



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE  
RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL  
CONSORCIO MINERO BENITO JUÁREZ (PEÑA  
COLORADA) Y SU APROVECHAMIENTO EN LA  
REFORESTACIÓN DE TERREROS**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA**

**P R E S E N T A**

**URIEL GÓMEZ SANDOVAL**

Asesor:  
Ing. José E. Santos Jallath



MÉXICO, D.F.

2006.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ELABORACIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE  
RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL  
CONSORCIO MINERO BENITO JUÁREZ (PEÑA  
COLORADA) Y SU APROVECHAMIENTO EN LA  
REFORESTACIÓN DE TERREROS

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO  
DE MINAS Y METALURGISTA

PRESENTA:



URIEL GÓMEZ SANDOVAL  
Cta. 09850832-1

México DF. 2006

## **Pensamiento**

“El objeto de la educación es formar seres aptos para gobernarse a sí mismos, y no para ser gobernados por los demás”

Herbert Spencer

## **Agradecimientos.**

A mis padres Javier y Margarita, por su comprensión y fuerza.

A mis hermanos Javier y Karla, por su amistad.

A mi novia Citlali, por brindarme su apoyo, cariño y recordarme que si uno se propone lo que tiene en mente lo puede lograr.

A mis familiares y amigos por compartirme sus experiencias y por darme ánimos para alcanzar mis sueños.

A la Facultad de Ingeniería, UNAM, que me brindo la oportunidad del conocimiento y la enseñanza de razonar y pensar.

A mi asesor Ing. José E. Santos Jallath por el tiempo que me dedicó y el apoyo para poder desarrollar este tema.

A los ingenieros Miguel Ramos Molina y a Humberto Rodríguez Borjas, por darme la oportunidad de realizar este trabajo en el Consorcio Minero Benito Juárez Peña Colorada.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>I. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>4</b>
I.1 Ubicación de sus instalaciones	4
I.2 Proceso productivo	5
I.3 Características del entorno geológico y geográfico	6
I.4 Operación de la mina	7
<b>II. REFORESTACIÓN DE TERREROS</b>	<b>11</b>
II.1 Ubicación y control de terreros	11
II.2 Impactos ambientales provocados por los terreros	14
II.3 Programas de reforestación de terreros	15
II.4 Medidas de control y seguimiento en la reforestación	18
II.5 Medidas de protección en las áreas reforestadas	19
II.6 Estrategias para el control de terreros	19
II.7 Especies usadas en la reforestación	20
<b>III. CONCEPTOS BÁSICOS</b>	<b>24</b>
III.1 Características de un suelo	24
III.2 Composteo	25
III.3 Clasificación de los procesos de composteo	26
III.4 Descripción general del composteo aeróbico	27
III.5 Sistemas de composteo aeróbico	31
III.5.1. Pila estática	31
III.5.2. Reactor	33
III.5.3. Lombricomposta	34
III.5.4. Composteo en túneles o contenedores	35

<b>IV. TRABAJO EXPERIMENTAL</b>	<b>37</b>
IV.1 Metodología empleada	37
IV.2 Tipo de residuos disponibles	38
IV.3 Selección del método de composteo y del área de trabajo	40
IV.4 Criterios para el diseño de las pilas de composteo	41
IV.4.1. Tamaño de las pilas	41
IV.4.2. Tiempo de composteo	42
IV.4.3. Parámetros de control	42
IV.5 Diseño de las pruebas experimentales	47
IV.5.1. Residuos utilizados	47
IV.5.2. Precomposteo	47
IV.5.3. Formación de las pilas	48
IV.5.4. Control del proceso	53
IV.6 Calidad de la composta	57
<b>V. RESULTADOS</b>	<b>58</b>
V.1 Comportamiento de la temperatura	58
V.2 Parámetros físico y químicos	60
V.3 Aireación	63
<b>VI. APLICACIÓN DE LA COMPOSTA EN TERREROS</b>	<b>64</b>
VI.1 Beneficios de la composta en la formación de suelos	64
VI.2 Dosis y aplicación de la composta	65
VI.3 Costos	69
<b>VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>Diagrama de flujo del proceso en la mina y descripción del proceso de concentración del mineral.</b>	<b>76</b>
<b>Diagrama de flujo del proceso en la planta de paletizado y descripción del entorno geológico geográfico</b>	<b>81</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Vista Aérea de las instalaciones de la mina y el Poblado	4
Figura 2. Perspectiva fisiográfica del CMBJPC <sup>1</sup>	5
Figura 3. Extracción a cielo abierto	7
Figura 4. Plano de terreros del CMBJPC	9
Figura 5. Obras de extracción CMBJPC	10
Figura 6. Caminos de acceso a la mina	12
Figura 7. Terreros	14
Figura 8. Vegetación en terreros	15
Figura 9. Baccharis heterophylla	21
Figura 10. Baccharis selicifolia	21
Figura 11. Pluchea symphytifolia	22
Figura 12. Acacia Farnesiana	22
Figura 13. Pityrograma calomelanos	23
Figura 14. Terrero en etapa de reforestación.	23
Figura 15. Gráfica que muestra la relación temperatura y pH	30
Figura 16. Pila estática	32
Figura 17. Composteo en pilas, sistema mecanizado	33
Figura 18. Lombriz rubellus	35
Figura 19. Sistema de composteo en túneles	36
Figura 20. Pila estática	42
Figura 21. Relación (carbón/nitrógeno)	43
Figura 22. Tamaño de la partícula en la evolución de la temperatura	45
Figura 23. Formas de las pilas dependiendo del clima	49
Figura 24. Pila estática experimental	50
Figura 25. Pila estática para la prueba de la 2 <sup>a</sup> etapa	52
Figura 26. Tubos de aireación rasurados	52
Figura 27. Forma de tomar la temperatura a 1/3 de la altura de la pila	53
Figura 28. Control de aereación y riego por temperatura	55
Figura 29. Frecuencia de volteo	56
Figura 30. Terrero 1340 antes de ser reforestado	66
Figura 31. Terrero 1340 etapa de preparación del terrero para iniciar la reforestación.	66
Figura 32. Reforestación con parota, aplicando composta.	67
Figura 33. Reforestación con primavera, aplicando composta	67
Figura 34. Reforestación con pino, aplicando composta	68
Figura 35. Aplicación de composta en el estacionamiento de la mina	68
Figura 36. Parrilla y horno	79

---

<sup>1</sup>(CMBJPC) Consorcio Minero Benito Juárez Peña Colorada.

## **Índice de tablas**

Tabla 1. Especies a utilizar en la reforestación de terreros	20
Tabla 2. Parámetros y técnicas de análisis	38
Tabla 3. Relación carbón/nitrógeno de diferentes materiales	44
Tabla 4. Residuos utilizados en las etapas 1 y 2	47
Tabla 5. Dimensión de la pila etapa 1	48
Tabla 6. Conformación de las capas de 15-20 cm.	48
Tabla 7. Residuos empleados en la etapa 2	51
Tabla 8. Conformación de los residuos	51
Tabla 9. Calidad de composta	57
Tabla 10. Características de composta madura e inmadura	57
Tabla 11. Resultados fisicoquímicos del proceso de composteo	60
Tabla 12. Costos de composteo	69

## **Índice de Graficas**

Grafica 1. Comportamiento de temperatura etapa 1	58
Grafica 2. Comportamiento de temperatura etapa 2	59

## **Índice de Diagramas de Flujo**

Diagrama 1. Diagrama de Flujo del Proceso en la Mina	76
Diagrama 2. Diagrama de Flujo del proceso de la Planta de Paletizado	81

## Resumen

El propósito de este trabajo es presentar una alternativa de aprovechamiento de los residuos orgánicos y de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales domésticas generados en las instalaciones del Consorcio Minero Benito Juárez Peña Colorada, ubicado en el municipio de Minatitlán Colima, ya que debido a las características de estos residuos es posible reincorporarlos a los ciclos biogeoquímicos, por medio de una transformación simple, como lo es el proceso de composteo y aplicar la composta en la restauración de Terreros.

Para llevar acabo el propósito se inicio una investigación documental sobre las técnicas de composteo para escoger la óptima de acuerdo a los residuos y al lugar de la operación, se hizo un análisis de los residuos disponibles y de la cantidad, se realizaron la pruebas de composteo y se tomaron medidas cualitativas para verificar el proceso, se efectuaron pruebas físico-químicas para estudiar la factibilidad de la composta para su uso en la reforestación y por último se aplico la composta en una determinada zona en los terreros.

De acuerdo a la investigación documental, a los ensayos y a los resultados obtenidos, se observó que el composteo aeróbico es una buena alternativa para la solución a esta problemática. Con esta técnica se obtiene un producto que cumple con las características físicas y químicas de una composta, que puede ser utilizada como abono orgánico ayudando a mejorar la estructura y a la formación de suelo en los terreros.

## Introducción

El Consorcio Minero Benito Juárez Peña Colorada, S.A. de C.V. –CMBJPC- se fundó en 1967 con el fin de explotar un yacimiento de mineral de hierro. Dentro del proceso de operación se contempla la acumulación de material estéril en áreas conocidas como “TERREROS”, siendo esta actividad necesaria en el proceso de la etapa de extracción de mineral, ya que la remoción de este material es indispensable para exponer las reservas de mineral de hierro.

La formación de terreros son parte de la operación de la mina y no se puede evitar la disposición del material estéril en los alrededores, esto trae como consecuencia una alteración de las condiciones ambientales.

Para mitigar el efecto ocasionado es necesario reforestar los terreros para reincorporar los ciclos naturales, para ello es necesaria la creación sustrato sobre el material estéril, capaz de sustentar la reproducción de la flora y fauna y devolver una función ambiental similar a la que se tenía antes de iniciar las operaciones.

Como una opción para ayudar a dicha recuperación y a la formación de ese sustrato se propone utilizar los residuos orgánicos que se generan en las instalaciones de la empresa, mediante la aplicación del proceso de composteo, para ser reincorporados nuevamente a los ciclos biogeoquímicos, generando un producto orgánico estable, el cual puede ser manejado como un abono para mejorar la estructura y promover la formación de suelo en la reforestación de los terreros.

## **Objetivos**

De lo anterior el objetivo del presente trabajo es proponer un plan para utilizar los desechos orgánicos que se generan en la unidad minera para elaborar composta que posteriormente pueda ser utilizada en la reforestación de terreros.

Para cumplir con el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- Identificar los residuos que se generan en la empresa y que pueden ser utilizados para fabricar composta
- Seleccionar un método para la elaboración de composta y evaluar su conveniencia de acuerdo con las condiciones existentes en la empresa.
- Establecer los parámetros que controlen la generación de composta
- Realizar pruebas para evaluar la calidad de la composta.
- Aplicación de la composta en terreros y reforestación.
- Realizar pruebas con los lodos de la Planta de Tratamiento de las aguas negras.

El uso de desechos orgánicos para este fin representa un beneficio ambiental significativo para la empresa, por un lado se aprovechan los desechos para restituir sitios que se afectaron y esto de alguna forma reduce costos ya que la composta es un producto que actualmente se compra, por otro lado la composta puede ser una solución ambiental para el manejo de los lodos que se generaron en la planta de tratamiento de aguas residuales de El Poblado (colonia de trabajadores) para aprovecharlos.

## **Justificación**

En el CMBJPC, el proceso inicia con la exploración del mineral de hierro; una vez identificado se procede a realizar el descapote para llevar a cabo la extracción de mineral y pasar a la etapa de trituración y preconcentración magnética; sin embargo, en la etapa de descapote (remoción de material estéril) se inicia la formación de terreros, el cual da a lugar a un impacto al medio ambiente, ya que modifica el medio natural donde se deposita el material, altera el ecosistema, elimina la cobertura vegetal del sitio, se presenta el riesgo de aporte de los sedimentos al cauce de los arroyos, se presenta la dispersión de partículas por el viento y puede originarse inestabilidad física del material acumulado.

Es así que se plantea la elaboración de la composta a partir de los desechos orgánicos generados por la empresa para lograr obtener un abono que mejore la estructura y promover la formación de suelo en los terreros y así evitar los impactos negativos del sitio.

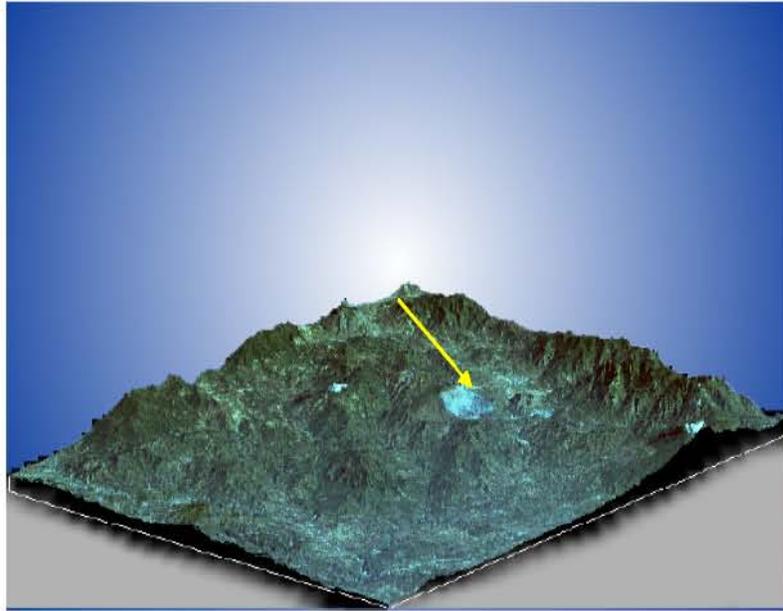
## I. ASPECTOS GENERALES

### I.1 Ubicación de sus instalaciones

El Consorcio Minero Benito Juárez (Peña Colorada), se localiza en el estado de Colima, México, en la porción sur oriental de la costa del Pacífico y explota un yacimiento de hierro que cuenta con el 30% de las reservas totales en el país. La empresa está constituida por dos unidades productivas; *la mina*, localizada en el municipio de Minatitlán, donde se lleva a cabo la explotación y la concentración del mineral de hierro, y *la planta de peletizado*, que se ubica en el municipio de Manzanillo y donde, a partir del concentrado de mineral, se producen **pellets** que constituyen el producto final y que son utilizados como materia prima para la fabricación del acero.



**Figura 1**  
**Vista Área de las instalaciones de la mina (II) y el Poblado (I).**  
**Fotografía área del CMBJPC**



*Figura 2 Perspectiva fisiográfica CMBJPC*

## **I.2 Proceso productivo <sup>1</sup>**

El proceso que se lleva a cabo en la mina consiste básicamente en la explotación del mineral de hierro mediante un método a cielo abierto. El mineral extraído se acarrea hasta la planta concentradora, donde se realiza un proceso de separación magnética para separar el mineral de hierro del material estéril. El producto final del proceso es una pulpa formada por el mineral de hierro concentrado y agua. Esta pulpa se envía por gravedad a través de una tubería, llamada ferroaducto, hasta la planta de peletizado.

En la planta de peletizado, a la pulpa que llega de la mina, se le remueve el agua y el mineral de hierro se aglomera formando los pellets (al cual se le da el nombre de pellet verde). Los pellets verdes pasan al horno de cocción donde se lleva a cabo un proceso de oxidación y endurecimiento. Finalmente, se hace una clasificación por tamaño y se separa el producto final, pellet con un tamaño entre 6 y 10 mm de diámetro. El producto final se almacena en los patios de la planta y se embarca a la Siderúrgica Lázaro Cárdenas en Michoacán.

---

<sup>1</sup> En el Anexo 1 se presenta una descripción detallada del proceso productivo del CMBJPC.

### **I.3 Características del entorno geológico y geográfico**

En la mina y zonas aledañas afloran rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas metamórficas son las más escasas y las más antiguas, y pertenecen al Jurásico.

Las rocas sedimentarias marinas, que corresponden al Cretácico, están ampliamente distribuidas en la zona y forman estructuras plegadas discontinuas, debido a las rupturas producidas en la corteza terrestre por la actividad volcánica y tectónica.

El CMBJPC de acuerdo con sus características hidrológicas forma parte de la región Costa de Jalisco, que se extiende a lo largo de la vertiente del Océano Pacífico con características hidrográficas y orográficas homogéneas. Los ríos son de trayectorias cortas debido a la cercanía de la región costera con las zonas montañosas. A esta región pertenece la cuenca del río Minatitlán-Marabasco-Cihuatlán; específicamente el río Minatitlán se encuentra a 2 650 m en línea recta del área donde se ubica la mina.

De acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO, las principales unidades de suelo que se presentan en el área de la mina y en sus alrededores son: litosol, regosol éutrico, regosol dístrico, cambisol dístrico, cambisol ferrálico y fluvisol.

La precipitación promedio anual es de 1 673.4 mm y la mayor cantidad de lluvias se presenta en verano, principalmente en los meses de junio a octubre, mientras que los meses con menor precipitación son febrero, marzo y abril. La temperatura media anual en Minatitlán es de 23.5 °C.

## I.4 Operación de la mina

El proceso que se realiza en la mina se divide en las siguientes etapas:

- ☑ Exploración
- ☑ Descapote
- ☑ Explotación y Extracción del mineral
- ☑ Trituración y preconcentración magnética
- ☑ Molienda y concentración magnética



**Figura 3**  
**Extracción a cielo abierto.**  
**INSTALACIONES DEL CMBJPC.**

## **Exploración**

La exploración es la actividad que realiza la empresa para el descubrimiento, estudio y caracterización del yacimiento mineral. Esta actividad se lleva a cabo de manera permanente pues de ella depende en gran medida, la preparación del yacimiento para su explotación.

En la exploración se realizan perforaciones con barrenación a diamante para obtener núcleos con la columna litológica del subsuelo. En esta columna se identifican diversas características geológicas de la roca y del mineral existente. También se obtienen muestras de mineral que se analizan en el laboratorio para determinar su contenido de hierro magnético.

Con base en los resultados del análisis y de la interpretación de los núcleos recuperados en la barrenación, se obtiene información sobre la ubicación y tamaño del yacimiento, tonelaje existente y composición del mineral.

Con esta información se hace la planeación para explotar el mineral. Se determina la cantidad de material estéril que se tiene que remover para exponer el mineral (relación de descapote), se estima el tiempo necesario para su extracción y se establece la infraestructura necesaria.

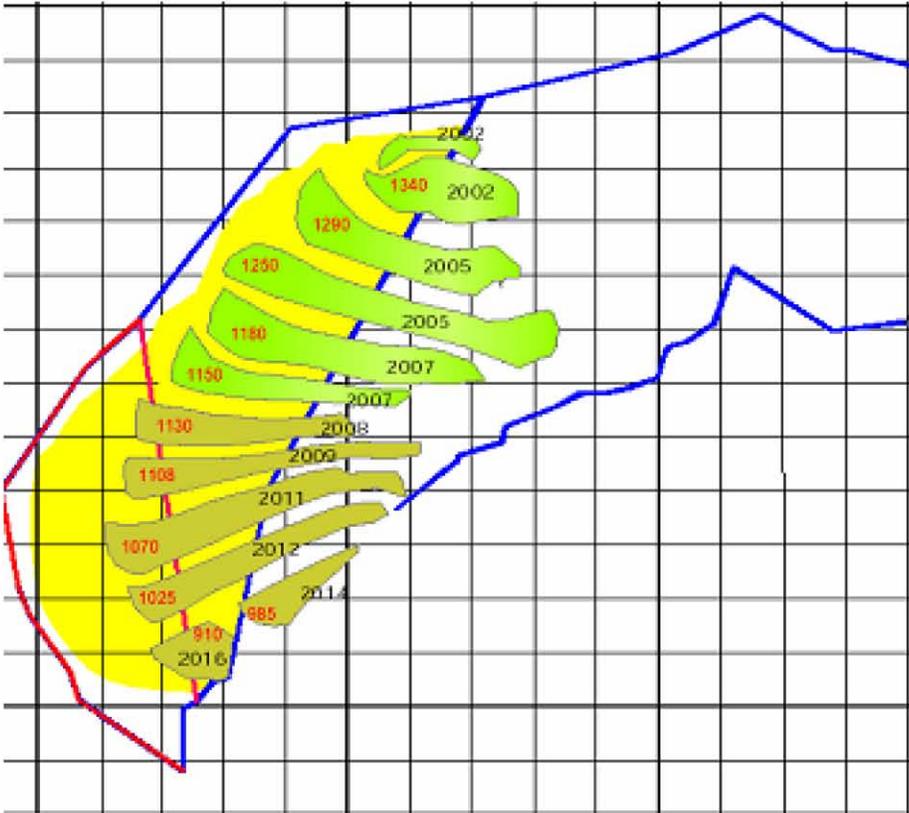
## **Descapote**

El descapote es la remoción del material estéril para exponer el mineral y que éste pueda ser extraído. Para remover el material estéril, se realizan barrenos con una perforadora rotaria; estos barrenos se cargan con explosivo, una mezcla de nitrato de amonio con diesel al 6 %, el cual se detona para fragmentar el material (voladura). Posteriormente el material fragmentado se transporta en camiones, con capacidad de 50, 120 y 170 ton, y se deposita en zonas cercanas al área de explotación, formando así los “*terrerros*”, los cuales se han formado en diferentes sitios según se han requerido por la ubicación.

## **Explotación y Extracción del mineral**

Una vez que queda expuesto el mineral para su extracción, nuevamente se realiza la barrenación procurando cerrar la plantilla de barrenos para obtener fragmentos con tamaño menor o igual a 70 cm. Los barrenos se cargan con explosivo y con una emulsión explosiva (gel) que sirve como iniciador; posteriormente se realiza la voladura.

El mineral fragmentado se carga en los camiones y se transporta al patio de almacenamiento de mineral; o bien, se envía directamente a la planta preconcentradora.



**Figura 4 Plano de terreros en el CMBJPC**



***Figura 5***  
***Obras de explotación y extracción del mineral.***  
***INSTALACIONES CMBJPC***

## **II. REFORESTACIÓN DE TERREROS**

### **II.1 UBICACIÓN Y CONTROL DE TERREROS**

La planeación del desarrollo y el crecimiento de los terreros es en forma sistemática, hasta alcanzar los límites finales de la mina o el agotamiento de las reservas de mineral de hierro, la planeación es importante debido a que permite visualizar los efectos en cuanto a extensión, aspectos legales y ambientales a atender, y la operación de la mina en general.

La ubicación y control adecuado de los terreros de una mina a cielo abierto, considera para su diseño los siguientes factores:

- I. Límites de mineralización.
- II. Distancias de acarreo.
- III. Construcción de caminos
- IV. Aspectos Legales
- V. Medio Ambiente.

A continuación se hace una breve explicación de estos factores:

#### **I. Límites de mineralización:**

La delimitación del cuerpo mineralizado es un factor muy delicado, al cual se debe poner atención especial, ya que depositar material estéril sobre zonas mineralizadas, implicaría estar sepultando más el mineral y en un momento dado se tendría que remover el material estéril antes depositado.

El diseño de los límites finales de la mina se basan en la información generada con la exploración con barrenación a diamante, a la fecha se tiene proyectada la localización y diseño completos de los terreros de material estéril fuera de esos límites, y se confirma mediante la exploración directa que no se cubrirán reservas principalmente para no tener que remover estéril.

#### **II. Distancias de acarreo**

Lo abrupto de la topografía es uno de los factores que se consideraron en el diseño de los terreros para el estéril dado que, dependiendo de la ubicación de estos, se desprende finalmente el diseño de los caminos de acarreo, distancias y el cálculo del equipo de transporte.

Las posibles zonas para depositar el material estéril podrían ser hacia cualquiera de los cuatro puntos cardinales de la mina.

Sin embargo se debe hacer un análisis de estas alternativas para definir el lugar idóneo, para tal caso la empresa analizó los cuatro puntos cardinales obteniendo como resultado lo siguiente:

Hacia el sur se tiene El Poblado de Peña Colorada habitado por 900 personas aproximadamente, así como el yacimiento de “La Chula”, que cuenta con reservas de mineral cubicadas y zonas aun sin explorar, y se afectaría infraestructura social, como carretera y subestación eléctrica.

Hacia el este se tiene la carretera que comunica a Minatitlán y poblados del mismo municipio con Manzanillo, así como el cauce del río Minatitlán, lugar que ha sido desarrollado como sitio turístico en la región.

Hacia el norte, se encuentra el poblado de La Astilla, comunidad con 120 habitantes aproximadamente, o bien hacia el noreste en el Arroyo de Las Pesadas, que muy probablemente arrastraría el material estéril hasta la carretera y al río Minatitlán.

Hacia el lado poniente no existe ninguna comunidad, ni infraestructura social que pudieran ser afectadas. Adicionalmente cabe hacer notar que los terrenos hacia esta zona de la mina no son utilizados para siembra, ni para producción de árboles maderables y la distancia de acarreo en promedio es de 1,600 metros en forma horizontal o a favor de la carga.

### **III. Construcción de caminos**

Los caminos de acarreo deben ser lo suficientemente amplios para la circulación fluida y segura de los camiones, así como contar con el espacio suficiente para obras de drenaje y bordos de protección para la seguridad requerida del personal y equipo en este tipo de operación. La siguiente figura muestra un ejemplo de los caminos trazados.



**Figura 6.**  
**Caminos de acceso en la mina**  
**INSTALACIONES CMBJPC**

#### **IV. Aspectos Legales**

Otro aspecto que se visualiza con el diseño total de los terreros, es la extensión del área a ocupar con la acumulación del material estéril y conocer bajo que términos legales se encuentra dicha extensión.

En el caso del CMBJPC la extensión que ocupa para los terreros, es propiedad del ejido de Ayotitlán del municipio de Cuautitlán de García Barragán, Jalisco, por lo que se realizó un convenio por la ocupación temporal de superficie ejidal, derivada de una concesión minera y que por necesidades de extracción de mineral de hierro necesita la superficie del ejido para ser utilizada como depósito de material rocoso estéril, originado por lo trabajos de explotación en los yacimientos mineros que genera la Empresa Peña Colorada.

#### **V. Medio Ambiente**

La conservación del medio natural constituye una política prioritaria para la empresa; ya que desde 1990 se han efectuado una serie de estudios tendientes a evaluar y conocer el grado de afectación al medio natural, como consecuencia de las operaciones productivas de Peña Colorada, de los cuales han derivado los programas de trabajo e inversiones encaminadas a mitigar estas afectaciones.

Por otra parte el convenio realizado da garantías a los ejidatarios y obliga a la Empresa a tomar las medidas necesarias y utilizar la técnica adecuada a fin de prevenir y preservar el medio ambiente y evitar la contaminación en las zonas donde se trabaje.

A este respecto la empresa cuenta con un programa ambiental que tiene 3 líneas principales de acción:

1. Adecuación del proceso.
2. Mejoras al medio ambiente
3. Educación ambiental.

En este contexto, el Plan de Minado representa un instrumento de planeación muy valioso ya que permite en el corto, mediano y largo plazo, establecer los programas de trabajo para atender los compromisos con el medio natural. De esta forma, la planeación del desarrollo y crecimiento de los terreros, hasta alcanzar los límites finales de la mina, es de vital importancia, debido a que permite visualizar los efectos en cuanto a la extensión de terrenos a ocupar, aspectos legales y a la operación de la mina.



**Figura 7**  
**Terrerros**  
**INSTALACIONES CMBJPC**

## **II.2 IMPACTOS AMBIENTALES PROVOCADOS POR LOS TERREROS**

Los principales impactos ambientales asociados al depósito de material estéril en los terrenos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- I. Modificación del medio natural.
- II. Alteración de ecosistemas.
- III. Recubrimiento de la capa vegetal del sitio.
- IV. Riesgo de aporte de sedimentos al cauce de los arroyos.
- V. Dispersión de partículas por el viento.
- VI. Inestabilidad física.

Estos impactos ambientales, han marcado la pauta en el establecimiento de estrategias para su prevención y mitigación, por lo cual la empresa ha contemplado las siguientes líneas de acción:

- A.- Construcción de cunetas en los caminos de la mina para canalizar el agua pluvial.
- B.- Construcción de bordos en Terreros.

C.- Regado de caminos con agua de proceso, para reducir el polvo durante el tránsito del equipo pesado.

D.- Construcción de bordos para retener sedimentos en los cauces de los principales arroyos.

E.- Reforestación e inducción de vegetación pionera en terreros inactivos.



**Figura 8**  
**Vegetación en terreros.**  
**INSTALACIONES CMBJPC)**

### **II.3 PROGRAMAS DE REFORESTACIÓN DE TERREROS**

El material estéril depositado en los terreros se caracteriza por su baja fertilidad en el sustrato, ya que está conformado principalmente por rocas; sin embargo, es necesario rehabilitar estos sitios facilitando la reforestación mediante un proceso continuo que permita el establecimiento de aquellas especies vegetales resistentes a las condiciones prevalecientes en los terreros, así mismo la rehabilitación ambiental del sitio favorece el hábitat para la fauna silvestre.

Por lo que el enfoque de una reforestación es buscar en la medida de lo posible restablecer los procesos físicos, químicos y biológicos, así como la integración de los organismos, buscando el establecimiento de poblaciones sanas con capacidad para auto regenerarse.

El programa general de recuperación de terreros con que cuenta la empresa se contempla de la siguiente manera:

**Etapa 1: Evaluar prácticas aplicables de restauración.**

**Etapa 2: Implementar prácticas para la restauración y evaluación ambiental.**

Con la **etapa 1** se busca evaluar alternativas potenciales de restauración para su validación antes de que termine la vida útil de la mina de tal manera que se pueda tener un paquete técnico ya validado para su implementación.

En la **etapa 2**, incluir los trabajos operativos para la restauración del sitio, de acuerdo a la experiencia que se tiene actualmente, derivadas de los resultados de la implementación de dichas prácticas.

**Etapa 1 Evaluación de prácticas de restauración.**

**1. Caracterización de áreas anexas.**

Para ello se realiza una caracterización de las áreas anexas de manera que sirvan como referencia para comparar el área que estará sujeta a reforestación y con ello establecer los parámetros para el proceso de restauración.

**2. Análisis de Experiencias Regionales**

Se realiza una revisión de trabajos locales o en otras entidades de restauración de áreas afectadas, por proyectos similares, que permita una selección preliminar de especies potenciales y técnicas apropiadas para la reforestación; por el momento se consideran las especies que predominan en la región.

**3. Prácticas para acelerar el proceso de restauración**

La evaluación se centra en buscar alternativas para establecer de manera eficiente la vegetación ya que muchos de los procesos ambientales se encuentran asociados a la cobertura del suelo: erosión, escurrimiento, productividad del suelo, hábitat de la fauna, etc.

**4. Prácticas de evaluación**

- **Especies**

En general cuando se utilizan sistemas de regeneración artificial, como son las plantaciones, el riesgo más serio es el uso de especies nuevas, debido a que deben adaptarse a la localidad y a las características particulares del área de trabajo, no sólo en programas de rehabilitación, sino en plantaciones forestales en general.

Dentro de una lista de especies potenciales por su rusticidad se evaluaron al menos 15 para su uso en la reforestación como una medida para acelerar la restauración del sitio.

- **Fertilización de sustrato**

Cuando se tiene un suelo con severas limitaciones de productividad, la fertilización puede conducir a una disminución del "estres" por nutrimentos, pero se deben considerar las interacciones con el ambiente y la planta, por ejemplo, mayor susceptibilidad a plagas, aumento de tensión hídrica por saturación de sales, etc.

Otra forma de promover la fertilidad es la aplicación de composta la cual proporciona los elementos esenciales para mejorar las condiciones del sustrato.

- **Manejo de planta**

Un factor importante, para tener un porcentaje de sobrevivencia adecuado, es el producir plantas de calidad aceptable, más aún cuando estas van a ser establecidas en condiciones marginales.

La tensión hídrica en sitios degradados y climas con baja precipitación, para citar un ejemplo, es una limitante para el establecimiento de ciertas especies; por ello se deben dar prácticas adecuadas para condicionar la planta fisiológicamente (Ej. someter "castigos" de agua) o evasión en los momentos críticos (Ej. poda del área foliar, riego de apoyo). En estos casos es más importante la calidad y tamaño de la raíz que el tamaño de la parte aérea y se recomienda utilizar planta con una relación tallo / raíz menor a uno.

## **Etapas 2: Implementar las prácticas para la restauración ambiental y evaluación periódica**

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la etapa anterior, se contemplan las siguientes actividades:

- Mejorar la productividad forestal en las partes de menor pendiente y de control de erosión en donde la pendiente sea mayor al 30 %
- Buscar fuentes alternas de suelo y materia orgánica –Ej. composta, lombricomposta, material vegetal de desmonte, etc.
- Cuando sea posible se realiza el recontorno<sup>2</sup> de las pendientes para que sea menor al ángulo de reposo.
- Establecer áreas de sedimentación para control de erosión.
- Aflojar el terreno
- Utilizar materiales de textura más fina cuando existe disponibilidad como residuos de otras zonas o fuentes.

---

<sup>2</sup> Recontorno: tratar de minimizar el ángulo de reposo de los taludes

- Utilizar suelo superior y, cuando su disponibilidad sea limitada, definir prioridades para su uso en la zona.
- Dispersar material leñoso de diámetros pequeños para protección contra la erosión, pero sin que inhiba el crecimiento de la vegetación.
- Establecer leguminosas y pastos contra la erosión.
- Dar énfasis en el uso de especies resistentes a tensión hídrica, por las condiciones del clima local que tiene ocho meses de estación seca.

## II.4 MEDIDAS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO EN LA REFORESTACIÓN

Una vez que se han realizado y aplicado las etapas anteriores, el seguimiento se enfoca a la medición de elementos estructurales de la vegetación por su mayor facilidad para medirlos y por su relación con los procesos ecológicos más importantes del sistema.

El monitoreo es esencial para evaluar la eficiencia de la reforestación y el cumplimiento de las metas y objetivos establecidos en el programa, y sirve de mecanismo de validación de las prácticas de manejo realizadas, la periodicidad con la que se lleva a cabo el control es conforme a lo siguiente:

- Cada cinco años para características ambientales que requieren períodos largos de tiempo. (Productividad del sitio, características del suelo, aumento de biomasa, biodiversidad, estructura, etc.)
- Anual para características de las poblaciones de las especies (% mortalidad, crecimiento, sanidad, etc.)
- Trimestral para las actividades dentro del programa operativo (producción de planta, selección de especies, prácticas agronómicas)

Los criterios de evaluación que se consideran indicadores esenciales son los siguientes:

- *Crecimiento*
- *Sanidad*
- *Mortalidad*
- *Estabilidad de Poblaciones (regeneración)*
- *Productividad del sitio (Profundidad de suelo, nutrimentos, etc.)*
- *Erodabilidad del sitio*
- *Estructura*
- *Diversidad*
- *Composición de especies*
- *Dominancia*
- *Densidad*
- *Estatus de las especies (amenazadas, endémicas, etc.)*
- *Uso de recursos naturales escasos (Ej. suelo de otras áreas productivas, etc.)*

## **II.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN EN LAS ÁREAS REFORESTADAS**

Una vez realizada la reforestación se contemplan medidas de prevención y control de las áreas, tales medidas son:

### **Prevención y control de plagas y enfermedades.**

En el área no se han detectado problemas críticos de incidencia de plagas y enfermedades. Sin embargo, están presentes poblaciones de organismos que potencialmente pueden convertirse en plagas. Las medidas que se toman para verificar dichas plagas es la inspección de las especies revisando su estado y su desarrollo.

### **Prevención y control de ganado.**

Para evitar que el ganado maltrate y se alimente con las especies utilizadas en la reforestación, la empresa decidió cercar las zonas, para así evitar la presencia de cualquier animal.

## **II.6 ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE TERREROS**

Las estrategias que se han implementado para tener un mayor control en los terreros son:

- Construcción de canales de conducción de agua pluvial.
- La conformación del terrero se ira dando con un peralte hacia el talud, de tal forma que el agua pluvial escurra hacia el canal de conducción y no hacia la cresta del terreno, con lo cual se evitarán las infiltraciones del agua sobre la meseta, obteniendo mayor estabilidad del terrero. Esta agua se procurará canalizar a una área alejada del terrero para evitar erosionar el talud del mismo.
- Durante la acumulación del material estéril en el terrero, las rocas al rodar por el talud se separan de manera natural, por lo que las rocas mas grandes van quedando al pie del talud, las cuales actúan como una barrera de retención para impedir los escurrimientos de finos en forma de lodo.

## II.7 ESPECIES USADAS EN LA REFORESTACIÓN

Los criterios que se aplican para iniciar la reforestación de los terreros son los siguientes:

- Reforestar los taludes y los cortes, tan pronto como sea posible, ya que su retraso causa que las partículas finas del suelo formen una costra sobre el talud, lo cual hace más difícil su revegetación.
- Utilizar pastos y leguminosas para el control de la erosión superficial, así como para mejorar la calidad visual y la productividad del suelo.
- Utilizar como ayuda **composta** e hidrogel en la revegetación.

De las especies recomendables de manera preliminar para la reforestación de taludes y mesetas se encuentran las mencionadas en el cuadro siguiente:

**Tabla 1**  
**Especies a utilizar en la reforestación de terreros**  
**CMBJPC**

Especie	Nombre vulgar	Forma vital	Tipo de área	
			Talud	Meseta
Baccharis salicifolia (Ruiz y Pav.) Pers.		Arbusto		X
Baccharis heterophylla H.B.K.		Arbusto-árbol		X
Buddleia sessilifolia H.B.K.		Arbusto	X	X
Pluchea symphytifolia (Mill.) Gillis		Arbusto	X	X
Eupatorium odoratum L.		Hierba		X
Acacia farnesiana (L.) Willd.	“Huizache”	Arbusto-árbol		X
Bocconia arborea S. Watson	Llora sangre	Arbusto-árbol		X
Wigandia urens (Ruiz & Pav.) H.B.K		Arbusto	X	X
Ricinos comunnis L.		Arbusto	X	
Rhynchelytrum repens (Willd.) C.E. Hubb.		Hierba	X	
Pityrograma calomelanos (L.) Link.		Hierba	X	

**Figura 9. *Baccharis heterophylla* H.B.K.** Es una especie arbustiva, que produce gran cantidad de semillas las cuales son dispersadas por el viento. Su propagación por achenios debe ser fácil. Un mecanismo que ayudaría a reducir costos es juntar las semillas y durante la temporada de lluvias dispersarlas en áreas abiertas.



**Figura 10. *Baccharis salicifolia*.** Presenta un comportamiento similar a *B. heterophylla*. Lo recomendado para *B. heterophylla*, aplica bien para *B. salicifolia*.



**Figura 11. *Pluchea symphytifolia*.** Arbusto pionero. Produce gran cantidad de semillas y prospera en condiciones de suelo muy pobre. Posiblemente fácil de propagar por semilla, ideal para taludes.



**Figura 12 *Acacia farnesiana*.** Árbol o arbusto que tiene la propiedad de colonizar suelos pobres y planos. Su propagación es fácil, a través de un proceso de escarificado de las semillas. En el campo son dispersados por ganado bovino.



**Figura 13. *Pityrograma calomelanos* (L.) Link.** Helecho que se establece con facilidad en suelos planos. Su propagación por fragmentación del rizoma podría ser fácil. Otra forma es juntar las esporas y colocarlas en el espacio deseado en el campo y que solas pudieran germinar.



La mayoría de estas especies pioneras, son las primeras que se establecen en las áreas que se abandonan después de haber sido explotadas. Aunque muchas de estas son especies anuales, se recomienda la reforestación de las áreas con especies perennes. La mayoría de ellas se comportan como estrategas, produciendo gran cantidad de semillas. La propagación de la mayoría de estas especies es fácil, lo más costoso es llevarlas y establecerlas en las áreas de reforestación.



**Figura 14**  
**Terrero en etapa de reforestación.**  
**INSTALACIONES CMBJPC**

### III. CONCEPTOS BÁSICOS

#### III.1 Características de un suelo

A veces se nos ocurre pensar que la calidad del suelo no es relevante para el desarrollo de las plantas, pues miles de ellas nacen en ocasiones en condiciones no propicias; pero en realidad sólo una pequeña proporción de las semillas así producidas logran llegar a la etapa adulta, ya que la mayoría caen en zonas y lugares que no reúnen las condiciones mínimas para su germinación y desarrollo, y en ello, el suelo juega un papel significativo.

Pero ¿qué es exactamente “el suelo”? Frecuentemente los términos “suelo” y “tierra” son utilizados como sinónimos, pero la tierra es sólo uno de los componentes del suelo natural, a continuación se mencionan dos definiciones:

- **Suelo se puede definir como un agregado natural de granos minerales que pueden separarse por medios mecánicos suaves (Tamizado, dilución en agua) pero de tal naturaleza y dinámica que puede adquirir o modificar sus características físicas, químicas y biológicas, dependiendo del agente externo que actué sobre él (Juárez Badillo, Mecánica de Suelos).**
- **El suelo se puede definir como una sucesión de capas de diferente naturaleza que resultan aptas para sostener la vida de las plantas. (Jardinería Mexicana, Guías prácticas).**

Para el crecimiento de las plantas el suelo debe poseer tres tipos de componentes fundamentales:

- **Componentes inorgánicos.** Son el resultado de la lenta desintegración de las rocas y de la acumulación de sedimentos minerales. Constituyen cerca del 40% del total del suelo.
- **Componentes orgánicos.** Son todos aquellos restos descompuestos, o en proceso de descomposición, de seres vivos, como raíces, hojas y otros desechos orgánicos. Estos componentes son indispensables, pues hacen que la tierra sea fácilmente desmenuzable, aumenta su capacidad de retener agua, facilitan el cultivo y aportan una gran cantidad de nutrientes a las plantas.
- **Componentes vivos.** Son todos aquellos organismos que viven en el suelo y que dependen de él. Realizan la importantísima labor de reciclar los materiales de desecho; además, aflojan la tierra y aerean con sus túneles; sin embargo algunos pueden convertirse en plagas. Un suelo sano debe contener bacterias, hongos, protozoarios, gusanos (especialmente las benéficas lombrices), insectos, arácnidos, etcétera. (Jardinería Mexicana, Guías Prácticas).

Otro término utilizado como sinónimo es el **humus** que no es otra cosa que el componente orgánico del suelo, combinado con los microorganismos que allí residen. Es una sustancia que sirve de soporte a una multitud de microorganismos, que hacen de la tierra un medio vivo. Estos microorganismos que viven dependiendo del humus y que contribuyen a su transformación, son más numerosos y activos conforme mayor cantidad de humus exista. El humus es verdaderamente el fundamento de la actividad microbiana de la tierra y esta actividad proporciona a las plantas los elementos nutritivos necesarios.

La formación o el mejoramiento de un suelo se puede promover si se incorporan materiales enriquecidos con constituyentes orgánicos (como nutrimentos o materia orgánica), con constituyentes inorgánicos (como son los minerales), e incluso con microorganismos, por ejemplo provenientes de la descomposición de la materia orgánica. **Bajo esta idea, una forma de contribuir a la formación y mejoramiento de la calidad de un suelo, es mediante el uso del producto de la descomposición aeróbica de desechos orgánicos el cual contiene diversos elementos de los mencionados anteriormente; este producto se denomina composta.**

### III.2 Composteo

El composteo es una forma de manejo de desechos sólidos orgánicos, en donde los componentes orgánicos de estos productos se biodegradan de una manera controlada, hasta convertirlos en un material húmico estable, el cual puede ser manejado como abono orgánico sin perjuicio para el ambiente, a este producto se le llama composta.

Dicha biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los desechos orgánicos en descomposición. El resultado final de esta actividad es la transformación de los componentes orgánicos originales en otras formas químicas que se incorporan a los ciclos biogeoquímicos naturales.

Es así que el proceso de composteo es una versión acelerada y controlada de la fermentación; es un proceso biótico, es decir llevado a cabo por seres vivos.

Durante la fermentación hay un consumo de materia orgánica, desprendiéndose dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y calor, por lo que la temperatura de la masa se eleva. Paralelamente los microorganismos sintetizan productos orgánicos más complejos, produciéndose al final materiales húmicos.

Lo importante en el proceso es poder conducir la biodegradación por rutas metabólicas, que permitan la obtención de un producto final lo mas adecuado posible para su uso como abono orgánico en el menor tiempo posible.

### III.3 Clasificación de los procesos de composteo

Los microorganismos para crecer y desarrollar sus actividades metabólicas, deben disponer de un ambiente propicio, dichas actividades pueden llevarse a cabo en presencia o en ausencia de oxígeno.

Cuando se llevan a cabo en presencia de oxígeno, se llama proceso aeróbico; los microorganismos obtienen energía por la vía de la **respiración aeróbica**, tanto a partir de compuestos orgánicos como de compuestos inorgánicos.

Gran parte del carbono de los compuestos orgánicos, por lo general es oxidado completamente a  $\text{CO}_2$ ; otra fracción de este elemento es asimilado en la síntesis de los materiales celulares. Por mencionar alguna de las bacterias que realizan la oxidación, tenemos las bacterias de ácido acético (*Acetobacter*) que oxidan substratos como el etanol, alcoholes primarios, secundarios y carbohidratos. Entre los compuestos inorgánicos que pueden ser oxidados por las bacterias están:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , etc.

En ausencia de oxígeno, muchas bacterias son capaces de realizar el metabolismo respiratorio, que es denominado **respiración anaeróbica**. Los oxidantes en lugar de oxígeno son nitrato, sulfato o carbonato, estos procesos se llaman anaeróbicos.

La oxidación anaeróbica del nitrato a nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ), es el proceso conocido como desnitrificación. Entre los microorganismos que intervienen en este proceso se destacan las especies de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*. En presencia de oxígeno aunque el nitrato esté presente en cantidades importantes no se da el proceso de desnitrificación ya que está es una ruta alternativa.

La utilización del sulfato como agente oxidante, es propia de un pequeño grupo de microorganismos (e.g. *Desulfovibrio* y algunos *Clostridium*). A diferencia de la desnitrificación, la reducción de sulfatos no es una ruta alternativa y se da en condiciones anaerobias. Las bacterias productoras de metano utilizan el carbonato como agente oxidante. Son estrictamente anaerobias y además del carbonato para la producción de metano, pueden utilizar compuestos orgánicos como el ácido acético.

El metabolismo que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno lleva consigo en los procesos de composteo la pérdida de importantes cantidades de nutrientes de interés para los productores primarios (autótrofos). Por lo que es necesario controlar o evitar este tipo de metabolismos.

Es así que los procesos que se pueden llevar a cabo en el composteo son:

- El proceso aeróbico, que para su ejecución requiere de la presencia de oxígeno.
- El proceso anaeróbico, implica prácticamente la ausencia de oxígeno.

### III.4 Descripción general del composteo aeróbico

Se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aeróbicos y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40°C) y etapas termogénicas (40 a 75 °C), y con la participación de microorganismos mesofílicos y termofílicos respectivamente.

Las elevadas temperaturas alcanzadas, son consecuencia de la relación superficie / volumen de los residuos a compostear y de las actividades metabólicas de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso.

Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de microorganismos que difieren en sus características nutricionales (quimio-heterótrofos y quimio-autótrofos), entre los que se establecen efectos sintróficos y nutrición cruzada.

Durante el proceso de composteo se pueden distinguir dos regiones o zonas:

- La zona central o núcleo, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes (son los residuos que se encuentran en el interior de un conjunto de desechos)
- La corteza o zona cortical que es la zona que rodea el núcleo y cuyo espesor dependerá de la composición y textura de los materiales utilizados.

El núcleo actúa como zona inductora sobre la corteza. No obstante, todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza.

Para efectos prácticos y utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo, podemos diferenciar las siguientes etapas en el proceso aeróbico de composteo:

- **Etapas inicial o latencia.**

Esta etapa comienza a partir del incremento de la temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial, esta etapa, es notoria cuando el material ingresa fresco al composteo, si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida.

La duración es muy variable, dependiendo de numerosos factores tales como el balance C/N, el pH, la concentración parcial de oxígeno y la carga de biomasa microbiana que contiene el material.

➤ **Etapa mesotérmica-A.**

En esta etapa, se destaca la participación de microorganismos aerobios y anaerobios así como hongos (microflora mesófila) en conjunto con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica).

Mientras se mantienen las condiciones aeróbicas actúan Euactinomicetos (aeróbios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos.

Se dan también procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de Azufre, Fósforo, etc.

La etapa mesotérmica es particularmente sensible al binomio óptimo humedad - aereación.

La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura (10-40°C).

La falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor y favorece el desarrollo de los microorganismos termófilos que se encuentran en estado latente en los residuos.

La duración de esta etapa, es variable, depende también de los factores antes descritos en la etapa inicial.

➤ **Etapa termogénica (40-75°C):**

La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables.

Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua en la unidad donde se realiza el composteo. El CO<sub>2</sub> se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos.

La corteza, y más cuando se utilizan materiales ricos en proteínas, es una zona donde se produce la puesta de insectos. La concentración de CO<sub>2</sub> alcanzada resulta letal para las larvas.

Conforme el ambiente se hace totalmente anaeróbico, los grupos termófilos que intervienen, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes.

➤ **Etapa mesotérmica:**

Con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura.

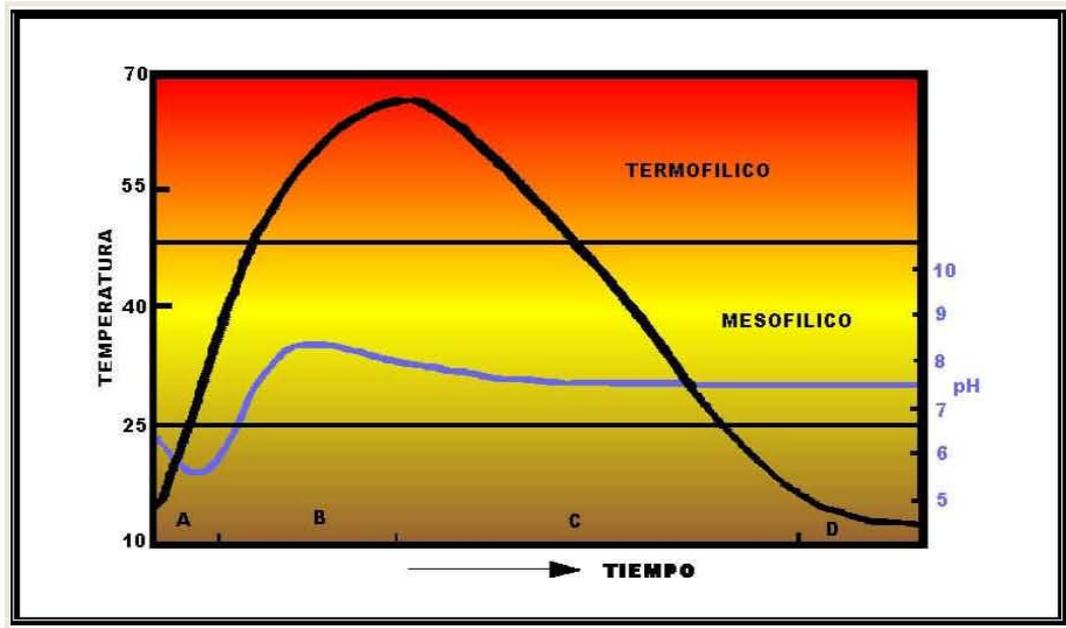
La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por concluido el proceso de composteo.

Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y la lignina.

Esta etapa se le conoce generalmente como etapa de maduración y de igual forma su duración depende de los factores antes mencionados.

Desde el punto de vista microbiológico la finalización del proceso de composteo se da a partir de la ausencia de actividad metabólica. Las poblaciones microbianas se presentan en fase de muerte por agotamiento de nutrientes. La biomasa puede permanecer constante por un cierto periodo aun cuando la gran mayoría de la población esté muerta.

Para que se cumplan las etapas en su totalidad, los residuos a compostear deben formar parte de la zona central y cortical durante el proceso, por lo que es necesario remover los residuos que se estén composteando, de tal forma que las etapas puedan presentarse e incluso por más de una vez. La siguiente figura muestra estas etapas:



**Figura 15**  
**Gráfica que muestra la relación temperatura y ph con respecto al tiempo.**  
**Centro de composteo UNAM**

En el cuadro anterior se representa la relación entre temperatura y pH con respecto al tiempo de composteo y las letras A, B, C, y D indican fases de actividad microbiana:

<b>A</b>	<i>Fase mesofílica.</i>
<b>B</b>	<i>Fase termofílica.</i>
<b>C</b>	<i>Fase de enfriamiento.</i>
<b>D</b>	<i>Fase de maduración.</i>

### **III.5 Sistemas de composteo aeróbico**

Existen varios sistemas de composteo, no obstante, el objetivo de todos es transformar los residuos en Composta, conseguir las condiciones letales para organismos patógenos, parásitos y elementos germinativos (semillas y esporas). A continuación se describirán algunos sistemas más utilizados de composteo aeróbico.

#### **III.5.1 Pila estática**

El composteo en pilas es el sistema más antiguo y más sencillo. La operación de este sistema es muy fácil, después de haber separado todos los materiales no biodegradables de los residuos biodegradables, el material se coloca en pilas cuyas secciones pueden ser triangulares o circulares.

La altura de las pilas es muy importante debido a que pueden presentarse condiciones anaeróbicas. Es así que cuando se utilice equipo manual para ejecutar la construcción, la altura máxima deberá situarse entre 1.50-1.80 m, mientras que el ancho (o diámetro) no deberá superar los 2.50m. En el caso de pilas con sección rectangular, como regla general puede considerarse 2 veces el ancho a lo alto y el largo es indeterminado, el mismo será función de la cantidad de material a compostear y del área donde se efectuará la operación. La figura 16 muestra el sistema de pila estática.

Para asegurar la proliferación de los microorganismos que realizan el proceso de composteo, se recomienda un “masa crítica” mínima de 50 – 100 Kg de residuos biodegradables. Con esa masa, ya se puede prender y mantener durante un tiempo suficiente la reacción exotérmica del proceso aeróbico que asegura las temperaturas necesarias para la biodegradación del material.

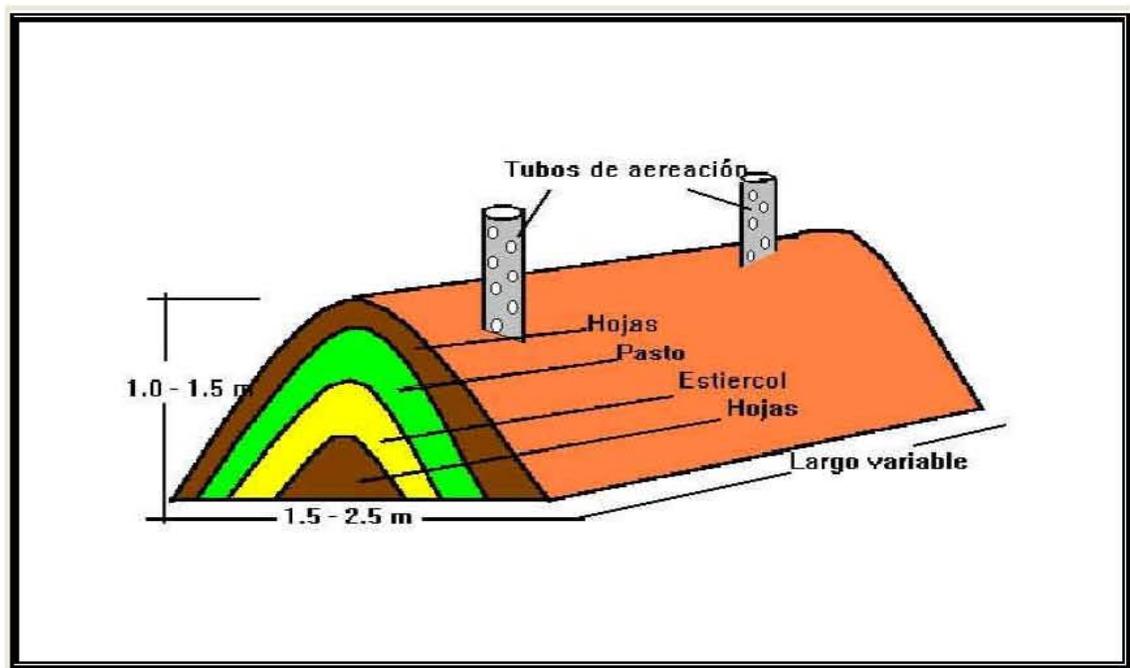
Se recomienda una vez por semana mezclar las pilas para aerear y homogeneizar el material. Otra forma de controlar las condiciones aeróbicas es mediante respiradores que se colocan en las pilas, los cuales permiten la entrada de oxígeno. Bajo condiciones anaeróbicas, proliferan los malos olores y hay una alta producción de gas metano.

Como el volumen del material disminuye por el progreso de la biodegradación, se pueden combinar dos pilas para hacer una sola, con la finalidad de economizar el espacio. Si se combinan pilas, es importante que tengan aproximadamente la misma edad, para no mezclar composta madura con composta tierna.

Una variante del composteo en pilas es el que se lleva a cabo en forma mecanizada, el cual presenta las mismas características que el composteo manual pero con las siguientes variantes:

- Los desechos biodegradables se pueden colocar en pilas más altas (hasta 1.50-2.50-m)
- Se utilizan cargadores para la mezcla / revoltura.
- Con pilas más altas y más concentradas, se necesita menos espacio de trabajo.
- Con la aereación y el riego automático, el tiempo necesario para el composteo se reduce.

La siguiente figura muestra un ejemplo de una pila estática:



**Figura 16**  
**Pila estática**  
**Centro de composteo UNAM**



**Figura 17**  
**Composteo en pilas, mecanizado.**  
**Centro de composteo GDF**

### **III.5.2 Reactor**

En este sistema el proceso se lleva a cabo en condiciones total o parcialmente cerradas, y las condiciones ambientales pueden ser controladas. Las fuentes de aire utilizadas son: compresores de desplazamiento centrífugo o positivo; ventiladores de flujo axial y compresores de baja presión.

Las ventajas de los reactores son:

- Poco requerimiento de área.
- Mayor control del proceso, porque no hay influencia de cambios meteorológicos.
- Control de los gases.

La desventaja principal reside en los altos costos de inversión inicial y mantenimiento.

### III.5.3 Lombricomposta (Lombricultura)

Otro tipo de proceso es la lombricomposta, en este método las lombrices ayudan al proceso de composteo.

Las lombrices transforman los minerales no asimilables presentes en los desechos biodegradables, en nitratos y fosfatos directamente asimilables para las plantas.

El producto de la lombricultura son las heces fecales de las lombrices (lombricomposta) que es humus extremadamente fino, sin elementos tóxicos, inodoro y con características de fertilizante excelente.

Las lombrices son animales invertebrados del tipo anélidos, o sea, gusanos segmentados. Son hemafroditas y depositan sus huevos protegidos en una cápsula llamada cocón. Hasta la actualidad se conocen entre 6 y 7 mil especies diferentes de lombrices, siendo la más conocida la Lombriz Terrestre (lombriz de tierra); está vive exclusivamente en la tierra y se alimenta de la materia orgánica descompuesta presente en los suelos. Pero también se conocen las siguientes lombrices que pueden ser usadas para el proceso:

- Lombrices rubellus
- Eisenia Foetida (Lombriz roja californiana)
- Eisenia Andrei

Entre estos tipos de lombrices, la lombriz roja californiana es la más común en América Latina. La lombricultura con Eisenia Foetida se realiza a gran escala en Cuba, Argentina, Chile, Perú y en el Sur del Ecuador.

La producción de lombricomposta está directamente ligada a la cantidad de lombrices operando y al cuidado que se les dé, por lo que es recomendable tenerlas a una temperatura entre 20°-25°C para asegurar una mayor eficiencia del sistema. Se recomienda un ambiente oscuro y húmedo pero no demasiado, para evitar que se ahoguen, el pH óptimo esta entre 6-7, no se recomienda colocarlas durante la fase de pre-fermentación y asegurar que no ocurran condiciones anaeróbicas.

Hay diferentes modelos comunes para construir una planta de lombricultura. El principio de construcción no es diferente a las demás clases, el primero es el composteo en pilas, en esta aplicación, las lombrices se añaden simplemente a la superficie de la pila, de donde migran al interior del cuerpo de los desechos.

Otra posibilidad es el composteo en cajones, que se pueden construir de ladrillos, madera, cemento o de otro material conveniente y económico. Los cajones no deben tener una profundidad mayor a 50 cm, para evitar que ocurran condiciones anaeróbicas. De la misma manera, deben tener un ancho no mayor a 1 m para facilitar el trabajo, el mantenimiento y la operación.

El largo de los cajones puede ser variable. Se recomienda construirlos considerando la producción de residuos.



**Figura 18**  
***Lumbricus rubellus***  
**Centro de composteo GDF**

#### **III.5.4 Composteo en túneles o contenedores**

Para este sistema, se cargan los desechos en contenedores de un volumen de 20-70 m<sup>3</sup>. Los contenedores son unidades móviles que se pueden levantar y mover con ayuda de grúas. Tienen equipo para medir las condiciones atmosféricas dentro del contenedor, con el fin de obtener aireación, humedecimiento y algunos equipos cuentan con maquinaria de mezcla / revoltura. Con este ajuste, se acelera el proceso pre-fermentación y de fermentación intensiva.

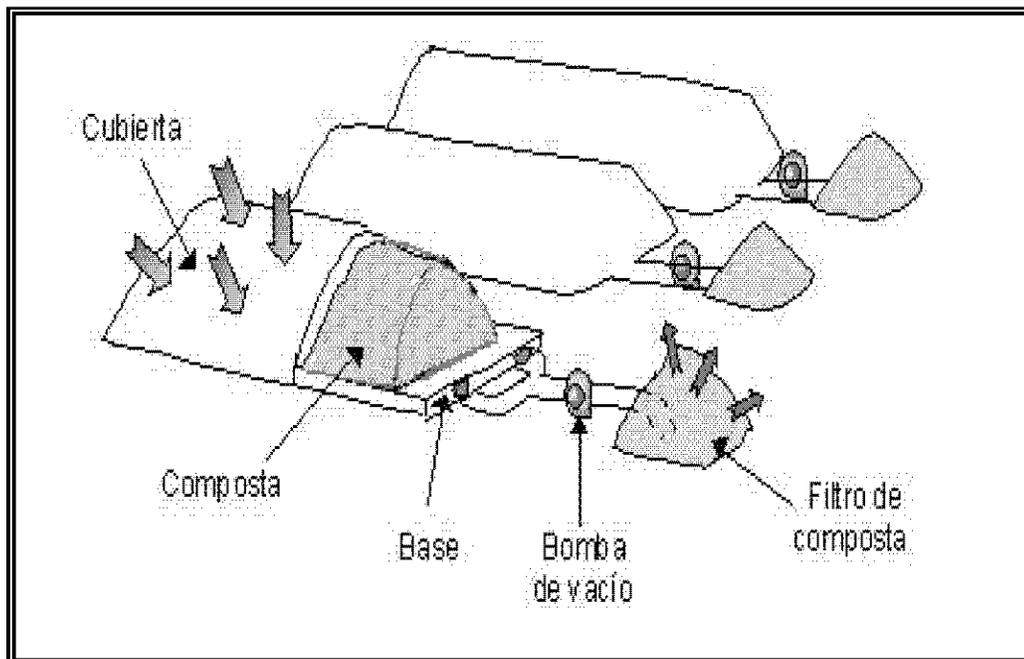
Los desechos se quedan en el contenedor de 1 a 2 semanas. Después, la composta tierna se deposita para formar una pila.

El composteo en contenedores es flexible (Figura 19), ya que se pueden operar varios contenedores independientes, es posible realizar composteo de diferentes materiales en diferentes contenedores y arreglar los parámetros (aire, agua) según las necesidades específicas; las emisiones se pueden controlar muy bien.

Por otro lado, el sistema tiene algunas desventajas. Por ejemplo, el costo de inversión para los contenedores es muy alto. Además, los contenedores son sistemas susceptibles a daños mecánicos. Son aptos para compostear basura biodegradable con procedencia de la clasificación domiciliaria, desechos de parques y jardines, desechos mezclados con estiércoles, etc. Pero no se pueden utilizar para el composteo de basura doméstica no clasificada, el contenido de materiales foráneos causaría muy probablemente daños al equipo.

El composteo en contenedores es un sistema apto para municipios de tamaño medio, que tienen recursos para la inversión, la capacidad técnica para operar a los contenedores y que ya tengan establecido un sistema de clasificación domiciliaria.

Los túneles de composteo son un sistema muy parecido a los contenedores. Es la variante apropiada para grandes municipios. Son contenedores más largos, mejor equipados y no móviles. Ya que los túneles tienen generalmente equipo automático de mezcla / revoltura, que al mismo tiempo compensa la pérdida de volumen durante la fermentación, este tipo de sistemas necesitan muy poco espacio. Las características, ventajas y desventajas técnicas son las mismas que las de los contenedores.



**Figura 19**  
**Sistema de composteo en túneles**  
**Centro de composteo UNAM**

## **IV. TRABAJO EXPERIMENTAL**

### **IV.1 Metodología empleada**

La metodología empleada en este trabajo se basó en primer lugar, en la identificación de los residuos disponibles en la empresa y en los sitios cercanos que pudieran ser empleados para la fabricación de composta. Posteriormente se hizo una evaluación de los métodos de composteo disponibles para seleccionar el más conveniente para las necesidades de la empresa; en este caso se seleccionó el sistema aeróbico debido a que es un proceso rápido (2-6 meses) según el material, de bajo costo, que no requiere alta mecanización y es muy flexible e ideal para las necesidades de la empresa.

También se escogieron como área de trabajo los terrenos que se encuentran a un costado de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Poblado de Peña Colorada, ya que es el punto más conveniente y accesible para transportar los residuos disponibles.

El trabajo experimental se dividió en dos etapas, en la primera se hicieron tres pilas de composteo, dos de ellas se hicieron con residuos vegetales y la tercera con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales. La segunda etapa se enfocó a mejorar el composteo de los lodos de la planta de tratamiento ya que esto representa una buena alternativa para su aprovechamiento que actualmente no tienen un uso y se almacenan de manera inadecuada.

Por último se establecieron los parámetros a controlar en el proceso de composteo, básicamente el acomodo y forma de construcción de las pilas, la forma y periodo de aereación y humectación; y se estableció la temperatura como parámetro para controlar el tiempo de composteo.

Al término de cada prueba se tomaron muestras de cada una de las pilas y se realizaron análisis en laboratorio para determinar la calidad de la composta final. Los parámetros que se analizaron fueron los siguientes: pH, humedad, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, magnesio, calcio, manganeso, metales pesados ( Zn, Cu), cuenta viable de microorganismos heterotróficos, coliformes totales y coliformes fecales.

Para los análisis físicos y químicos se tomaron como base las técnicas de análisis de suelos (tales como pH, % de humedad, entre otros) ya que el material vegetal seco y la composta presentan una consistencia semejante a la de ellos. Por otro lado, en la revisión de literatura relacionada a los métodos de análisis, había una coincidencia para tal fin. Los análisis se realizaron por duplicado y con un blanco o testigo.

**Tabla 2**  
**Parámetros y Técnicas de análisis.**  
**Análisis de suelo**

<b>PARAMETROS</b>	<b>TECNICAS</b>
• pH	• Potenciómetro
• %Humedad	• Evaporación
• Nitrógeno	• Absorción atómica
• Materia orgánica	• Oxidación con dicromato potásico y ácido sulfúrico.
• Fósforo	• Absorción atómica
• Potasio	• Absorción atómica
• Metales pesados	• Absorción atómica

## **IV.2 Tipo de residuos disponibles**

### **Materia vegetal**

El poblado de Peña Colorada cuenta con grandes extensiones de áreas verdes y jardines, las cuales incluyen diversas especies arbóreas y arbustivas debido al clima cálido subhúmedo que prevalece en el lugar. Es importante mencionar que se realizan actividades de mantenimiento para dichas áreas arboladas.

Las principales actividades de mantenimiento para las áreas arboladas, se realizan en un área de 57.1544 hectáreas que corresponde a las instalaciones del poblado. Lo que se convierte en el origen de 5 m<sup>3</sup>/día de materia vegetal (hojas, ramas y pasto principalmente) en época de lluvias (Junio-Octubre) y de 0.83 m<sup>3</sup>/día de materia vegetal en época de secas.

El inventario de áreas verdes en el poblado de Peña Colorada presenta una diversidad de especies de árboles y arbustos, algunos son: Parotas, Rosa Morada, Melina, Ficus, Palmas, Coral, Guaje, Huizache, Helechos, Nogal, Fresno y Café.

En la actualidad no existe un tratamiento para el material vegetal, todo es entregado a los basureros (servicio municipal), que es la manera más usual y barata de liberarse de estos desechos. Sin embargo, con el proceso de composteo se puede degradar y estabilizar, produciendo un sustrato estable que puede ser utilizado benéficamente para promover la formación de suelo en las zonas de terreros.

También es importante mencionar que además del material vegetal, se cuenta con otros residuos (aserrín, estiércol, desperdicio de alimentos, etc) producto de las actividades del poblado que por su alto contenido de carbono y nitrógeno son de gran ayuda en el proceso de composteo.

## **Lodo Biológico Residual.**

Dentro de las instalaciones del poblado de Peña Colorada se cuenta con una Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, cuya finalidad principal es la de proporcionar un tratamiento a las aguas residuales antes de ser descargadas al río Minatitlán. Esta planta está diseñada para tratar 2.19 litros por segundo. Al finalizar el tratamiento de las aguas, se generan lodos biológicos residuales, los cuales son depositados en cuatro piletas (24 m<sup>3</sup> cada una) de secado, para posteriormente estabilizarla con cal, la cual reduce el número de bacterias patógenas y acondiciona el lodo para ser desecado.

El lodo residual es por lo tanto, un producto de desechos en el tratamiento convencional del agua residual. Los componentes del lodo son muy heterogéneos y su contenido depende no sólo de la tecnología de tratamiento empleada, sino también de la época del año (población, condiciones climatológicas, etc.); sin embargo, es rico en materia orgánica y nutrimentos, mismos que se pueden aprovechar para enriquecer los suelos.

Su contenido de patógenos lo hace un desecho difícil de disponer. Una aplicación no controlada de lodo al suelo provoca un exceso de nitratos que pueden ser lixiviados e incorporados a algún acuífero y a partir de este puede representar un riesgo para el hombre. Por otra parte los nitratos se acumulan en los tejidos vegetales, principalmente en la hojas, lo que eventualmente, provoca problemas en los animales que se alimentan con ellas (los nitratos pueden causar la enfermedad de metahemoglobinemia, que es la pérdida de oxígeno en el torrente sanguíneo).

Otros problemas potenciales derivados de la disposición de los lodos, son el exceso de sales de nitrato y una alta cantidad de sodio. El primero reduce la germinación de las plantas y su crecimiento. El segundo causa la dispersión de las partículas del suelo, lo que provoca un empobrecimiento en su estructura y reduce los porcentajes de infiltración de agua.

Desde el punto de vista de salud humana, un exceso de nitratos o de sodio, pueden provocar disfunciones cardiovasculares, hematológicas y neurológicas.

Pero a pesar de los problemas que genera existen ventajas nutrimentales en la aplicación de lodo residual al suelo, después de un tratamiento adecuado, debido al alto contenido de materia orgánica, la cual mejora la calidad del suelo al incrementar el contenido de humus. Sin embargo, su contenido de contaminantes limita su uso, por lo que es necesario darle un tratamiento antes de que sea dispuesto; un posible tratamiento es el proceso de composteo, ya que degrada y estabiliza el lodo, este método provee la eliminación significativa de patógenos y produce un sustrato aceptable que puede ser usado benéficamente sobre el suelo como fertilizante.

### **IV.3 Selección del método de composteo y del área de trabajo**

Como hemos visto el composteo es un proceso biológico, en el cual las materias orgánicas se transforman en tierra de humus (abono orgánico) bajo la actividad de microorganismos. Asegurando siempre condiciones necesarias (especialmente temperatura, relación carbono / nitrógeno, aireación y humedad) que favorecen la fermentación aeróbica de estas materias. Una vez finalizado el composteo, el producto (el humus que se llama “composta o “abono”) es impecable desde el punto de vista higiénico y se puede utilizar para el mejoramiento del suelo.

Al momento de seleccionar el método de composteo y el sitio para realizar el trabajo experimental se consideraron los siguientes criterios:

#### **1) Limitaciones o restricciones legales.**

Propiedad del terreno  
Lugares bajo protección  
Legislación municipal para el uso del suelo.

#### **2) Condiciones de operación:**

Distancia de los desechos  
Condiciones de transporte  
Infraestructura existente (agua, luz, etc.)  
Aptitud del suelo  
Área solar y posibilidades de extensión.

#### **3) Criterios Ambientales.**

Impacto sobre el paisaje  
Impacto del tráfico esperado  
Impacto sobre cuerpos superficiales o subterráneos de agua.  
Planes de urbanización.  
Distancia a zonas pobladas y dirección del viento (para dispersión del olor)

#### **4) Costo de inversión y operación.**

Los costos de inversión dependen fundamentalmente del sistema a emplear. Lo ideal es conseguir un sitio alejado de la zona poblada para poder realizar el proceso de composteo. En condiciones óptimas, la planta de composteo se debería encontrar cerca del sitio de descarga de los desechos, para minimizar costos de transporte.

De acuerdo con la investigación documental realizada se decidió llevar a cabo el sistema de composteo de pila estática, por lo que se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

Debido a que las instalaciones de la mina y del poblado son considerables y el mayor porcentaje de material se encuentra en esta última, por lo que el lugar más cercano para descargar los desechos, es junto a la Planta de Tratamiento de Aguas Negras.

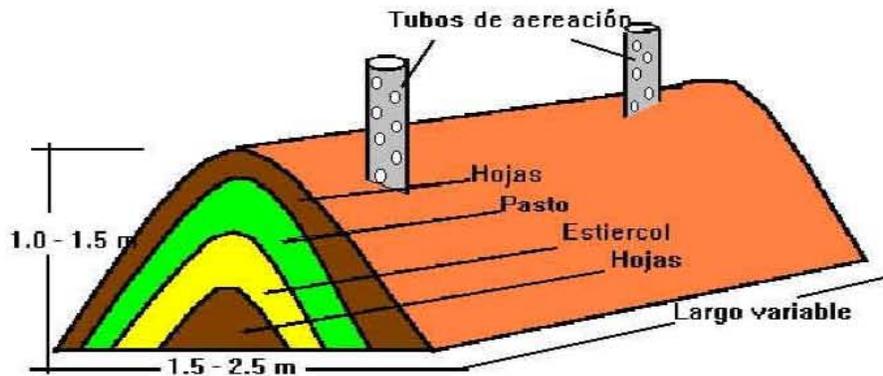
Una vez definida el área de trabajo se tomaron en cuenta las siguientes recomendaciones para escoger el lugar adecuado para iniciar la operación.

- Trabajar en una área donde los puntos topográficos sean los más alto del terreno. Y que presente un declive superior al 1% hacia las cotas menores del terreno, de esta forma es posible evacuar las aguas pluviales y coleccionar los líquidos lixiviados que se puedan generen durante el proceso.
- Se procedió a retirar del área la maleza, arbustos u otros elementos que pudieran interferir con la operación del sistema.

## **IV.4 Criterios para el diseño de las pilas de composteo**

### **IV.4.1 Tamaño de las pilas**

Para la conformación no se aconseja formar pilas de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura en estos son muy bruscas. Como regla general, se toma como altura la mitad de la base, lo que permite obtener una buena relación superficie / volumen. Se pueden construir pilas circulares ó formar pilas en forma de prismas siempre y cuando tomen en cuenta las dimensiones aconsejadas. (Elaboración de composta a partir de desechos vegetales y la adición de diferentes sustratos). La Figura 20 muestra como ejemplo la conformación de una pila de sección triangular con sistema de aereación por tubos ranurados, el cual nos ayuda a evitar la necesidad de voltear constantemente los materiales y el acomodo de los mismos para fabricar la composta.



**Figura 20**  
**Pila estática**  
**Centro de composteo UNAM**

#### **IV.4.2 Tiempo de composteo**

Se entiende por Tiempo de Composteo ( $T_c$ ), el tiempo transcurrido desde la conformación de una pila hasta la obtención de la composta estable.

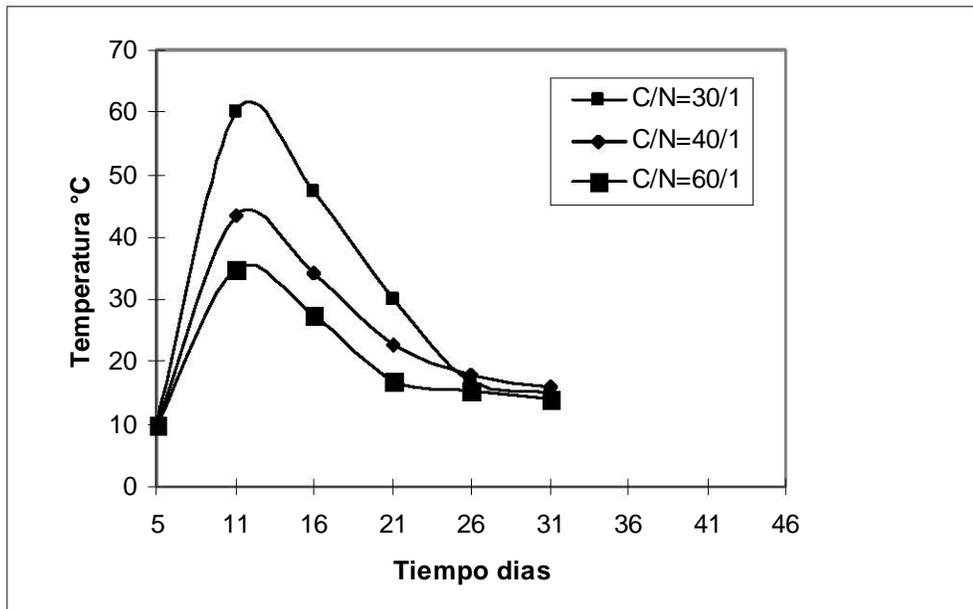
El  $T_c$  varía según las características de los residuos a compostear, las condiciones climatológicas (temperatura ambiente, % de humedad relativa, etc.); manejo físico-químico; manejo microbiológico y características del producto final que se desea obtener. Sin embargo, se puede tener control en algunos parámetros y así poder acelerar el tiempo de composteo. A continuación se describen los parámetros más importantes a controlar.

#### **IV.4.3 Parámetros de control**

##### **a) Relación carbono / nitrógeno**

La disponibilidad de carbono y de nitrógeno es un factor limitante en el proceso de composteo. Los microorganismos necesitan nitrógeno para producir proteínas, construir sus cuerpos, aumentar de número y requieren carbono como fuente de energía. A esto debe agregarse el hecho de que para obtener un composteo eficiente, se requiere una relación C/N apropiada.

La relación óptima del carbono y el nitrógeno (C/N) se encuentra entre 20/1 a 30/1. Fuera de estos valores la velocidad del proceso de composteo se reduce. La figura 21 permite observar estas variaciones:



**Figura 21**  
**Relación (carbono / nitrógeno)**  
**ROBEN EVA Manual de Compostaje Para Municipios, 2002.**

Con una relación 40/1, el nitrógeno representa un factor limitante y la velocidad de degradación se reduce. Con una relación menor de 15/1 el exceso de nitrógeno se transforma en amoníaco (de allí el olor). Si bien pequeños valores de nitrógeno no van en detrimento del proceso de descomposición, disminuye fuertemente el valor de nutrientes de la composta.

Si se presenta una relación entre 40/1 (residuos recién cortados) a 80/1 (residuos secos), es decir, con un alto contenido de carbono, es un factor que limita la velocidad de composteo y la temperatura máxima a alcanzar. Este factor limitante puede ser corregido mediante la adición de nitrógeno.

Respecto de esto último, debe comentarse que algunos autores recomiendan no aumentar el contenido de nitrógeno, puesto que no se incrementa sustancialmente la velocidad de descomposición. De todas maneras, agregando nitrógeno se obtiene un producto final de alta calidad.

Se debe tener muy presente que con el agregado de nitrógeno aumenta el número de rotaciones que debe realizarse a la pila.

Existen tablas, donde es posible obtener las relaciones de estos elementos para diferentes tipos de residuos. A título orientativo, se muestra la tabla 3. Si se desconocen estas relaciones en el material a compostear, lo aconsejable es realizar en un laboratorio las determinaciones correspondientes.

**Tabla 3**  
**Relación carbono / nitrógeno de diferentes materiales**  
**BARBIERI CARLOS, VENINI EDUARDO Manual de composteo aeróbico**

<b>Base Seca</b>			
<b>Materiales</b>	<b>C%</b>	<b>N%</b>	<b>C/N</b>
• <b>Aserrines</b>	40	0.1	400
• <b>Podas</b>	45	0.3	150
• <b>Hojas de árboles</b>	40	1	40

### **b) Estructura y tamaño de los residuos.**

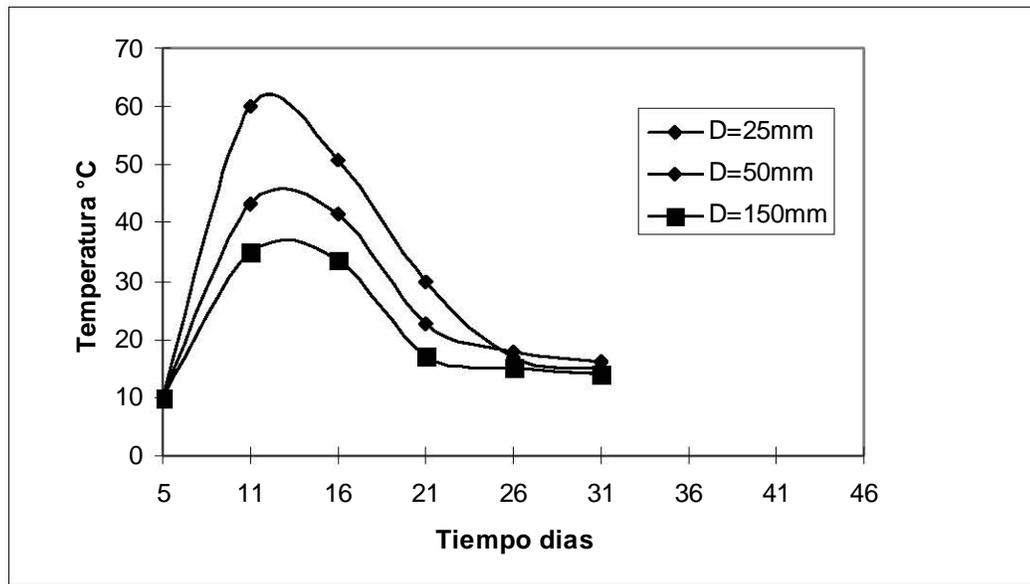
Numerosos materiales pierden rápidamente su estructura física, cuando ingresan al proceso de composteo, otros no obstante son muy resistentes a los cambios, tal es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales en general. En este caso la superficie de contacto entre el microorganismo y los desechos es pobre.

Cuando se presenta una situación de este tipo, se dispone de restos de podas de pequeño diámetro, se deben mezclar estos residuos con otros de diferente estabilidad estructural, de forma tal que aumente la superficie de contacto. Una opción sería la mezcla de estos restos de poda con estiércol en proporciones tales que se asegure una buena relación C/N de entrada.

Ante el caso de no disponer de estos elementos u otro material de diferente estructura física, se debe recurrir al procesamiento del mismo para lograr un tamaño adecuado y un proceso rápido. Las alternativas para este tipo de materiales leñosos y de gran tamaño es el uso de trituradoras o astilladoras. Para un diámetro máximo de partículas de 20 mm resulta un incremento significativo de la biodisponibilidad y del tiempo de composteo cuando se compara con partículas mayores de 80 mm, por lo que el tamaño indicado de 20 mm es aconsejable para este tipo de materiales.

Trituración y posteriormente moliendas para obtener diámetros inferiores a 3 mm, no son aconsejables, ya que la acumulación de materiales con estos diámetros tiende a compactarse, con lo que disminuye en forma importante la capacidad de intercambio gaseoso.

La Figura 22 muestra la incidencia del tamaño de la partícula en la evolución de la temperatura y la máxima alcanzada. Se hace notar que en este caso se refiere a partículas esféricas y no a partículas planas (hojas).



**Figura 22**  
**Tamaño de la partícula en la evolución de la temperatura**  
**ROBEN EVA Manual de Compostaje Para Municipios,2002.**

### c)- Humedad.

El contenido de humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable, tal es el caso del estiércol, donde el contenido en humedad esta íntimamente relacionado con la dieta de los animales. Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50%, necesariamente se debe buscar la forma de que el material pierda humedad, antes de conformar las pilas.

Este procedimiento se puede realizar extendiendo el material en capas delgadas para que pierda humedad por evaporación natural, o bien mezclándolo con materiales secos, procurando mantener siempre una adecuada relación C/N.

La humedad idónea para una biodegradación con franco predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35%, o de 40 al 60% si se puede mantener una buena aereación. Humedades superiores a los valores indicados producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con los que el medio se volvería anaerobio, favoreciendo los metabolismos fermentativos y las respiraciones anaeróbicas. Si la humedad se sitúa en valores inferiores al 10% descende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento.

El carácter reproductivo de la gran mayoría de grupos fisiológicos, implica que con humedades inferiores al 20% las poblaciones pasen a fases estacionarias o en condiciones extremas a fase de muerte, retardando o deteniendo el proceso de composteo. La humedad adecuada para cada etapa, depende de la naturaleza, compactación y textura de los materiales de la pila. Los materiales fibrosos y finos retienen mayor humedad y aumenta la superficie específica de contacto.

#### **d) Grado de acidez (pH)**

El rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante pH cercano al neutro (pH 6.5-7.5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de esos grupos. Valores de pH inferiores a 5.5 (ácidos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8 (alcalinos) también inhiben el crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales.

No es habitual utilizar desechos orgánicos agrícolas que presenten un pH muy desplazado del neutro (pH = 7). Puede ser el caso de algunos residuos provenientes de actividades agroindustriales. Este tipo de residuos, se caracteriza por su estabilidad (resistencia a la biodegradación), y en general se trata de desechos con pH marcadamente ácido. De presentarse una situación de este tipo, se debe determinar el valor del pH y posteriormente realizar una neutralización mediante la adición de carbonato de calcio de uso agrícola.

#### **e) Disponibilidad de oxígeno.**

La aereación es, conjuntamente con la relación C/N, uno de los principales parámetros a controlar en el proceso de composteo aeróbico. Como se ha mencionado el objetivo es favorecer los metabolismos de respiración aeróbica. Cuando como consecuencia de una mala aereación la concentración de oxígeno alrededor de las partículas baja a valores inferiores al 20% (concentración normal en el aire), se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas.

En la práctica, esta situación se diagnostica por la aparición de olores nauseabundos, producto de respiraciones anaeróbicas (degradación por la vía de putrefacción) o fuerte olor a amoníaco producto de la Amonificación. Estas condiciones de anaerobiosis se producen por exceso de humedad o bien por una excesiva compactación del material. En estas situaciones, se deben suspender de inmediato los riegos y la remoción del material.

Para asegurar una buena aereación, hay que agregar un cierto porcentaje de material grueso. Los materiales gruesos deben agregarse especialmente para estructurar los desechos cuando los residuos son pequeños para favorecer una libre circulación de aire. Otra forma es habilitar las pilas con tubos de aereación, los cuales permiten una entrada de aire.

## IV.5 Diseño de las pruebas experimentales

Ya que se establecieron los criterios y los parámetros del sistema de composteo, se hizo el diseño de las pruebas experimentales. Se planearon en dos etapas, primero una prueba con tres pilas, dos de ellas con residuos vegetales y la tercera con lodos de la planta de tratamiento. La segunda etapa se encaminó a mejorar el composteo de los lodos para evaluar este proceso como una alternativa para su aprovechamiento; en esta etapa se hicieron dos pilas, una con lodos y la otra con estiércol. Para corroborar la efectividad del proceso se controlaron los parámetros de aereación y temperatura durante un periodo de 30-45 días, después se tomaron muestras de cada pila para realizar los análisis físico-químicos y evaluar la calidad de la composta.

### IV.5.1 Residuos utilizados

Los residuos utilizados en las pilas de las etapas 1 y 2 se muestran en la Tabla 4; pero además se emplearon residuos alternos para ayudar al proceso: estiércol de vaca como fuente de nitrógeno y aserrín como fuente de carbono. Estos residuos alternos fueron adquiridos en el Municipio de Minatitlán, a ganaderos y en un taller de carpintería.

**Tabla 4**  
**Residuos utilizados en las etapas 1 y 2**

<b>Residuos</b>	<b>Volumen</b>
Pasto fresco + hojas + ramas	16 m <sup>3</sup>
Estiércol (vacuno)	1 tambo de 200 litros
Aserrín	1 tambo de 200 litros
Lodos Residuales	90 litros

Las pruebas se realizaron conforme a los siguientes pasos:

### IV.5.2 Precomposteo

Se denomina precomposteo, a todos aquellos procedimientos que se realizan antes de la conformación de las pilas, y tienen como objetivo acondicionar la masa de residuos para optimar el proceso. Algunos de estos procedimientos ya los hemos mencionado, tales como:

- Balance de nutrientes (corrección de la relación C/N)
- Corrección de pH
- Trituración.

El balance de nutrientes en nuestro caso se realizó con base a las recomendaciones de la literatura así como el pH que no fue necesario corregir.

La trituración fue una limitante debido a que no se contaba con el equipo adecuado; sin embargo, se utilizaron herramientas como machete y cuchillo, para reducir el tamaño de los residuos más grandes.

### IV.5.3 Formación de las pilas

#### a) Etapa 1

Para este caso se construyeron pilas circulares, cuyas dimensiones en promedio son las siguientes: base  $\varnothing = 2.00\text{m}$ ; altura  $h = 1.10\text{m}$ , medidas que dan un volumen de  $1.5\text{m}^3$ .

Dimensiones de las pilas:

**Tabla 5**  
**Dimensión de las pilas etapa 1**

<b>Pila</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Altura (m)	1.20	1.24	1.10
Diámetro (m)	1.80	2.15	2.00
Volumen ( $\text{m}^3$ )	1.01	1.5	1.15

En cuanto a las proporciones lo recomendable fue colocar una parte de pasto por 2 de hojarasca, alternando esta mezcla en forma de capas; por ejemplo, la 1ª de hojarasca, la 2ª de pasto, la 3ª de hojarasca, etc. Fue importante adicionar entre estas capas algo de tierra o de estiércol (o lodo residual ) ya que son estos materiales los que llevan una gran parte de los microorganismos que se encargan de realizar finalmente el trabajo de composteo; se utilizaron tubos de aereación para que el proceso evolucionara mas rápido.

La proporción de residuos en cada una de las pilas experimentales y la conformación se muestra en la siguiente tabla (6):

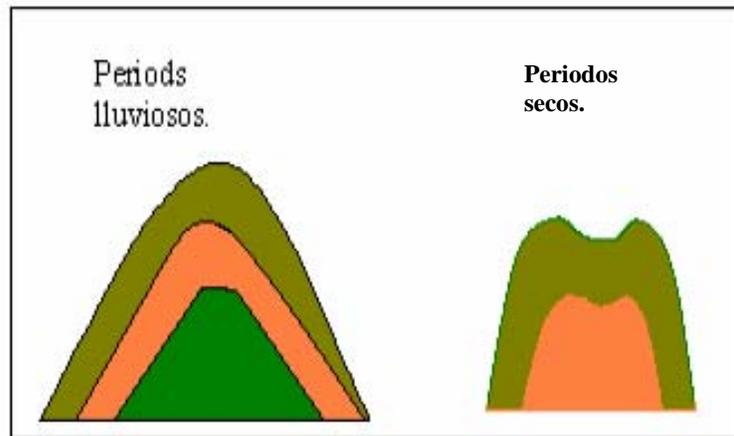
**Tabla 6**  
**Conformación de las capas de 15-20 cm**

<b>Pila 1</b>	<b>Pila 2</b>	<b>Pila 3</b>	<b>No. de Capas</b>
Pasto	Pasto + Hojas	Pasto + Hojas	1
Hojas	Estiércol	Lodo	2
Estiércol	Pasto + Hojas	Pasto + Hojas	3
Pasto	Estiércol	Lodo	4
Hojas	Pasto + Hojas	Pasto + Hojas	5
Aserrín	Estiércol	Lodo	6
Pasto	Pasto + Hojas	Pasto + Hojas	7

Se recomienda:

- a) En periodos secos, hacer la cima con un hueco de modo que la lluvia sea recolectada y penetre en el interior de la pila.
- b) En periodos lluviosos, hacer la cima más puntiaguda, de modo que la lluvia resbale sobre la superficie exterior de la pila.

Esta última fue la que se aplicó a las pilas experimentales debido a que el período en que se elaboraron las pruebas fue en las épocas de lluvias.



**Figura 23**  
**Formas de las pilas dependiendo del clima**  
**Manual de elaboración de compost á partir de hojas**



**Figura 24**  
***Pila estática experimental realizada en el CMBJPC***

## **b) Etapa 2**

El material empleado fue recolectado en el poblado de Peña Colorada (los desechos de jardinería) y en la planta de tratamiento de aguas negras (lodos residuales) ; ambos materiales fueron colocados en capas de 15-20 cm en forma de prisma, cabe resaltar que se hizo a la par otra pila pero utilizando estiércol bovino.

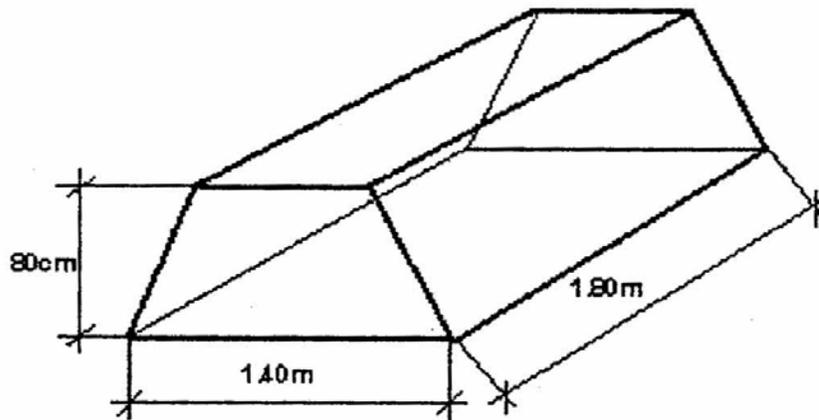
Se presentan en las siguientes tablas los residuos que se utilizaron en la 2ª Etapa y la forma como se acomodaron.

**Tabla 7**  
**Residuos empleados en la etapa 2**

<b>Residuos</b>	<b>Volumen</b>
Pasto fresco + hojas + ramas	7 m <sup>3</sup>
Estiércol	35 litros
Lodos Residuales	40 litros

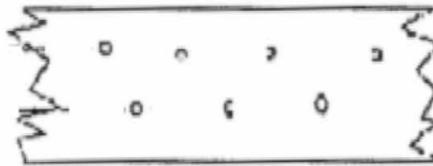
**Tabla 8**  
**Conformación de los residuos**

<b>Pila 4</b>	<b>Pila 5</b>
Pasto	Pasto + Hojas
Hojas	Lodos
Estiércol	Pasto + Hojas
Pasto	Lodos
Hojas	Pasto + Hojas
Estiércol	Lodos
Pasto	Pasto + Hojas



**Figura 25**  
**Pila estática para las pruebas de la 2ª Etapa**

Las características y el tipo de aereación de cada pila tanto para las etapas 1 y 2 fue mediante el uso de un tubo de PVC de 3", de 1.20 m de longitud; estos tubos fueron perforados con agujeros de 1/2" de diámetro, distribuidos como se muestra en la figura 26.



**Figura 26**  
**Tubos de aereación perforados**

Tratando de cumplir con los objetivos del trabajo desarrollado, el experimento fue monitoreado a través de los parámetros de temperatura y contenido de humedad. La temperatura se midió en 15 puntos diferentes de las pilas, tomándose como temperatura representativa el promedio de las 15. Éstas se registraron con un termómetro.

Las muestras para los análisis de laboratorio se tomaron en 4 ó 5 puntos diferentes de las pilas, conservándose en frascos de plástico.

#### IV.5.4 Control del proceso

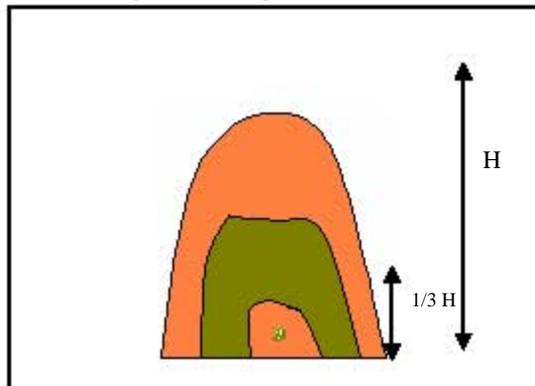
##### Control de la temperatura

La temperatura juega un papel muy importante en el proceso de composteo ya que dicta la velocidad de composteo y la destrucción de los gérmenes patógenos, así como de las semillas de las “malas hierbas”, por lo tanto, deben controlarse todos los puntos mencionados anteriormente, de manera de alcanzar la máxima temperatura admisible mediante el proceso aeróbico.

Existe una relación entre el suministro de oxígeno y la variación de temperatura, estos dos parámetros están inversamente relacionados, y a la vez, dependen del tamaño de la pila.

Se ha visto que las pilas pequeñas facilitan la llegada del oxígeno al interior de las mismas, pero no alcanzan un nivel de temperatura aceptable en épocas de bajas temperaturas, mientras que pilas demasiado grandes aíslan el interior de las mismas, elevando la temperatura, pero impidiendo la llegada de oxígeno.

Es así que la temperatura es el parámetro principal por lo que fue medida diariamente. Se recomienda colocar el termómetro para efectuar la medición a una tercera parte de la altura como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 27**

**Forma de tomar la temperatura a 1/3 de la altura de la pila**  
**BARBIERI CARLOS, VENINI EDUARDO**  
**Manual de compostado aeróbico**

Durante las pruebas experimentales se llevó a cabo el control de aereación, humedad y temperatura en un tiempo total de 45 días, durante el cual la temperatura se midió dos veces al día, por la mañana y por la tarde.

En ambas etapas la temperatura se midió en 15 puntos diferentes de la pilas, tomándose como temperatura representativa el promedio de las 15. Éstas se midieron con un termómetro.

## **Control de humedad y aereación.**

Para estimar el contenido de humedad, se aplicó el siguiente procedimiento empírico:

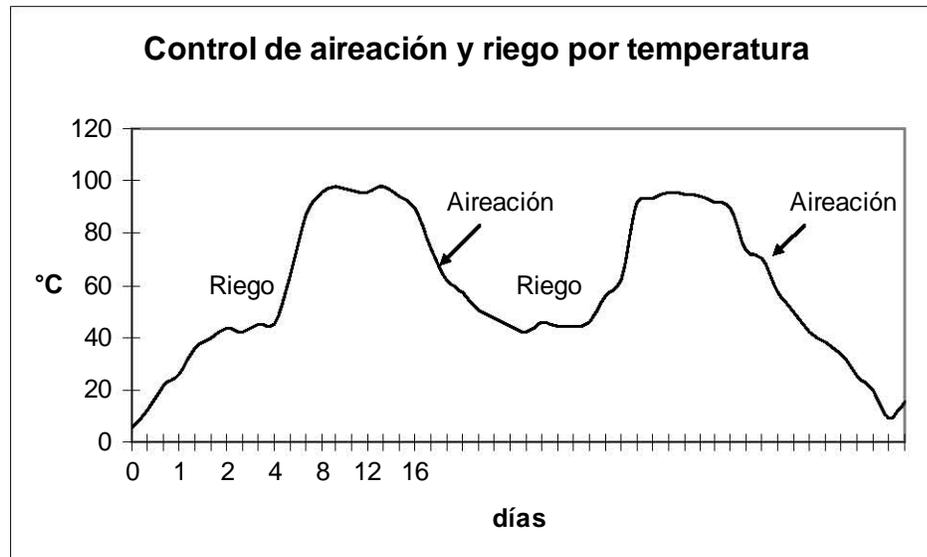
- 1- Con la mano (usando guantes) se toma una muestra de material
- 2- Se cierra la mano y se aprieta fuertemente el mismo.
- 3- Si con esta operación se observa que sale un hilo de agua continuo del material, entonces se puede establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.
- 4- Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, se puede establecer que su contenido en humedad es cercano al 40%.
- 5- Si el material no gotea y cuando se abre el puño de la mano permanece moldeado, se estima que la humedad esta entre un 20 a 30 %.
- 6- Finalmente si se abre el puño y el material se disgrega, se asume que el material contiene una humedad inferior al 20%.

Una vez analizada la humedad, se agregaba agua si era necesario, y se aplicaba lo mas atomizado posible, para no producir cambios bruscos en la temperatura.

En cuanto a la aereación, se recomienda realizarla cuando comienza a decrecer la temperatura (ver figura 28), luego de haber alcanzado su valor máximo en etapa termogénica. La remoción del material, implica un descenso de la temperatura, la cual paulatinamente vuelve a subir hasta completar una nueva etapa termogénica. Puede ser posible que sólo se cumpla una sola etapa termogénica o más de dos, si el material ha sido preparado y las pilas se han homogenizado adecuadamente.

También es de gran ayuda colocar tubos de aereación para facilitar este proceso. En el caso de las pruebas, se colocaron tubos de aereación, para facilitar la entrada de oxígeno en el núcleo de la pila y se hacía un volteo de material cada vez que disminuía la temperatura.

La figura 28 muestra la variación de la temperatura ideal en función de la aireación.



**Figura 28**  
**BARBIERI CARLOS, VENINI EDUARDO**  
**Manual de compostado aeróbico**

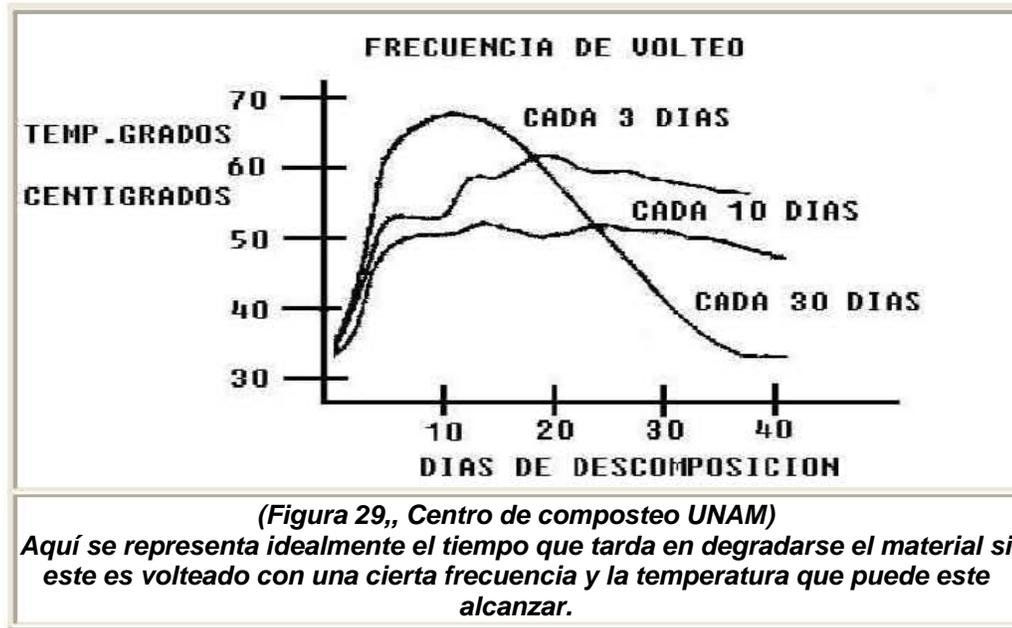
Para mantener la humedad del material se añadieron porciones de agua de 8 a 12 litros para la etapa 1 y de 20 a 30 litros para la etapa 2, cada vez que los análisis indicaban contenidos de humedad por abajo del 40-45%.

### **Rotación de las pilas.**

La rotación de las pilas es muy importante para el proceso de composteo, existiendo diferentes maneras de efectuar esta tarea de aireación y de mezclado; a continuación se mencionan algunas técnicas:

- a) Combinando dos pilas, moviendo los residuos orgánicos de la superficie para conformar el centro de la nueva pila. De esta manera se asegura que el material de la zona exterior alcanza en algún momento la temperatura requerida para destruir los gérmenes patógenos y las semillas.
- b) Sin combinar, se levantan los residuos orgánicos de una pila hasta una cierta altura y se deja caer en cascadas, sobre una nueva localización.

La figura 29 muestra la frecuencia de volteo tomando como base la temperatura y el porcentaje de descomposición de lo residuos:



En ambas etapas el volteo del material de las pilas se realizó 3 veces por semana en los primeros 15 días, y 2 veces por semana durante el tiempo restante del proceso. El volteo fue mas espaciado debido a la ayuda de los tubos de aereación tanto para la etapa 1 como la 2.

## IV.6 Calidad de la composta

La calidad de la composta está en función de las características físicas, químicas y biológicas del producto terminado. A su vez, estas dependen de las características de la materia prima utilizada, de las técnicas de elaboración y del control de ambas.

Los intervalos típicos de una composta de acuerdo con lo reportado en la literatura son los siguientes:

**Tabla 9**  
**Calidad de composta**  
**Alexander 1994.**

Parámetro	Intervalo típico
pH unidades	6.8-7.3
Nitrógeno %	0.3-1.3
Fósforo mg/L	30-40
Potasio mg/L	95-100
Densidad g/L	900-1000
Humedad %	45-50
Materia orgánica %	25-30
Tamaño de partícula mm	2-2.5

También dependiendo de cuanto tiempo haya durado el proceso, la composta puede haber alcanzado la etapa de madurez o encontrarse como composta inmadura. La tabla 10 le ayudará a definirlo:

**Tabla 10 Características de composta madura e inmadura Jardinería básica 2005**

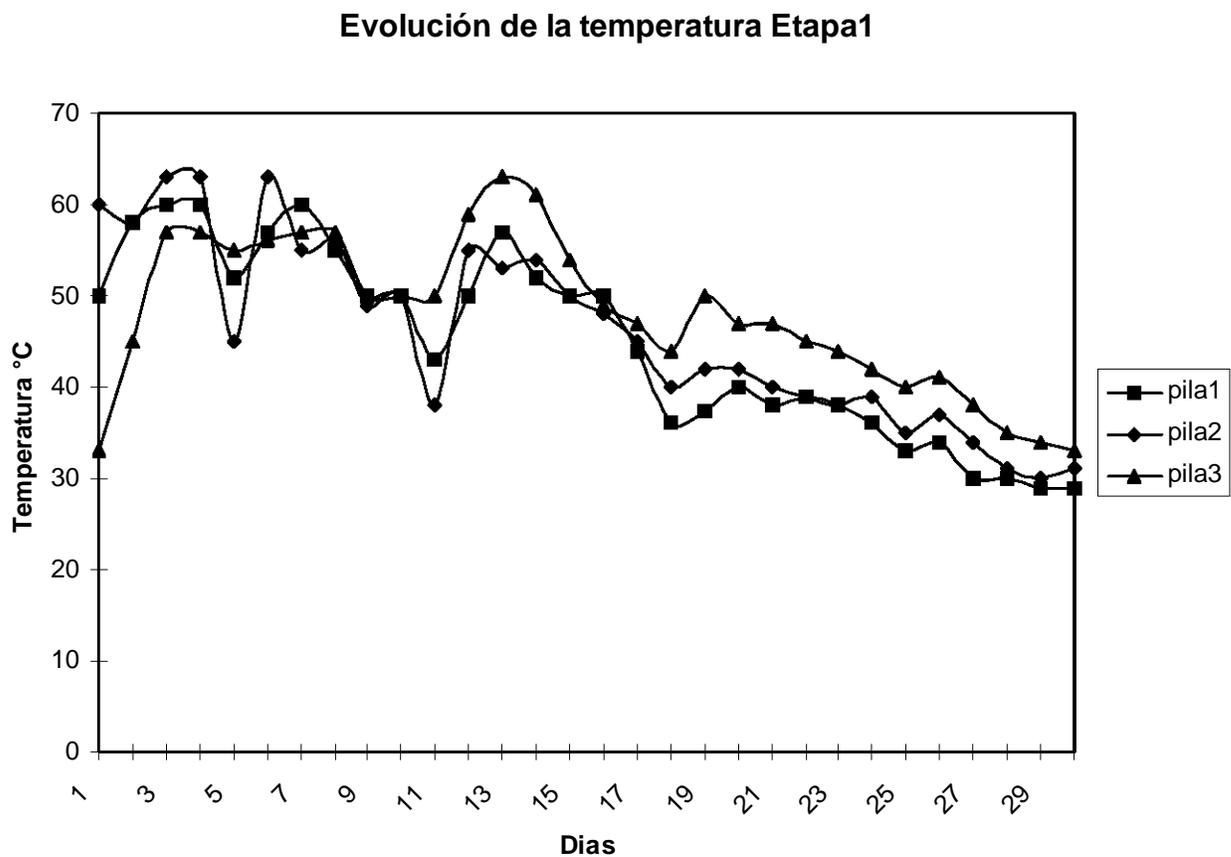
Composta inmadura	Composta madura
Café oscuro	Café oscuro
Olor mas o menos pronunciado	Sin olor fuerte
Hay gusanos y partes del material que pueden ser identificados	No hay gusanos y nada del material puede ser identificado
Puede ser usado como cobertura para jardines, arbustos y árboles perennes	Incorporado en la tierra
Usar poca cantidad (puede quemar las plantas)	No hay riesgos, es bueno realizar varias aplicaciones

Otra prueba para asegurar la madurez es la siguiente: Colocar aproximadamente 1 kilo de composta en una bolsa transparente, cerrarla y ubicarla en un lugar fuera del sol directo a temperatura ambiente. Si después de 24 horas la bolsa ha transpirado mucho, por aumento de la temperatura dentro de la bolsa, es porque aún no se encuentra madura y debe seguir procesándose.

## V.1 RESULTADOS

### V.1 Comportamiento de la temperatura

La temperatura de las pilas de la etapa 1, varió como se muestra en la gráfica 1. La etapa mesofílica (<40-45°) fue rápida en todas las pilas tardando a lo máximo 48 horas. Después de este tiempo la temperatura se elevó hasta la etapa termofílica registrándose ésta durante periodos de 1 a 2 semanas con máximos de 53, 59, 54 y 60°C en las pilas 1, 2 y 3, respectivamente. Durante esta fase se observaron algunas caídas de temperatura en las pilas 2 y 3, la que se recuperaba al siguiente día, después de voltear y humedecer los materiales.



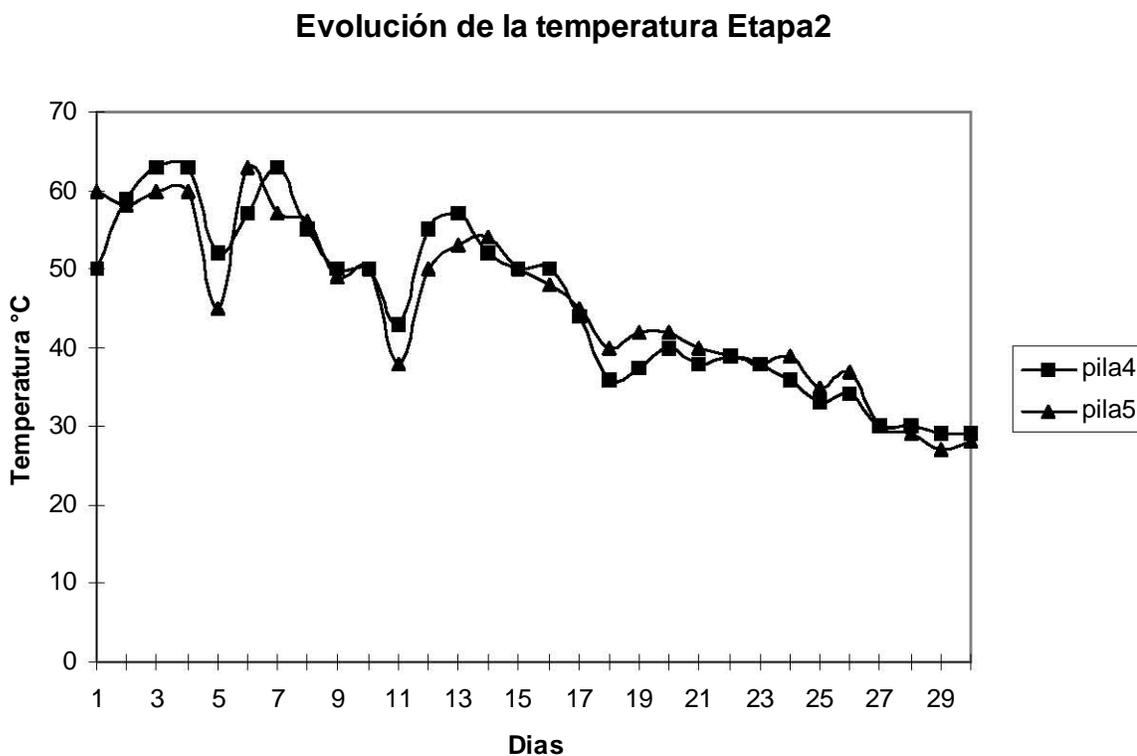
*Gráfica 1, Comportamiento de temperatura etapa 1*

El promedio de temperaturas máximas mantenida durante 48 horas en las pilas 1 y 2 fue mayor a los 50 °C recomendado como mínimo por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para la remoción de la microflora, con lo cual se garantizó la sanidad de estas compostas, lo que no ocurrió con los productos de la pila 3, donde el promedio de temperatura en 48 hrs. fue de 43.5 °C. .

La tercera fase inició aproximadamente el día 16 con el descenso gradual de la temperatura en todas las pilas, debido a una baja en la actividad microbiana como consecuencia de la falta de sustrato de fácil asimilación, finalizando cuando las temperaturas de las pilas se aproximaron a la del ambiente o la igualaron (Mooijman et al., 1987). La tercera fase duro aproximadamente 15 días.

Así, la pila 1 se estabilizó al día 27 y las pilas 2 y 3 al día 30 aproximadamente. Las pilas 1 y 2 fueron mejores que la pila 3 en la destrucción de microorganismos patógenos. Desde el punto de vista de la estabilización de los desechos, la pila 1 fue mejor que las otras dos, al estabilizarse en un menor tiempo.

En cuanto a las pilas de la etapa 2 el comportamiento de la temperatura fue adecuado, aunque hubo ligeros descensos durante la etapa termofílica (Gráfica 2)



**Gráfica 2, comportamiento de temperatura etapa 2**

El promedio de temperaturas máximas mantenida en las pilas 4 y 5 fue mayor a los 55°C (durante 15 días), aunque hubo un lapso intermedio de 5 días en el que la temperatura estuvo por debajo de los 50 °C para después aumentar nuevamente; en general la temperatura por arriba de los 50 °C fue superior a las 48 hrs que recomienda como mínimo la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para la remoción de la microflora patógena, con lo cual se garantizó la sanidad.

La tercera fase inició con el descenso gradual de temperatura en las pilas aproximadamente al día 18, debido seguramente a una baja en la actividad microbiana como consecuencia de la falta de sustrato de fácil asimilación. Esta fase finalizó cuando se alcanzó la temperatura ambiente el día 29. Por lo tanto las pilas 4 y 5 de la etapa 2 se utilizaron a partir del día 29, aproximadamente ambas presentaron un buen comportamiento de temperatura, aumentando así la destrucción de microorganismos patógenos.

## V.2 Parámetros físicos y químicos

En la tabla 11 se presentan los resultados de los análisis físicos y químicos realizados a las muestras tomadas en cada una de las pilas para valorar la calidad de la composta obtenida.

**Tabla 11, Resultados fisicoquímicos del proceso de composteo.**

Parámetros	Unidades	ETAPA UNO			ETAPA DOS	
		Pila 1	Pila 2	Pila 3	Pila 4	Pila 5
pH		7.03	8.04	8.71	7	7
Humedad	%	40.98	36.41	38.54	36.83	38.96
Nitrógeno total	%	0.21	0.35	0.42	1.77	1.81
Nitrógeno orgánico	%	0.04	0.02	.007	1.41	1.26
Potasio	mg/L	2.76	2.26	2.8	2.04	1.825
Fósforo	ppm	5.24	13.44	9.64	336	546
Materia orgánica	%	7.03	8.04	8.71	17.42	16.08
Sodio	mg/L	5.26	4.13	4.9	2.26	2.61
Magnesio	mg/L	0.19	0.19	0.14		
Cobre	mg/L	0.245	0.242	0.243	0.010	.00353
Calcio	mg/L	22.15	17.55	12.89	19.90	25.56
Manganeso	mg/L	5.53	4.12	5.18	0.072	0.075
Cadmio	mg/L	0.029	0.024	0.025	0.0016	0.00148
Zinc	mg/L	0.51	0.50	0.47	.00042	0.00072
Cuenta viable	UFC/g			1.0 x 10 <sup>E8</sup>	2.7 x 10 <sup>E9</sup>	3 x 10 <sup>E8</sup>
Coliformes totales	NMP/g			2.4 x 10 <sup>E6</sup>	5 x 10 <sup>E4</sup>	11 x 10 <sup>E4</sup>
Coliformes fecales	NMP/g			500	800	200

Para evaluar la calidad de la composta obtenida en las pruebas realizadas los resultados obtenidos se compararon con los parámetros recomendados en la literatura (Tabla 9 Alexander, 1994).

## **Nitrógeno.**

El contenido de nitrógeno en la composta fue bueno en general, a excepción de la pila 1 de la etapa 1, todas estuvieron por arriba del valor mínimo de 0.3%. Las pilas de la etapa 2 registraron un mayor contenido de nitrógeno con un 1.77% en la pila 4 y 1.81% en la pila 5. Este aumento del contenido de nitrógeno seguramente se debe al uso de lodos de la planta de tratamiento de las aguas residuales, ya que la pila 3 de la etapa 1, donde también se aplicaron lodos, presentó el mayor contenido de nitrógeno en esa etapa.

La tendencia ascendente en la concentración de nitrógeno se debe al consumo de carbono y a la combinación de parámetros de temperatura y pH que fueron favorables para el proceso; cuando el pH se encuentra arriba de 7.5 y las temperaturas son altas, el nitrógeno se pierde mayormente por la volatilización del amoníaco (Díaz et al., 1996), lo cual no ocurrió en el proceso en las pilas 1, 2 y 3 (etapa 1).

A las temperaturas máximas alcanzadas le correspondieron valores de pH entre 6 y 7. Además, parte de la recuperación parcial del nitrógeno fue producto de actividad de las bacterias fijadoras de nitrógeno durante la fase de enfriamiento.

## **Fósforo.**

Este elemento interviene en la nutrición vegetal de los cultivos y podemos encontrarlo en mayor cantidad en las semillas de las plantas. La presencia del fósforo es muy importante, ya que es empleado en las transformaciones normales de los carbohidratos de la planta (cambio de almidones en azúcares); es necesario en la asimilación de las grasas e incrementa la eficiencia de los mecanismos cloroplásticos.

En la etapa 1 el contenido de fósforo fue bajo debido quizás a la proporción de estiércol utilizado en las pilas 1 y 2, y a la cantidad de lodos en la pila 3. En la etapa 2 aumentó considerablemente el contenido de fósforo por el uso de los lodos de la planta de tratamiento y la cantidad agregada. De este resultado resalta la conveniencia de utilizar los lodos para la obtención de una composta con contenido aceptable de fósforo y también de nitrógeno.

## **Potasio.**

Este elemento es esencial en todos los procesos metabólicos celulares e influye en la absorción de otros elementos minerales, el potasio tiene un efecto de equilibrio sobre los resultados de un exceso de nitrógeno, una deficiencia de potasio se manifiesta por la facilidad del rompimiento de los tallos de las plantas.

En todas las pilas el contenido de potasio fue muy inferior a la concentración recomendada.

## **Materia orgánica.**

La materia orgánica químicamente activa se encuentra relacionada con la composición de los residuos orgánicos alterados de vegetales, animales y microorganismos vivos y muertos, que sufren descomposición.

En la etapa 1 la cantidad de materia orgánica está por debajo de lo recomendado, quizá por la falta de estiércol. En la etapa 2 hay un aumento considerable, pero sin llegar a lo recomendado. En ambos casos es posible que haya faltado tiempo de maduración para lograr una degradación completa de los residuos. Sin embargo, nuevamente se observa la conveniencia del uso de los lodos de la planta de tratamiento, ya que estos enriquecen la calidad de la composta con un aumento en el contenido de materia orgánica.

## **pH**

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa una diferencia interesante en el pH de la pila 1 con respecto a las pilas 2 y 3 de la etapa 1, y es que en estas últimas hay un aumento en la basicidad de la composta (8.04 y 8.71 respectivamente); este resultado es algo extraño debido a que los residuos utilizados tienen un pH prácticamente neutro; aun en la pila 3 en la que se usaron lodos.

Las pilas 4 y 5 (etapa dos) alcanzaron rápidamente valores de pH de 7; y se mantuvo hasta el final, este resultado es satisfactorio para la calidad de la composta esperada.

## **Humedad.**

El contenido de humedad de las pilas se mantuvo en el rango de 30 a 38% durante todo el proceso. En general el contenido de humedad fue bajo, a excepción de la pila 1 con un valor cercano al 40%. Sin embargo, los primeros días del proceso alcanzó una humedad arriba del 40 %; esto se debió a la composición inicial del sustrato, el cual contenía material entero en su estado inicial de descomposición o en buen estado registrándose un alto contenido inicial de humedad. Otra posible consecuencia de perder humedad fue por el método de aereación de las pilas ya que permanecieron estáticas durante algún tiempo en el proceso, por lo que la pendiente de la superficie sobre la que se instaló, permitió que un exceso de agua se alojara en la base.

## **Coliformes**

Para las pilas 3, 4 y 5, en las que se utilizaron lodos de la planta de tratamiento, se comparó su contenido de coliformes fecales contra los criterios señalados en la NOM-004-SEMARNAT-2002 (protección ambiental lodos y biósólidos- especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final); con el propósito de valorar la sanidad de la composta y su uso en la reforestación de terreros. En las tres pilas preparadas con lodos de la planta de tratamiento (pilas 3, 4 y 5) el contenido de coliformes fecales fue inferior a 1000 nmp/g (número más probable)

que es el límite permisible señalado para el uso de biosólidos clase A (uso agrícola, uso forestal, mejoramiento de suelos y usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación), que es la categoría más estricta. La clase C, que sería la aplicable para utilizar la composta generada con lodos como mejorador de suelo en los terreros, tiene como límite permisible 2,000,000 nmp/g por lo que la composta producida cumple adecuadamente con estos valores de referencia.

### **V.3 Aereación**

Por otra parte, el volteo de los materiales evita la acumulación excesiva de ácidos orgánicos y la producción de malos olores originados por compuestos volátiles de azufre y nitrógeno y evita la compactación (Jackson & Line, 1998). Tres volteos en promedio durante las primeras dos semanas de proceso, resultaron suficientes para favorecer el desarrollo del experimento en la fase termofílica, alcanzándose temperaturas lo suficientemente altas para la sanidad de la composta. Para el resto del proceso, con 1 ó 2 volteos a la semana el contenido de humedad siguió manteniéndose por arriba de 45 % en promedio. En general, con esta frecuencia de volteos, el proceso procedió adecuadamente en las pilas.

En el caso de la pila 3 de la etapa 1, en la que la aereación se hizo por medio de un tubo estático introducido en la pila, este sistema de aereación no favoreció la pronta realización del proceso de degradación, por los residuos que en él predominaron (lodo residual). La pila 5 (etapa dos) a pesar de tener el mismo material de la pila 3 (lodo residual) fue beneficiada por factores de operación como los volteos periódicos. Al mezclarse el sustrato con el material de cobertura existió cierto aporte de microorganismos que sirvieron como inóculo inicial. Además, los volteos periódicos favorecieron la liberación del exceso de ácidos grasos volátiles presentes en las primeras semanas del proceso. Lo anterior no ocurrió en la pila 3, ya que el modo de operación fue diferente, en este caso, el sistema de aereación empleado fue el sistema de aereación pasiva (tubos de aereación). Permaneciendo el material de cobertura como tal, pobre en microorganismos y menos poroso que la composta.

## VI. APLICACIÓN DE LA COMPOSTA EN TERREROS

### VI.1 Beneficios de la composta en la formación de suelos

Los beneficios que se obtienen con la aplicación de la composta en los terreros para contribuir a la formación de suelos son los siguientes:

- En primavera y verano el suelo se mantiene con más humedad promoviendo la producción de raíces.
  - 1) Por enlace del agua con la sustancia orgánica.
  - 2) Al mejorar la estructura del suelo
- En invierno el suelo se mantiene más caliente, que el expuesto a la intemperie.
  - 1) Directamente, por su color oscuro que mejora la absorción de calor por parte del suelo.
  - 2) Indirectamente, mejora la estructura, pues de esta forma se elimina más rápidamente el exceso de agua en la primavera, y esto trae como consecuencia un calentamiento más rápido.
- Adiciona humus.
- Aumenta también la presencia de lombrices y otros organismos las cuales a su vez degradan la materia orgánica y dan mayor aereación al suelo
- Mejora el suministro de Oxígeno en las raíces.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico.
- Opera como buffer impidiendo los cambios bruscos de pH.
- Mejora la estructura del suelo:
  - 1) Directamente, esponjando los suelos pesados con las voluminosas partículas de humus.
  - 2) Indirectamente mejorando la textura producida por los organismos vivos en él o por medio de ácidos húmicos.
- Para las plantas: facilita la absorción de nutrientes. Proporciona nitrógeno, fósforo, potasio y todos los micronutrientes necesarios. Favorece el crecimiento y la resistencia a plagas y enfermedades; los frutos y semillas son más y de mayor calidad. Puede ser usada para cualquier tipo de planta con toda seguridad.

- Para el hombre: se aprovechan los residuos orgánicos, que de otra manera serían considerados como basura, para obtener un producto final muy útil para el desarrollo de las plantas. No se genera contaminación en el proceso, y se reduce el volumen de basura.
- El lodo y materia vegetal aplicada en porcentajes adecuados, puede proporcionar los requerimientos de nutrimentos esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio; siempre y cuando se analicen bien las características de la composta, debido a que los lodos pueden contener metales pesados y otros microorganismos dañinos al ser humano.

## **VI.2 Dosis y aplicación de la composta**

La composta elaborada a base de lodos residuales y de materia vegetal puede ser utilizada en la recuperación de áreas erosionadas. Su uso sólo se encuentra restringido por la presencia de contaminantes que pueden afectar a la cadena alimenticia. Lo que puede controlarse con la selección de cultivos y una dosificación adecuada del producto, de acuerdo a las características del suelo y a los nutrimentos requeridos por las plantas (Ing. Manuel Morones, CONAFOR.)

El procedimiento que se sigue para la aplicación de la composta es el siguiente:

1. Abrir una cepa de aproximadamente 20cm de diámetro por 30cm de profundidad y sacar el material dejando un pozo.
2. Aflojar con la mano un poco de tierra del fondo de la cepa y aplicar el hidrogel, tomando como medida lo que agarren tres dedos y mezclarlo con la tierra suelta del fondo de la cepa, el hidrogel ayuda a retener agua.
3. Adicionar aproximadamente 2.5 lts de composta, posteriormente colocar la planta y cubrir la raíz.
4. Colocar un poco de tierra encima de la composta (de la misma que se sacó).
5. Hacer presión con las manos alrededor de la planta para afianzarla.

Para hacer las cepas se utilizaron palas especiales para la reforestación y la forma de hacerlas es la siguiente:

1. Enterrar la pala de reforestación hasta el tope de pie y sacar el material.
2. Desgrumar los terrones con la pala.
3. Aplicar el hidrogel y composta.

### **Aplicación de la composta en el terrero 1340**

La plantación se lleva a cabo en hileras, con una separación de 4 metros aproximadamente, las especies se colocan de acuerdo a la altura del terrero, en este caso se utilizó el pino ya que las condiciones de altura y clima le favorecía, sin embargo también se plantaron especies endémicas, como parotas, primavera y huizache.



**Figura 30**  
*Terrero 1340 antes de ser reforestado.*



**Figura 31**  
*Terrero 1340, etapa de preparación del terreno para iniciar la reforestación*



**Figura 32**  
**Reforestación con Parota, aplicando composta.**



**Figura 33**  
**Reforestación con Primavera, aplicando composta.**



**Figura 34**  
**Reforestación con pino, aplicando composta.**



**Figura 35**  
**Aplicación de composta en el estacionamiento de la mina**

### VI.3 Costos

La producción de composta en las instalaciones de Peña Colorada es una actividad sencilla y de un beneficio significativo para la propia empresa; ya que desde el punto de vista ambiental, se aprovechan los residuos orgánicos que se producen principalmente en la colonia El Poblado para reincorporarlos a los ciclos biogeoquímicos básicos. Para el caso de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, el composteo se convierte en una alternativa viable para su estabilización y aprovechamiento.

Por el volumen de residuos que se generan en El Poblado (en promedio 15 m<sup>3</sup>/mes), se estima que con un par de trabajadores se puede llevar a cabo el composteo de los residuos de jardinería que se producen, y con el apoyo del personal encargado de la operación de la planta de tratamiento, también se pueden compostear los lodos.

A continuación se hace una estimación de los costos (referentes al 2003) para producir composta en el CMBJPC.

**Tabla 12 Costos de composteo**

Costos de Composteo					
No.	Actividad	Personal responsable	Material	Unidad	Costo
1	Recolección de Materia orgánica	2			\$ 7,500.00
	Recolección de Aserrín y estiércol				
	Recolección de Lodos residuales				
2	Selección del material orgánico	2	Malla y madera	4	\$ 300.00
3	Formación de pilas con tubos de aireación	1	Tubos de PVC	4	\$ 280.00
4	Maduración de la pila				
	control de la temperatura	1	Termómetros	4	\$ 460.00
	control de la humedad	1	Manguera y cubetas	4	\$ 350.00
5	Rotación de pilas	1	Pala, pico y vieldo	6	\$ 540.00
6	Recolección de la composta	2	Costales de plástico	50	\$ 500.00
	<b>Total</b>				<b>\$ 9,930.00</b>

El costo de compostear 15 m<sup>3</sup> de residuos orgánicos en un mes es de \$ 9,930.00, lo cual da un costo unitario de \$ 662.00 / m<sup>3</sup> de composta. Este costo es aceptable si se compara con el costo de comprar a un proveedor la composta; ya que de las últimas compras realizadas por Peña Colorada, el valor de 4 m<sup>3</sup> de composta (con el flete incluido es de \$ 4,600.00) el cual representa un costo unitario de \$ 1,150.00/m<sup>3</sup>.

Con el propósito de agilizar el proceso de preparación de los residuos a compostear, se podría considerar la compra de una astilladora, con el cual se homogeneizaría el tamaño de los residuos y mejoraría la calidad de la composta. El costo de inversión para una maquinaria de este tipo es aproximadamente de \$ 90,000.00.

El costo estimado para la producción de la composta, se encuentra dentro del intervalo reportado en la literatura, que va de los \$ 25 hasta los \$ 150 USD/m<sup>3</sup> (Semple et al. 2001, Potter 2000). Estos costos varían principalmente por los siguientes factores:

1. cantidad y tipo de materia orgánica a tratar;
2. disponibilidad de agentes de volumen;
3. tipo de proceso a emplear;
4. necesidad de tratamientos previos y posteriores;
5. condiciones climáticas

De acuerdo con lo anterior, Colima representa una región idónea para aplicar este tipo de sistema de composteo ya que la temperatura media anual es de 26.5 °C, con las temperaturas más altas en julio y las más bajas en marzo.

# I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

El sistema de composteo es actualmente una de las alternativas de aprovechamiento de residuos orgánicos para obtener un abono que sirva en la remediación de suelos. El incremento en su aplicación se debe a que sus procesos son sencillos de llevar a cabo, tecnológicamente efectivos y sus costos son bajos en comparación con la mayoría de las tecnologías fisicoquímicas.

Sin embargo, aunque las tecnologías de composteo son procesos relativamente sencillos de implementar y desarrollar, requieren del conocimiento de los factores biológicos, físicos y químicos involucrados. Para esto, es necesaria la incorporación de equipos multidisciplinarios de trabajo integrados por microbiólogos, biotecnólogos, químicos, edafólogos, ingenieros, entre otros.

En el marco del desarrollo sustentable, el proceso de composteo presenta importantes perspectivas para resolver muchos de los problemas de recuperación de suelos. Por ello, es necesario llevar a cabo con seriedad, responsabilidad y con un amplio conocimiento, la aplicación de este proceso.

Antes de aplicar algún proceso de composteo para la recuperación de un sitio en particular, es indispensable contar con información completa del sitio (posible contaminación, caracterización del suelo, etc) y establecer pruebas a escala para posteriormente, seleccionar el tipo de composteo con base en sus costos y a la disponibilidad de materiales y equipo para realizar el tratamiento.

La composta obtenida a partir de lodos residuales y materia vegetal, dadas su calidad fisicoquímica, podría ser usada como sustrato para aplicarla en la reforestación de terreros así como en la recuperación de suelos erosionados.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se puede concluir lo siguiente:

Que es viable aplicar este método en el CMBJPC debido a que en el lugar se dispone de gran cantidad de materia orgánica tanto de los servicios de mantenimiento de las áreas verdes como de los alrededores de la instalaciones de la empresa, además de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas negras; también hay que destacar que el clima es propicio para realizar este proceso.

La existencia de materiales alternos en la región (como el aserrín y el estiércol de vaca) son de gran ayuda para el proceso de composteo, estos materiales los puede aprovechar la empresa para acelerar el proceso de composteo debido a su alto contenido de carbón y nitrógeno. Posiblemente estos materiales no tendrían ningún costo si la empresa hace un convenio con los productores.

En cuanto a la calidad de la composta, se puede observar que en general los resultados fueron similares a los parámetros establecidos en la literatura; sin embargo, es necesario controlar ciertos factores, como la humedad y el tiempo de maduración, para mejorar la calidad de la composta.

El manejo de los lodos residuales, puede ser viable si se lleva un adecuado control en la combinación de materia orgánica y lodos, debido a que durante la experimentación se observó que los lodos con poca materia orgánica, no alcanzan las temperaturas adecuadas para el proceso, ya que la humedad de los lodos no lo permite y limita la presencia de microorganismos, en tanto que si se agrega mayor cantidad de materia orgánica los lodos ayudan a mantener la humedad en la pila y se desarrollan de manera adecuada las etapas de temperatura; también se observó que agregando aserrín ayuda a mejorar el proceso.

Para el caso de las pilas con lodos, es necesario garantizar mayor temperatura y mayor tiempo de maduración con el propósito de reducir la presencia de microorganismos patógenos.

Por lo que respecta al volumen que se puede generar de composta, está relacionado con la temporada de lluvias y secas en la región; en época de lluvias se aprovecha el material proveniente del mantenimiento de las áreas verdes de El Poblado y en el tiempo de secas se puede aprovechar la hojarasca de los árboles.

En cuanto a los lodos se presenta la misma situación de la materia orgánica, en tiempo de lluvias se genera mayor cantidad de lodos y en secas es menor la cantidad. También hay que considerar los materiales alternos que pueden utilizarse, tal es el caso del aserrín y el estiércol.

Por último, este proceso representa un beneficio para la empresa, ya que contribuye de manera ambiental al aprovechamiento de residuos orgánicos, y la composta producida sirve como abono en zonas vulnerables de erosión y contribuye a regenerar el suelo en las áreas de terreros.

## **Recomendaciones**

De acuerdo a la experiencia obtenida durante el desarrollo de la investigación realizada en el aspecto bibliográfico y experimental, se pueden mencionar algunas recomendaciones que podrán ser aplicadas en forma inmediata o a futuro, para la obtención de un mejor producto final (composta), y a la vez tener un mejor rendimiento para la rehabilitación de terreros, con la aplicación planificada de la composta.

Es necesario que durante la clasificación manual de los desechos se separen los subproductos que puedan existir como papel, cartón, chatarra, etc. para mejorar la calidad en el producto final.

Se recomienda a futuro la designación de un área para tratar los desechos de la planta de tratamiento de aguas residuales y el material vegetal provenientes del mantenimiento de las áreas verdes del Poblado.

Estudiar alternativas para mejorar la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Poblado, buscando una manera de evacuar periódicamente los lodos que se depositan en el reactor, de tal forma que no alcancen condiciones anaeróbicas y puedan ser aprovechados de inmediato en la elaboración de composta.

## BIBLIOGRAFÍA

ALTAMIRANO ISLAS TEODORO, ESPIRITU SANTO GONZALEZ FEDERICO  
Procesamiento de los desechos sólidos (basura) para la obtención de la composta  
como regenerador de suelos.  
Facultad de Química – 1977

BARBIERI CARLOS, VENINI EDUARDO, ROS FELISIA  
Manual de elaboración de compost a partir de hojas  
Rosario, 2000

BARBIERI CARLOS, VENINI EDUARDO  
Manual de compostado aeróbico  
Rosario, 2002

CENTRO DE COMPOSTEO UNAM Y DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL  
(Delegación Xochimilco).

EI COMPOSTAJE.  
[www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)

DEL VAL ALFONSO  
El libro del reciclaje

DIAZ L. SAVAGE G. y EGGERTH L. 1993  
Composting and Recycling Municipal Solid Waste

Dipl.-Ing. Jurgen Emberger, Dipl.-Ing. Gunter Muller  
Instalaciones Técnicas para Plantas de Tratamiento Biológico de Desechos Sólidos  
Erich Schmidt-Verlag  
Berlín.1998

[www.ecoport.com.ar](http://www.ecoport.com.ar)

EVA ROSEN  
Guía para la selección del Lugar y el diseño de Plantas de Compostaje  
Proyecto del Banco Mundial para el Fortalecimiento Institucional del Ministerio Turco del  
Medio Ambiente  
Estambul, 1999

[www.gecen.org](http://www.gecen.org)

JEAN-BERNARD LEROY.  
Los desechos y su tratamiento

[www.lombricultura.net](http://www.lombricultura.net)

LOPEZ MARTINEZ , ET AL.

Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz.

MORALES YOLANDA, RODRIGUEZ ANDREU CARLOS, ALVREZ VALINO AGUSTIN  
Elaboración de compost a partir de desechos vegetales y la adición de diferentes sustratos.

Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba.1993

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE

NEBEL WRIGHT

Ciencias Ambientales, Ecología y desarrollo sustentable

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD.

Manual para la elaboración de composta, bases conceptuales y procedimientos.

OLGA ZARELA RÍOS, SONIA SALAS, MIGUEL SÁNCHEZ

Manual de Lombricultura en Trópico Húmedo

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana

ROBEN EVA

Manual de Compostaje Para Municipios.

DED/Ilustre Municipalidad de Loja, Ecuador. 2002

SASKIA LUGO

Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador

Fundación Naturta/Repamar/Cepis/GTZ

[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

# ANEXOS

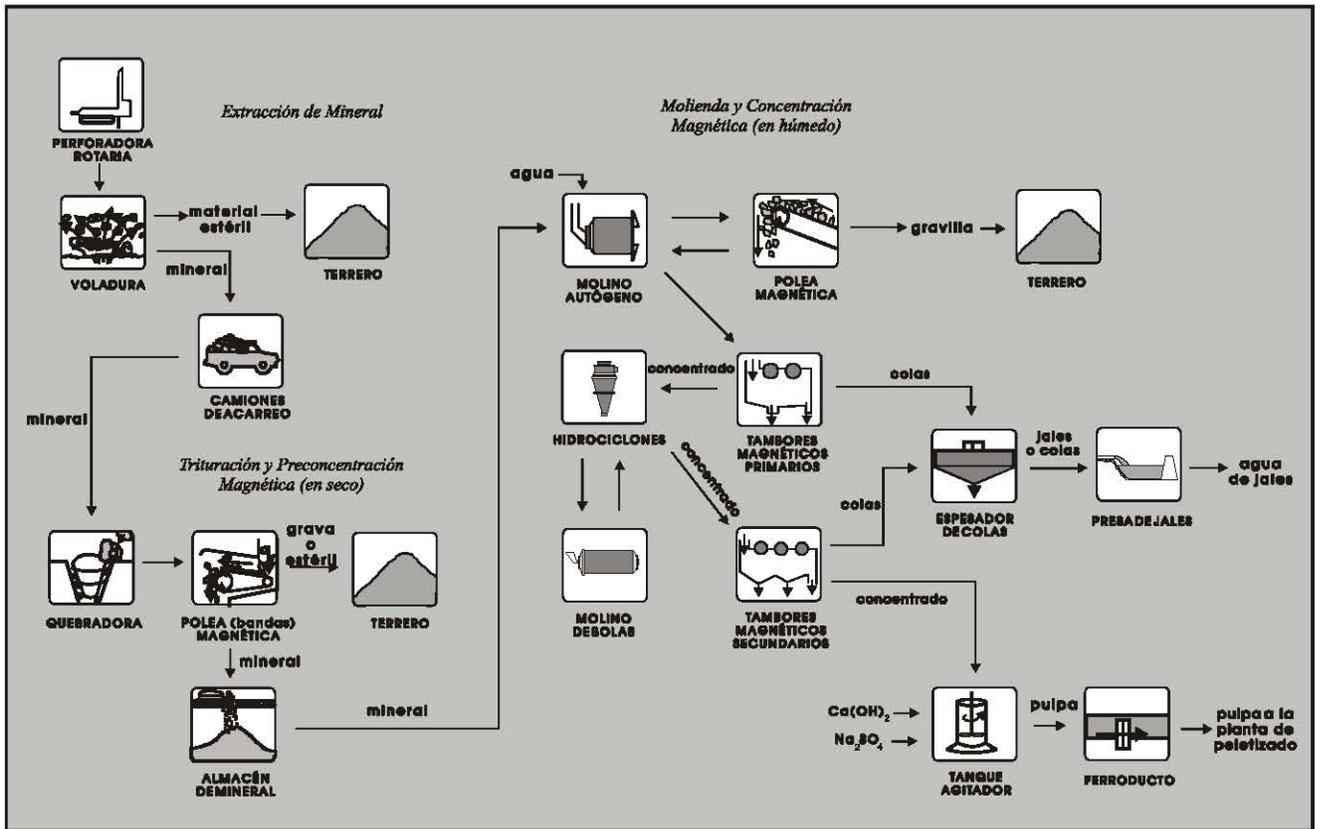


Figura 1.1  
Diagrama de flujo  
del proceso en la mina

## **Descripción del proceso de concentración del mineral**

### **Proceso en la planta**

El proceso que se realiza se divide en las siguientes etapas:

- ☑ Trituración y preconcentración magnética
- ☑ Molienda y concentración magnética

### **Trituración y preconcentración magnética**

El proceso de trituración es la reducción del tamaño del mineral que llega a la planta. De un promedio de 70 cm de diámetro el mineral se reduce, hasta un tamaño no mayor a 20 cm, por medio de una quebradora giratoria de cono.

El mineral triturado se manda al proceso de preconcentración en seco. Aquí, por medio de poleas magnéticas, se separa el mineral con alto contenido de magnetita del material estéril. Este último se envía a un terrero, mientras que el mineral preconcentrado se almacena en el patio para después enviarlo al proceso de concentración.

### **Molienda y concentración magnética**

El proceso de concentración comienza con la molienda en húmedo del mineral, en un molino autógeno.

De este primer paso de molienda se generan dos productos, la gravilla y los materiales finos.

La gravilla se somete a una selección magnética para recircular el material que contiene hierro, mientras que el resto se envía a un terrero de gravilla (material estéril). Los materiales finos (pulpa de mineral) pasan a una etapa primaria de separación en la cual se utilizan tambores magnéticos rotatorios. El mineral magnético recuperado se manda a los hidrociclones para su clasificación por tamaños (finos y gruesos).

El resto de la suspensión (que no es magnética) se envía a un tanque sedimentador primario de colas y posteriormente al tanque espesador<sup>3</sup>.

La separación en los hidrociclones se realiza en dos pasos en serie; el material fino se envía a una etapa secundaria de concentración magnética, mientras que el material grueso se manda a una segunda etapa de molienda en un molino de bolas. El producto de esta etapa de molienda se recircula a los hidrociclones.

---

<sup>3</sup> Las colas se denominan al material que no es magnético. Este mismo material se llama jales cuando sale de la planta de concentración para su disposición final.

La etapa secundaria de concentración también se realiza en tambores magnéticos. Aquí el mineral magnético, que constituye el producto final del proceso y que se denomina concentrado, pasa al espesador de pulpa para finalmente ser enviado por el ferroaducto hacia la planta de peletizado. En los tanques espesadores de pulpa se sedimentan las partículas suspendidas, hasta que se alcanzan las características requeridas para el envío por ferroaducto (67% de sólidos y densidad de 2.08 g/cm<sup>3</sup>). Posteriormente, se pasa a un tanque con agitación mecánica en donde se agregan lechada de cal (solución de hidróxido de calcio) y sulfito de sodio con lo que se evita la sedimentación del concentrado y la corrosión del ferroaducto.

El material no magnético, de la etapa secundaria de concentración, va al tanque sedimentador primario de colas. En este tanque se obtienen dos efluentes. El primero se encuentra en el fondo y se forma por las arenas sedimentadas que se envían directamente a la presa de jales, y el segundo efluente es una suspensión de partículas finas que pasa al tanque espesador, donde se le agrega un floculante aniónico (poliacrilamida) que permite la sedimentación de las partículas más finas y la separación del agua clarificada. Estas partículas se envían también a la presa de jales y el agua, que se separa por decantación, se recircula al proceso.

### **Proceso en la planta de peletizado**

La pulpa (mezcla de concentrado y agua) llega por el ferroaducto a la planta de peletizado y se descarga directamente en los tanques espesadores o se almacena en el tanque Marcona. El proceso de peletizado consta de las siguientes etapas:

- Filtración y boleó
- Endurecimiento
- Selección
- Almacenamiento y embarque

### **Filtración y boleó**

El proceso de peletizado inicia precisamente en el tanque espesador, donde se regula la densidad de la pulpa y se elimina parte del agua. Esta agua se recupera y se utiliza en el proceso.

Del espesador, la pulpa se manda a tanques agitadores donde se mantiene en constante movimiento para después pasar a los filtros de vacío. En estos filtros se elimina la mayor cantidad del agua, prácticamente el 90 %. El concentrado queda con una humedad de 9 a 10 % en promedio.

Al concentrado húmedo se le agrega un aglutinante orgánico a través de un dosificador. Esta mezcla pasa a un homogeneizador y posteriormente a las tolvas donde se almacena para alimentar a los discos peletizadores.

Los discos peletizadores son inclinados y operan por el principio de “bola de nieve”. El concentrado cae dentro de ellos y el giro del disco hace que el concentrado se aglomere en forma esférica; a estas esferas se les denomina *pellets*.

A los pellets que salen de los discos se les llama pellets “verdes”. Estos se envían a una criba de rodillos donde se separan los pellets con tamaño mayor a 16 mm (5/8 in) y menor a 6.35 mm (1/4 in), para regresarlos a los discos peletizadores. Los pellets con tamaño entre 16 mm y 6.35 mm se alimentan al horno.

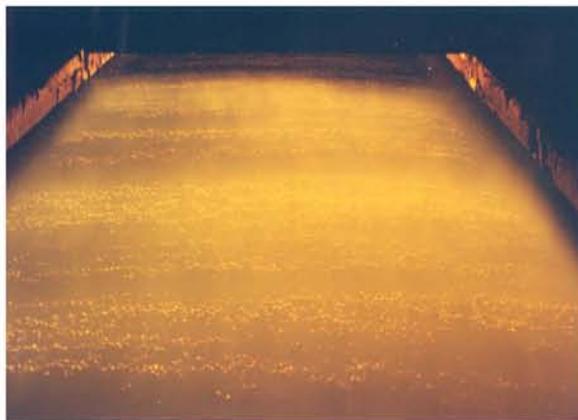
## **Endurecimiento**

Para la etapa de endurecimiento, el pellet verde se distribuye en una parrilla que pasa a lo largo del horno. El horno se divide en zonas que realizan el secado y endurecimiento del pellet, mediante flujos de aire caliente ascendente y descendente a diferentes temperaturas.

El horno está dividido en 6 zonas que son:

- ☑ Secado ascendente (300°C)
- ☑ Secado descendente (320°C)
- ☑ Zona de precalentamiento (900°C)
- ☑ Zona de alta temperatura (1200°C)
- ☑ Enfriamiento primario (900°C)
- ☑ Enfriamiento secundario (450°C)

En el horno el aire caliente se recircula con el fin de optimizar el gasto energético. Así, con el aire de salida de la zona de enfriamiento secundario se hace el secado ascendente, con una fracción de aire de la zona de alta temperatura se hace el secado descendente, el precalentamiento se realiza con otra fracción de aire procedente de la zona de alta temperatura y el aire que sale de la zona de enfriamiento primario pasa directamente a la zona de alta temperatura.



*Figura 36*  
**PARRILLA Y HORNO**  
**CMBJPC**

## **Selección**

El pellet cocido se manda a una etapa de selección. En esta etapa también se lavan los pellets con agua de proceso, para enfriarlos y evitar el desprendimiento de polvo.

La selección se hace por medio de cribas y se separan tres tamaños de pellet; el de diámetro mayor o igual a 10 mm, el de diámetro menor de 10 mm pero mayor o igual a 6 mm y el de diámetro menor a 6 mm. La fracción de mayor tamaño se recircula al horno para formar con ellos una cama protectora sobre la parrilla, el pellet de tamaño intermedio se manda al almacén de pellets, y la fracción de menor tamaño se muele en un molino de bolas y el producto se recircula al proceso.

## **Almacenamiento y embarque**

En el almacén de producto final, el pellet se clasifica de acuerdo con sus especificaciones<sup>4</sup>. De aquí, se manda a la zona de embarque. El producto puede ser transportado por ferrocarril o por barco. En el primer caso los pellets se cargan directamente en las góndolas de ferrocarril; en el segundo, se cargan en camiones que lo llevan hasta el puerto para posteriormente embarcarlos.

---

<sup>4</sup> Los pellets pueden tener diferentes especificaciones, de acuerdo a los requerimientos del cliente.

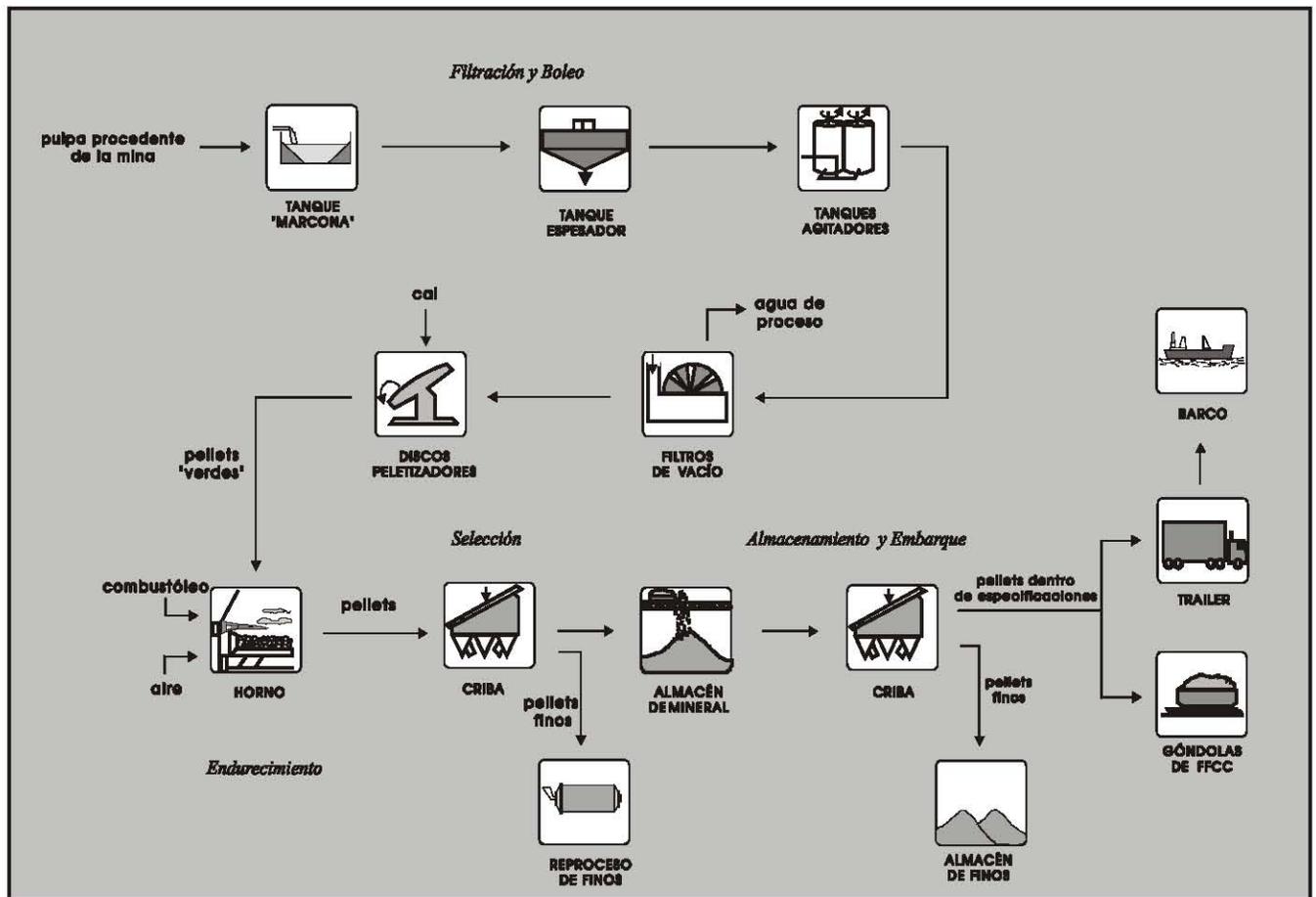


Figura 1.2  
Diagrama de flujo del  
proceso en la planta de peletizado

## **Descripción del entorno geológico y geográfico**

### **Geología**

En la mina y zonas aledañas afloran rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas metamórficas son las más escasas y las más antiguas, y pertenecen al Jurásico.

Las rocas sedimentarias marinas, que corresponden al Cretácico, están ampliamente distribuidas en la zona y forman estructuras plegadas discontinuas, debido a las rupturas producidas en la corteza terrestre por la actividad volcánica y tectónica.

En el área de la mina, las rocas más antiguas corresponden a una secuencia marina vulcano-sedimentaria, de facies de plataforma, la cual cambia de rocas calcáreas masivas arrecifales a una secuencia vulcanoclástica representada por calizas arenosas, tobas, derrames basálticos y sedimentos conglomeráticos; todos en aparente concordancia y probablemente pertenecientes a la fase regresiva de la Formación Tepalcatepec del Cretácico Medio.

Las rocas mesozoicas están afectadas por un cuerpo intrusivo de composición diorítica, al que se asigna una edad del Cretácico Superior al Terciario Inferior.

Una parte de las instalaciones de la mina se encuentra en una zona de skarn y/o hornfels en granates con bandas de mineral de hierro (magnetita), piritita, calcopiritita, epidota, calcita y wollastonita. El skarn se produce a partir de las rocas volcánicas de composición andesítica, interestratificadas con rocas sedimentarias de tipo calcáreo-pelítico, afectadas por metamorfismo de contacto. El resto de las instalaciones se ubica en una área caracterizada por una secuencia de rocas vulcano-sedimentarias formadas a partir de rocas volcánicas de composición andesítica, interestratificadas con estratos de calizas pelíticas y lutitas. Estas rocas no fueron afectadas en su totalidad por el metamorfismo de contacto, sólo por una baja recristalización y silicificación, dando como resultado una roca de mayor dureza y consistencia.

### **Hidrología y geohidrología**

El CMBJPC de acuerdo con sus características hidrológicas forma parte de la región Costa de Jalisco, que se extiende a lo largo de la vertiente del Océano Pacífico con características hidrográficas y orográficas homogéneas. Los ríos son de trayectorias cortas debido a la cercanía de la región costera con las zonas montañosas. A esta región pertenece la cuenca del río Minatitlán-Marabasco-Cihuatlán; específicamente el río Minatitlán se encuentra a 2 650 m en línea recta del área donde se ubica la mina.

Cerca de la mina también se encuentra el arroyo Las Mulas, con una corriente intermitente presente sólo durante la temporada de lluvias, y el arroyo Las Truchas, con corriente permanente; ambos son afluentes del río Minatitlán.

El régimen de corrientes superficiales de la zona es variable debido, principalmente, a la influencia de los ciclones durante los meses de agosto a octubre. Las lluvias más

fuertes generalmente se presentan desde junio hasta octubre, con volúmenes y frecuencias máximas en el mes de septiembre.

Un estudio geohidrológico de la cuenca del río Minatitlán, realizado para el CMBJPC en 1996 (GEOEX, 1996), reporta el afloramiento superficial de cuatro unidades geológicas: calizas y lutitas, conglomerado poligmítico, andesitas viejas y granulares formadas por aluviones y fluvisoles. Las tres primeras unidades geológicas conforman una unidad geohidrológica impermeable, mientras que la unidad de aluvión y fluvisoles conforma una unidad geohidrológica de permeabilidad alta, en la que se encuentra el acuífero de la zona con un espesor de 25 m. Las instalaciones del CMBJPC quedan dentro de la unidad geohidrológica impermeable; sin embargo, el grado de escurrimiento superficial es alto, debido a la impermeabilidad de las rocas y a la inclinación de las laderas en los cerros de la mina.

## **Suelo**

De acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO, las principales unidades de suelo que se presentan en el área de la mina y en sus alrededores son: litosol, regosol éútrico, regosol dístrico, cambisol dístrico, cambisol ferrálico y fluvisol.

En extensión superficial predominan los litosoles, que cubren la zona de explotación del mineral de hierro y las laderas aledañas. Las características de estos suelos son variables, debido principalmente al tipo de materiales que los forman; además son poco profundos por el incipiente desarrollo que muestran. La susceptibilidad de los litosoles a la erosión se incrementa con la pendiente existente en los cerros.

Los regosoles se localizan hacia el norte y sur del área de la mina, en las partes bajas de los montes. Son suelos de origen residual, poco desarrollados y frecuentemente asociados a los litosoles y cambisoles.

Los cambisoles están en la parte baja de los montes junto a las planicies del río Minatitlán, éstos se distinguen por tener en el subsuelo una capa de alteración en la roca que gradualmente se convierte en suelo. La susceptibilidad de los cambisoles a la erosión es de moderada a alta.

En las planicies del río Minatitlán se encuentran los fluvisoles. Estos suelos se caracterizan por ser de origen aluvial y de reciente formación, sin estructura y poco desarrollados.

Debido a que en la mina la explotación del mineral es a cielo abierto, el suelo original se ha removido y en la zona donde se ubican las instalaciones y los caminos predomina un recubrimiento con material de relleno (principalmente roca fragmentada).

Las condiciones climáticas, el relieve y el suelo, son los principales factores que influyen en la diversidad y distribución de la vegetación.

Las especies predominantes en el área de la mina y zonas aledañas, son: selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, matorral espinoso y bosque de encino. Aproximadamente a 10 km. en línea recta del predio minero, están los límites de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Sierra de Minatitlán.