercializan sus residuos, generalmente se toma para ello cerca de dos horas.

La compostificación es un método tradicional usado por las comunidades agrícolas mucho antes de la introducción del sistema de recolección de residuos municipales. Actualmente, se han sido diseñado y construido sistemas automatizados y costosos para la producción de compost, los cuales podrían resultar inadecuados para la ciudad de Lima. En este proyecto se propone un sistema simplificado que maximiza el uso de los recursos existentes, tales como la gran extensión de terreno y el bajo costo de la mano de obra.

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

El relleno sanitario Zapallal se encuentra en el distrito de Carabayllo, provincia de Lima, departamento de Lima. La temperatura media de la zona oscila entre 17 y 24°C y tiene una humedad relativa entre 80 a 90 %. La precipitación promedio mensual varía entre 0 y 6 mm. El cielo se halla cubierto por neblinas seis a ocho meses al año.

El proyecto tuvo una duración de cinco meses; los dos primeros fueron de revisión bibliográfica y habilitación del terreno dentro del área del relleno sanitario Zapallal, asignado para el desarrollo del estudio. La habilitación consistió en la nivelación del terreno con ayuda de maquinaria pesada (tractor, cargador frontal, volquete), y la construcción de una losa de concreto para la colocación y el control del material en compostificación. Los tres meses restantes correspondieron al seguimiento y evaluación del proceso.

El desarrollo de la investigación incluyó el estudio de caracterización de los residuos de mercados y la ejecución de una metodología que posibilite criterios de selección de la técnica más apropiada a utilizar en la etapa de producción rutinaria de compost.

3.1 Caracterización de los residuos de mercados

La razón del presente estudio es el conocimiento de la composición cualitativa, cuantitativa, físico- química y bacteriológica de los residuos de mercados que se reciben en el relleno sanitario Zapallal, con el objeto de establecer su uso para la elaboración de compost. A continuación se presentan las características de estos residuos:

- a) Recepción promedio : 63 ton/día
- b) Color : verde - negro
- c) Porcentaje de humedad : 60 - 70 %
- d) Densidad promedio : 0,50 ton/m³
- e) Composición de los residuos : Predominantemente residuos vegetales, verduras frescas y en proceso de descomposición. Pequeña cantidad de plásticos, maderas, cartón, trapos, etc.

COMPONENTE		% EMMSA(*)	% OTROS	% PROM.POND.
MATERIA COMPOSTABLE	RESIDUOS FRESCOS	46,46	25,01	30,80
	RESIDUOS EN DESCOMPOSICION	41,72	48,19	46,44
MATERIA NO COMPOSTABLE O DIFICIL DE COMPOSTAR	PLASTICO	3,36	7,20	6,16
	MADERA	1,14	3,15	2,61
	TRAPO	6,48	13,60	11,68
	PAPEL/CARTON	0,069	1,71	1,43
	METALES	0,15	0,35	0,30
	VIDRIO	--	0,79	0,58

(*) Empresa de Mercados Mayoristas S.A.

En conclusión, se tiene que:

COMPONENTE	% EMMSA	% OTROS	% PROM.POND.
MATERIA COMPOSTABLE	88,18	73,20	77,24
MATERIA NO COMPOSTABLE	11,82	26,80	22,76
	100,00	100,00	100,00

f) CARACTERISTICAS QUIMICAS (residuos EMMSA)

TIPO DE ANALISIS	UNIDAD	VALOR
Físico- químicos		
pH	pH	5,48
Cenizas	g/100 g	39,10
Sólidos volátiles	g/100 g	60,90
Carbono orgánico total	g/100 g	27,47
Nutrientes		
Nitrógeno total	g/100 g	1,37
Fósforo total	mg/g	0,18
Metales		
Potasio	mg/kg	4711,10
Cobre	mg/kg	9,95
Plomo	mg/kg	14,40
Cadmio	mg/kg	1,15
Arsénico	mg/kg	1,15
Mercurio	mg/kg	5,45

g) CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS (residuos EMMSA)

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Coliformes totales	NMP/100 g	2,4EO8
Coliformes fecales	NMP/100 g	2,4EO8

3.2 Selección del material

Se decidió utilizar los residuos de la Empresa de Mercados Mayoristas Sociedad Anónima (EMMSA), debido a que se componen principalmente de restos de vegetales con un porcentaje pequeño de material inorgánico.

3.3 Metodología

El sistema utilizado para la elaboración del compost fue el de la construcción de pilas de aproximadamente 2 toneladas de peso colocadas sobre la superficie de la losa de concreto. La investigación contempló la evaluación del proceso mediante cinco frecuencias diferentes de volteos. Debido al alto contenido de humedad de los residuos de mercados se consideró necesaria una aireación frecuente durante las primeras dos semanas con el fin de asegurar un proceso aerobio. Para las siguientes semanas se programaron frecuencias de volteo más espaciadas. Un sistema de rotación eleva los costos, por lo tanto, las pruebas tuvieron la finalidad de evaluar el intervalo de rotación conveniente y la solución más económica. A continuación se describe la metodología de la investigación:

Las frecuencias de rotación establecidas para cada par de pilas fueran las siguientes:

FRECUENCIA No. 1:		
Tiempo (días)	Frecuencia de volteos	Número de volteos
5	Diario	4
10	Cada 5 días	2
75	Cada 10 días	7
90		13
FRECUENCIA No. 2:		
Tiempo (días)	Frecuencia de volteos	Número de volteos
19	cada 2 días	9
16	cada 4 días	4
18	cada 6 días	3
37	cada 12 días	3
90		13
FRECUENCIA No. 3:		
Tiempo (días)	Frecuencia de volteos	Número de volteos
10	cada 3 días	3
8	cada 4 días	2
72	cada 10 días	7
90		12
FRECUENCIA No. 4:		
Tiempo (días)	Frecuencia de volteos	Número de volteos
13	cada 4 días	3
15	cada 5 días	3
16	cada 8 días	2
20	cada 10 días	2
26	cada 12 días	2
90		12

FRECUENCIA No. 5:		
Tiempo (días)	Frecuencia de volteos	Número de volteos
11	cada 5 días	2
79	cada 10 días	7
90		9

A lo largo de todo el proceso, y principalmente cuando correspondía efectuar el volteo, se extrajeron de las pilas de compost todo tipo de material inorgánico o de difícil degradación, tales como metales, vidrios, plásticos, trapos, maderas, etc. En cada par de pilas, a una se le adicionó cal viva y virutas de madera entre las capas de residuos. El objeto fue conocer la influencia de la cal en la regulación del pH, que tiende a ser ácido durante los primeros días, y, en el caso de las virutas de madera, para estudiar cómo mejora la aireación de las pilas por su propiedad de retener aire entre sus poros.

El desfase de tiempo que hubo en la formación de las pilas de compost permitió observar el comportamiento de las primeras seis pilas en relación a la adición de cal viva y virutas de madera, comprobando, según los análisis de pH y medición de la temperatura, que esta adición no presentaba mayor influencia en el proceso; por esta razón se decidió eliminar esta prueba en los dos últimos pares de pilas, colocando en su lugar otra pila de compost para estudiar una frecuencia de volteos diferente a las descritas anteriormente. De esta manera se planteó la frecuencia No. 6.

FRECUENCIA No. 6:		
Tiempo (días)	Frecuencia de volteos	Número de volteos
10	cada 3 días	3
12	cada 4 días	3
24	cada 6 días	4
44	cada 12 días	3
90		13

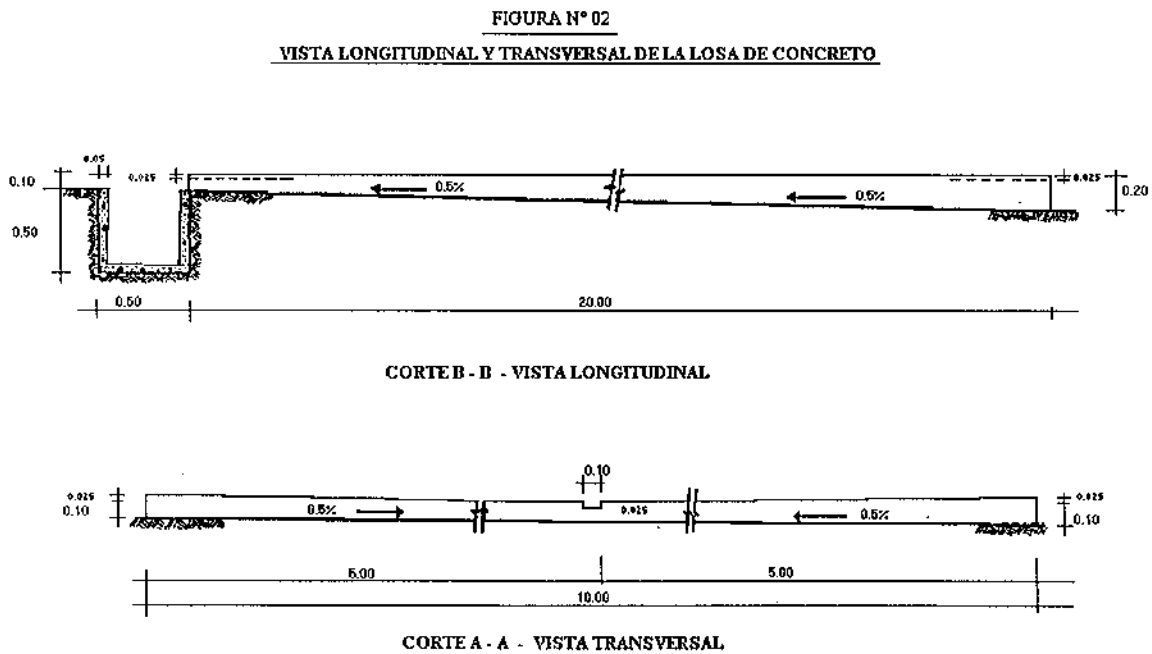
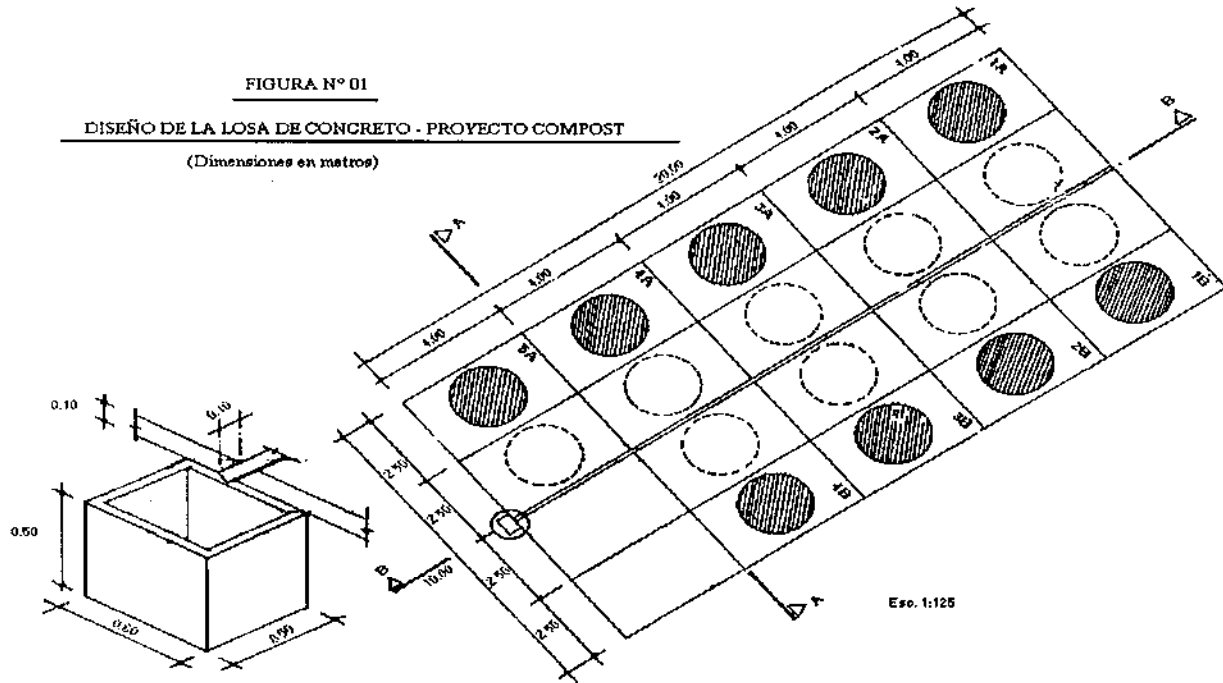
Los volteos se realizaron en forma manual y con maquinaria pesada. En ambos casos se tomaron los tiempos empleados a fin de realizar el análisis de costos. Para los volteos con maquinaria pesada se empleó un cargador frontal Komatsu WA 250. El muestreo del material en compostificación se realizó tanto al inicio del trabajo como en su fase media y al finalizar el proceso, para efectuar el análisis microbiológico y físico-químico que proporcionara datos para la evaluación respectiva.

La lectura de la temperatura de la masa en compostificación se realizó diariamente en cuatro puntos diferentes de la pila. Las pilas fueron humedecidas, principalmente cada vez que eran volteadas y también cuando la temperatura del ambiente era elevada ocasionando una evaporación y sequedad notoria. Se tomaron datos periódicos del pH de la pila de compost con el fin de evaluar el avance del proceso de degradación de la materia orgánica.

3.4 Instalaciones de campo y recursos utilizados

Para controlar el proceso de compostificación se construyó una losa de concreto de 10 m de ancho por 20 m de largo. Se colocó un canal al centro de la losa para permitir la

captación y recirculación de los lixiviados que pudieran generarse debido a la humedad de los residuos, reponiendo de esta forma los nutrientes y materia orgánica soluble a las pilas en compostificación. En las Figuras 1 y 2 se muestran detalles del diseño de la losa de concreto, la cual tiene divisiones para colocar 10 pilas de compost de aproximadamente 2 ton cada una. Las herramientas utilizadas en este tipo de trabajo fueron la zapa, lampa, escoba y rastrillo además de una regadera con una capacidad de 10 galones para el humedecimiento de las pilas. Se contó con el apoyo de un trabajador para las labores de remoción de materiales inertes, limpieza del área, acondicionamiento y regado de las pilas, etc.



ESC.: 1:25

3.5 Monitoreo y control del proceso

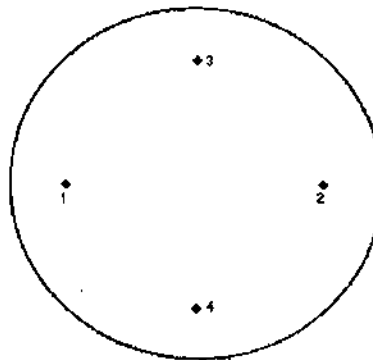
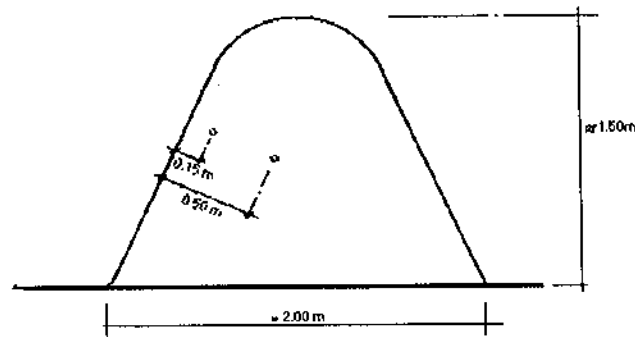
De acuerdo a las mediciones efectuadas, se alcanzaron temperaturas de hasta 69°C en el interior de la masa en compostificación, con un promedio general en la fase de fermentación termofílica de 60°C. Con el fin de llevar a cabo un control y evaluación del proceso se realizaron mediciones de cantidad y tipo de organismos patógenos tanto antes de iniciar el tratamiento como en la fase media y en la fase final del proceso.

De igual manera se realizaron análisis de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio, que proporcionan datos sobre la calidad en contenido de nutrientes del compost y se llevó un control periódico de la temperatura, pH y humedad, parámetros que indican el grado de avance del proceso de compostificación. A continuación se describen los principales parámetros evaluados en el proceso de compostificación y la metodología empleada.

a) Temperatura. - El control de la temperatura se realizó en cuatro puntos de la pila de compost, tal como se muestra en la Figura 3. Se tomó la temperatura a 50 cm y 15 cm de la superficie de la pila.

FIGURA N° 03

PUNTOS DE MEDICION DE TEMPERATURA EN LAS PILAS DE COMPOST



Eso. 1:25

- b) pH.- Para analizar el pH se utilizó el papel indicador universal, el cual se introdujo en una solución de 50 g de muestra con 200 ml de agua destilada, obteniendo el valor mediante comparación con la respectiva carta de colores.
- c) Humedad.- Para conocer el porcentaje de humedad se tomó una muestra de 300-500 g de material de diferentes puntos de la pila, principalmente en el momento de realizar el volteo y se colocó dentro de una bolsa con cierre hermético. Se llevó la muestra al laboratorio, se pesó el recipiente vacío acondicionado para la prueba de humedad (M1), se colocó la muestra húmeda en su interior y se pesó (M2). Se colocó el recipiente con la muestra en el horno a 70°C durante 24 horas hasta obtener un peso constante. Se pesó el recipiente con la muestra seca (M3) y se calculó el porcentaje de humedad por diferencia entre el peso húmedo y seco.
- d) Carbono.- Para la evaluación del carbono orgánico total (COT) se sometió la muestra a un pretratamiento: se pesó de 10 a 20 gramos de muestra, se licuó con agua destilada y al filtrado se le adicionó agua destilada hasta obtener un litro. En esta muestra pretratada se midió el carbono evaluándolo en términos de demanda química de oxígeno (DQO), y se calculó como DQO/2.
- e) Nitrógeno.- La muestra recibió un pretratamiento previo siguiendo el mismo procedimiento descrito para la medición del carbono. El nitrógeno se evaluó por el método de Kjeldahl.
- f) Potasio.- Se evaluó por el método de la flama (flamometría).
- g) Fósforo.- Se midió por el método del fosfato por colorimetría, previo pretratamiento de la muestra con el mismo procedimiento empleado para la determinación del carbono.
- h) Sólidos volátiles y sólidos finos (cenizas).- Se evaluaron calcinando un peso conocido de la muestra seca a una temperatura de 550°C por 4-6 horas. El peso perdido se consideró como sólidos volátiles y el peso restante se tomó como cenizas.
- i) Metales pesados.- Se empleó el método de absorción atómica.
- j) Organismos patógenos:

Bacterias: Se analizó coliformes totales y fecales mediante la técnica del número más probable (NMP) por tubos múltiples, según el Standard Methods, (APHA 1989). Se realizó también la prueba de ausencia/presencia de *Vibrio Cholerae* según el Standard Methods (APHA 1989).

Enteroparásitos: Se realizó la prueba de ausencia/presencia en 200 gramos de muestra. La concentración de huevos y larvas de helmintos y quistes de protozoarios se efectuó con la técnica de centrifugación- flotación con sulfato de magnesio (densidad 1,2).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis microbiológicos

a) Análisis bacteriológico

Coliformes Totales: El 67% de las pilas presentó una reducción de 3 logaritmos en la población de conformes totales (pilas 1 A, 1 B, 2A, 2B, 3A, 3B), el 11 % mostró una reducción de 4 logaritmos (pila 4A), y en el 22% de las pilas se apreció una reducción de 5 logaritmos (pilas 4B y 5A).

Coliformes Fecales: En la pila 1B se observó una reducción de 3 logaritmos en la población de coliformes fecales. El 67% de las pilas (pilas 1A, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A) mostró una reducción de 4 logaritmos, y el 22% de ellas presentó una reducción significativa de 5 logaritmos (pilas 4B y 5A).

En general se observó que las pilas con cal (1 B, 2B, 3B) presentaron en los primeros quince días de compostificación una menor reducción de coliformes que aquellas que no contenían cal. Es probable que la cal haya inhibido la acción de ciertos microorganismos a la vez que destruyó otros, pudiendo ser eliminados también los microorganismos aerobios responsables de la fermentación. Posteriormente los microorganismos se recuperaron y se formó un grupo de bacterias que degradan la materia orgánica en forma eficiente pues se observó que en el período entre el segundo y tercer análisis, la remoción de conformes fecales en las pilas con cal fue de 3 logaritmos en todos los casos. En conclusión, la mayor eficiencia en este grupo se alcanzó en las pilas 2B y 3B, pues en ambos casos la remoción de coliformes totales y fecales fue de 3 y 4 logaritmos respectivamente. Al parecer esto se debe a que los volteos fueron más frecuentes para las pilas 2B y 3B (cada 3 días y a diario respectivamente), que para la pila 1B (cada 4 días).

Se observó que las pilas que alcanzaron mayor eficiencia en la remoción de coliformes totales y fecales fueron las pilas 4B y 5A. De ellas, la pila 4B fue la que presentó una menor cantidad en el número más probable de coliformes totales y fecales. En función de los resultados obtenidos, se recomienda emplear durante el primer mes la frecuencia de la pila 5A (volteos cada cinco días), y posteriormente hasta el final del proceso, emplear la frecuencia de volteos de la pila 4B (cada 6-12 días).

Vibrio cholerae: No se detectó presencia de *Vibrio cholerae* O1 en ninguna de las pilas, pero se ha detectado presencia de *Vibrio cholerae* No O1 (N.O1, *Vibrio* no aglutinable O1), una de las especies del género *Vibrio* que puede producir el cólera u otras enfermedades infecciosas. Este *Vibrio* fue identificado en las pilas 1A, 1B, 2B y 5A con porciones de 100 y 10 gramos. Sin embargo, no se detectaron en análisis posteriores debido a las altas temperaturas alcanzadas, pues se sabe que la temperatura óptima para su crecimiento es de 35-40°C, y en las pilas de compost se llegó a detectar temperaturas superiores a 60°C.

b) Análisis parasitológico

En cuanto al análisis parasitológico se observó que al inicio del proceso, todas las pilas mostraron presencia de huevos de *Ascaris* sp. Sin embargo, en el último análisis, sólo se detectó su presencia en la pila 1B. Una de las razones para la muerte de los huevos de helmintos enteroparásitos en las pilas de compost es la autólisis y degradación microbiana. La digestión mesofílica (35°C) reduce la viabilidad de los huevos de helmintos en un 30 a 50%; y la digestión termofílica (49- 60°C) reduce la viabilidad en un 99% (6). La presencia de

Trichuris sp y de Ooquistes de coccideas no se dio en todas las pilas, pero se observó en el análisis final que fueron eliminados por completo. Los otros microorganismos detectados corresponden a una fauna normal, cuya presencia se debe a que el material se encuentra expuesto al ambiente. Son microorganismos de vida libre y no son perjudiciales para el hombre. Se puede decir que su presencia indica que el compuesto no es tóxico, pues permite el desarrollo de su fauna.

4.2 Análisis físico- químicos

pH.- El pH inicial fue ácido, entre 4,5 y 6,0, pero permaneció en el rango alcalino para el compost maduro. El análisis correspondiente mostró un incremento del pH durante el proceso en todas las pilas. Este incremento varió de 40 a 70%, resultando el valor final entre 8 y 9, lo cual representa un compost estable.

Cenizas.- El porcentaje de ceniza representa la cantidad de materia inerte en la muestra de compost. Los análisis mostraron un incremento en el valor de este parámetro para todas las pilas excepto para la pila 4A. Este incremento se debió principalmente a que el contenido de materia orgánica disminuyó con el tiempo debido a las reacciones de fermentación aerobia que generaron desprendimiento de dióxido de carbono y agua. Otra razón importante fue que la zona donde se desarrolló el proyecto está cerca de la vía de acceso a la zona de disposición final de residuos, existiendo tránsito de unidades las 24 horas del día. Esto, y los fuertes vientos registrados arrastraron partículas de polvo que fueron retenidas en las pilas en compostificación. Es probable que el descenso en el porcentaje de ceniza detectado en la pila 4A se deba a deficiencias en el muestreo, habiéndose llevado al laboratorio una muestra no representativa.

Sólidos Volátiles.- Los sólidos volátiles pueden ser considerados como el porcentaje de materia orgánica presente en la muestra de compost. Se observó una disminución de su valor en todas las pilas (excepto en la pila 4A por el motivo indicado anteriormente). Esta disminución se debió básicamente a la razón señalada en el análisis del contenido de cenizas, es decir, por el desprendimiento de dióxido de carbono y agua.

Carbono Orgánico Total.- 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 del 8 al 38% en el contenido de carbono en todas las pilas, con excepción de la pila 4B, que mostró un incremento del 66%, debido probablemente, como en el caso anterior, a un deficiente muestreo.

Nitrógeno.- El 83% de las pilas que no tuvo adición de cal mostró un incremento o permanencia en el contenido de nitrógeno que va de 0 a 14%. En el caso de las pilas con cal, el 67% de ellas mostró una disminución del contenido de nitrógeno. Esto se debe a que la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco (gas) es mayor cuando el pH es más alto, por lo que adicionar material alcalino a las pilas de compost puede resultar más perjudicial que beneficiosa.

Fósforo.- En el 100% de las pilas se apreció un incremento en la cantidad de fósforo, lo cual se debe a la reducción de la materia orgánica por el proceso de fermentación aerobia. La

cantidad de fósforo podría disminuir en caso de existir lixiviación en las pilas, situación que prácticamente no se dio en ningún caso.

Relación Carbono- Nitrógeno.- La relación carbono/nitrógeno para casi todas las pilas de compost al finalizar el proceso varió entre 12 y 17, lo cual representa un compost estable. En el caso de la pila 4B, la relación final fue de 35,4.

Metales pesados.- Debido al costo de estos análisis sólo se tomaron en total, dos muestras de las pilas de compost. El contenido de metales encontrado está por debajo de los valores límite considerados para cultivos alimenticios y cultivos ornamentales, salvo en el caso del mercurio, que sobrepasa en un 8 % el valor límite. Es necesario confirmar estos datos aumentando el número de análisis. La probable explicación para la presencia de cadmio sería el riego de cultivos con aguas residuales industriales (lodos de acequias de irrigación), así como la presencia de envases de plástico coloreado entre los residuos de mercados, ya que algunos pigmentos para colorear plásticos contienen cadmio. En el caso del mercurio, la contaminación podría haber sido accidental, pues en nuestro medio ya no se usan los plaguicidas mercuriales. Por estas razones es importante verificar los datos obtenidos aumentando el número de análisis de metales pesados a por lo menos seis muestras.

4.3 Evaluación económica

A efectos de calcular el costo de producción por tonelada de compost, se ha considerado una producción de 32 ton cada 3 meses (aproximadamente 10 toneladas por mes), tomando como base la disponibilidad del área habilitada para tal fin. Es necesario indicar que los costos pueden reducirse considerablemente incrementando la producción y utilizando los equipos de dimensión adecuada, en especial en lo que respecta al cargador frontal y cisterna. Los costos están dados en dólares americanos, utilizando el cambio de EUA\$1.00 = S/.1,950.00.

a) **Producción con utilización de maquinaria** (análisis de costos por tonelada de producto)

I. Costos de Inversión

- ◊ Infraestructura (habilitación de área) = \$ 4 056,52
- ◊ Tiempo de depreciación = 10 años
- ◊ Producción anual de compost = 128 ton
- ◊ Costo de inversión por tonelada = \$ 1,86

II. Costos de operación

Personal

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
			\$	\$	\$
Peón	h-h	26,25	1,26	33,08	33,08

Herramientas

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO PARCIAL \$	COSTO TOTAL \$
Zapa	U	0,016	13,53	0,22	
Lampa	U	0,016	11,76	0,19	
Rastrillo	U	0,016	11,76	0,19	
Escoba	U	0,062	3,53	0,22	0,82

Equipos

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO PARCIAL \$	COSTO TOTAL \$
Cargador frontal	h-m	0,875	45,80	40,08	
Cisterna	h-m	0,250	15,88	3,97	44,05

$$\begin{aligned}\text{Costo de operación por tonelada} &= 33,08 + 0,82 + 44,05 \\ \text{Costo de operación por tonelada} &= \$ 77,95\end{aligned}$$

III. Costos administrativos

$$\begin{aligned}\text{Gastos administrativos} &= 15\% (\text{Costo de operación}) \\ \text{Gastos administrativos} &= 0,15 \times 83,47 = \$ 12,52 \text{ por ton}\end{aligned}$$

Costo total por ton = costos de inversion + costos de operacion + costos administrativos

$$\text{Costo total por tonelada} = 1,86 + 77,95 + 12,52 = \$ 92,33$$

Al costo total se le debe deducir el costo equivalente a la disposición final de dichos residuos (\$ 8,70)

$$\text{Costo total por tonelada} = 92,33 - 8,70$$

Costo Total por Tonelada = \$ 83,63

b) **Producción vía volteo manual** (análisis de costos por tonelada de producto)

I. Costos de inversión

- ◊ Infraestructura (habilitación del área) = \$ 4 056,52
- ◊ Tiempo de depreciación = 10 años
- ◊ Producción anual de compost = 128 ton
- ◊ Costo de inversión por tonelada = $2\,386,19/10 \times 128$
- ◊ Costo de inversión por tonelada = \$ 1,86

II. Costos de operación

Personal

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO PARCIAL \$	COSTO TOTAL \$
Peón	h-h	33,75	1,26	42,52	42,52

Herramientas

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO PARCIAL \$	COSTO TOTAL \$
Zapa	U	0,031	13,53	0,42	
Lampa	U	0,031	11,76	0,36	
Rastrillo	U	0,031	11,76	0,36	
Escoba	U	0,062	3,53	0,22	1,36

Equipos

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO PARCIAL \$	COSTO TOTAL \$
Cisterna	h-m	0,25	15,88	3,97	3,97

$$\text{Costo de operación por tonelada} = 42,52 + 1,36 + 3,97 = \$47,85$$

III. Costos administrativos

$$\text{Gastos administrativos} = 15\% (\text{Costo de operación})$$

$$\text{Gastos administrativos} = 0,15 \times 47,85$$

$$\text{Gastos administrativos por tonelada} = \$7,18$$

Entonces:

Costo total por ton = costos de inversion + costos de operacion + costos administrativos

$$\text{Costo total por tonelada} = 1,86 + 47,85 + 7,18 = \$ 56,89$$

Al costo total se le debe deducir el costo equivalente a la disposición final de dichos residuos (\$ 8,70)

$$\text{Costo total} = 56,89 - 8,70$$

Costo Total por Tonelada = \$ 48.19
--

5. CONCLUSIONES

- ◊ Utilizando los residuos de mercados para la producción de compost, el producto obtenido representa aproximadamente el 30% de la materia prima empleada.

- › El proyecto de producción de compost es técnicamente factible y ambientalmente favorable porque aprovecha un recurso que actualmente no se utiliza, evitando su disposición final y disminuyendo la posibilidad de la generación de lixiviados.
- › Es recomendable considerar para el futuro la posibilidad de utilizar los residuos domésticos para la producción de compost. En este caso, dada la composición de estos residuos (40 % de materia orgánica), el potencial de producción sería de aproximadamente 120 toneladas diarias, considerando una recepción promedio de 1 000 ton/día.
- › 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 compostificación. En todas las pilas, a los 5-7 días de iniciado el proceso se detectaron temperaturas altas que variaron entre 60-69°C, lo cual es un factor importante para la destrucción de ciertos microorganismos patógenos.
- › Cuando los períodos de volteo son cortos (3-4 días), la aireación del material es buena y la flora activa sufre cambios cuantitativos y cualitativos. La población mesofílica es reemplazada por especies termofílicas que continúan con el proceso de fermentación. Esto se comprueba en las lecturas de temperatura de las pilas, donde se observa que el comportamiento de este parámetro revela una fermentación mesofílica seguida de una termofílica.

El tiempo mínimo necesario para la producción manual de compost es de 60 días. Los siguientes 30 días son necesarios para la completa maduración del compost. Es posible comercializar el producto a los 60 días con la indicación de almacenarlo un tiempo antes de su uso.

La frecuencia óptima de volteos es: durante la primera etapa (aproximadamente 3 semanas) cada 4-6 días, y durante la segunda etapa (9 semanas) hasta un máximo de 90 días, cada 6-12 días, de acuerdo a la evaluación de los resultados obtenidos en cuanto a la reducción de conformes totales y fecales, presencia de *Vibrio cholerae*, etc.

De acuerdo al análisis de costos, se observa que la producción con volteo manual reporta un costo menor que la producción con utilización de maquinaria pesada (cargador frontal), para la producción proyectada en el presente estudio (128 ton/año). Este costo (\$48,19) es considerablemente menor que el precio de venta del compost en el mercado de Lima (aprox. \$ 60). La producción proyectada responde al tamaño de la planta piloto, para una posible ampliación a escala industrial, será necesario realizar el análisis respectivo.

No es necesario ni conveniente adicionar compuestos alcalinos a las pilas para regular el pH del material en compostificación, ya que no se han observado variaciones significativas respecto a las pilas que no recibieran este compuesto. La adición mencionada sólo incrementaría el costo de producción.