

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

SISTEMAS DE INDUSTRIALIZACION  
DE DESECHOS SOLIDOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A:

SILVIA SERVIN NOVEROLA

MEXICO, D.F.

1974



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Posi

306

1974

100

~~100~~ 306

Jurado Asignado

PRESIDENTE	RAMON VILCHIS ZIMBRON
VOCAL	JOSE F. GUERRA RECASENS
SECRETARIO	ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO
1er. SUPLENTE	JORGE MENCARINI PENICHE
2do. SUPLENTE	RAMON ARNAUD HUERTA

Nombre del Sustentante

Silvia Servin Noverola

Nombre de Asesor del Tema:

ING. QUIM. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO

CON CARIÑO

A MIS PADRES

MANUEL SERVIN GARCIA  
EMILIA N. DE SERVIN

A MIS HERMANOS

DRA. SONIA GUADALUPE  
ARQ. SERGIO ARTURO

"No tendrán ningún problema en tu país, en tanto tengas poca gente y mucha tierra, pero cuando tengas mucha gente y poca tierra tus problemas empezarán."

Thomas Carlyle

# I N D I C E

	Pág.
I. Introducción	1
II. Métodos convencionales. Selección, características, ventajas y desventajas.	4
III. Desarrollo de los métodos más usuales.	20
a) Tiraderos y relleno sanitario	20
b) Composteo	25
c) Recuperación y restauración	41
d) Incineración	45
e) Pirólisis	57
IV. Problema y solución en la Ciudad de México.	63
Conclusiones	74
Bibliografía	75

## I. INTRODUCCION

La explosión demográfica ha intensificado la contaminación del agua, aire y tierra, dicha contaminación no aumenta solo por el aumento en población, sino porque la vida moderna hace que cada persona arroje mayor cantidad de desechos contaminantes. Parece que el hombre no ha llegado a comprender, que la tierra es un sistema ecológico cerrado, donde los métodos de disposición que alguna vez nos parecieron satisfactorios, ya no resultan aceptables. La evidencia diaria, delante de nuestros sentidos, nos muestra que el planeta no puede asimilar sin límite los desechos no tratados producidos por nuestra civilización. El hombre ha alcanzado tal capacidad, para alterar el medio ambiente en que vive, que ya resultan insuficientes los procesos que posee la naturaleza, para preservar o restaurar la estabilidad ambiental, estabilidad de la cual depende la vida en el planeta.

Toda actividad doméstica, comercial e industrial da por resultado la producción de desechos sólidos o basura, que es necesario eliminar o disponer. Por eliminación o disposición debemos entender, todo aquel tratamiento que se debe dar a la basura, para evitar que se convierta en un peligro para la salud de los habitantes de la comunidad.

El problema de la basura está íntimamente ligado a la explosión demográfica y se manifiesta con gravedad en las ciudades populosas, las cuales producen diariamente miles de toneladas de basura que se tienen que eliminar, gastándose en ello gran cantidad del dinero público. La elevación del estandar de vida, que produce el continuo progreso tecnológico en la manufactura, empaque y venta de productos, hacen que constantemente aumenten los desechos producidos y cambien sus características. Gran parte de la basura de la ciudad proviene del material con que se empaqueta gran cantidad de productos -especialmente alimenticios- dichos materiales, como el aluminio, plástico, vidrio, fibras, papel tratado, son capaces de soportar el agua, calor, áci-



dos, acción bacteriana, insectos, roedores, etc., duran a la ac -  
ción mecánica y biológica, sin embargo se desechan rápidamente.  
Lo anterior, hace que su disposición resulte cada vez más difícil.

Antiguamente el problema de la basura se resol-  
vía tirándola lejos de los centros de población, actualmente esto  
no es posible, por razones económicas y porque sepultaríamos con  
ella a nuestros vecinos.

Con el avance en las ciencias de la salud y el  
conocimiento de la relación que existe entre el medio ambiente y  
la salud pública, se demostró que con una disposición inadecuada,  
la basura se convierte en fuente de contaminación del aire y del  
agua y en un foco de propagación de ratas, moscas, mosquitos y  
toda clase de insectos transmisores de enfermedades. Debido a és -  
tas razones se ha modificado el criterio de que el mejor método de  
disposición de la basura es aquel que resulte más barato. El méto -  
do más empleado que consiste en arrojar la basura en tiraderos, pro -  
duce todos los inconvenientes antes mencionados, además debido a  
la distancia a la que se encuentran los tiraderos en las grandes ciu -  
dades, los transportes a esos lugares se hace cada vez más costosos.  
En razón de la cantidad de dinero gastado en la disposición de ba -  
sura, cabría esperar que no volvier a nosotros en el aire que res -  
piramos o en el agua que bebemos.

El problema de la colección y disposición de la  
basura se convertirá en un futuro cercano, en un problema tan gra -  
ve que ya es necesario tratarlo como una seria empresa de ingenie -  
ría y planeación ; que debe hacerse tomando en cuenta que la can -  
tidad y las características de los desechos están cambiando cons -  
tantemente.

Es necesario que universidades y gobierno inicien  
y aceleren un programa nacional de investigación y desarrollo de  
nuevos métodos de disposición de basura, económicos y adecuados;  
que incluyan estudios dirigidos hacia la conservación de los recur -

Los recursos naturales, por reducción de la cantidad de desperdicios, así como por la recuperación y utilización de los recursos potenciales que existen en los desperdicios sólidos.

Los materiales útiles que contiene la basura y que no se recuperan representan un agotamiento de los recursos naturales del país. La disposición actual de la basura produce pérdidas económicas para el estado, así como contaminación ambiental. Debido a la gran cantidad de material reutilizable contenido en los desperdicios sólidos, como trapo, papel, vidrio, madera, plástico, metal, materia orgánica, que son materia prima para una gran diversidad de industrias, es necesario un estudio económico para evaluar la costeabilidad del procesamiento industrial de la basura. La recuperación a escala industrial de todos los materiales que contiene la basura reditúan ganancias económicas para la empresa pública o privada que emprendiera la tarea, resolviendo simultáneamente el problema de la contaminación ambiental, que producen los métodos actuales de disposición de la basura.

## II. METODOS CONVENCIONALES DE DISPOSICION

Existen dos opciones para manejar desechos sólidos que son: convertir cualquier cosa en algo útil o reducirlos a un tamaño mínimo por cualquier método y tirarlos en el lugar más inocuo. Para lograr cualquiera de las dos cosas anteriores, se tienen los llamados métodos de disposición de las basuras o desechos.

La elección del método más adecuado de disposición de basuras de una ciudad, debe tomar en cuenta factores tales como: localización geográfica, clima, nivel de vida, densidad de población, principales fuentes de ingreso; los cuales afectan de manera importante el tipo y cantidad de basura producida.

### Geografía y clima.

En climas semitropicales casi no se emplean combustibles sólidos para calefacción, con el consecuente resultado de que la cantidad de cenizas que se tiene que eliminar es muy pequeña. Sin embargo durante todo el año se producen gran cantidad de desperdicios vegetales (ramas de árbol, hojas, yerbas, etc.).

En climas fríos existen durante todo el año grandes fluctuaciones en la cantidad de basura producida, durante el invierno se producen gran cantidad de cenizas y además la tierra congelada hace más difícil de operar los tiraderos. Las áreas de lluvia frecuente e intensa requieren de técnicas de disposición diferentes a las áreas secas, por ejemplo, la incineración no se puede aplicar en zonas húmedas, puesto que la basura tiene que ser secada de antemano, tampoco se puede utilizar la incineración en lugares con problemas de smog, debido al costo del equipo necesario para controlar la contaminación.

## Población y nivel de vida

La clase y cantidad de basura de una ciudad, aumentan y cambian con la densidad de población y nivel de vida de sus habitantes.

## Fuentes de ingreso

Las ciudades industriales, comerciales y turísticas producen diferente clase y cantidad de basura. Frecuentemente las industrias deben disponer de sus propios desperdicios, ya que algunas industrias producen lodos con gran concentración de minerales, que no pueden depositarse en los tiraderos, porque causarían contaminación permanente en los depósitos subterráneos de agua potable de la ciudad. Otras industrias producen basura explosiva o nociva, que no puede ser quemada en los incineradores. Existen otras que producen grandes cantidades de desperdicios recuperables. Los centros turísticos producen una cantidad desproporcionada de desperdicios alimenticios y los grandes centros de negocios producen basura con un gran contenido de papel.

Dada la importancia que el problema de la basura tiene para la ciudad, la selección del método más adecuado para la disposición de la basura debe hacerse después de responder a una serie de preguntas, que resultan de la consideración de los factores antes mencionados:

- Que métodos son técnicamente factibles y cuales son las limitaciones de cada uno de ellos?
- Las condiciones locales hacen particularmente adecuado o inadecuado alguno de ellos?
- Que aspectos de salud pública o inconvenientes potenciales favorecen a uno u otro método?

- Como afectaría al proceso de disposición las condiciones climatológicas, fallas mecánicas u otras circunstancias y que inconvenientes resultarían para la ciudad?
- Cuáles son los costos de los diferentes métodos, como y cuanto varían dichos métodos?
- Que efecto tiene el procedimiento de colección sobre el costo total de disposición?
- Como afectará el procedimiento de colección, sobre el método de disposición?
- Que métodos se pueden adaptar económicamente a las condiciones variables de la ciudad?
- En cuanto ayudaría la venta de materiales recuperables de la basura a pagar el costo total de disposición?
- Que elementos de cada método encontrarían el apoyo público y cuales encontrarían antagonismo?

A continuación se describen de una manera muy general, sistemas de colección y disposición de basuras, donde se pueden observar los factores que deben ser considerados en la selección de alguno de ellos.

#### ( a ) Sistemas de recolección

La recolección y transportación suman a veces el 90% del costo total de disposición, ya que requiere mano de obra, combustible y mantenimiento. Con una planta de compactación moderada, al 25% del volumen original, los costos de manejo y transportación podrían bajar a la mitad. Si los desechos son casi incompresibles por el alto contenido de líquido, entonces se debería tratar de bajar los costos utilizando camiones más grandes, disminuyendo así el número de viajes de ida y vuelta de cada camión. Los camiones de transporte con capacidad de 45 a 60 m<sup>3</sup>, sin equipo

de compactación, cuestan alrededor de \$ 300 000 M.N. en los Estados Unidos. Camiones de basura municipales típicos con equipo de compresión hidráulica y capacidad de  $15 \text{ m}^3$ , que comprimen hasta un 60% del volumen inicial cuestan alrededor de \$ 240 000.

Algunas municipalidades de ciudades de los Estados Unidos, están investigando el concepto de estación de transferencia donde la basura es llevada a un punto central en camiones de tamaño normal, ahí la basura es reducida de volumen y transportada a los tiraderos en camiones más grandes.

Una cuadrilla de tres hombres en un camión de  $15 \text{ m}^3$  con un compactador trasero, cuesta \$ 1800/día, incluyen - do sueldos, combustible, amortización y mantenimiento. El promedio de camiones recorre alrededor de 80 Km/día, disponiendo de dos cargas, por lo tanto el costo es de \$ 225/ton. Si la distancia al tiradero aumentara a 16 Km, el tiempo de viaje aumentaría en 1.5 h, viajando a 40 Km, con lo cual la carga diaria colectada se reduciría a 6 ton. por día, elevándose el costo de colección a cerca de \$ 312/ton. Los 87 pesos de diferencia se podrían aplicar a un sistema de transporte secundario, que generalmente cuesta - entre \$ 72 y \$ 120/ton. para compactación, transporte y operaciones del tiradero.

#### ( b ) Métodos de preparación de desechos

Un factor que se descuida a menudo en el manejo de desechos sólidos es el acondicionamiento primario. Esto incluye recuperación de aquellos materiales con valor actual, mientras que también acondiciona a la basura para conversión, recirculación o disposición final.

Los materiales valiosos pueden ser separados antes del manejo de preparación. Los compuestos químicos específicos pueden ser quitados por filtración, destilación, extracción,

desorción u otra operación unitaria disponible.

La recuperación de solventes podría ser un ejemplo, como la extracción cáustica de fenoles. Las selecciones físicas de metales, vidrio y plásticos, son por selección manual, magnetismo, conductividad eléctrica, radioactividad, cribado, ensamble, separación espiral y flotación. Recientemente se han desarrollado separadores de balas y de aire y un proyecto aún más complejo combina un escrudiñador infrarrojo, con un censor de impacto, éstos últimos han sido creados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts.

El magnetismo se utiliza para separar materiales ferrosos, específicamente en la recuperación de pedazos de aluminio. Los materiales que tienen un magnetismo más débil, como la hematita y pirolusita, pueden ser separados con separadores de alta intensidad o por reducción de la hematita a la magnetita, que es altamente magnética.

Las bandas, los rodillos inducidos y los separadores de tambor son los más comunes. Se prefieren imanes permanentes, porque no requieren equipo eléctrico.

El calibrado por trituración, molienda o pulverización hace a los desechos más fáciles de manejar. Generalmente la reducción de tamaño elimina los problemas de incineración y es necesaria para el composteo. También es necesaria para la selección física.

La mezcla y combinación de desechos se lleva a cabo para uniformizar los desechos, esto es esencial en la incineración para mantener el contenido de calor constante. Los fondos de alquilación en la producción de HF, se neutralizan con cal y luego se queman como combustible de refinería. Los desechos secos son recirculados, ya que la humedad en los desechos facili-

ta su manejo,

El secado simple es un procedimiento común de preparación, es necesario secar los pedazos de metal, para prevenir explosiones al contacto con materiales calientes en el horno.

Los lodos de las fábricas de papel se depositan en el suelo y se exprimen y secan para reducir su volumen

### ( c ) Compactación y empaquetamiento de basura

Como se mencionó anteriormente se obtiene una reducción considerable en los costos de manejo utilizando equipo de compactación mecánico en los camiones de transporte, que reducen hasta un 20% del volumen original. Se puede lograr una reducción mayor del volumen de la basura con una planta central de compactación, donde la basura es reducida hasta 5 ó 10% de su volumen original por medio de una prensa hidráulica. Los materiales que son completamente no degradables, como refrigeradores viejos, se pueden manejar con equipo de compactación fácilmente disponible. Tal equipo se puede conseguir en un amplio rango de tamaños y capacidades. Las pruebas de compactación de la Hoist & Derrick muestran las propiedades de la basura compactada:

- .- Las características de los sólidos y la presión ejercida determinan la densidad de la paca.
- .- Para la gran mayoría de los desperdicios urbanos la presión máxima a utilizar es 2 800 psi pues aplicando presiones mayores, al dejar de ejercer dicha presión las pacas adquieren el volumen que tendrían a 2,800 psi.
- .- El contenido máximo de humedad que debe tener la paca es de 30% en peso, pues a mayor grado de humedad la basura se extruye en lugar de comprimirla en pacas manejables.



- .- Las basuras con muy poca humedad producen pacas menos estables que las que tienen 25% de humedad, aunque algunos materiales totalmente secos como desechos o recortes de papel de lija se empaquetan muy bien.
- .- Las pacas generalmente resisten caídas de hasta 5 m de altura sin destruirse o deformarse

La basura una vez convertida en pacas puede ser transportada más económicamente a los tiraderos, donde el principal producto de descomposición es el  $\text{CO}_2$ ; no se produce  $\text{CH}_4$  el cual implica peligro de incendio en los tiraderos. Lo anterior sugiere que la descomposición de las pacas es aerobia, tal que no produce olores desagradables.

En Japón, las pacas se utilizan como material de construcción. La decisión de construir una planta central de compactación debe surgir de un estudio sobre el costo de la construcción, equipo, mantenimiento, mano de obra, comparándolo con los costos sin compactación en planta, sino solo el del transporte de la basura.

#### ( d ) Tiraderos al aire libre y relleno sanitario.

Tiraderos al aire libre. - Este es un método más común, que consiste en arrojar la basura en un terreno plano o depresión natural, lo más alejado posible de los centros de población.

#### Ventajas:

- .- Es un método económico.
- .- Acepta todo tipo de desperdicios.
- .- Se da utilidad a terrenos que no son útiles.

### Desventajas:

- .- Los terrenos adecuados para tiraderos están cada vez más alejados de las ciudades aumentando así el costo de transporte.
- .- Producen todo tipo de contaminación aire, agua y tierra con todos los peligros que implican para la salud de los habitantes, sobre todo para aquellos que viven cerca de los tiraderos.

Relleno sanitario.- Las operaciones de un relleno sanitario consisten en depositar la basura en una depresión, zanja, fosa natural o hecha por el hombre en un terreno plano, compactarla para disminuir su volumen y cubrirla con tierra, y finalmente compactarla de manera sistemática e higiénica. Al elegir el terreno y antes de iniciar las operaciones se deben investigar y evaluar los factores geológicos e hidrológicos, preparar el terreno y proporcionarle drenaje, construir vías de acceso y seleccionar el equipo.

Otros aspectos pueden ser importantes dependiendo del lugar y el clima. En todos los casos se necesita personal y equipo especializado para las operaciones del tiradero sanitario

### Ventajas:

- .- Son económicos y flexibles.
- .- Requieren una inversión de capital relativamente pequeña.
- .- Se pueden utilizar terrenos que para otras actividades no son adecuados.
- .- Acepta casi todos los desperdicios sólidos, sin segregación de algún componente, lo cual permite economía en el sistema de recolección.
- .- Prácticamente no causan contaminación atmosférica.
- .- Proveen una disposición final completa.

### Desventajas:

- .- Los terrenos adecuados para tiraderos son cada vez más escasos y alejados de la ciudad.
- .- Son susceptibles de problemas de operación, debido a las inclemencias del tiempo.
- .- Pueden producir problemas serios con el público al tratar de obtener el permiso para utilizar los terrenos como tiraderos.

### ( e ) Incineración central y local

Incineración central.- Los desechos son recibidos en planta de incineración central y son colocados en un depósito y luego introducidos en un horno donde se vigilan cuidadosamente las condiciones de funcionamiento, para garantizar una combustión lo más completa posible. Las cenizas y residuos no combustibles obtenidos, son eliminados por la parte inferior del horno, de donde se recuperan los componentes metálicos. Finalmente los residuos resultantes son llevados a un tiradero para su disposición final. El calor producido por la combustión de la basura orgánica, puede ser utilizado en la generación de vapor, cuyo uso potencial reduciría parte del costo de disposición.

### Ventajas:

- .- Reduce la necesidad de terreno, pues el sitio para planta es relativamente pequeño.
- .- Una localización estratégica de la planta minimiza el costo de colección de desechos sólidos.
- .- Las cenizas producidas pueden ser utilizadas como material de relleno sin peligro de contaminación.
- .- La generación de vapor podría cubrir parte de los costos del proceso de disposición.

### Desventajas:

- .- El capital para la planta, equipo de control para la contaminación, los costos de operación son bastantes elevados.
- .- No es un método de disposición completa, - pues queda el problema de eliminar las cenizas.
- .- Solo se considerará cuando los desechos en su mayor parte sean combustibles.

Incineración local (On-site).- Los incineradores locales se utilizan dentro y fuera de casas, departamentos, tiendas, pequeñas industrias, hospitales y otras instituciones, donde se queman los desechos producidos en esos lugares. Estos incineradores pueden ser de muchos tipos y tamaños, según sea la cantidad de desechos que se deban eliminar.

### Ventajas:

- .- Reducen la cantidad de desechos que deben ser recolectados y ser eliminados por los servicios públicos de limpia.
- .- No es necesario almacenar desechos, pues éstos pueden ser dispuestos tan pronto como se producen eliminando riesgos e incomodidades.

### Desventajas:

- .- El costo del incinerador debe ser suministrado por el usuario.
- .- No es un método completo de disposición, - puesto que no puede eliminar los desechos no combustibles.

- .- La falta de equipo de control de emisiones, así como diseños y operación inadecuados, producen contaminación atmosférica.
- .- Solo se ocupa en algunos casos y en combinación con algún otro método de disposición,.

#### ( f ) Pirólisis

Solo recientemente se ha visto que la pirólisis tiene ventajas sobre la incineración. Es la ruta más corta para obtener los recirculables. La reacción tiene lugar en un sistema cerrado minimizando los problemas de contaminación del aire. El sistema provee su propio combustible. Además es una fuente potencial de recuperación de sustancias químicas y gas de síntesis para la producción de metano o hidrocarburos mayores.

#### Ventajas:

- .- Simplifica los controles de contaminación.
- .- La reducción de volumen es generalmente mayor que en la incineración.
- .- Es un recurso para sustancias difíciles de quemar.
- .- Los materiales combustibles marginales, pueden ser degradados.
- .- La fuente de recuperables se facilita ya que los metales fundidos se van al fondo y las fracciones combustibles pueden ser arrastradas hacia arriba.

### Desventajas:

- .- Los sistemas pirolíticos en general son más caros que los incineradores, aunque con los sistemas de anticontaminación que se deben instalar a los incineradores, podrían hacer más barato el proceso de la pirólisis.

### ( g ) Molienda de desechos alimenticios.

Los desechos alimenticios pueden ser dispuestos por trituración local y central, arrojando los lodos al drenaje. Al igual que los incineradores existen gran variedad de molinos para trituración y disposición de los desperdicios alimenticios. El principio de funcionamiento es el mismo para todos los tipos de molinos. Los desechos alimenticios son colectados separadamente, se desmenuzan en molinos al mismo tiempo que se agrega agua para fluidizarlos, y finalmente se arrojan por los ductos del albañal.

### Ventajas:

- .- Son muy cómodos e higiénicos, pues eliminan el manejo y almacenamiento de desperdicios alimenticios.
- .- Reducen la cantidad de basura que debe ser colectada, cuando esta molienda es local.
- .- Las estaciones de molienda central son fáciles de construir y operar, son útiles en ciudades que tienen que disponer de grandes cantidades de desperdicios húmedos que no se queman fácilmente.

### Desventajas:

- .- El costo de este método de disposición es muy elevado considerando el capital invertido, depreciación, reparación, agua y energía eléctrica adicionales.
- .- No es un método completo de disposición, puesto que requiere que otros desperdicios, los cuales pueden ser el 80 ó 90 % de la carga total, sean colectados y dispuestos separadamente.
- .- Lo anterior hace que en la actualidad, la molienda central tenga muy limitada aplicación.

### ( h ) Composteo

El composteo es la descomposición rápida e incompleta de materia orgánica, contenida en la basura, por medio de microorganismos aerobios y bajo condiciones controladas, para obtener un material higiénico semejante al humus y que puede ser empleado como acondicionador de la tierra, ya que ordinariamente es bastante rico en elementos vitales para ser clasificado como fertilizante.

### Ventajas:

- .- Es un proceso completo de disposición de la basura.
- .- El producto final tiene valor en el mercado.
- .- La planta puede ser relativamente pequeña.
- .- El proceso prácticamente no produce contaminación.

- .- Bien situada la planta puede hacer más económico el sistema de recolección.
- .- El proceso permite recuperar de la basura ciertos materiales que se pueden vender, tales como: metales, papel, trapo y vidrio los cuales pagan parte del costo de disposición.

#### Desventajas:

- .- El capital de los costos de operación son relativamente altos.
- .- El mercado para el producto final (com post), se encuentra lejos de las ciudades.
- .- Generalmente la producción supera al mercado potencial del producto.
- .- Pueden producirse problemas para el almacenamiento, empaclado y distribución del producto a vender, lo cual plantea problemas económicos.

#### ( i ) Recuperación y restauración

La recuperación puede ser un medio especial de disposición de todos los desechos, ya que éstos pueden ser seleccionados y clasificados en materiales recuperables o puede ser una salida lateral de otro método de disposición.

#### Ventajas:

- .- La ventaja fundamental de este método es que al haber una salida lateral no arriesga nada del método primario de disposición.



### Desventajas:

- Es un método que depende de las fluctuaciones del mercado, de los subproductos y en determinados lugares este mercado puede no existir.

### TIPO DE BASURA MAS ADECUADA A CADA METODO.

METODO	DESECHO ADECUADO	DESECHO INADECUADO
Relleno sanitario	Mezclados	Tronco de árboles, ramas, de sechos peligrosos y restos de animales.
Incineración central	Mezclado	Grandes objetos que destruyan el quemador, piezas de metal grades, vigas pesadas, troncos de árboles y desechos peligrosos.
Alimentación a puercos	Desechos Alimenticios	Papel, cáscaras de cítricos, latas y vidrio.
Molienda Central.	Desechos alimenticios y algunos papeles.	Material inerte que no pueda ser eliminado en la planta de tratamiento de aguas negras o no pueda ser transportado en alcantarillas: latas, metales, vidrio y tierra.
Composteo	Deseables todos los orgánicos, aceptables los inorgánicos.	Objetos grandes que no se puedan moler, cámaras, metales, palos.

Recuperación	Materiales con valor de reventa	Varios que tengan mercado para recuperación.
Fosas abiertas	Algunos no putrecibles.	Putrecibles
Quemado al aire libre.	Ramas de árboles, troncos y desechos combustibles.	Desechos alimenticios y otros putrecibles.

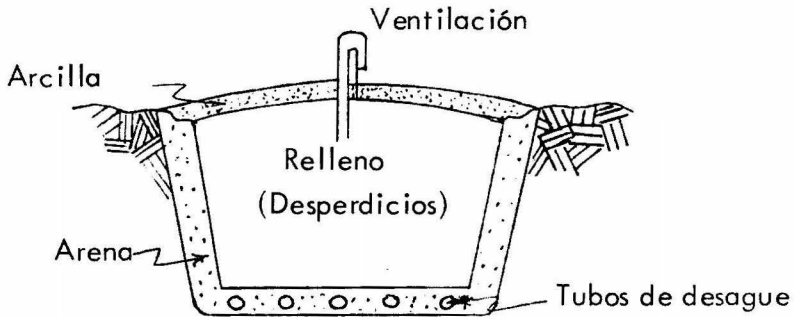
### III. DESARROLLO DE LOS METODOS MAS USUALES

#### (a) Relleno sanitario

Es un método de ingeniería que comprende el esparcimiento y compactación de los desechos en celdas e irlos cubriendo cada día con tierra, de manera que no sean un peligro para la salud pública o el medio ambiente. Para los desechos municipales preparados alimenticios y desechos farmacéuticos, el cubrirlos elimina insectos y roedores. Este método también es conveniente para desechos industriales, ya que las ratas habitan en pilas de desechos plásticos, madera y papel. El suelo absorbe aceites y lodos y proporciona un área extensa para el ataque de microbios.

En un tiradero industrial los desechos inertes y voluminosos como, escombros de demolición, maderas de construcción y partes viejas de maquinaria son puestas aparte, estos pueden ser usados mas tarde en la capa final para proveer de un mejor soporte para futuras construcciones. Los recipientes son generalmente aplanados antes de enterrarlos, aunque pueden ser vaciados como estan y aplanados posteriormente. Se pueden llenar alternativamente en capas de desechos, como ladrillos y finalmente ser cubiertos.

El principal problema en los tiraderos es la producción de lechada, que puede contaminar el agua de la tierra; y la acumulación de gas que se podría encender y explotar. El trabajo más autorizado al respecto es el de Mead, la figura muestra de manera general en que consiste.



Los diques de la cavidad y el fondo del relleno deberán tener arcilla impermeable. La cavidad es desaguada a través de tubos a una capa de arena, que después se llena con una capa de desechos y finalmente se cubre con tierra. La parte superior está cubierta y rodeada con una capa de arcilla. Como el gas se acumulará en la parte superior, se instalará un venteo en ese lugar. Se han investigado áreas pantanosas y se ha visto que el gas puede ser un problema mayor que la producción de lechada.

El tiradero en zanjas es un método muy común, que se sigue en ciudades que disponen de terrenos amplios. Algunos desechos industriales de refinerías, que en su mayoría son lodos deseparadores, residuos de caldera y de tanques de almacenamiento son dispuestos en esta forma. Muchos de los microorganismos del suelo atacan los hidrocarburos del petróleo, esta descomposición se acelera con un manejo adecuado del área. Este proceso transforma los desechos en compuestos inócuos o los recircula en el crecimiento de las plantas. La disposición en los suelos está limitada a: nutrientes de plantas, radio nucleos con tiempo de vida media adecuada y materiales orgánicos biodegradables.

Una lámina de polietileno se enterró en tierra, con un PH de 7, se fertilizó la tierra y después de 90 días, mostró degradación característica de ataque microbiano. Las cadenas de plásticos que han tenido que ser destruidas por luz ultravioleta o directamente

atacadas por oxidantes químicos, podrían ser dispuestos por este método. Los hongos pueden atacar directamente algunas sustancias. Los hidrocarburos alifáticos tales como gasolinas, breas y hules se descomponen rápidamente en el suelo. Compuestos ramificados y de cadenas no saturadas de altos pesos moleculares, generalmente son más susceptibles de degradación que los saturados análogos de bajo peso molecular.

Los materiales aromáticos son considerados resistentes a la degradación química y microbiológica de los suelos. El carbono en la forma de los aromáticos, constituye una fracción sustancial orgánica estable de los suelos. Los anillos aromáticos pueden ser totos por organismos del suelo, que son muy escasos, como las xantomonas. Una vez que la cadena ha sido rota los hidrocarburos resultantes de cadena lineal son rápidamente degradadas y oxidadas en dióxido de carbono y agua.

Los insecticidas pueden ser degradados si ellos sirven como una fuente de energía y nutrientes. Los mecanismos químicos tales como, la degradación fotoquímica y la oxidación, son comunes en la degradación de los suelos.

Los factores que principalmente gobiernan la estabilidad de los pesticidas y relaciona los compuestos halogenados y fosforilados, son: textura, contenido de humus, temperatura, humedad y pH. La vida media de los materiales degradados puede durar varias semanas o años, dependiendo de la estructura molecular y de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

En el estudio de tiraderos que están funcionando actualmente, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Los tiraderos son un método de disposición económico y relativamente seguro. Grandes cantidades de hidrocarburos de

petróleo, pueden ser degradados en una gran variedad de suelos y en condiciones libre de molestias. Grandes cantidades de aceite pueden crear efectos tóxicos en las plantas, pero el resultado después de un tiempo largo es que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, por incremento del contenido de nitrógeno y materia prima, —decrece la densidad, incrementa la porosidad y capacidad de retención de humedad. La degradación de aceites en suelos, puede ser —acelerada por uso adecuado de fertilizantes y por el uso de drenaje —artificial. La oxidación microbiana tiene lugar en un amplio rango —de condiciones del medio ambiente, pero es más rápida en clima —cálido que en clima frío.

En general, este método de disposición tiene un costo aproximado de \$50/ton (M. N.).

Tiraderos en los océanos.— Una gran cantidad de —desechos industriales han sido dispuestos en el mar, tirándolos empa—cados o en recipientes. La intención original fue proveer la dispo—sición de los sistemas de dragado, y la selección de los sitios, fué por —restricciones, a una distancia razonable de la costa, en un lugar don—de no interfiriera los usos recreacionales o la pesca.

Se ha desechado la idea de que los océanos son un —gigantesco vertedero, que absorberá una cantidad infinita de contami—nantes. Ya que en ocasiones un contaminante logra entrar en gran—des cantidades en la cadena alimenticia. Esto se ha comprobado, ya —que los hidrocarburos clorados y metales pesados son no biodegrada—bles. Por otro lado, tales desechos pueden actuar como fertilizantes —e incrementar la fertilidad del mar.

Se piensa que una disposición oceánica adecuada, —daría una utilidad efectiva del océano, como una vasta reserva de es—pacio. Se podría hacer una investigación de los desechos compati—bles con los océanos, en áreas seleccionadas, resultando una dispo—sición económica. Existen fosos en los océanos donde tienen lugar —

pliegues tectónicos, y en estas regiones se cubrirían automáticamente los desechos ahí colocados. En otras áreas, como aguas cálidas - poco profundas, tiene lugar una biodegradación rápida como en los - rellenos sanitarios o tiraderos en zanjas. La biodegradación no ocurre a grandes profundidades, porque la presión retarda el decaimiento - bacteriano.

La colocación adecuada de materiales relativamente inocuos, en el océano, asegura una disposición libre de molestias.

En los Estados Unidos 4 690 500 ton. de desechos industriales fueron tirados en el mar, en 1968, con un costo promedio - de \$22/ton de desechos en pacas y \$300/ton para desechos en reci-- pientes.

Los métodos empleados en la disposición en el mar - consiste, en el transporte de los desechos en pacas o en recipientes, a bordo de un remolque o lancha de autoimpulsión. Normalmente se descarga la lancha mientras va andando. Las lanchas tienen una capacidad de 1000 a 4500 ton. La velocidad de descarga varía entre 4 y 20 ton/min. La manguera de descarga es puesta a una profundi-- dad de 2 a 4.5 m., mientras se va a una velocidad de 5 a 10 km. por hora.

Los costos varían considerablemente, dependiendo - del área geográfica, tipo de desecho, distancia al área de disposición y volumen anual de desechos manejados. El rango tan amplio de costos de los recipientes, refleja la diferencia entre un contrato a largo plazo y la disposición casual de pequeñas cantidades de material tóxico o peligroso, hecha por un solo productor. Por ejemplo, para - disponer de 500 barriles (1 barril = 117 litros) conteniendo 115 ton de desechos líquidos, requiere el utilizar al mismo tiempo una lan-- cha y un remolque, dependiendo del área geográfica y localización del sitio de disposición, el costo aproximado sería de \$25 000/ton ó de \$212/ton.

## (b) Composteo

Alrededor del 75% de los desechos sólidos urbanos - y algunos industriales pueden ser degradables biológicamente, en un material sanitario parecido al humus y casi inodoro que se le denomina compost. Los costos promedio andan alrededor de \$100/ton, sin tomar en cuenta la venta del producto.

El composteo moderno es un proceso aeróbico, termofílico y bioquímico. Con la ayuda de equipo mecánico y controles más rápido y mas eficaz que el proceso antiguo, que era lento, mesofílico y anaeróbico.

La estabilización de la materia orgánica es un proceso moderno de composteo, este va acompañado de bacterias y otros microorganismos, que utilizan grandes cantidades de oxígeno y producen cantidades considerables de calor.

Los objetivos, óptimos de un proceso de composteo son:

- .- Estabilizar la materia orgánica putrecible.
- .- Matar todos los microorganismos patógenos.
- .- Conservar el nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica resistente que se encuentre en la materia prima.
- .- Obtener un producto final uniforme, libre de sustancias nocivas.
- .- Conducir el proceso de una manera higiénica, libre de insectos, roedores y malos olores.



Procesos de composteo.- El primer desarrollo importante del composteo como un proceso de ingeniería, fue desarrollado en la India en 1925. En aquel tiempo Sir Albert Howard sistematizó el procedimiento por medio del cual, jardineros y agricultores han producido por muchos siglos humus, para usarlo en la tierra.

El proceso de Sir Albert se conoció posteriormente como proceso Indore. Los desechos orgánicos alternados en capas con tierra, fueron puestos en fosas o zanjas de aproximadamente 1 m. de profundidad o amontonadas en campo abierto, en pilas de aproximadamente 1.5 m. de altura. Los materiales fueron removidos durante 6 meses y se utilizó drenaje en las pilas, para mantener la humedad del compost. Como el proceso fundamentalmente utiliza mano de obra, fue ampliamente usado en lugares donde esta era barata y abundante.

En algunos lugares el proceso Indore ha sido modificado, principalmente en la parte de remoción del material composteable, haciéndola más frecuente, para acelerar la acción aeróbica y eliminar los olores. El consejo de investigación agrícola de la India mejoró el método y es utilizado ampliamente como proceso Bangalore.

De los procesos patentados primeramente el mas importante fué desarrollado por el Dr. Giovanni Beccari de Florencia, Italia, en 1922. El combinó una fermentación anaeróbica con una etapa final, en la cual, la descomposición procede bajo condiciones parcialmente aeróbicas.

Una modificación del proceso Beccari, se conoce como el proceso Verdier, proporciona una recirculación de gases y drenaje para los líquidos. Una modificación posterior del proceso fue hecha en 1931, por Jean Bordas, que eliminó la etapa anaeróbica.

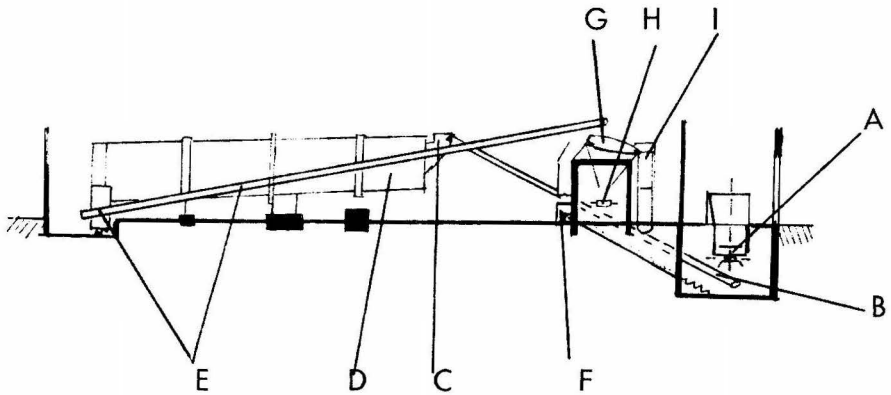
La primera planta de composteo a gran escala, en Europa y al mismo tiempo la mas grande del mundo, estuvo en Netherlands en 1932, en ella se utilizó el proceso de Van Mannen, una modificación del proceso Indore, donde los desechos son composteados en pilas largas.

El sistema bioestabilizador Dano y el sistema rasping de pilas son los procesos mas utilizados en Europa. El sistema Dano consiste de un mezclador lento, que es un cilindro horizontal que contiene el material de uno a cinco días. El proceso de tratamiento de la basura termina con su apilamiento, con remoción o sin ella, en 2 ó 4 semanas. El sistema rasping incluye la molienda de los desechos, antes del proceso de composteo y la remoción de las pilas es durante un período de 3 a 6 semanas.

En 1960 en Europa, había 25 bioestabilizadores Dano y 12 plantas con sistema rasping, en uso o en construcción. Estas tenían un sistema de composteo más rápido que el de los primeros métodos, porque estos ocurrían bajo condiciones casi totalmente aeróbicas. Posteriormente con equipo especial para composteo se fue desarrollando.

Existe un gran número de instalaciones que tienen el composteo de celda o cerrado, que incluye principalmente un mezclado intermitente. El sistema de John Thompson en plantas en Jersey Islas Channel, Gran Bretaña y en Bangkok, Tailandia; el sistema Dumfriesshire, en plantas en Kirkconnel, Escocia; el sistema Tolle-mache en plantas en Mabelreign, Rodesia del Sur, Africa del Sur; y el sistema Calais en la planta de Calais, Francia. Estos sistemas sin embargo no son eficientes, como aquellos que estan provistos de un mezclado continuo, aereación y reducción de tamaño de partícula.

Un digestor de niveles multiples, del tipo de silo fue patentado en 1939. La aereación incluye un arado rotatorio y un - -



- A.- ENTRADA AL MEZCLADOR.
- B.- BANDA DE CONDUCCION DE LA BASURA CRUDA
- C.- DISPOSITIVO PARA ALIMENTAR EL MATERIAL -  
AL BIOESTABILIZADOR
- D.- BIOESTABILIZADOR.
- E.- BANDA PARA TRANSPORTAR EL MATERIAL DEL -  
BIOESTABILIZADOR AL TAMIZ.
- F.- MEZCLADOR Y EQUIPO PARA LATAS Y METAL.
- G.- TAMIZ
- H.- BANDA PARA RECIBIR EL COMPOST TAMIZADO
- I.- CANAL PARA RESIDUOS DE METAL

DIAGRAMA CON EL PROCESO DE  
COMPOSTEO DEL SISTEMA DANO

PROCESA 25 TON/DIA

tiro de aire, el material se mueve descendiendo de nivel en nivel - hasta llegar al flujo principal continuo. Este método se probó en una planta piloto y hubo fallas mecánicas.

En 1949, se patentó en Estados Unidos un proceso - que introducía materia orgánica desmenuzada en un digestor totalmente lleno y semimecanizado, intentando producir compost en 28 días - bajo condiciones aeróbicas por caídas intermitentes del material de - un nivel al otro, lo cual permitía el contacto con el material ya descompuesto, esta es la característica sobresaliente del proceso. En este proceso se reportaron problemas técnicos en las plantas que lo utilizaron, además dificultades en mantener condiciones aeróbicas.

En 1951, la Universidad de California hizo estudios para ver la posibilidad de compostear desechos utilizando pilas al aire libre. El proceso requiere de seleccionar y desmenuzar la basura, - poniéndola en pilas de 1.5 m. de altura y removiendo el material - alrededor de tres veces en un período de 15 a 21 días.

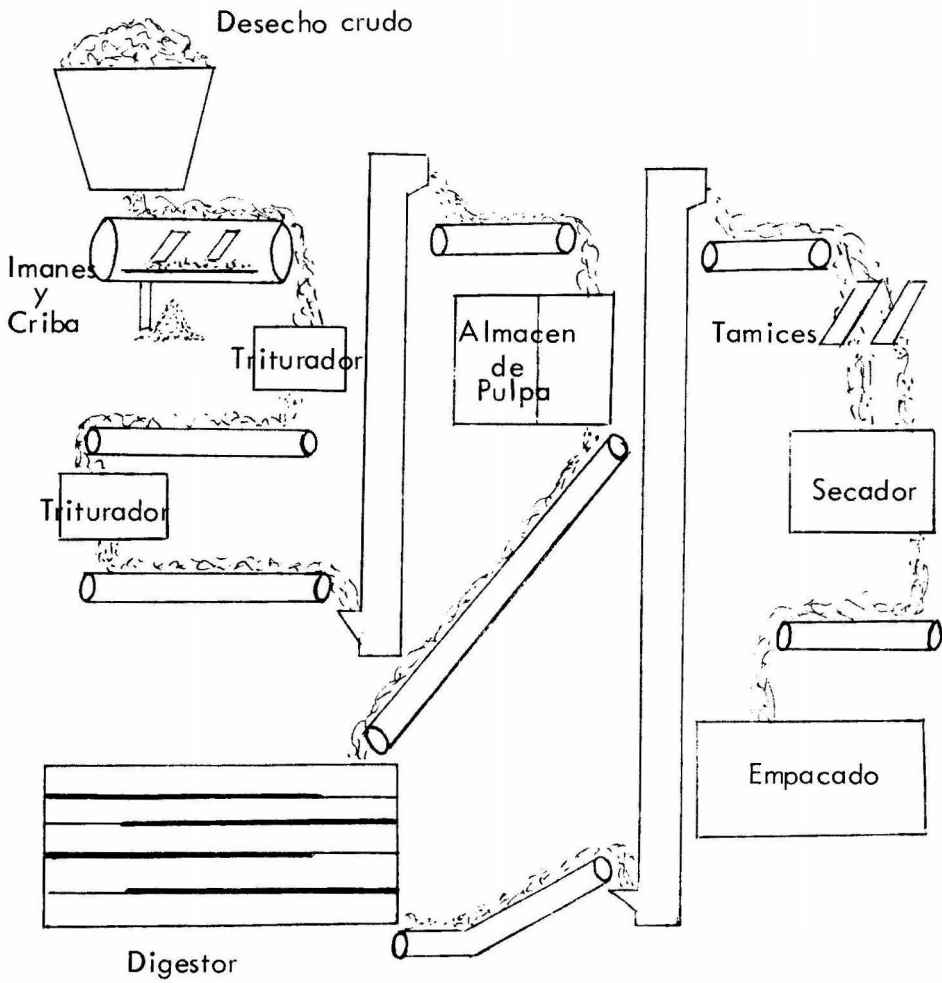
El amontonamiento de la basura se puede ayudar con un cargador inicial y final y un triturador. Cuando se usa aire forzado con o sin remoción, en un cilindro o depósito, el proceso se llama composteo de pilas modificado, de depósitos o de área.

En 1959, The Naturizer Corporation en Norman, - Oklahoma empleó molienda primaria y secundaria y digestores grandes en los cuales el material es movido por conductos de tipo de charolas a través de 6 niveles, la planta en la actualidad ya no opera. El diseño original de la Naturizer, fue abandonado en favor de los agitadores rotatorios horizontales, ya que producen velocidades de digestión elevadas y eficientes. Se reportó que una planta construida en - Kobe, Japón en 1956, en una adaptación local de este último diseño, proporcionó buenos resultados biológicamente pero tuvo deficiencias - mecánicas.

En 1965, en Leicester, Inglaterra se construyó una planta para manejar desechos de cañerías, incluyendo salvamento, - composteo e incineración, pero no se tienen datos sobre el diseño.

Una planta que se encuentra en Jamaica aparentemente está funcionando con éxito. Ahí los desechos son triturados - en un molino de martillos, luego son inyectados con un cultivo químico para acelerar la fermentación. El proceso tarda dos semanas. Un sistema que podría resultar económico ha empezado a funcionar en - Brooklyn N.Y., ha resuelto un problema que ha sido molesto en todos los procesos de composteo, de como romper la celulosa del papel en la basura sin consumir el nitrógeno, el cual es necesario si el compost se va a vender como fertilizante. Esto se resuelve dejando que el proceso siga su curso normal y posteriormente cuando va siendo necesario se le agrega nitrógeno líquido y fósforo.

El sistema en general es el que se muestra en la figura. Imanes y cribas quitan los metales y desperdicios de gran tamaño, el resto es triturado, y humedecido hasta convertirlo en pulpa. Una - capa de pulpa de unos 30 cm. de profundidad y 3.5 m. de ancho, es pasada a través de un digestor de varios niveles, con la temperatura controlada, hasta que se estabiliza. El compost es tamizado, enfriado, secado y finalmente empacado en bolsas y quedar así listo para - su venta.



COMPOSTEO-SISTEMA DE DISPOSICION  
 ADECUADO A DESECHOS SOLIDOS URBANOS

De una manera general, se pueden dividir los procesos de composteo en dos métodos: Digestión mecánica y composteo de pila o de área.

Entre los métodos mecánicos, esta el digestor Dano, el T.A. Crane y el Hardy que son unidades horizontales y el digestor Earp-Thomas que es vertical.

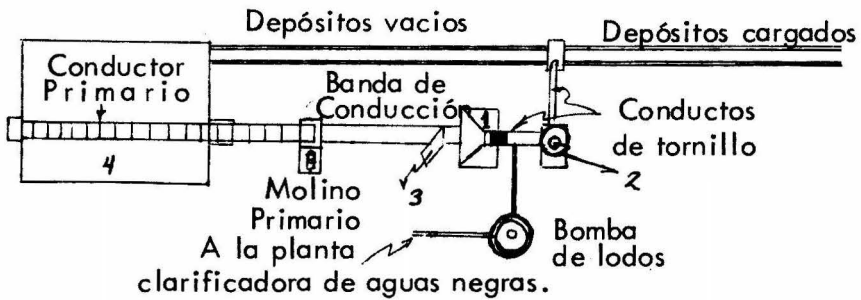
El digestor T.A. Cranes es una unidad horizontal con tres niveles, con mecanismo de agitación y aereación separado para cada nivel, esto es para hacer una resiembra en cada nivel e incrementar la aereación por aire forzado y fuelles.

El digestor Earp-Thomas es un cilindro vertical de ocho niveles. El material es agitado y aereado por paletas con ras-trillo y ellas son movidas por un eje central.

El método de pila o de area es un proceso de selección, molienda y colocación del material en filas de aproximadamente 2 m. de largo para compostear. Este apilamiento recibe una inoculación o resiembra de compost, aire forzado y son removidas y desmenuzadas periódicamente. Este método es mas eficiente y requiere alrededor de la mitad del tiempo que el apilado ordinario. En el sistema de pilas modificado, el material se puede poner en pilas de 1 a 1.5 m. de alto y de 2.5 a 3 m. de largo. El aire que se va a introducir, puede ser controlado de muchas formas.

El término composteado de área se cambia a menudo con el de apilamiento modificado, pero hay diferencia entre los dos. El composteo de área requiere  $1/3$  del espacio necesario para el composteo de pila de la misma planta. En el composteo de area el material es apilado en áreas uniformes de gran largo y bien definidas. La cantidad de aire es controlada y distribuida a través de ductos que es-

tan bajo las áreas y atraviesan los suelos porosos o preferentemente -  
atraviesa un piso poroso diseñado para esto. La remoción y siembra  
se emplean en este proceso, que toma de 10 a 14 días.



- 1.- REGULADOR DE MOLINO
- 2.- MOLINO SECUNDARIO
- 3.- SEPARADOR ELECTROMAGNETICO
- 4.- BANDA DE RECEPCION



ESQUEMA DE UNA PLANTA DE COMPOST

EN CHANDLER, ARIZONA



Factores que afectan el composteo.- En general pueden afectar al proceso el tipo de descomposición biológica que tenga lugar: aeróbica o aneróbica, aereación, contenido de carbono y nitrógeno en la materia prima, temperatura, humedad, tamaño de partícula y los tipos de microorganismos existentes en la basura. Las siguientes condiciones se han encontrado que son favorables para un composteo aeróbico:

- La materia prima debe tener una relación C/N de 50/1 o menos.
- Deberá tener un pH entre 5.5 y 8.
- El material deberá ser mezclado y molido.
- La humedad deberá estar entre 50 y 60% durante el proceso.
- El aire deberá ser dispersado a través de compost con un exceso dentro de la pila.
- La semilla del compost deberá ser recirculada, en una cantidad del 1 al 10% en peso.

Si se utiliza un composteo a alta velocidad, las siguientes condiciones adicionales se deben tomar en cuenta:

- Agitación lenta constante o agitación intermitente cada 5-10 min o una combinación de aire forzado y agitación menos frecuente.
- Las temperaturas deberán estar controladas a lo largo del proceso.
- El pH debe estar controlado para evitar pérdidas de nitrógeno.
- La digestión deberá ser un proceso de flujo continuo en 3 ó 4 etapas, incluyendo recirculación de semilla y mezclado completo en cada etapa. La última etapa puede ser combinación de

una digestión más lenta con secado natural por el calor.

El composteo a alta velocidad puede ser hecho de 2 a 5 días utilizando materiales seleccionados, pero requieren de un digestor adecuado mecánicamente. La basura puede ser composteada en un digestor normal y tomara de 10 a 15 días. No es necesario compostear toda la materia orgánica, solo el material putrecible que atrae insectos y roedores. El residuo de material resistente puede ser quebrado en el suelo, donde posteriormente la descomposición estimulará a las bacterias del suelo.

### Tipo de descomposición biológica

Existen dos tipos generales de descomposición biológica: aeróbica y aneróbica. Descomposición aeróbica (con oxígeno) es eficiente y rápida, resultado de la oxidación de materia orgánica primaria a minerales, humus, dióxido de carbono y agua. Los procesos aeróbicos llevados a cabo adecuadamente, no producen olores desagradables y es uno de los empleados en el composteo mas moderno y científico.

Descomposición anaeróbica (sin oxígeno) es mas lenta y menos eficiente, resultado de la reducción de materiales orgánicos primarios a minerales, humus, metano y dióxido de carbono. Este proceso es similar a la digestión de lodos en el tratamiento de aguas y si este no es controlado causa olores desagradables por liberación de sulfuros y mercaptanos.

Bateria	Mínimo	Óptimo	Máximo
termofílica	25 - 45°C	50 - 55°C	85°C
mesofílica	15 - 25°C	25 - 40°C	43°C

Otra clasificación de descomposición biológica es la termofílica y la mesofílica.

La descomposición termofílica (alta temperatura) - ocurre arriba de las temperaturas del cuerpo y el resultado de la acción de los microorganismos, como son bacterias, hongos y actinomicetos. La energía producida en el composteo aeróbico es suficiente para calentar la masa.

La descomposición mesofílica (moderada temperatura) ocurre a bajas temperaturas. El calor también es liberado por la descomposición oxidativa o aeróbica en el rango mesofílico. El composteo más rápido es el acompañado por microorganismos aeróbicos y termofílicos.

#### Materias primas.

En la materia prima es conveniente mantener la relación de C/N de 30 a 40, pero no es esencial, aunque se requiere mayor tiempo de composteo a una relación mayor. Los desechos mezclados se compostean mejor que separándolos en desechos alimenticios en general y desechos combustibles, como papel, cartón, etc. Los primeros son muy húmedos y los otros tienen una alta relación C/N. La mezcla óptima deberá estar equilibrada con ambos y parcialmente rociada de aguas negras, mas desechos orgánicos disponibles.

Un solo tipo de desecho industrial o agrícola puede - no estar suficientemente balanceado para que se composteé solo, así que será necesario añadir otros desechos. Si se requiere materia carbonosa se puede añadir aserrín, papel o paja. Si se incluyen desechos altamente nitrogenados, se pondrán pedazos de pescado, estiércol de aves y lodos. Lo último será solo necesario en casos muy extremos para suplementar los materiales.

## Tamaño de partícula

Los desechos tal como se recolectan en la ciudad son muy irregulares y grandes, por lo cual, para lograr un composteo eficiente se deberá moler por lo menos una vez. La finalidad de la molienda es la siguiente:

- Incrementar la superficie para el ataque de los microorganismos.
- Mezclar los desechos y hacer una masa más uniforme.
- Desbaratar la estructura celular, liberando los fluidos, haciendo a la materia mas susceptible de descomposición.

La molienda reduce la permeabilidad de la materia. El molido muy fino es difícil de aerear, por lo cual el tamaño de partícula será según el proceso utilizado.

Un molido fino es adecuado para un composteo mecánico con agitación constante o intermitente.

Un molido mediano si se utiliza aire forzado en composteo de pilas. Las remociones y desmenuzados posteriores disminuirán el tamaño de partícula. La baja permeabilidad en condiciones correctas, se vencerá con aire forzado desde la parte inferior.

Un molido grueso se recomienda para composteo en pilas o en recipientes, cuando se utiliza para aerear ventilación natural o solo la remoción. Aun con molido grueso, la difusión natural de oxígeno en las pilas, es mas lento de lo que los organismos demandan y por lo tanto la descomposición se retarda.

## Humedad

Los experimentos hechos indican que, el óptimo de humedad para el composteo aeróbico de desechos molidos grueso, en pilas o recipientes abiertos, usando aereación por remoción y natural será de 40 a 60%. En digestores mecánicos y aereación continua el óptimo de humedad será de 55 a 69%. Se determinó que - - hay factores que afectan este contenido de humedad, son:

- La velocidad de digestión es afectada por la adaptación del aire suministrado por ventilación natural, la cual a su vez es afectada inversamente por la finura de molienda.
- La aereación es obstruida al estar llenos los huecos con líquidos, no necesariamente agua.
- Las cenizas o minerales hacen que el agua no se absorba tan bien como en la materia orgánica.
- Los lípidos (grasas y aceites) son líquidos a temperatura normal - del composteo y están presentes en cantidades sustanciales en la basura.
- Un molido fino libera más líquido que un molido grueso, que posteriormente restringirá el flujo de aire a través del material.

Se ha propuesto una fórmula para determinar el contenido de líquido efectivo en el material que se va a compostear, la fórmula en base húmeda es la siguiente:

$$\% \text{ de líquido efectivo} = \frac{100 (\% \text{ de humedad} + \% \text{ de lípidos})}{100 - \% \text{ de cenizas}}$$

La digestión mecánica con mezclado continuo o intermitente, ayudará en la aereación para los materiales y que estos -

se puedan compostear eficientemente, aunque tengan alto contenido de líquido. También ayudará esto al composteo en pilas o recipientes con aereación forzada.

Cuando las pilas tengan ventilación natural o remoción periódica deberán contener el más bajo contenido de líquido efectivo.

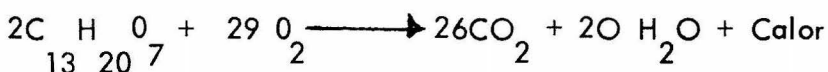
El contenido de humedad baja o retarda la acción microbiana y algunos investigadores han fijado el límite más bajo en 40%, pero se ha observado que en pilas con contenido de humedad del 24.5% y temperatura de 154° F, existe actividad microbiana.

El compost que se va a poner en bolsas, se le debe reducir la humedad a 10% . Si se utilizan bolsas de polietileno - la humedad puede ser de hasta 20% , sin causar problemas. A estos contenidos de humedad tan bajos, la acción bacteriana se interrumpe, cortando así colores, calentamientos, combustión espontánea y putrefacción de las bolsas.

### Aereación

Los microorganismos requieren oxígeno, así como requieren de la humedad y alimentos. El oxígeno es tomado del aire atmosférico, que se da por aereación forzada con un fuelle o ventilador, por agitación o por combinación del aire forzado y agitación. La aereación natural depende fundamentalmente de la convección y la difusión, aunque no es eficiente.

En teoría los carbohidratos se descomponen por oxidación, según la siguiente fórmula:



El composteo de pilas también requiere oxígeno, como el oxígeno se toma del aire, este existe en 21% en volumen, así que un 3% de oxígeno nos indica que hay 1/7% del oxígeno del aire en la pila.

### Temperatura

La temperatura se deberá mantener alta, durante un tiempo largo, para cumplir los siguientes objetivos: Matar los organismos patógenos, destruir maleza o semillas de vegetales y destruir huevos o larvas de moscas. La mayoría de estos materiales son destruidos alrededor de 120°F en pocos días bajo condiciones de humedad, para seguridad se aconsejan temperaturas de 140°F.

Temperaturas más altas y prolongadas de 158 a 167°F, pueden inhibir la acción benéfica de algunos microbios e incrementar la pérdida de nitrógeno, debida a la evaporación del amoníaco.

Habría dificultad en mantener una temperatura de 140°F, por varias horas en una unidad mecánica, pero en las pilas las porciones exteriores están generalmente más frías que el resto del material. Es conveniente someter a la mayor parte del material a temperatura de pasteurización, para lo cual serán necesarios varios mezclados. Para ayudar a la pasteurización total se pueden cubrir las pilas con una capa de 2 o 5 cm. de copost terminado, esto servirá para calentarla.

Uno o dos ciclos de temperatura de 140°F, podrían no ser suficientes para matar todos los microbios patógenos, si el material no se remueve lo suficiente o si no se aerea adecuadamente.

## Microorganismos

Las basuras de alimentos, vegetales, papeles, lodos, etc., contienen muchos tipos de bacterias, actinomicetos y hongos. - Para el composteo se requieren muchos tipos de microorganismos, pero se multiplican rápidamente si hay las condiciones adecuadas para ello. Es necesario agregar iniciadores o inoculantes, en algunos casos, aunque si las condiciones son adecuadas los organismos presentes en los alrededores crecerán y se multiplicarán. En algunos casos el recircular cantidades relativamente pequeñas (1-10%) de semilla de compost, acortará períodos largos.

Algunos materiales son difíciles de descomponer - aeróbicamente y requieren de un tiempo considerable. La lignina y la celulosa son materiales resistentes y son atacados después de los - materiales de más fácil descomposición, tales como azúcares, almidones, lípidos, proteínas. La celulosa en forma de papel es un material altamente resistente. La descomposición completa de materiales resistentes, como celulosa y ligninas, no es muy deseable, porque son de valor para el suelo y plantas.

Son muchos los microorganismos que intervienen en el composteo y sus ciclos muy complejos, pero un conocimiento - - exhaustivo de ellos no es necesario para las operaciones en una planta.

### (c) Recuperación y Restauración.

La recuperación y restauración es un método de disposición que debe ser cuidadosamente considerado, en una decisión - hecha en bases de ingeniería y estudios de costos. Consiste como su nombre lo indica, en recuperar y restaurar todos aquellos materiales que tenga la basura y tengan algún mercado.



Este método ha sido desarrollado para tratar de resolver la pregunta de, ¿Porque no se puede adoptar un método que produzca beneficios?

En ciudades grandes son justificables las aprensiones que se tienen al utilizar un método que dependa de las fluctuaciones del mercado del subproducto. Si los mercados desaparecieran, se podría encontrar la ciudad con gran cantidad de basura y sin un método de disposición, excepto que existiera algún tiradero de emergencia lejos de la ciudad. Como de una manera general, los precios del mercado de los recuperables, no marchan conjuntamente con los costos de labor, este método no se puede ver como un método total de disposición. Por otro lado la cantidad de desechos que debe ser recolectado y dispuesto esta influenciado por la cantidad que pueda ser recuperada y vendida por intereses privados. Cuando los precios de lo recuperado son altos, los desechos deben ser recolectados y dispuestos por este método. En realidad la ciudad que recupere, mejore y utilice los desechos, esta siendo una contribución real a la conservación de los recursos naturales.

Algunas plantas que empezaron a funcionar con este método a principios de siglo, dejaron de funcionar por 1915, no solo por razones económicas, sino por las incontrolables molestias que se crearon.

Esta operación ha sido menos atractiva conforme pasa el tiempo y las interferencias que causa con las operaciones de la disposición normal, las molestias y la declinación de el mercado de los recuperables, a causado la discontinuidad de las operaciones.

Los materiales que pueden ser recuperados son: vidrio, metales, trapo, hule, recipientes de plástico, cámaras o llantas de automóviles, papel, madera, todos estos materiales tienen mercado, al ser recirculado en fábricas de papel, fábricas de vidrio fundiciones, etc.

En los Estados Unidos fueron construidas plantas en las cuales, a través de bandas se extrajeron los materiales recuperables y los no recuperables fueron dispuestos en incineradores o en tiraderos. En otros los desechos alimenticios, fueron reducidos a mantecas y grasas y otros fueron composteados.

Se construyó en Washington D. C. una planta de recuperación por medio de una banda central continua. El trapo, el papel, cartón y latas delgadas fueron empacados y los polvos, botellas, metales no ferrosos y hules fueron escogidos y clasificados. Esta planta operó durante 10 años y destruida por el fuego y abandonada en 1928.

En 1968, una planta de recuperación y composteo fue construida en Houston, Texas. Esta planta desarrolló con gran énfasis la restauración de cartón y papel, recuperación de metales y una serie de pruebas en técnicas de separación. La cantidad de desechos de entrada a la planta, puede ser cuidadosamente controlada, para tener en cuenta las fluctuaciones del mercado, de aquí, que solo parte de los desechos domésticos de Houston son manejados en esta forma.

El método de disposición de desechos alimenticios se le conoce como de reducción; fue popular un tiempo y productor de ganancias, la mayoría de las plantas de reducción se construyeron antes de la primera Guerra Mundial, pero después pocas continuaron.

En el proceso de reducción, los desechos eran cocinados en digestores con vapor, la manteca extraída por filtración de nafta, a través del desecho cocido y los solventes eran destilados para uso posterior. Si los solventes no se usaban, entonces, el desecho cocido se sujetaba a altas presiones en una prensa de tornillo o hidráulica, para extraer la manteca. El residuo se usaba como alimento de ganado, como fertilizante y como combustible de calentadores; la manteca fue vendida a fábrica de jabones.

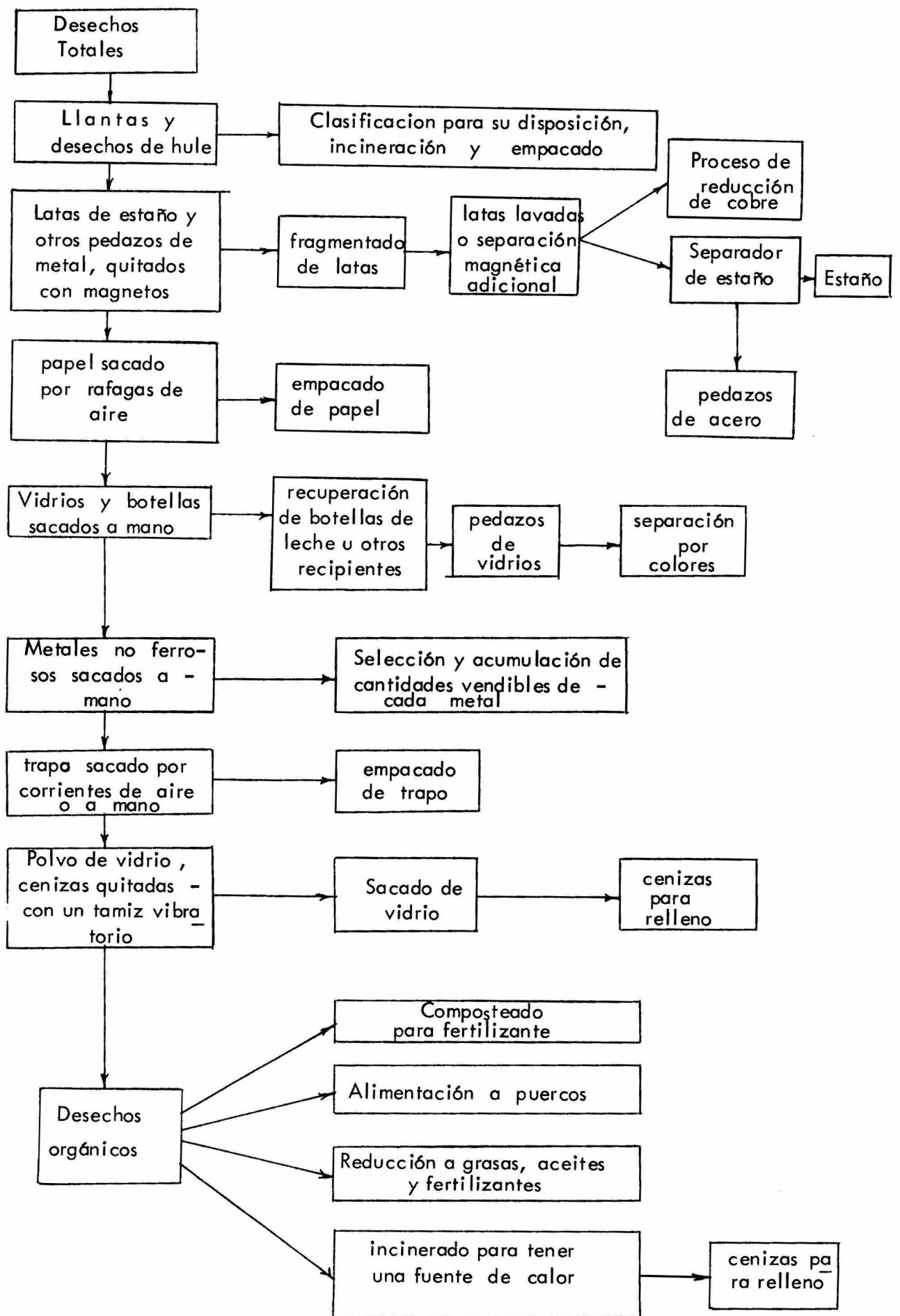


DIAGRAMA DE FLUJO QUE MUESTRA EL PROCESAMIENTO DE LOS DESECHOS POR RECUPERACION

Los olores de los desechos alimenticios y los gases de el cocimiento, hicieron necesaria la instalación de las plantas en lugares alejados de la ciudad, con un incremento en el costo de disposición.

En los Estados Unidos el método de reducción es obsoleto, debido mas que nada al cambio en la composición de su basura, pero este método, podría no serlo tanto en la ciudad de México. Aunque el mercado de las mantecas ha declinado considerablemente, ya que los principales compradores, eran las fábricas de jabón y hoy en día han tomado el lugar de muchos jabones, los detergentes, que son hechos de sustancias sintéticas o derivados del petróleo.

En la ciudad de México la recuperación se lleva a cabo de manera directa en los tiraderos, a través de la selección manual de los materiales, por los pepenadores. Este método podría ser eficaz, siempre que el area estuviera bardeada y controlada, para evitar molestias causadas por almacenamiento de materiales que deben ser dispuestos de una manera inocua.

#### (d) Incineración

La incineración es un proceso controlado, para la oxidación de desechos combustibles, sólidos, líquidos o gaseosos, en dióxido de carbono, agua y cenizas. El nitrógeno y azufre contenidos en compuestos producen sus respectivos óxidos, y no deberán quemarse sin considerar sus efectos en la contaminación del aire.

Los hidrocarburos halogenados no solo afectan la calidad del aire, sino que pueden corroer el incinerador.

Los materiales incinerables son convertidos casi totalmente en gases y agua, pero algunos productos finales todavía se deben disponer. Estos materiales incluyen los arrastrados por la corriente de gas, cenizas, metales, vidrio y combustibles no destruidos completamente y agua de proceso. En lugares donde es muy grande la escasez de tierra para disposición, la incineración puede tener ciertas ventajas.

Los incineradores convencionales están diseñados para liberar 25000 BTU/ft<sup>3</sup> de calor, aunque los desechos producen menos calor.

Los hornos rotatorios y hornos Herreshoff son los más útiles, con foso abierto son muy populares. Para desechos especiales, como lodos y breas, se utilizan hornos de remolino y lecho fluidizado.

#### Incineradores de foso abierto

Estos incineradores son diferentes a los de quemador de aceite en un pedestal, resuelve el problema de los altos flujos de calor, eliminando el cercado.

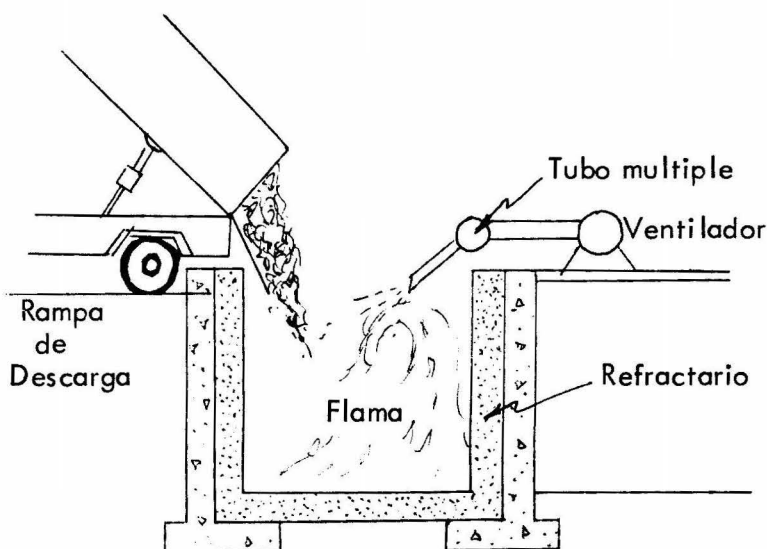
El quemador montado en pedestal maneja grandes cantidades de desechos combustibles líquidos, mientras que el quemador de foso de Du Pont, es mejorado al introducir desechos sólidos. El inconveniente de este son las concentraciones altas de niveles de tierra.

La Unión Carbide instaló quemadores de 600 gal/h de líquidos orgánicos, que contuvieran el 25% de agua, sin humo visible. Las instalaciones consisten de dos quemadores de aceite en

posición vertical y montados a una altura de 5.5 ft.

El área encendida esta en una zona libre de hierbas, para protección personal. El calor es disipado por convección directa y radiación. Por la naturaleza misma del diseño siempre hay exceso de aire.

Los incineradores de foso abierto fueron desarrollados inicialmente por La Du Pont, para la destrucción segura de la nitrocelulosa que presenta explosiones peligrosas, en un incinerador cerrado convencional. El incinerador de la figura, esta abierto en la parte superior y un aparato con tubos de salida cerca uno de otros que crean una acción de enrollamiento en la zona de quemado. Se alcanzan velocidades de quemado altas, tiempos largos de residencia, para lograr una combustión completa y altas temperaturas de flama. - Humo visible se elimina rápidamente y los residuos arrastrados son filtrados adecuadamente.



Los desechos de gran tamaño y plásticos que crean problemas en los incineradores convencionales, son fácilmente destruidos en incineradores de foso abierto. Aunque la concentración de partículas es mayor que en los incineradores convencionales y aquí no hay forma de limpiar los gases de salida. Aunque los incineradores de foso son más usados para disponer de desechos líquidos, son más eficientes con desechos sólidos, especialmente hules y plásticos.

Un diseño comercial construido por la Thermal Research Engineering Corp., consiste en una coraza rígida, reforzada interiormente de concreto o placas de acero con refractario en el fondo y paredes. Datos empíricos y teóricos indican que el ancho óptimo es de 2.5 m. entre las paredes del refractario. La capacidad está determinada por el largo, entre 2.5 y 5 m. El foso es de alrededor de 3 m con las puertas colocadas al final del mismo. Normalmente se coloca un filtro cerca del foso, para mantener partículas arrastradas por el aire y para control de insectos y roedores, cuando se queman desechos alimenticios.

El aire, para el fuego de la parte superior, es suministrado con un tubo múltiple a lo largo de una esquina del foso, con una alternación de 5 a 8 cm, dirigidos hacia abajo en un ángulo de 25 a 35° a través del incinerador. La carga es puesta por el lado opuesto, por medio de una rampa. La alta velocidad del chorro de aire, crea turbulencia en la zona de quemado y el exceso ayuda a completar la combustión. Cuando el equipo se opera adecuadamente, el aire crea una lámina de flama bajo los tubos múltiples de aire en la pared de atrás, enrollando la flama a través de la parte superior del foso. Las partículas y los gases no quemados son regresados por esta flama a la zona de quemado, eliminando así más o menos el humo.

Una gran variedad de desechos se han quemado en los incineradores de foso abierto, fácilmente acepta vigas pesadas, carretes de cables y desechos de construcción. También quema plásticos y materiales similares que liberan gran cantidad de calor, que

podrían detonar o corroer el refractario en una unidad cerrada. Maneja gran cantidad de materiales manufacturados y de proceso, desechos de plantas industriales, llantas y otros desechos de hule. Los plásticos de estireno emiten un humo blanco y denso, por lo cual se quemar en un incinerador cerrado con un quemador secundario.

Se deben evitar los materiales que son peligrosos después de quemados. Los materiales húmedos o densos se compactan en el foso y previenen la penetración del aire, ejemplo: la corteza húmeda y el aserrín. Los desechos líquidos generalmente presentan los mismos problemas.

La capacidad de operación del foso depende de los valores mas bajos de calor de la alimentación, características de la combustión, cantidad de aire en fuego superior, tamaño y forma del foso y método de carga. Se requiere no menos del 100% de exceso de aire, y lo usual es 300%. Según el criterio de Du Pont son 350 ft<sup>3</sup>/min de aire a presión a 27 cm de agua/ft<sup>3</sup>, para desechos estandard, se libera una cantidad de calor de aproximadamente 5000 BTU/h.

Los incineradores son cargados intermitentemente, por medio de camiones de descarga, aunque también se han usado las rampas hidráulicas y grúas. La velocidad de carga depende del material que se esta quemando, para encontrar la capacidad de calor liberado del foso. Materiales con alto contenido de calor, como plásticos, son alimentados en pequeñas cantidades en intervalos frecuentes. El horno con operador, es el mejor factor para minimizar las emisiones, mientras se mantiene una velocidad alta de quemado. Los costos de operación directa son bajos. Dos hombres pueden operar dos fosos, los otros costos son para dar energía al fuelle y operar el cargador y sistema de limpia. No se usa combustible auxiliar, como iluminación exterior se utiliza una pequeña cantidad de material combustible dentro del foso. El mantenimiento es poco y la mayor parte consiste en reparaciones del refractario.



El costo de capital es bajo. Un precio promedio de una unidad comercial de 5 m de largo, 2.5 m de ancho por 3 m de fondo, completamente instalado, incluyendo un almacén cubierto para los desechos y un filtro cerrado para el foso, es de alrededor de 811,000 pesos (M.N.). La capacidad es de 5000 lb/h, para materiales de bajo contenido de calor y la mitad de la capacidad para materiales de alto contenido calorífico.

### Incineradores Cerrados

Estos incineradores son los más usados para desechos industriales, incluye el de múltiples cámaras, el de horno rotatorio, el de Herreshoff y el de remolino o de lecho suspendido. El de múltiples cámaras es usado para desechos comerciales e industriales, generalmente arriba de 1 ton/h. Este es el diseño básico de los incineradores municipales. El horno rotatorio u horno Volund es muy versátil para quemar sólidos, líquidos, lodos y desechos enlatados. El de Herreshoff o de calor múltiple es también versátil y es ampliamente usado para lodos y materiales de alto contenido calorífico. El horno de remolino es útil para quemar lodos, grasas y aceites. Existe también el de lecho fluidizado, el cual tiene funciones más específicas.

Incinerador de múltiples cámaras.- Existen dos tipos fundamentales de incineradores de múltiple cámara: el tipo de retorta y el tipo inclinado.

El tipo de retorta tiene las siguientes características:

- El arreglo de las cámaras hace que los gases de combustión fluyan en giros de 90° en direcciones horizontales y verticales.
- El flujo de recirculación de los gases permite el uso de una pared común entre las cámaras primaria y secundaria.

- Las cámaras de mezclado, las puertas en la lumbrera y las puertas en las paredes tienen una relación de largo a ancho de 1:1 - hasta de 2 ó 4:1.
- El espesor de la pared bajo la puerta de la lumbrera es función de los requerimientos funcionales de las cámaras de mezclado y combustión, por esto en un incinerador de 500 lb/h, la puerta que resulta es muy pesada.

Las características del horno de tipo inclinado son:

- El flujo de los gases de combustión tiene giros de 90° a través del incinerador, pero solo en dirección vertical.
- El arreglo inclinado de los componentes de la cámara da al incinerador un plano inclinado. Este estilo se adapta bien en instalaciones que requieren espacios separados de las cámaras, para operación, mantenimiento u otras razones.
- Todas las puertas y cámaras se extienden a todo lo ancho del incinerador y son tan grandes como la cámara de ignición. La relación largo a ancho de la puerta de lumbrera a la cámara de mezclado, y pared de división a puerta de flujo son de 2:1 a 5:1

Un incinerador de retorta de tamaño óptimo, tiene la ventaja de ser compacto y es económico estructuralmente, debido a su forma cúbica y a la reducida longitud de sus paredes exteriores. El incinerador de retorta funciona mas eficientemente, que el inclinado, en operaciones del rango de 50 a 750 lb/h. El incinerador inclinado se adapta bien en operaciones de alta capacidad. La segunda etapa de combustión del incinerador inclinado mas pequeño es menos eficiente que el del tipo de retorta. El incinerador inclinado funciona mejor a capacidades arriba de 1000 lb/h.

Los dos tipos de incineradores tienen igual eficiencia entre 750 y 1000 lb/h. La selección se hara en este caso por

preferencia personal, tipo de basura o por condiciones de carga .

La turbulencia y mezclado adicionales promovida - por los giros en el incinerador de retorta, permite que las secciones cuadradas cercanas a la puerta y cambiadores en unidades pequeñas, funcionen adecuadamente. En los incineradores de retorta con capacidades arriba de 1000 lb/h, se reducen las turbulencias efectivas en la cámara de mezclado, esto se ocasiona por el incremento en el tamaño de la sección de flujo, resultando una penetración inadecuada de la flama, de la distribución de salida y del mezclado del aire secundario.

Ciertas fallas en los incineradores inclinados pequeños se eliminan, cuando el tamaño de la unidad se incrementa.

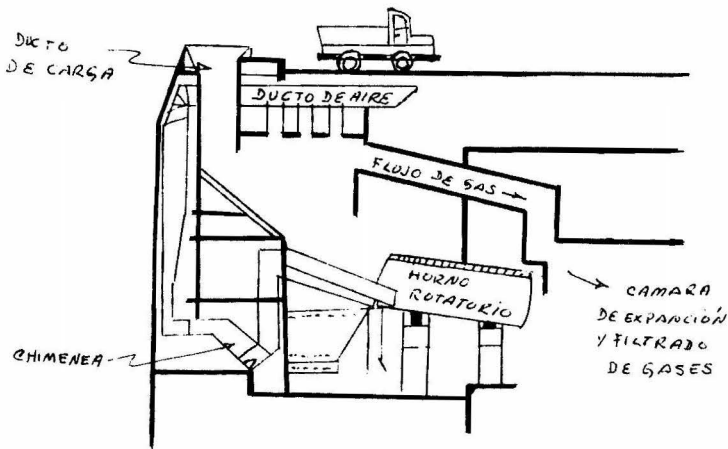
Los costos relativos en 1968, de los incineradores - incluyendo sistemas anticontaminantes, para varias capacidades son:

(Datos en los Estados Unidos)	
Capacidad lb/h	Costo \$ (M.N.)
100	21200
150	24000
250	33700
500	62300
750	119000
1000	156000
1500	240000
2000	312000

Los anteriores son costos de equipo, el costo total - se verá afectado por el costo de energía y combustible.

Horno rotatorio.- Este horno es utilizado por Dow - Chemical Co., es una unidad de 65 millones de BTU/h, dispone de - residuos líquidos y desechos químicos, tales como plásticos, energéticos, espumas de estireno, papel, madera y otros sólidos con diferentes contenidos caloríficos. Se utiliza un mecanismo para alimentar las pa--cas y cilindros llenos de desechos químicos.

Un horno rotatorio como el que se usa en instalaciones municipales se muestra en la figura.



Un incinerador similar se utiliza en Atlanta, Estados Unidos, esta conectado a un calentador que tiene de combustible los desechos, y así se genera vapor. El mantenimiento del refractario es caro, ya que se tiene que cambiar una vez al año.

Los costos de esta planta, son de instalación - - \$125000 por tonelada diaria de alimentación.

Quemadores secundarios en chimeneas de incineradores.- Estos son usados en las chimeneas de los incineradores cuan-

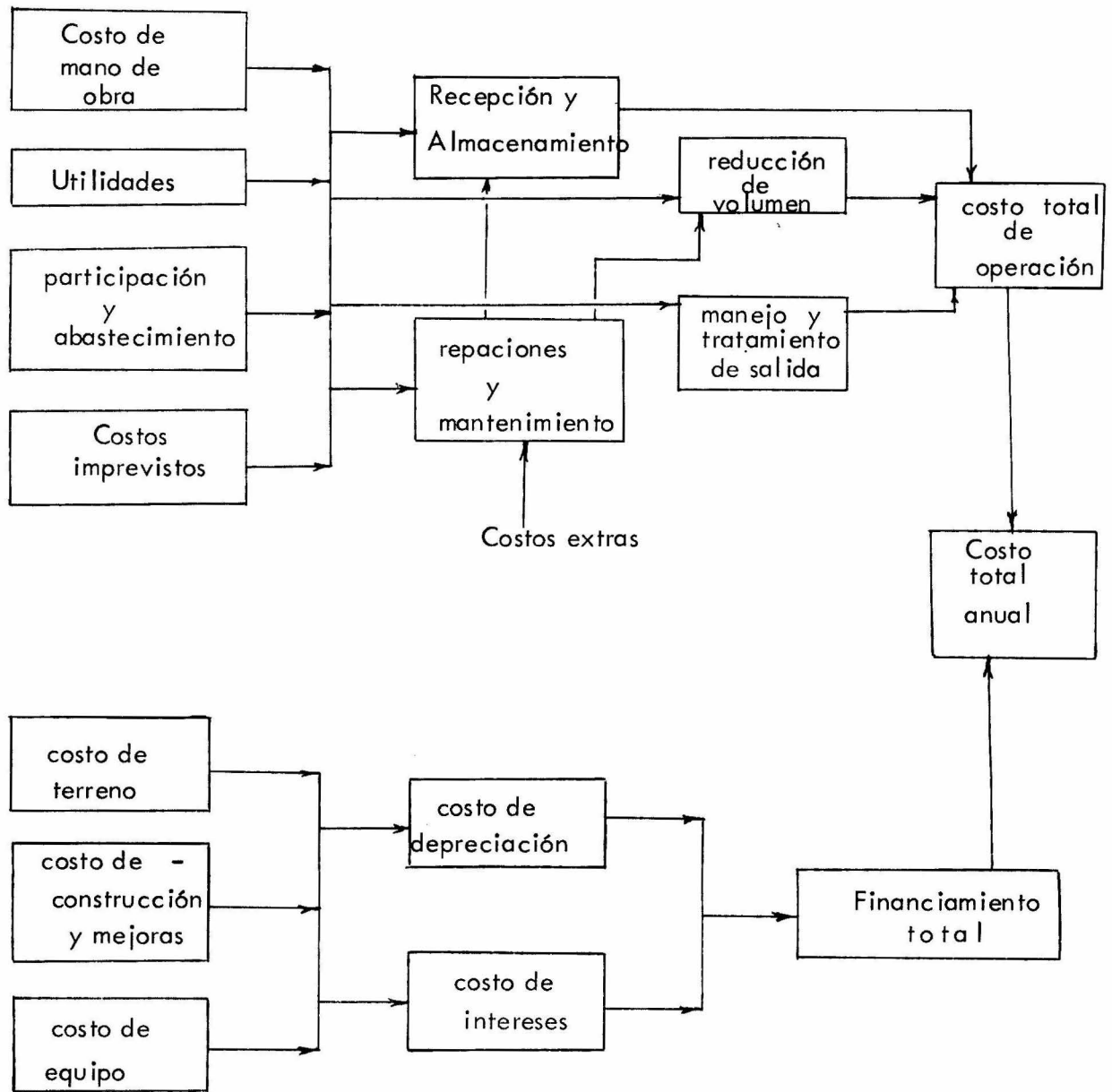


DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE COSTOS EN LA INCINERACION DE DESECHOS SOLIDOS

do queman materiales que desprenden humo, tales como hules, polietileno, o para eliminar olores tóxicos. Se usan frecuentemente, para ayudar a incineradores inadecuados que dejan partículas combustibles. El quemador secundario, no es más que otra cámara de combustión colocada en la chimenea. El tiempo de residencia de las partículas carbonosas, depende del tamaño de la partícula, exceso de aire y temperatura.

### Costos .

Los costos de operación y equipo en la incineración son muy variables, pueden ser tan bajos como \$25/ton, hasta varios miles de pesos por tonelada. Los precios varían significativamente dependiendo de la frecuencia de uso y del tiempo de depreciación.

Los costos totales se pueden tratar por medio de la generación de vapor, ya que el calor recuperado y el agua de enfriamiento de los incineradores reducen el volumen del gas que va a ser tratado para control de contaminación, reduciendo así costos de equipo. La generación de vapor por desechos municipales es muy común en Europa, no así en los Estados Unidos. En general se ha visto que 1 lb de desechos produce aproximadamente 1.8 lb de vapor. La corrosión es poca, pero se tienen problemas con los depósitos.

Los desperdicios de madera y bagazo son comúnmente usados para generar vapor. Además en cualquier planta de generación de vapor se debería tener un incinerador de desechos, con esto se tendría un combustible barato y contribuiría a la resolución del problema de la disposición de los desechos.

### Oxidación.

La oxidación es diferente de la combustión por la ausencia de flama y las temperaturas de operación más bajas. El pro-

ceso de oxidación mas completo es el proceso Zimpro, que se utiliza para sanear lodos de drenajes. Cualquier sustancia capaz de quemarse, se puede oxidar entre 250 y 750°F. Las plantas actuales operan entre 300 y 400°F. Las presiones de operación varían de 150 a - - 3000psi, con 600 psi de promedio. La presión y temperatura dependen del tamaño de la planta, tiempo de reacción y concentración de material oxidable. Por las bajas temperaturas de operación, no se forma el óxido de nitrógeno o el óxido de azufre.

El proceso es relativamente simple, los lodos y el aire son bombeados dentro del sistema y la reacción se inicia al elevar la temperatura en un cambiador de calor a contracorriente, los productos salen finalmente del reactor. Los gases se separan de los sólidos oxidados y agua, por una válvula de presión y para el control de los olores son llevados a través de una unidad de oxidación catalítica. - El líquido se descarga por una válvula de control de nivel y así los - sólidos son separados. El calor se suministra por una fuente exterior, tal como un generador de vapor.

Los costos de operación de una planta Zimpro, a alta presión incluyendo mano de obra y mantenimiento son de \$188/ton de sólidos.

El proceso no lleva a una destrucción completa de la materia orgánica, por lo que es necesario un proceso posterior de tratamiento de líquidos.

El proceso Armstron Transcat, tiene como base una oxidación parcial; se adapta bien a hidrocarburos clorados. Los - - hidrocarburos clorados reaccionan con el oxígeno a presión y temperaturas moderadas. El producto obtenido es una mezcla de cloro, - hidrógeno, monóxido de carbono, ácido clorídrico y vapor.

### (e) Pirólisis

Los desperdicios son calcinados en una cámara al aire libre, a temperaturas alrededor de 3000°F. Aproximadamente se encuentran 800 unidades de este tipo en el mundo, algunas de las cuales tienen aplicaciones industriales.

Los sistemas de pirólisis han sido generalmente más caros que los incinerados y se emplean principalmente con desperdicios que son difíciles de quemar. Se piensa que en el futuro las técnicas de pirólisis van a desplazar a la incineración, para la disposición de desperdicios en las grandes ciudades. Unos cuantos desperdicios pueden ser utilizados después de la pirólisis. Recientemente se sugirió pirolizar los desperdicios plásticos en ceras suaves y duras, adhesivos, breas y grasas en un proceso continuo.

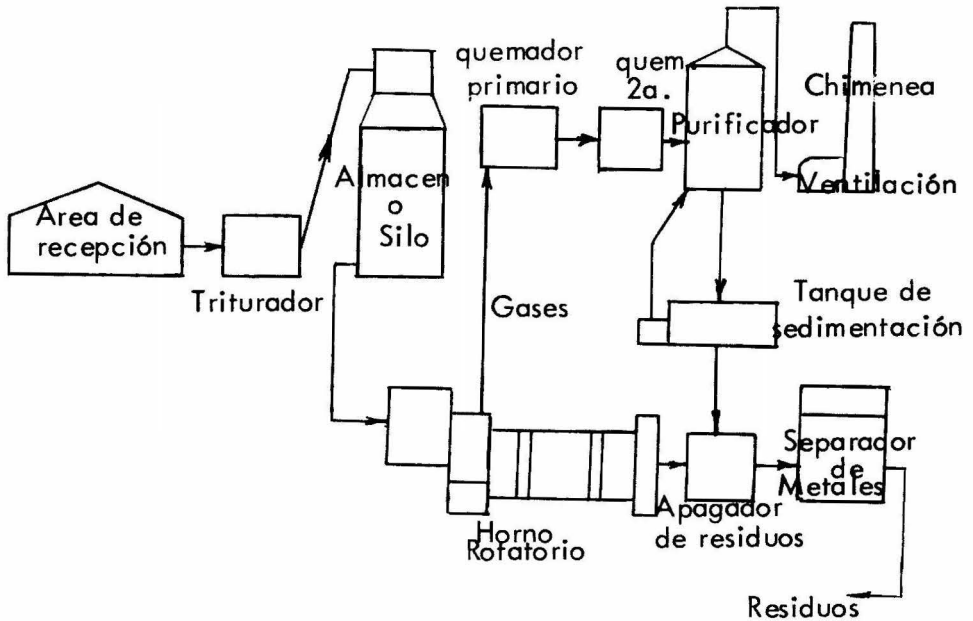
El plástico recogido debe ser primero fundido y luego extruido en un tubo de pirólisis. Los productos sacados del tubo tendrán que pasar a través de un cambiador de calor, para enfriarlos a una temperatura inferior a la que se quemarían en el aire. Un sistema de pirólisis para el manejo conjunto de lodos y basuras se puso en operación recientemente en South Houston, Texas. La planta tuvo un costo total de siete y medio millones de pesos mexicanos y maneja 100 ton/semana.

Los lodos son bombeados de una planta de tratamiento a un concentrador para quitarles humedad, después son descargados directamente en la planta de pirólisis. Se utiliza un pequeño tractor, para empujar lodos y desechos alternativamente, dentro de las máquinas de carga.

Monsanto Enviro-Chem Systems, ha estado provando una planta piloto con el sistema Landgard, para basuras municipales.



El siguiente es un diagrama de flujo de un pirólisis con el sistema - Landgard:



La compañía construirá una unidad de 1000 ton/día, para la ciudad de Nueva York. No se consideran en la planta los subproductos, pero se pueden adicionar a ella. Se calcula que los costos de operación y de equipo son de 2/3 los costos de incineración libres de contaminación. Los costos de operación sin medios de recuperación son de \$1250/ton, aproximándose a los de incineración.

Se ha estudiado la posible recuperación de energía con la pirólisis. Los desechos alimentados contienen alrededor de - 100 millones de BTU/ton, en forma de alquitrán, brea, carbón, aceites ligeros y gases. Se necesita menos de 2 millones de BTU para - pirolizar 1 ton de basura, por lo cual la misma planta se podía proveer

de su combustible.

Hercules Inc. planea un sistema de recuperación de desechos de minas, con una capacidad de 500 ton/día de desechos. Con la elevación en el costo por tonelada de aluminio, esta se ha convertido en la fracción más valiosa de la basura urbana. La asociación de Aluminio en los Estados Unidos, sugiere obtenerlo de lata y empaques. Esto haría a los desechos metálicos más atractivos para la recirculación.

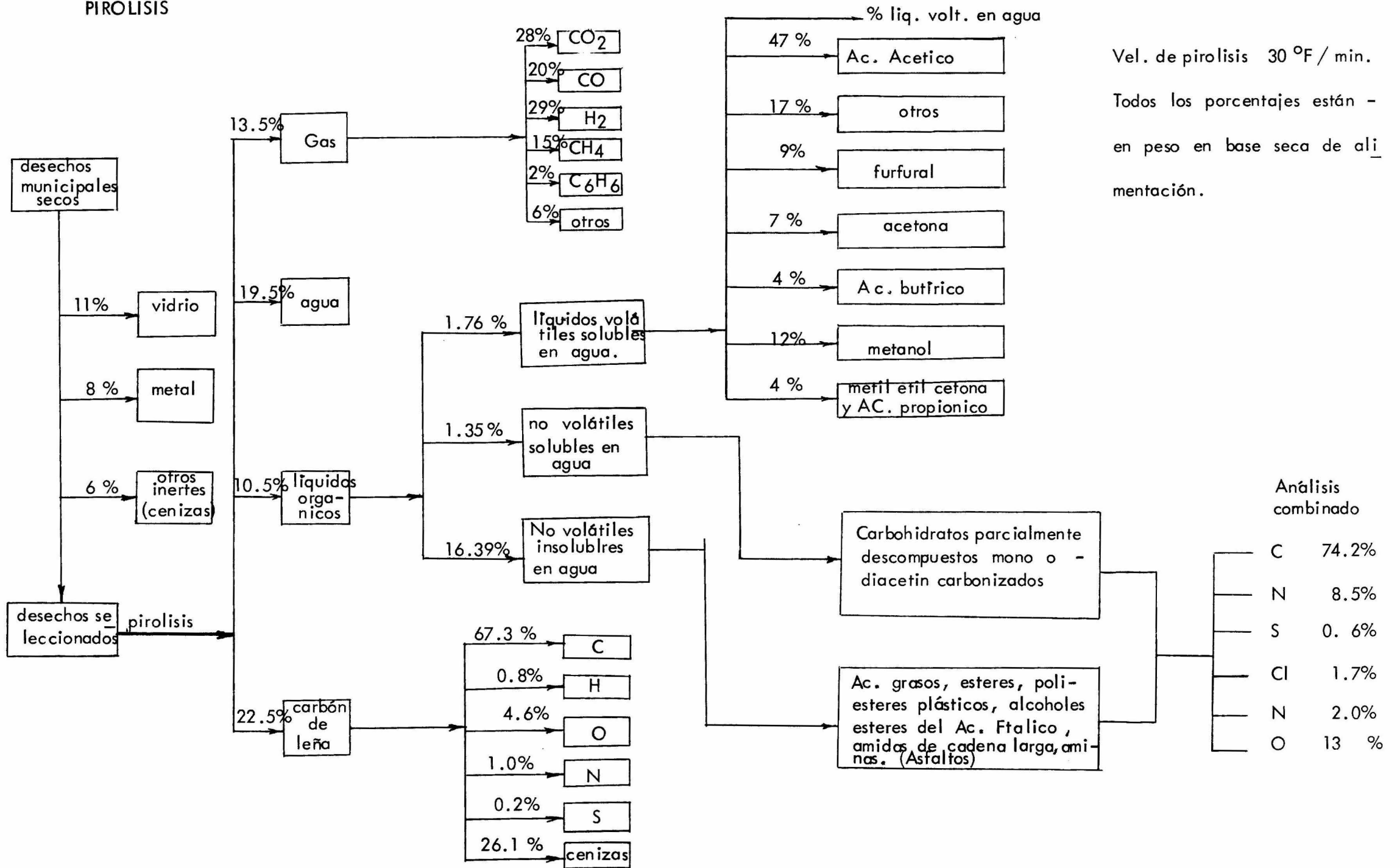
La Ford Motor Co., en San José California probó un convertidor que pirolizaba de 40 a 50 ton/día de desechos industriales. En este convertidor la retorta de gas encendida tiene una longitud de 6 m, se revuelve lentamente, estando inclinada, como en el horno rotatorio. Los desechos son inyectados a través de una válvula de estrella. La retorta opera alrededor de los 650°C y los desechos son pirolizados en ausencia de oxígeno, vapor, materiales volátiles, dióxido de carbono y carbón. El vapor, dióxido de carbono y monóxido de carbono son atrapados y eliminados. Los gases volátiles incluye el hidrógeno, metano, etileno y propileno. Una planta de 100 ton/día, produce suficiente gas para generar 400 kw/día de electricidad, además el 30 a 35% de alimentación viene a ser carbón. Posteriormente se verá el esquema que muestra los productos que se pueden obtener a través de un proceso de pirólisis de las basuras.

Para procesar 5000 ton/día en una planta de pirólisis, se tiene un costo total de operación de \$27/ton, que es más bajo de lo que se gasta en un incinerador de tamaño similar.

Las investigaciones de pirólisis han sido primordialmente dirigidas al estudio de desechos de hule y plásticos.

Además de los atractivos económicos, la pirólisis del carbón da carbono activado, el cual, se utilizaría en el trata---

# PIROLISIS



miento de grandes cantidades de agua contaminada y el carbono consumido se podría disponer como combustible no contaminante. Una desventaja que podría tener la pirólisis es que los residuos de las fábricas de papel no se podrán tratar por este método, ya que estos se aprovecharían mejor al ser tratados con aceite combustible residual - de alto azufre en un convertidor de coque, para obtener finalmente - coque de bajo azufre.

## Hidrogenación

El aceite pirolizado puede ser convertido en aceite combustible por hidrogenación. Se han hidrogenado ya, desechos - municipales en aceites crudos sintéticos.

La Unión Carbide ha desarrollado un extruder-pirolizador continuo, que en realidad es un reformador térmico. Este reformador convierte los pedazos de película plástica, de la industria de empaqueo, en polímeros de peso molecular más bajo, tales como ceras, grasas y aceites. La alimentación puede ser transformada por cracking en gases combustibles. Los productos son reactivados y posteriormente convertidos en un gran número de derivados.

Cuando se piroliza el policloruro de vinilo (PVC), - se produce ac. clorídrico por deshalogenación, el ácido clorídrico es neutralizado o venteado. La deshalogenación del PVC es una reacción en cadena, que puede ser controlada por adición de pequeñas - cantidades de compuestos de estaño, como estabilizadores, pero el - ac. clorídrico formado agota completamente el catalizador. El ácido clorídrico puede ser neutralizado con carbonato de sodio o calcio. El ácido clorídrico anhídrido puede ser recuperado, usando un venteo que va a un extruder, que opera al vacío, ya que la deshalogenación tiene lugar a temperaturas más bajas que aquellas a las cuales la mayoría de los polímeros se polimerizan.

La mezcla de desechos plásticos reformados en un extruder con ventilación, produce un material semejante a la brea o aceite crudo, dependiendo de las condiciones de operación. Este material puede servir como combustible, material crudo para síntesis química o como una fuente de carbón para la producción de proteínas por microorganismos .

#### IV. PROBLEMA Y SOLUCION DE LA BASURA EN LA CIUDAD DE MEXICO.

El problema de la basura en la Cd. de México se debe fundamentalmente a los malos hábitos de sus habitantes y a la indiferencia con que éste se ha visto por muchos años.

Desde hace mucho tiempo el problema se ha venido resolviendo, tirando la basura en lugares apartados de la ciudad. En 1950, las autoridades del Distrito Federal, concedieron permiso a una empresa particular, par la instalación de dos plantas clasificadoras de basuras, una situada en San Andrés Tetepilco, Ixtapalapa y la otra en Comarones, Azcapotzalco. Pero no funcionaron adecuadamente, al no tener abastecimiento regular de materia prima y al poco tiempo un incendio destruyó parcialmente la planta de Tetepilco. Por temor de sufrir las mismas consecuencias, la otra planta dejó de funcionar.

En 1955, existían cinco tiraderos en la Cd. de México, situados en : Santa Clara, Edo. de México; San Bartolo, Ahuizotla, Edo. de México; Santo Cristo, Tacuba, D.F. ; Hastauacan, Ixtapalapa, D.F.; y Meyehualco, Ixtapalapa, D.F. Como estaban en lugares apartados se tenían elevados costos de transporte, pero no se tenía otro método de disposición. De estos tiraderos, en la actualidad solo funcionan dos, aunque con una superficie mayor.

En la actualidad se tiene una gran producción de basura, ya que cuando se transita por la calle se tiran una gran variedad de desechos (colillas de cigarro, envolturas, envases, etc.) Además, los desperdicios que se acumulan en los hogares de 9 millones de habitantes de la ciudad. Ocho mil personas en brigadas o individualmente, por turnos que cubren las 24 horas del día, tienen a su cargo la tarea de limpiar, auxiliadas por 1000 vehículos y unidades pesadas, como trailers y tractores. Este contingente acarrea 5000 toneladas por día de desperdicios, que los recolecta, concentra y destruye en casos de desechos de fácil descomposición y

que podrían convertirse en focos de infección.

Se gasta un millón de pesos semanales, en la operación de limpieza, desde transporte hasta disposición. Pero como se dispone de la basura en la Cd. de México? en realidad no se tiene un método, ya que las 500 ton/día que se originan en el D.F., se depositan en los tiraderos oficiales de Santa Cruz Meyehualco y Santa Fe y ahí se quedan. Los pepenadores extraen únicamente aquello que consideran de valor y el resto forma una superficie de cerca de dos millones de metros cuadrados de desperdicios a la intemperie.

La campaña que a últimas fechas se ha emprendido, tiende a rescatar a la ciudad, no solo de la amenaza que significa la basura dispersa, sino de la que implican esas dos grandes áreas 1620000 m<sup>2</sup> de Santa Cruz y 79800 m<sup>2</sup> de Santa Fe cubiertas de inmundicias.

### Soluciones

Las medidas que se han tomado para resolver el problema, comprende dos etapas: recolección con técnicas eficaces y una aplicación final.

En acatamiento a un acuerdo presidencial del 23 de junio de 1971, se constituyó el Grupo de Trabajo de Desperdicios Urbanos; este grupo efectuó la primera etapa de un estudio para la solución del problema de la disposición de los desechos sólidos urbanos del Distrito Federal.

Por un lado se seguirán evaluando técnicas para encontrar la más adecuada a las circunstancias de la ciudad y por otro se procederá a hacer en el tiradero de Santa Fe, jardines y

campos deportivos y erigir lo más pronto posible una planta piloto en San Juan de Aragón.

### Planta Piloto.

Esta planta contribuirá a resolver un problema social, contratando a pepenadores. Para la planeación se tomará en cuenta el sistema de recolección que está funcionando actualmente. Este sistema consta de tres campamentos situados en distintos rumbos de la ciudad, dos tiraderos y un centro de emergencia. Los camiones con que se cuenta, tienen capacidad de 4.5 ton los pequeños y 25 ton los grandes. Por lo cual se podrían establecer plantas en distintos rumbos de la ciudad y así se agilizaría el proceso de recolección, al no tener que hacer los camiones recorridos muy largos hacia los tiraderos.

El contenido de materia orgánica en la basura del Distrito Federal, es elevado. Así que se pensó en un método de disposición adecuado a este tipo de desechos y en esta planta piloto se utilizará el método de composteo, con el sistema de pilas en un área de 100000 m<sup>2</sup>, en ciclos de dos a tres semanas.

La operación en la planta consistirá en dos etapas:

- .- La pepena mecanizada, en la que a lo largo de una banda los pepenadores extraen cada uno de los diferentes subproductos.
- .- El tratamiento biológico, que en realidad sería el método de composteo.

La capacidad de la planta será de 500 ton/día, con producción de 181 ton/día de compost y con volumen de 330 m<sup>3</sup>/día.



Se planea la capacidad anterior tomando en cuenta que para disponer del total de la basura producida, se requeriría un terreno muy grande que no existe en la Cd. de México. Por lo que para disponer de un total de la basura se requieren 10 plantas con una capacidad de 500 ton/día, que se pueden distribuir en distintos rumbos de la ciudad, con lo que se economizaría en costo de transporte y recolección

#### ANALISIS DE LA BASURA DEL D.F.

	Ton/día	%	ton/ton
papel	416.9	8.9	0.089
cartón	14.6	0.311	0.00311
vidrio blanco	71.1	1.519	0.0151
vidrio de color	72.0	1.58	0.0158
trapo	25.9	0.553	0.00553
metales	54.7	1.17	0.0117
plástico rígido	5.0	0.107	0.00107
plástico blando	6.3	0.134	0.00134
hueso	7.2	0.153	0.00153
madera	8.3	0.117	0.00177
chácharas	6.2	0.107	0.00107
Subproductos	688.2	14.7	
Composteables	3524.0	75.3	
Rechazos	468.0	10.0	

Total Recolectado 4680 ton/día

#### Análisis de beneficio - costo

El costo actual por tonelada de basura en el Distrito Federal es de \$ 28.55/ton al día.

$$\text{Costo diario } \$ 4680 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \times \$28.55/\text{ton} = \$173410 \text{ día}$$

Costo anual = \$ 64296100.00/ año.

### \* COSTO DE LA PLANTA

Costo de operación:

Material de mantenimiento	\$/unidad. año
Refacciones y reparaciones	4000.00
Mano de obra de reparaciones	2800.00
Pintura, llantas, cámaras	4000.00
Combustible y lubricantes (calculado en base al recorrido y costo de gasolina actual).	8000.00
Herramienta, vestuario, equipo y otros.	12000.00
<b>T o t a l</b>	<b>\$ 30800.00/unidad año</b>

Se piensa ocupar el total de los camiones de -  
transporte de basura, que hacer la recolección en los alrededores  
de San Juan de Aragón. Son alrededor de 50 y éstos transportan  
un total de 500 toneladas al día, en dos o tres viajes.

El costo total de operación sería el siguiente:

	\$/ton.día
Personal	20.00
Energía, agua, etc.	3.40
Transporte de rechazos	9.50
Imprevisto (aprox.10%)	1.60
<b>T o t a l</b>	<b>38.00</b>

\* Costos vigentes en Nov. 73.

Costo del equipo de la planta:

Equipo extranjero, montaje y supervisión	\$	13000000.00
Equipo menor		1800000.00
Obra civil		7500000.00
Equipo móvil		890000.00

Capital para el equipo de la planta 23000000.00

Amortización a 20 años del equipo y montaje:  
7.94 \$/ton

Amortización a 5 años del equipo móvil:  
0.97 \$/ton.

Amortización a 20 años de la obra civil:  
2.06\$/ton.

Amortización total del equipo:  
10.97 \$/ton.

COSTO TOTAL = COSTO DE EQUIPO + COSTO DE OPERACION =  
= \$ 48.97 /ton.

Beneficios:

Subproducto	\$/ton.	\$/día (valor industrial)
Papel	320.00	133408.00
Cartón	900.00	13140.00
Vidrio blanco	320.00	22752.00
Vidrio de color	200.00	14400.00
Trapo	200.00	5180.00
Metal	200.00	10940.00
Plástico rígido	---	---
Plástico blando	---	---
Hueso	1100.00	7920.00
Madera	200.00	860.00
Chácharas	1000.00	6200.00

Total de subproductos : \$ 214800.00/día.

Beneficio obtenido por tonelada de basura:

Subproducto	ton. subp./ ton. basura	\$/ton. sub.	\$/ton. basura.
Papel	0.089	320	28.48
Cartón	0.00311	900	2.80
Vidrio Blanco	0.0151	320	4.83
Vidrio de color	0.0158	200	3.16
Trapo	0.00553	200	1.10
Metales	0.0117	200	2.34
Plástico rígido	0.00107	---	---
Plástico blando	0.00134	---	---
Hueso	0.00153	1100	1.68
Madera	0.00177	200	0.35
Chácharas	0.00107	100	1.07

TOTAL : \$ 45.81/ton.

Este beneficio obtenido por venta de subproductos reducirá enormemente los costos. Aunque en la actualidad esta cantidad de subproductos no llega a los tiraderos, ya que la pepena empieza en los camiones recolectores y a veces antes, en los depósitos de basura, por lo que no es una fuente de beneficios muy estable. Sin embargo se tiene otra fuente de beneficios que podría ser la venta del producto final del método de composteo (compost).

### Compost

El compost es un compuesto orgánico, hecho a partir de los productos que han tenido su origen en la basura y que al humidificarse, mediante un proceso acelerado de descomposición bacteriana, tiene gran valor nutritivo y energético para las plantas.

El compost enriquece el suelo y los cultivos de la siguiente manera:

- Tiene influencia directa en la nutrición de las plantas, al proporcionar elementos primarios como nitrógeno y fósforo y elementos secundarios como magnesio, boro, zinc, etc.
- Tiene influencia indirecta en las plantas al cambiar el potasio y el fósforo inorgánicos en compuesto fácilmente asimilables.
- Da vida al suelo ya que contiene billones de bacterias - benéficas que trabajan para mejorar la estructura física y biológica del suelo.
- Permite fijar más fácilmente en el suelo los nutrientes, lo que tiene como consecuencia el que los fertilizantes inorgánicos tengan una mejor acción, así como el que se requiera una menor cantidad de los mismos.
- Modifica la estructura de los suelos. En los arenosos aumenta la cohesión y en los arcillosos la disminuye, lo que permite: mayor aereación, aumento considerable en la capacidad de retención de humedad, mayor penetración - de las raíces.
- Aumenta la capacidad amortiguadora de los suelos, al reducir ampliamente las variaciones de alcalinidad y acidez.

En la Cd. de Guadalajara funciona la planta Compomex de Guadalajara, en la cual se utiliza el sistema de composteo de pilas, con capacidad de 500 ton/día de basura; en un terreno de 10 Ha. La composición de la basura es semejante a la de la Cd. de México, Tiene 17.17 % de subproductos y 82.83% de composteables. El compost que produce tiene la siguiente composición, semejante a la que se espera producir en la planta del distrito Federal:

Sustancia	%
Materia orgánica	34.0
Carbono	19.8
Humus	6.3
Nitrógeno	1.2
Fósforo	0,7
Potasio	1.2
Calcio	8.1
pH	7.5

### Fertilizantes

Los fertilizantes tienen un alto valor social y económico. Frecuentemente se les considera como una ayuda para el mantenimiento de la fertilidad del suelo; sin embargo, en nuestros días su función principal es la de elevar el nivel de fertilidad del suelo, lo suficiente para permitir que variedades de plantas mejoradas se puedan cultivar con mayores beneficios económicos en sistemas de agricultura modernos.

Inicialmente, los fertilizantes se preparaban y vendían en forma sólida, pero en la actualidad se pueden adquirir en forma líquida, sólida y gaseosa.

Los materiales utilizados para la producción de fertilizantes se encuentran en depósitos naturales, en los productos de la recuperación de los desperdicios (método no utilizado en México) y también manufacturados sintéticamente. Los nutrientes primarios que son nitrógeno, fósforo y potasio, se obtienen de fuentes naturales por procedimientos exclusivos para cada uno. En la industria se trata de utilizar prima de alta concentración para lograr mayor eficacia y ofrecer sus productos al menor costo posible al agricultor.

Los tres productos primarios son los que marcan las funciones de manufactura, compra y venta. Los materiales que proporcionan estos elementos se encuentran en combina -

ciones químicas diferentes. Para la vida vegetal el valor de estos nutrientes tal como se encuentran es bajo, es necesario procesarlos por medios químicos y mecánicos a fin de convertirlos en formas asimilables, estos procesos son los que elevan el costo de los fertilizantes.

Los grados de un fertilizante son los porcentajes de los tres nutrientes primarios (%N, %P, %K). En las mezclas de fertilizantes están contenidos los nutrientes primarios en diferentes proporciones, y éstas son las que dan los grados del fertilizante.

Los fertilizantes más comunes y sus costos promedio en México, son los siguientes:

Fertilizante	\$/ton
Sulfato de amonio	645
Nitrato de amonio	1300
Fosfato de amonio	1810
Superfosfato simple de calcio	440
Superfosfato triple de calcio	1250
Urea	1450
Mezclas: 15 - 15 - 23	1525
15 - 30 - 15	1765
17 - 17 - 17	1520
25 - 25 - 0	1740

De lo anterior se podría sacar un costo tentativo en el mercado del compost. Si por cada 500 ton de basura se producen aproximadamente 181 ton. de compost, entonces el costo por tonelada de compost será de \$ 132.50, sin considerar los beneficios venta de subproductos. En este caso, si el compost tratará de competir en el mercado como una mezcla, por ejemplo: 17 17 17, se tendrían pérdidas, ya que aproximadamente 17 ton de compost se igualaría con una mezcla de este porcentaje, en cantidad de nutrientes. El costo de una tonelada de mezcla 17 17 17 es de \$ 1520.00 y el de 17 toneladas de compost sería de \$2252.50

Si los subproductos llegan en su totalidad a la planta, el costo por tonelada de basura sería de \$ 3.16 y por lo tanto el del compostaría de \$ 8.27 y el costo de 17 ton de compost de \$ 141.00 . En este caso aunque el beneficio de los subproductos fuera menor y por esto se elevara el costo por tonelada del compost, se tendría un fertilizante con mayor volumen, pero más barato que una mezcla y si sería posible su competencia en el mercado.



## V. CONCLUSIONES

Cada proceso tendrá una gran cantidad de pequeñas variantes, debido a que en cada localidad, se tendrán condiciones de vida diferentes y por lo tanto la composición de la basura será diferente. Otro factor muy importante son las condiciones climatológicas, puesto que métodos que hayan resultado eficientes en un lugar o muchos pueden no serlo en la Cd. de México.

Tomando en cuenta todos los factores que afectan los métodos y viendo ventajas y desventajas de cada uno, se llega directamente a la conclusión del que el método más conveniente es el de composteo.

Pienso que este método funcionará, ya que la única desventaja que tiene es el mercado para la venta del compost. Pero ésta se puede eliminar por el momento, ocupando todo el compost producido para la restauración del vaso de Texcoco. Convirtiendo esta zona árida en un área fértil, para su utilización en un parque o lugar de recreo. El compost es el fertilizante ideal para esta zona, en la cual todo el fertilizante servirá para vitalizar el suelo y propiciar el crecimiento de plantas y árboles.

Posteriormente, la venta del compost podría reducir a cero los gastos que se tienen en la actualidad, para la disposición de las basuras en el Distrito Federal.

Será también conveniente, poner plantas pilotos utilizando cada una diferentes métodos y dentro de cada una de ellas ver todas las variantes posibles, para ver el más barato, adecuado e inocuo para la Ciudad de México.

## BIBLIOGRAFIA

Phylips A. Witt, Jr., Disposal of Solid Wastes, Chem. Eng .  
Oct. 4, 1971 .

Solid Waste Disposal, Chem Eng / Desbook issue, Jun. 21 1971

Institute for solid waste of APWA, Municipal Refuse Disposa,  
Public Administration Service, 1970

Composting of Municipal Solid Wastes in the USA, US Enviromental  
Protection Agency, 1971 .

Vicent Sauchelli, Chemistry and Technology of fertilizers .  
Reinhold Publishing Corporation, 1966

Jerome Goldstein, Garbage as you like it, Executive Editor,  
Rodale Press Inc., 1971 .