

## Manejo de residuos sólidos urbanos en el norte de Chile.

### Management of urban solid residuals in northern Chile.

Mónica Villafañe Hormazábal\*

#### RESUMEN

En el norte de Chile, especialmente en la II Región, la minería utiliza recursos hídricos que podrían ser aprovechados en agricultura, donde por razones de rentabilidad y de empleo se hacen difícil argumentar en defensa del uso agrícola del recurso.

La situación de extrema precariedad que se observa en los sistemas frágiles (pampa nortina), tanto de recursos como de las poblaciones pobres asentadas sobre ellos, puede con una adecuada gestión de sus residuos mejorar en parte el problema de la pobreza rural asentada en ecosistemas frágiles.

En ecosistemas naturales, el suelo se encuentra más o menos cubierto de vegetación, asegurando materia orgánica y aporte de nutrientes. No ocurre lo mismo en el desierto de Chile, donde el suelo se encuentra sin capa vegetal, con ausencia de materia orgánica, presenta inestabilidad estructural y baja capacidad de retención hídrica.

En este trabajo se estudió un proceso artesanal para hacer compostaje en el desierto, a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de pequeñas comunidades, superando la dificultad de las grandes variaciones de temperatura diaria y escasez de agua. Con este sistema se evitó adicionar agua de Baquedano la que tiene 0,20 mg/l de arsénico.

**Palabras clave:** Residuos sólidos urbanos, compostaje, suelo.

#### ABSTRACT

In northern Chile, specially in the Second Region, the mining industry uses water resources that could be well used for agriculture, but economical and management reasons makes it difficult to make an argument in favor of this idea.

In normal conditions the ground is found more or less covered with vegetation thus assuring organic material and nutrients. Nevertheless, this does not occur in the north of Chile, where the ground does not have a vegetation layer and, without organic material and texture, it presents structural instability and no water retention capacity.

The organic residual compost is a well known worldwide process since very old time, in which the organic residuals are transformed to a material called compost widely used ample use in agriculture. Now, it is a very difficult to carry this out in an absolute desert, where there is little humidity, winds have high velocities, the water quality is bad and has a large temperature gradient between day and night.

A handcraft process was studied to do a compost in the desert starting from the organic fraction of urban solid residuals from small communities, overcoming the water shortage and the daily temperature gradients. With this system, no water was required during the compost thus avoiding the arsenic problem since the water in Baquedano has 0.20 mg/l.

Keyword: compost, soil, urban solid residuals

---

\* Universidad de Antofagasta, Instituto del Desierto, Fax: 56-55-248429, Casilla 170, Antofagasta-Chile.

## INTRODUCCIÓN

El estudio se desarrolló en la comuna de Sierra Gorda, provincia de Antofagasta, II región del país cuya superficie es de 13.062 km<sup>2</sup>, equivalente al 10.3% de la superficie regional representando una densidad de 0,01 hab/km<sup>2</sup>. Cartográficamente Baquedano se encuentra a 23° 27' de latitud Sur y 70° 00' de longitud Oeste, en una amplia planicie al interior de Antofagasta; a 1.444 km. al Norte de Santiago, 74 km. al Oeste de Antofagasta y 136 km. al Sur de Calama.

La comuna es poco significativa en términos de población (Censo de Población y Vivienda de 1992) representando el 0,3 % del total regional, con una población de 1.425 habitantes, donde un 72 % es de sexo masculino y un 28 % de sexo femenino.

El clima es desértico normal, tipo BW (según Koppen) o clima desértico absoluto (según Golubev y Reyes) y caracteriza principalmente a la depresión intermedia regional en la denominada pampa. Es ésta la

zona más árida del mundo, con precipitaciones generalmente ausentes que no superan el milímetro como promedio anual. En ciertas oportunidades se producen desplazamientos de centros de bajas presiones hacia el suroeste que traspasan la Cordillera de los Andes, hecho que provoca fuertes precipitaciones causando grandes avenidas de barro (lluvias torrenciales con carácter de aluvión). Presenta baja humedad relativa, y gran limpieza atmosférica; los vientos son fuertes y a veces turbulentos. Las temperaturas registran grandes contrastes entre el día y la noche, en tanto que las temperaturas medias mensuales son inferiores a 18° C.

El recurso hídrico del área de estudio está constituido posiblemente por aguas fósiles, y una posible recarga de la vertiente oeste de la cordillera de Domeyko. El abastecimiento de agua se hace a través de la aducción Siloli de propiedad del F.C.A.B., quien entrega un caudal aproximado a 60 l/s. La calidad de las aguas de servicio de la comuna de Sierra Gorda son:

**Tabla Nº 1**

**Calidad de agua.**

Localidad	Arsénico mg/l	Bacteriológico	Desinfección
Baquedano	0,20 Mala	Regular	Mala
Sierra Gorda	0,10 Mala	Regular	Mala

Fuente: Grupo de Recursos Hídricos, proyecto ODA (P.A.R.A.)

La pampa nortina es extremadamente árida, con ausencia absoluta de cubierta vegetal. Tales condiciones reflejan la presencia de entisoles, caracterizado por la ausencia de evolución de horizontes, altos contenidos de sales de constitución principalmente mineral y ausencia de materias orgánicas. Los suelos son de clase VIII, según la clasificación de capacidad de uso de tierra (IREN, 1973), y corresponden a suelos sin ningún potencial de utilización agrícola, presentando serias limitaciones (carencia de suelos orgánicos).

El área de la comuna corresponde al desierto absoluto donde la falta de precipitaciones inhibe la presencia de vida; sin embargo, algunos mantos vegetales débiles logran caracterizar el área. En cuanto a fauna, lo típico del hábitat desértico en las cercanías de las minas o de los lugares habitados son los zorros, roedores y aves carroñeras.

## 2. DISEÑO DE EXPERIENCIA DE COMPOSTAJE.-

Se compostaron dos pilas de materia orgánica, con residuos orgánicos previamente triturados llevados desde Antofagasta y ambas pilas con diseños experimentales diferentes. El procedimiento seguido fue el siguiente:

### Pila 1

#### Aislación.-

- En el suelo se colocó una carpeta de plástico negra de 0,5 mm de espesor.

#### Recubrimiento.-

- Sin recubrimiento externo la primera semana.

- Segunda semana se recubre con un polietileno completamente.
- Tercera semana se hace una perforación en el plástico y se pone un ducto de pvc en forma vertical de 5" de diámetro.

#### Aireación.-

- Forma manual mediante el volteo de la masa a compostar.
- Primera semana: dos veces.
- Segunda y tercera semana: tres veces.
- Cuarta semana: dos veces.
- Quinta semana y en adelante: cada dos semanas (quincenalmente).

#### Medición de temperatura.-

- Se usaron termocuplas para monitorear la temperatura interna de la pila.
- 7 termocuplas se colocaron en diferentes posiciones de la pila y una quedó al ambiente.
- Se mantuvieron las termocuplas por un mes.
- En el segundo y tercer mes se registró la temperatura con un termómetro de 100°C

#### Material inerte.-

- Se usaron 50 l de materia orgánica seca, proporción 1:4.

#### Material a compostar.-

- 150 l de materia orgánica clasificada la primera semana.
- Material triturado, menor a 4 cm
- 200 l de materia orgánica clasificada en origen la segunda semana.

#### Agua.-

- Sin riego.

### Pila 2

#### Aislación.-

- En el suelo se colocó una carpeta de plástico negra de 0,5 mm de espesor.

#### Recubrimiento.-

- Desde el inicio se recubre con polietileno y con un ducto de pvc en forma vertical de 5" de diámetro

#### Aireación.-

- Forma manual mediante el volteo de la masa a compostar.
- Primera semana: dos veces.
- Segunda y tercera semana: tres veces.
- Cuarta semana: dos veces.
- Quinta semana y en adelante: cada dos semanas (quincenalmente).
- Se colocan cuatro tubos de pvc de 32 mm, perforados cada 20 cm, unidos dos de ellos con una tee en su parte central, de manera que queden dos tuberías con una salida de tee directa al ducto vertical (Figura 1)
- Las tuberías se colocan en la parte inferior de la pila.
- Se coloca un ducto de pvc en forma vertical formando una chimenea (Figura 2)

#### Medición de temperatura.-

- Se usaron termocuplas para monitorear la temperatura interna de la pila.
- 7 termocuplas se colocaron en diferentes posiciones de la pila y una quedó al ambiente.
- Se mantuvieron las termocuplas hasta el término de la experiencia.

#### Material inerte.-

- No se usó.

#### Material a compostar.-

- 600 l de materia orgánica clasificada.
- Material triturado, menor de 4 cm.

#### Agua.-

- Sin riego.

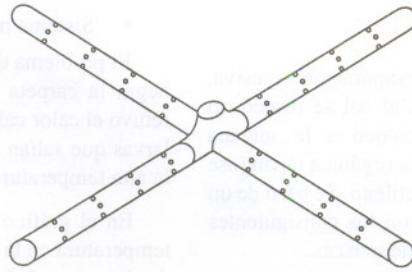


Figura 1.- Sistema de tuberías

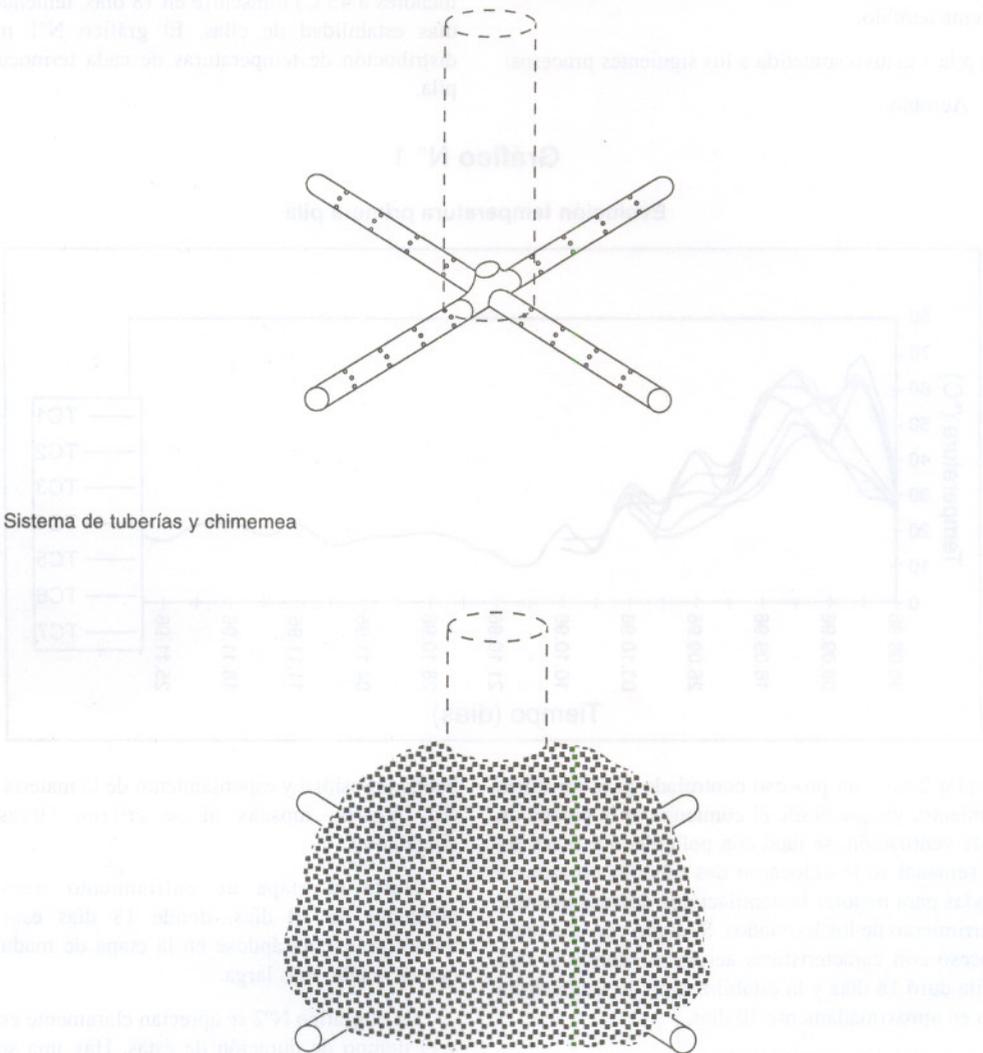


Figura 2.- Sistema de tuberías y chimenea

Figura 3.- Sistema de compostaje

### 3. ANÁLISIS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.-

La pila 1 presentó inicialmente evaporación excesiva, ya que toda la superficie expuesta al sol se reseco no lograndose digerir, por ello se colocó a la semana siguiente una nueva dosis de materia orgánica tapándose esta vez completamente con un polietileno. Se pasó de un sistema aerobio a uno anaerobio, con los consiguientes problemas de olores y polifерación de moscas.

Al colocar el polietileno se mejoró la humedad pero se cambió a una modelación anaerobia, por lo que a la semana siguiente se hizo un ducto de aireación logrando tener así una circulación de aire de manera de acercarse a un sistema aerobio.

La pila 1 estuvo sometida a los siguientes procesos:

- Aerobio.

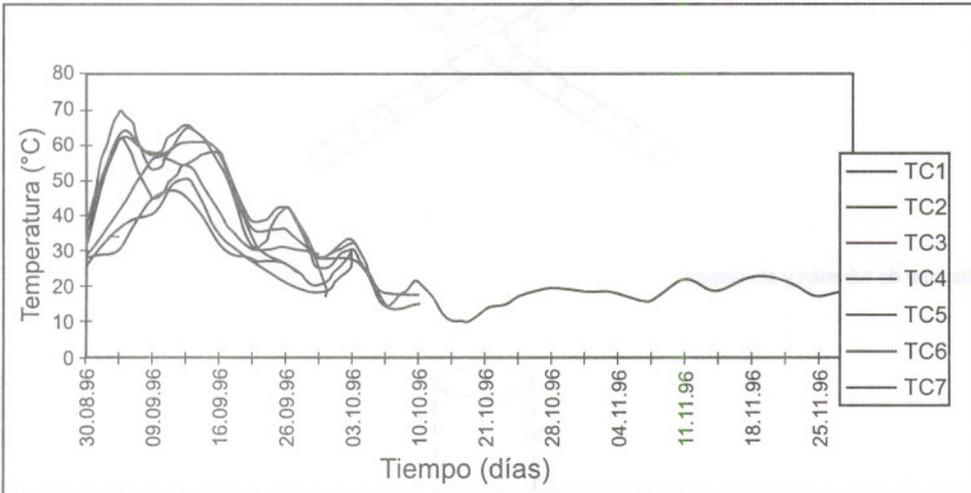
- Anaerobio.
- Sistema mixto (aerobio-anaerobio).

El problema de moscas no fue excesivo, ya que al ser negra la carpeta de plástico que se usó como aislante retuvo el calor calentándose demasiado, de forma que las larvas que salían de la pila morían quemadas a causa de la alta temperatura alcanzada.

En el gráfico N°1 se puede apreciar el efecto de la temperatura en la pila 1. Este muestra dos crestas a causa de la sequedad de los residuos expuestos a altas temperaturas ambientales y a las dos veces que se le adicionó materia orgánica. Las temperaturas máximas no sobrepasan los 70°C y la fase termófila (temperaturas menores a 45°C) transcurre en 18 días, teniendo a los 42 días estabilidad de ellas. El gráfico N°1 muestra la distribución de temperaturas de cada termocupla en la pila.

### Gráfico N° 1

#### Evolución temperatura primera pila



La pila 2 tuvo un proceso controlado pues no sufrió resecamiento, ya que desde el comienzo se le colocó un ducto de ventilación, se tapó con polietileno y fuera del volteo semanal se le colocaron dos tuberías cruzadas y perforadas para mejorar la ventilación y además permitir el escurrimiento de los lixiviados. Se logró con ello tener un proceso con características aeróbicas, donde la fase termófila duró 18 días y la estabilización de temperatura se tuvo en aproximadamente 30 días.

Con el proceso modelado de esta manera no hubo problemas de olores ni de resecamiento. Se eliminaron muy bien los lixiviados durante el proceso y hubo una

buena porosidad y esponjamiento de la materia orgánica. No llegaron moscas ni se criaron larvas en sus alrededores.

Hasta la etapa de enfriamiento transcurrieron alrededor de 30 días, donde 18 días estuvo en la termófila, encontrándose en la etapa de maduración, la que es mucho más larga.

En el gráfico N°2 se aprecian claramente estas etapas y el tiempo de duración de éstas. Hay una sola cresta, muy bien definida por todas las termocuplas. La curva tiene una disminución semejante a la señalada la literatura, pero más corta, probablemente por el sistema

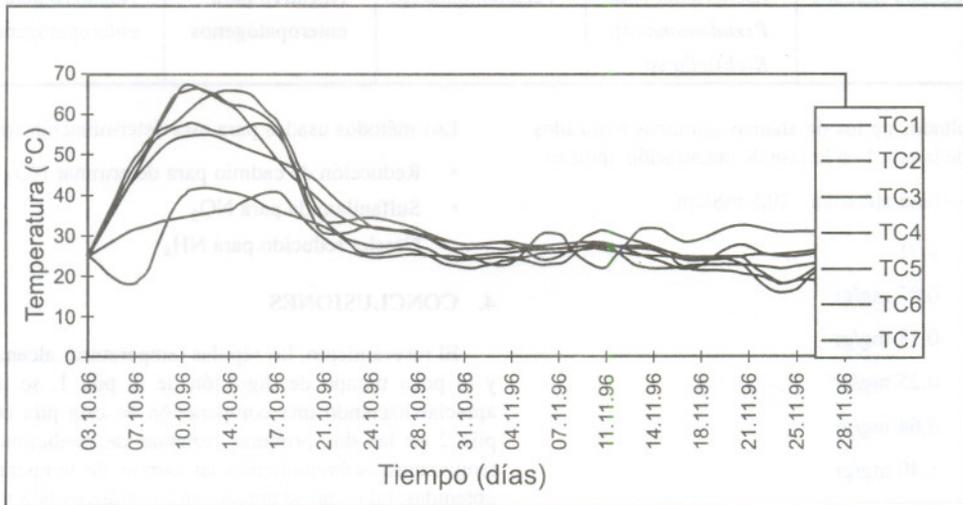
de digestión. Esta pila no se mezcló con ningún agente estructurante. Se experimentó sin él debido a su ausencia en Baquedano.

En ambas pilas la fase termófila duró 18 días. A la pila 1 se le colocó dos veces materia orgánica, una vez

por semana, por lo que esta fase debería haber durado más tiempo. Esto indica que existió un proceso anaerobio por la rápida digestión y la disminución de esta fase. En virtud de esto se puede decir que la fase termófila tuvo un tiempo real mayor en la pila 2.

**Gráfico N° 2**

**Evolución temperatura segunda pila**



Los resultados microbiológicos muestran que al comienzo del proceso es posible aislar algunos enteropatógenos, como ser : *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Yersinia* sp., *Escherichia coli*, etc., y que era muy predecible que así ocurriera debido al origen de dichos materiales, ahora una vez completada la fase de maduración del proceso y debido a las altas temperaturas alcanzadas (70°C) que ejercen un efecto esterilizante, fue posible ir reduciendo paulatinamente la carga bacteriana y con ello el compost quedó exento de microorganismos patógenos.

En conjunto con la búsqueda de enteropatógenos se realizó un análisis de carga bacteriana utilizando el método tradicional de recuento bacteriano aplicado a muestras contaminadas ( "Recuento de Coliformes Totales " ), expresado esta vez por gramo de basura, que permitió poner en evidencia la cinética de descenso del número de microorganismos presentes. En las Tablas N°2 y N° 3 se aprecia la disminución de enteropatógenos y carga bacteriana en el compostaje.

**Tabla N° 2**

**Análisis Microbiológico primera pila.-**

PILA 1	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
Fecha	05.09	26.09	10.10	21.11
N° de coliformes col./gr.basura	1,06 x 10 <sup>8</sup> C.T.	2,08 x 10 <sup>4</sup> C.T.	8,7 x 10 <sup>3</sup> C.T.	2,8 x 10 <sup>2</sup> C.T.
Enteropatógenos aislados	<i>Salmonella</i> sp. <i>Escherichia coli</i> <i>Pseudomonas</i> sp. <i>Klebsiella</i> sp	<i>Escherichia coli</i> <i>Pseudomonas</i> sp.	Negativo para enteropatógenos	Negativo para enteropatógenos

Tabla N° 3

## Análisis Microbiológico segunda pila.-

PILA 2	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
Fecha	10.10	31.10	14.11	21.11
N° de coliformes col./gr.basura	5,5 x 107 C.T.	9,8 x 104C.T.	6,5 x 103 C.T.	7,9 x 102 C.T.
Enteropatógenos aislados	<i>Escherichia coli</i> <i>Pseudomonas</i> sp. <i>Klebsiella</i> sp	<i>Pseudomonas</i> sp.	Negativo para enteropatógenos	Negativo para enteropatógenos

Los resultados de los de análisis químicos realizados al compost de la pila 1 en la fase de maduración, indican :

Conductividad eléctrica : 20,5 mS/cm

pH : 8,71

NO<sub>3</sub> : 0,87 mg/gr

NO<sub>2</sub> : 0,18 mg/gr

Noxid: 0,25 mg/gr

NH<sub>4</sub> : 5,64 mg/gr

PO<sub>4</sub> : 1,40 mg/gr

P : 0,46 mg/gr

Los métodos usados para esta determinación son :

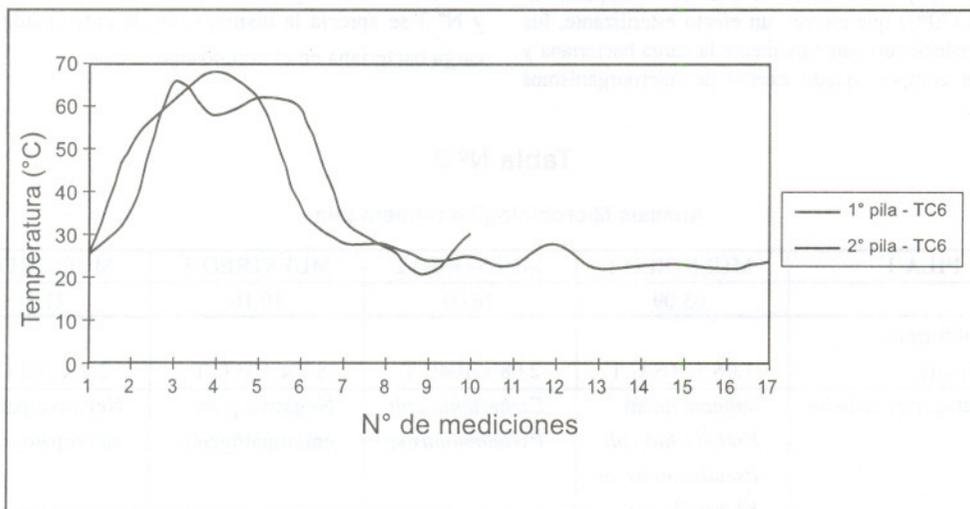
- Reducción de cadmio para determinar NO<sub>3</sub>
- Sulfanilamida para NO<sub>2</sub>
- Nessler reducido para NH<sub>4</sub>

## 4. CONCLUSIONES

El resecamiento, las rápidas temperaturas alcanzadas y el poco tiempo de digestión de la pila 1, se puede apreciar haciendo una comparación de esta pila con la pila 2 en las dos primeras semanas de mediciones de temperatura, sobreponiendo las curvas de temperaturas obtenidas, tal como se aprecia en los gráficos N°3 y N°4, donde las curvas de la pila 1 son más pronunciadas evidenciando el menor tiempo de digestión.

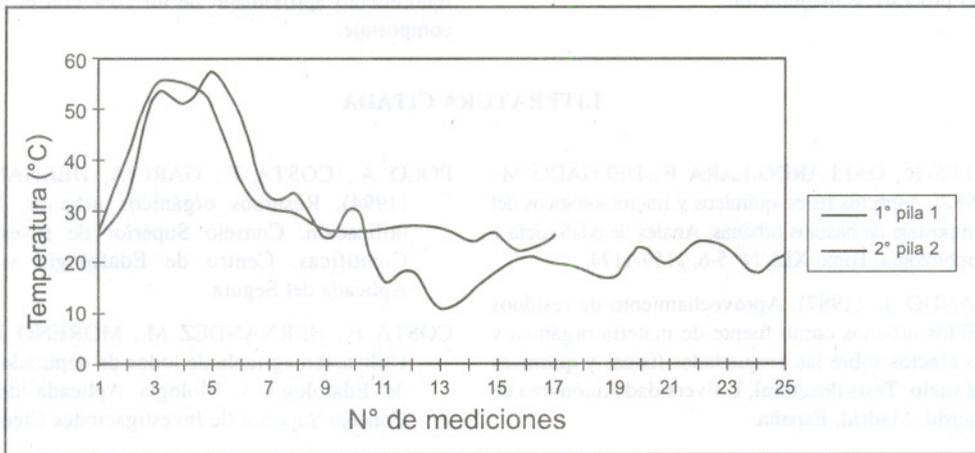
Gráfico N° 3

Comparación de temperaturas de la termocupla 6 para ambas pilas



### Gráfico N° 4

Comparación de los promedios de temperaturas de la termocupla 6 para ambas pilas.



Las mayores dificultades encontradas para hacer compost en la pampa de la II Región ( Desierto de Atacama), se deben a:

- Temperatura ambiental muy alta durante el día
- Evaporación excesiva en la pila a compostar
- Poca disponibilidad de agua para humedecer la pila cuando es necesario.
- Agua con un alto porcentaje de arsénico.

Si consideramos tratar los residuos orgánicos, lo más indicado para una pequeña localidad es un compostaje aeróbico, debido al menor costo de inversión, uso de mano de obra, facilidad en el proceso. Como herramientas se necesitan sólo palas y chipiadora.

La modelación del compostaje en la pampa debería considerar un proceso mixto. Taparse para evitar el ressecamiento de la pila y la vez ventilarse de manera que ingrese aire del ambiente para enfriarla y permitir un proceso aerobio. El sistema empleado funciona cuando se tiene poca cantidad de materia orgánica y se puede efectuar un proceso de fabricación artesanal.

El compost muestra un valor de conductividad eléctrica a 25°C de 20,5 (mS/cm) que lo clasifica como "salino" (Porta, 1986), en cambio el pH obtenido es básico (8,7) y se debe mucho al tipo de residuos compostados, básicamente hortalizas. Este es un parámetro de índice de madurez y nos señala que el compost aún no está maduro.

La cantidad de ion amonio del compost que se considera maduro no debe sobrepasar el 0,04 % (García, 1995), por lo que en este caso, al tener 5,64 mg/gr. (0,6 %)

nos indica que aún le falta maduración o bien que hay una pérdida de nitrógeno ya que se liberó como amonio.

En esta zona, por las condiciones climáticas, los parásitos que provocan las enfermedades más frecuentes no están presentes, sean estos: alcariasis, tricocefalosis, uncinariasis y amebiasis; condición favorable para la producción de compost. Por otro lado, las altas temperaturas alcanzadas (70 °C en el centro), controla la sucesión de las distintas poblaciones microbianas destruyendo la mayoría de estos organismos patógenos. De esta forma se produce la muerte de las poblaciones de la zona y por tanto la disminución de temperatura y la colonización posterior de otras formas microbianas.

Importante es señalar algunos hecho, tales como:

- El compostaje requiere humedecer la pila si está a la intemperie, pero como el agua de Baquedano es de mala calidad y en especial la de la II Región, al poseer una alta concentración de arsénico, no es beneficioso para éste adicionar este tipo de agua.
- La baja humedad ambiental, el exceso de radiación y las altas temperaturas en el día y bajas en la noche, hacen indispensable tapar este compostaje.

Para esta localidad y en general para pequeñas comunidades del norte de Chile, hay que verlo desde un punto de vista integral: mejoramiento de la gestión de residuos, posibilitando a familias de escasos recursos utilizar el compost como acondicionador de suelos de manera de poder realizar cultivos hortícolas o de flores. Si es utilizado como acondicionador de suelos puede ser

usado al cabo de 30 días, dependiendo del tipo de cultivo, en cambio si fuese como sustrato para la germinación de especies, 8 meses, a fin de ocupar un producto en la etapa final del proceso de maduración.

La generación de residuos orgánicos para compostar semanal resulta ser 308 kg., con esto podría obtenerse 3,2 toneladas anuales de compost ya que se obtiene un rendimiento aproximado de un 20% con el proceso de compostaje.

### LITERATURA CITADA

- NOGALES R., GALLARDO-LARA F., DELGADO M., (1982), Aspectos físico-químicos y microbiológicos del compostaje de basuras urbanas, Anales de edafología y agrobiología, Tomo XLI, N° 5-6, 1159-1174.
- HERNANDO S., (1987), Aprovechamiento de residuos sólidos urbanos como fuente de materia orgánica y sus efectos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, Tesis dosetoral, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- GARCIA C., HERNANDEZ T., COSTA F., (1990), Color Changes of Organics Wastes during Composting and Maturation Proceses, Soil Sei. Plant Nutrients, N° 36 (2), 243-250.
- POLO A., COSTA F., GARCIA, HERNANDEZ T., (1994), Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura.
- COSTA F., HERNANDEZ M., MORENO J., (1994), Utilización agrícola de lodos de depuradora. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- TCHOBANOGLIOUS G., THEISEN H., VIGIL S., (1994), Gestión Integral de Residuos Sólidos, Vol. I y II, Mc Graw-Hill, España.