

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA**

Facultad de Ciencias y Humanidades

Manejo integral de desechos sólidos del complejo de parques del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA): Acuático Xocomil, Vacacional Tzapotitlán y de Diversiones Xetulul, ubicados en San Martín Tzapotitlán, Retalhuleu.

FASE II

**Diseño de las unidades de tratamiento y aspectos de
operación y mantenimiento**

Por Elbia Elizabeth Marroquín y Marroquín

**Guatemala
2003**

Manejo integral de desechos sólidos del complejo de parques del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA): Acuático Xocomil, Vacacional Tzapotitlán y de Diversiones Xetulul, ubicados en San Martín Tzapotitlán, Retalhuleu.

FASE II

Diseño de las unidades de tratamiento y aspectos de operación y mantenimiento

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA**

Facultad de Ciencias y Humanidades

**Manejo integral de desechos sólidos del complejo de parques
del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa
Privada de Guatemala (IRTRA): Acuático Xocomil, Vacacional
Tzapotitlán y de Diversiones Xetulul, ubicados en San Martín
Tzapotitlán, Retalhuleu.**

FASE II

**Diseño de las unidades de tratamiento y aspectos de
operación y mantenimiento**

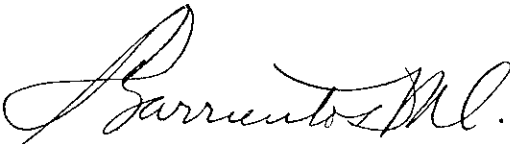
Por Elbia Elizabeth Marroquín y Marroquín

**Trabajo de investigación presentado para optar el grado
académico Maestría en Estudios Ambientales**

**Guatemala
2003**

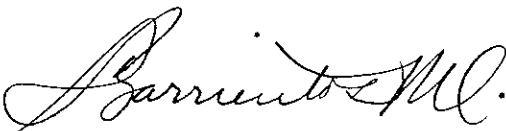
**BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Vo. Bo. :

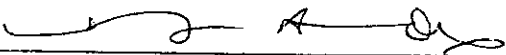
(f) 

Doctor Cesar Augusto Barrientos

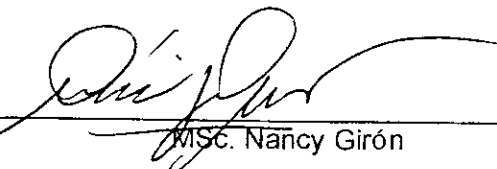
Tribunal :

(f) 

Doctor Cesar Augusto Barrientos

(f) 

Doctora Margaret Dix

(f) 

MSc. Nancy Girón

Fecha de aprobación : Guatemala, 27 de noviembre de 2003.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE GRÁFICAS.....	ix
LISTA DE PLANOS DE DISEÑO.....	ix
RESUMEN.....	x
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. MARCO CONCEPTUAL	4
IV. ANTECEDENTES	9
V. OBJETIVOS	11
VI. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO NATURAL.....	12
VII. MÉTODOS	15
A. Proyecciones de producción de desechos sólidos.....	15
B. Selección de ubicación del proyecto.....	21
C. Recolección y análisis de información topográfica del terreno.....	21
D. Determinación del tipo de unidades de tratamiento de acuerdo a caracterización.....	21
E. Determinación del sistema de operación de la planta.....	22

	Página
F. Criterios para el diseño de la planta de tratamiento.....	24
G. Planos de diseño.....	32
H. Aspectos de operación y mantenimiento.....	32
VIII. RESULTADOS.....	34
A. Proyecciones de la producción de desechos sólidos.....	34
B. Ubicación del proyecto.....	48
C. Información topográfica del predio.....	48
D. Diseño de la planta de tratamiento.....	50
E. Planos de diseño.....	60
F. Aspectos de operación y mantenimiento.....	67
IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	75
X. CONCLUSIONES.....	79
XI. RECOMENDACIONES.....	81
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	83
XIII. APÉNDICE.....	84
A. Monografía del complejo de parques recreativos del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA): Acuático Xocomil, Vacacional Tzapotitlán y de Diversiones Xetulul.....	85
B. Glosario.....	88

PREFACIO

Agradezco al Señor Ricardo Castillo Sinibaldi, Presidente del IRTRA y al Señor Manuel Valdez Berthet, Gerente General, por las facilidades proporcionadas para la elaboración del presente proyecto que espero recompensar al proveerles un documento que les sea útil. A mis asesores, el Ingeniero César Barrientos, y a la Doctora Margaret Dix quienes aportaron de su preciado tiempo y conocimientos. Así mismo agradezco al Ingeniero Ervin Rivera por sus comentarios que ayudaron a dar forma al documento y a la Licenciada Nadia Mijangos, mi gran colaboradora.

También deseo agradecer a mis hermanos Víctor y Miriam por su apoyo y cariño de siempre y a toda mi familia Marroquín que durante generaciones han sido ejemplo de esfuerzo en la búsqueda de un futuro mejor.

DEDICATORIA

A quienes a través de sus relatos, de sus vivencias de su niñez en el campo, en una pequeña aldea del departamento de Chimaltenango, me enseñaron a amar la naturaleza.

Mis padres: Félix y Amalia Marroquín.

A Dios

Por el tiempo que me brindó la oportunidad de compartir
con ellos todas esas vivencias.

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Promedio de visitantes mensual de los parques Vacacional y Acuático, durante los años 1999, 200, 2001.....	36
2. Descripción de los proyectos futuros a desarrollarse en el complejo recreativo del IRTRA.....	37
3. Producción diaria de desechos sólidos del parque Acuático, proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.....	40
4. Producción diaria de desechos sólidos del parque Vacacional, proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.....	41
5. Producción diaria de desechos sólidos del parque de Diversiones, proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.....	42
6. Producción diaria de desechos sólidos de los proyectos futuros, proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.....	43
7. Producción diaria de desechos sólidos del complejo recreativo, proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.....	44
8. Producción anual de material no recuperable del complejo recreativo proyectada al año 2023.....	46
9. Lista de los planos de diseño de las instalaciones de la planta de tratamiento de los desechos sólidos del complejo recreativo.....	60

LISTA DE GRÁFICAS

	Página
GRÁFICA	
1. Producción diaria de material biodegradable del complejo recreativo proyectada al año 2023.....	45
2. Producción anual acumulada de material no recuperable del complejo recreativo proyectada año 2023.....	47
3. Fotografías del predio para la construcción de la planta de tratamiento de los desechos sólidos del complejo recreativo IRTRA.....	49

LISTA DE PLANOS DE DISEÑO

	Página
PLANO	
1. Localización del predio.....	61
2. Localización de instalaciones en plano altimétrico y fachadas...	62
3. Secciones de planta de terreno, relleno sanitario y celdas.....	63
4. Planta acotada, oficina y garita, caseta de selección y almacenaje, cámaras de compostaje, cortes y detalles varios...	64
5. Laguna de estabilización de lixiviados y detalles.....	65
6. Planta de instalación de drenajes y detalles.....	66

RESUMEN

Este trabajo de tesis es la segunda fase del proyecto de manejo integral de desechos sólidos para el complejo de parques del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA): Acuático Xocomil, Vacacional Tzapotitlán y de Diversiones Xetulul, ubicados en San Martín Tzapotitlán, Retalhuleu. Su finalidad incluye el diseño de las unidades de tratamiento y aspectos de operación y mantenimiento, adecuados a las necesidades del lugar, en términos técnicos y ambientales, para evitar la contaminación del ecosistema, ocasionada por las actividades de recreación en el área.

Entre los métodos utilizados para establecer las directrices para el diseño de las instalaciones se encuentran: proyecciones de producción de desechos sólidos, de acuerdo a estadísticas actuales de los parques existentes y de proyectos futuros; recolección y análisis de información topográfica del terreno; determinación del tipo de unidades de tratamiento de acuerdo a la caracterización de desechos sólidos de los parques; diseño de las unidades de tratamiento con base en criterios de diseño establecidos y determinación del sistema de operación y mantenimiento de la planta.

Como resultado final se entregó el presente informe del estudio que incluye un juego de planos de diseño en donde se definen las especificaciones técnicas de ingeniería que describen la infraestructura de las diferentes unidades de tratamiento, conformado por las siguientes unidades: área administrativa (oficina y garita), caseta de selección y almacenaje, cámaras de compostaje, relleno sanitario, laguna de estabilización de lixiviados y la obra exterior para el funcionamiento eficiente de la misma.

Se concluyó que el tratamiento de los desechos sólidos propuesto para el complejo recreativo del IRTRA, corresponde con el tipo de desechos generados en los parques y que la ubicación de las unidades de tratamiento es acorde con el orden de operación de la planta. Además, el tratamiento del material orgánico propuesto representa un sistema novedoso en el mundo, por cuanto se realiza por oxigenación por medio de canales provistos con rejilla en el fondo de las

cámaras, que permiten el paso de aire proveniente del piso y la extracción del aire caliente mediante extractores rotatorios en el techo.

Entre las ventajas del sistema propuesto se puede mencionar que evita la excesiva manipulación por volteos sucesivos y la mecanización sofisticada, y no causa malos olores por tratarse de una descomposición aerobia. En el caso del relleno sanitario, éste no presenta problemas respecto a la formación de gas bioquímico, porque la materia orgánica putrescible, al menos en un 80.00% se extraerá del material inerte.

La infraestructura propuesta es sencilla, se emplean procedimientos y materiales de bajo costo, frecuentemente utilizados en Guatemala. El diseño de los procesos de tratamiento y disposición final provee un mantenimiento y una operación relativamente sencillos (menos manipulación y mecanización modesta).

Como aspectos significativos se recomienda la realización de un estudio de evaluación de impacto ambiental previo a la construcción de las instalaciones, así como seguir las siguientes directrices durante la operación de la planta: en cada cámara, realizar pruebas utilizando diferentes cantidades de hojarasca, para mejorar la relación C/N del compost; mantener una humedad del 40.00% en la etapa inicial del compostaje y de 60.00% a 70.00% durante las siguientes fases; conservar la temperatura superficial del compost entre los 38°C y 45°C y a 1.00 m de profundidad entre 65°C y 70°C. Además, se propone que el área de relleno sanitario sea recuperada para fines de jardinería o de un parque recreativo adicional, mediante la reforestación de la misma. En el caso de los desechos recuperables las empresas que los recolectan no deben tardarse mucho tiempo en recogerlos para evitar la proliferación de plagas.

Finalmente, se recomienda la construcción de la planta de tratamiento de desechos sólidos bajo las especificaciones y directrices propuestas en el presente documento.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es la segunda fase del estudio del manejo integral de desechos sólidos realizado para el complejo de parques del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA): Acuático Xocomil, Vacacional Tzapotitlán y de Diversiones Xetulul, ubicados en San Martín Tzapotitlán, Retalhuleu. El trabajo incluye el diseño técnico de las unidades de tratamiento de los desechos sólidos generados y está basado en los resultados del estudio de la caracterización de los mismos, realizada en la primera fase del proyecto (Mijangos, 2002).

La primera parte de este estudio consistió en el desarrollo de las proyecciones de población y producción de desechos para un período de diseño de 13 años, seis meses. Esta proyección incluye, además de los tres parques mencionados, los proyectos que la junta directiva del IRTRA tiene programado construir en los próximos siete años. Entre estos proyectos destaca mencionar las ampliaciones en el área de los hostales, un complejo residencial para trabajadores y sus familias, Camping Place, parque de Aventuras, área deportiva y centro de convenciones. La segunda parte incluye el diseño de una planta de tratamiento de desechos sólidos y un relleno sanitario acoplado para material no recuperable. El conjunto consiste en: oficina y garita; caseta de selección y almacenaje; cámaras de compostaje; relleno sanitario y laguna de estabilización de lixiviados.

Para la presente propuesta se decidió utilizar como modelo el sistema de Alameda Norte, ubicado en la colonia Alameda Norte, zona 18 de la Ciudad de Guatemala. Este proyecto es considerado como la primera experiencia en el campo de tratamiento integral alternativo de desechos sólidos en Guatemala. Este ha funcionado ininterrumpidamente durante 18 años de manera autosostenible, debido a que cuenta con instalaciones fáciles de operar y mantener.

La concepción y diseño de las instalaciones propuestas, enfatiza la reutilización limitada del material inorgánico (43.00%, en peso) y el reciclaje de la porción mayoritaria que es materia orgánica putrescible (57.00%, en peso). Una porción mayoritaria de este último se procesa por medio del compostaje, que consiste en un proceso de biodegradación aerobia o estabilización de la materia orgánica por medio de bacterias termofílicas y la micro y macrobiota presente. Este permite la obtención del así llamado abono orgánico, que es necesario para reacondicionar suelos degradados.

Al eliminarse el 57.00% en peso del material orgánico a través de proceso de descomposición aerobia, se eliminan las molestias de malos olores y problemas de contaminación de fuentes de agua que producen los lixiviados (líquidos que percolan a través de la basura) en el relleno sanitario y a su vez, prolongando su vida útil. Asimismo, se eliminan patógenos, nemátodos y vectores como las moscas, dado el carácter exotérmico del proceso, pues la temperatura se mantiene entre 60°C y 70°C, por más de 30 días.

En relación a la parte de infraestructura, se mantuvo la sencillez, mediante la utilización de procedimientos y materiales de bajo costo utilizados con frecuencia en Guatemala (cimentaciones y plataformas de concreto armado, muros de *block* reforzado y armaduras de hierro y lámina, techo de lámina, instalaciones convencionales, etc.). El diseño de los procesos de tratamiento y disposición final (por cámaras de compostaje y relleno de rechazos inertes) provee un mantenimiento y operación relativamente sencillos (menos manipulación y mecanización modesta). De esta cuenta, se minimizan los riesgos de parar la operación, como sucede en proyectos de alta inversión en este campo. Todo, traducido en el aseguramiento de la continuidad y sostenibilidad del proyecto.

Con estas y otras características novedosas aplicadas en el presente diseño y en las prácticas consecuentes, caso del sistema de manejo de desechos sólidos propuesto, el proyecto resultante constituirá un ejemplo, a la manera de un proyecto demostrativo, adecuado a las condiciones propias de Guatemala, tal como el proyecto de Alameda Norte en áreas análogas del litoral Pacífico. Se conjugan en este caso, elementos de prácticas tecnológicas apropiadas y de gestión ambiental municipal, gubernamental, comunitario y privado, al alcance de todos, acorde con las características biofísicas y socioculturales que le son propias. Es muy importante que éstos y otros puntos novedosos del sistema de manejo de desechos sólidos aquí propuesto, dentro de su conjunto, sea tomado en cuenta a la hora de emitir juicios sobre costos y viabilidad económica e impactos ambientales.

Con la presente contribución se espera que el complejo de parques recreativos del IRTRA en Retalhuleu pueda contar con un manejo integral de los desechos sólidos y que el mismo sirva de base para otros parques tanto del IRTRA, como de cualquier otro proyecto recreativo en el país. Esto, sin desestimar que el sistema propuesto por sus características, sirva de modelo también para los poblados circunvecinos en calidad de proyectos municipales de aseo urbano.

II. JUSTIFICACIÓN

El manejo de los desechos sólidos generados en el complejo de parques recreativos del IRTRA, se ha realizado de manera empírica, mediante un vertedero para el material no recuperable y montículos de poca altura de descomposición anaerobia para el material biodegradable. Los principales problemas que ha presentado este tipo de manejo es la contaminación en el área en mención, la cual se extiende a las demás instalaciones, principalmente del parque Vacacional. Esta contaminación incluye la proliferación de moscas y malos olores ocasionados por la descomposición anaerobia de la materia putrescible. Así mismo, el espacio para la colocación de los montículos de materia biodegradable es reducido, mientras que la generación de los mismos ha ido aumentando conforme han aumentado los servicios que el complejo recreativo presta. Esta situación se complica aún más, si se toma en cuenta que los montículos, por ser de poca altura, necesitan más tiempo para la descomposición. Otro de los grandes problemas es que el espacio para el vertedero se encuentra casi saturado debido a que los desechos generados en aproximadamente 15 años se han ido enterrando de manera desordenada.

Por otro lado en los próximos siete años, con el funcionamiento de los nuevos proyectos que el IRTRA tiene ya planificados, va a aumentar considerablemente la producción de desechos sólidos. De no darle una solución adecuada al problema del manejo deficiente de los mismos, no existirá espacio disponible en el área, con lo cual se espera un vertedero a cielo abierto, en cuyo caso los efectos sobre el medio ambiente podrían ser graves repercutiendo en las comunidades vecinas.

El tratamiento y la disposición final propuesta, se encuentran sustentados en los resultados obtenidos en la primera fase del proyecto y basados en la caracterización de los desechos sólidos (Mijangos, 2002), así como en el terreno disponible. Con la debida puesta en marcha del proyecto se espera no solamente contar con un manejo adecuado de los desechos sólidos que evite los impactos ambientales indeseables, sino también suplir la demanda de compost que actualmente es deficiente para el mantenimiento de los jardines de los parques.

III. MARCO CONCEPTUAL

A. Manejo integral de los residuos sólidos

Manejo integral de residuos sólidos se le denomina al conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos producidos en una zona un destino más adecuado desde el punto de vista ambiental y a través de tomar en cuenta las características, como el volumen, y procedencia de los desechos, su costo de tratamiento, posibilidades de recuperación y de comercialización y directrices administrativas (Szantó, 1996).

B. Tratamiento

Estas son operaciones destinadas a realizar la transformación de los residuos en las mejores condiciones de higiene y de protección del medio ambiente. Los sistemas actualmente más utilizados son el vertedero controlado, el reciclado y el compostaje. Si bien aún es muy utilizado el vertido incontrolado para eliminar las basuras, éste no puede ser considerado un sistema de tratamiento, sino un simple abandono de las mismas (Szantó, 1996).

C. Recuperación

Este es un proceso que tiene por objeto la recuperación de forma directa o indirecta de los componentes que contienen los residuos sólidos. Este sistema de tratamiento está fundamentado sobre el nuevo concepto de gestión de los residuos sólidos que debe tender a lograr los objetivos siguientes (Szantó, 1996):

- Conservación o ahorro de energía
- Conservación de recursos naturales
- Disminución del volumen de residuos que hay que eliminar
- Protección del medio ambiente.

La recuperación puede dividirse en tres categorías que se describen a continuación:

1. La reutilización es el reuso directo de un producto o material que se ha limpiado (botellas y envases, cajas de cartón), reparado o vuelto a armar (motores).
2. El reciclaje es el proceso mediante el cual los desechos se incorporan al proceso industrial como materia prima para su transformación en un nuevo producto de composición similar (vidrios rotos, papel y cartón, metales, plásticos, etc.).

3. Finalmente, la última categoría es el uso constructivo y transformación de desechos en diferentes productos (recuperación de tierras por relleno sanitario, conversión de desechos orgánicos en compost) o en fuente de energía (gas bioquímico producido por la digestión anaerobia de los desechos orgánicos y recuperación de calor proveniente de la incineración de las basuras) (Szantó, 1996).

D. Relleno sanitario o vertedero controlado

El relleno sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública, tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, compactándola para reducir su volumen y cubriéndola con capas de tierra diariamente para separar adecuadamente los desechos del ambiente exterior. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno por efecto de la descomposición de la materia orgánica (Jaramillo, 1991). Las ventajas de un relleno sanitario son las siguientes:

- Los procesos de operación y mantenimiento son de bajo costo.
- La operación de la planta genera empleo para mano de obra no calificada.
- Puede estar tan cerca del área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte.
- Una vez finalizado, se puede utilizar para la construcción de un área recreativa, campo deportivo, etc.

Las desventajas son las siguientes:

- La adquisición del terreno representa un alto costo inicial del proyecto.
- Los asentamiento más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado.

Existen tres maneras distintas para construir un relleno sanitario:

1. Método de zanja o trinchera. Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de 2.00 m o 3.00 m de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra.

2. Método de área. Este método se utiliza en áreas relativamente planas donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras. Estas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. Se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno. Se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

3. Método de rechazos inertes. Siguiendo indicaciones constructivas análogas a las dos anteriores, se puede conformar un relleno seco por estar constituido de material no putrescible (rechazos inertes), en capas similares a las descritas con aplicaciones de material de cobertura. Esta modalidad de relleno de rechazos inertes constituye el adecuado complemento de una planta de tratamiento: compostaje de la materia orgánica y enterramiento adecuado del material de rechazo no putrescible ni reciclable de los residuos sólidos. Ya libre el material que se debe enterrar, de la porción biodegradable, el relleno requiere de menores intervenciones constructivas como impermeabilización estricta del fondo del relleno, respiraderos para la extracción del gas bioquímico, así como menor área y volumen (terrenos menores o mayor vida útil).

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno, es decir, la basura se vacía en la base del talud, se extiende y apisona contra él y se recubre diariamente con una capa de tierra de 0.05 m a 0.10 m de espesor. Se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 30° en el talud y de 1° a 2° en la superficie. Luego se procede a la conformación de celdas de aproximadamente 1.00 m de alto, con una capa final de cobertura de 0.20 m a 0.30 m.

Dado que estos métodos de construcción de un relleno sanitario tienen técnicas similares de operación, pueden combinarse lográndose un mejor aprovechamiento del terreno y del material de cobertura.

E. Compostaje

Es un proceso de descomposición biológica, por vía aerobia, de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos en condiciones controladas. Las bacterias actuantes son termofílicas, desarrollándose el proceso a temperaturas comprendidas entre 50°C y 70°C lo que produce la eliminación de los gérmenes patógenos y la inocuidad del producto (Szantó, 1996).

El material resultante del proceso, llamado compost, no es enteramente un abono, aunque contiene nutrientes y oligoelementos, es mejor como un regenerador orgánico del terreno, razón por la que se le ha denominado abono orgánico. Sus efectos positivos sobre el suelo son:

- Suelta los terrenos compactados y sostiene los demasiado sueltos.
- Favorece el abonado químico al evitar la percolación.
- Aumenta la capacidad de retención de agua por el suelo.
- Es fuente de elementos nutritivos (nutrientes más oligoelementos).
- Aumenta el contenido de materia orgánica del suelo.
- Es aséptico, libre de bacterias patógenas, semillas, huevos de ácaros, larvas, nemátodos, etc., pero con intensa vida bacteriana que activa los procesos bioquímicos del suelo.
- Sus elementos nutritivos están en forma de humus, fácilmente asimilable.
- Mejora química, física y biológicamente el suelo, ahorrando fertilizantes, aunque no sustituyéndolos.

F. Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son construidas comúnmente de tierra, diseñadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa, principalmente bacterias y algas. La función real del proceso es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas de desecho realizando una descomposición biológica natural. Normalmente se diseña el proceso para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos y coliformes fecales. A continuación se describen tres tipos de lagunas, de acuerdo a la manera como funcionan (Oakley, 1997).

1. Lagunas facultativas. Estas se caracterizan por tener una zona aerobia en el estrato superior, donde existe la simbiosis entre algas y bacterias y una zona anaerobia en el fondo inferior. Existen dos mecanismos de adición de oxígeno al estrato superior: la fotosíntesis llevada a cabo por las algas, y la aireación a través de la acción del viento de la superficie. Las bacterias aerobias realizan un tratamiento de los desechos, particularmente la materia orgánica disuelta, mediante asimilación y oxidación de la materia orgánica con la producción de bióxido de carbono y productos secundarios de nutrientes como amoníaco y nitrato, las algas utilizan el bióxido de carbono y los nutrientes para producir oxígeno a través de la fotosíntesis. En los niveles más profundos existen condiciones anaerobias donde la descomposición ocurre como en una laguna anaerobia.

2. Lagunas de maduración. Estas se caracterizan como lagunas aerobias, donde se mantiene un ambiente aerobio en todo su estrato. El propósito principal de las lagunas de maduración es proveer un período de retención hidráulica adicional para la remoción de los patógenos; también el de mejorar la calidad del efluente en términos de DBO.

3. Lagunas anaerobias. El propósito de la laguna anaerobia es remover un porcentaje de la carga orgánica (DBO) y la mayoría de los sólidos suspendidos bajo condiciones anaerobias por la acción de bacterias anaerobias y por lo tanto, disminuir el área requerida para el sistema total de lagunas. Como consecuencia de la elevada carga orgánica, la profundidad de la laguna con mínima área y el corto período de retención hidráulica, la concentración de oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o ausente. Las bacterias anaerobias realizan un tratamiento de los desechos mediante una asimilación anaerobia con la descomposición de materia orgánica y la producción de bióxido de carbono, metano y otros productos secundarios.

IV. ANTECEDENTES

A. Proyecto piloto Alameda Norte

El Proyecto piloto de manejo de desechos sólidos de Alameda Norte constituye la primera experiencia en el campo del tratamiento integral alternativo de desechos sólidos y líquidos en Guatemala, que durante 18 años ha presentado resultados trascendentales para el saneamiento ambiental.

El proceso consiste, primero, en la selección manual de objetos recuperables o reciclables y almacenaje de los mismos. Posterior a esto, se pasa la fracción biodegradable a cámaras de compostaje y los rechazos inertes resultantes de la clasificación, de la parte no biodegradable, se envían al relleno sanitario manual.

La clasificación de los desechos ocupa una área de 43.00 m² y consta de una mesa de concreto de 2.20 m de ancho y 4.00 m de largo con un canal al centro para deslizar los residuos. Cuenta además con una bodega de tratamiento y reclasificación. La clasificación de desechos la realizan manualmente cuatro personas que se ubican alrededor de la mesa y los separan por clase. El volumen promedio de materia orgánica fresca que es clasificado por día en la planta es de 1,500.00 kg a 2,000.00 kg.

Las 12 cámaras de compostaje, colocadas en forma escalonada, seis en primera y seis en la segunda, pendiente abajo, permiten el volteo manual de las basuras en dos etapas y proveen una aireación no mecanizada por convección del aire introducido por debajo en canales con rejillas. El material sufre un calentamiento debido a la exotermia del proceso y sale por extractores giratorios colocados en el techo. Cada cámara fue diseñada para una capacidad de 64.00 m³, con dimensiones de 8.00 m de largo, 4.00 m de ancho y 2.00 m de profundidad. Sirve a aproximadamente 5,000 habitantes (800 familias), que producen 470.00 tm/año de basura. Con el proceso de descomposición del material biodegradable se consigue una producción anual de compost de 150.00 tm/año.

El patio de maduración está techado, tiene una área de 200.00 m², con dimensiones de 50.00 m de largo y 4.00 m de ancho, sirve para airear el compost durante ocho días para que baje su temperatura a la del ambiente y pierda el exceso de humedad (lo recomendable es que no contenga más del 12.00%). Posteriormente, se realiza el tamizado del compost dentro de una máquina tamizadora (trómel), la cual es accionada por un pequeño motor eléctrico (al estar en

desuso, se tamiza a mano, con armeros convencionales). Esta máquina consta de una malla de 25.00 mm y otra de 6.00 mm dispuestas juntas con la máquina. Dos personas pueden tamizar aproximadamente 700.00 kg/día. En este proceso se recolecta como materia de rechazo el 18.00% en peso del total del producto que cae al patio de compost, el otro 82.00% es aprovechado y, luego de este paso, se procede a pesarlo y empacarlo en saco de polipropileno con capacidad para 45.00 kg, para lo cual se utilizan dos personas con pala y una báscula. Luego de llenado el saco es cosido a máquina y trasladado a la bodega (Domínguez, 2001).

Actualmente, el proyecto se utiliza también para investigaciones de optimización de los procesos de biodegradación, cuyo objetivo es mejorar la eficiencia de la realización de biodigestión, a través del método de aireación inducida, utilizando diferentes inóculos bacterianos. De esta investigación se espera obtener los siguientes resultados:

- Ahorro de aproximadamente un tercio del tiempo o más de proceso al utilizar bacterias industriales, con el consecuente ahorro en infraestructura en la construcción de este tipo de plantas.
- La posibilidad de combinar los lodos de plantas de tratamiento de desechos líquidos con el proceso de compostaje de la materia orgánica, para la eliminación de los patógenos provenientes de los lodos digeridos, enriqueciendo los nutrientes del compost en el proceso de descomposición. Esto implicaría la posibilidad de construcción de plantas de tratamiento combinado para desechos sólidos y líquidos.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar el programa de manejo integral de los desechos sólidos en el complejo recreativo del IRTRA: Vacacional Tzapotitlán, Acuático Xocomil y de Diversiones Xetulul, adecuado a las necesidades del lugar, en términos técnicos y ambientales, para evitar la contaminación del ecosistema, ocasionada por las actividades de recreación en el área.

B. Objetivos específicos

1. Definir las dimensiones de las diferentes unidades de tratamiento, de acuerdo al volumen de los desechos sólidos generados en el complejo recreativo, para un período de 20 años.
2. Definir las especificaciones técnicas de ingeniería necesarias, que describan la infraestructura de la planta de tratamiento de los desechos sólidos, conformado por las siguientes unidades: área administrativa (oficina y garita), área de selección y almacenaje, cámaras de compostaje, relleno sanitario, laguna de estabilización de lixiviados y la obra exterior para el funcionamiento eficiente de la misma.
3. Definir los requerimientos administrativos para la operación y mantenimiento de las instalaciones diseñadas, a fin de obtener la más adecuada coordinación y planificación para el seguimiento y operación del proyecto.

VI. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO NATURAL

A. Localización geográfica

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de San Martín Tzapotitlán, departamento de Retalhuleu, entre los municipios de San Felipe, Santa Cruz Mulúa, San Sebastián y Cuyotenango, en la latitud 14°32'07" y longitud 91° 40'42".

B. Hipsometría

De acuerdo al mapa hipsométrico del Instituto Geográfico Nacional (IGN), la hipsometría del área en estudio se encuentra a 500.00 m sobre el nivel del mar (msnm).

C. Recursos naturales

1. **Clima.** Según la clasificación de Thornthwaite, el clima es cálido, sin estación fría bien definida, muy húmedo, sin estación seca bien definida.
2. **Temperatura.** De acuerdo con el mapa de isotermas medias anuales del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), la temperatura de la región en estudio varía entre 22°C y 25°C, siendo el promedio de 23.5°C.
3. **Precipitación.** De acuerdo al mapa de isoyetas anuales del INSIVUMEH, la precipitación de la región varía entre 2,500.00 mm y 3,000.00 mm.
4. **Porcentaje de humedad.** De acuerdo con el mapa de isohigras medias del INSIVUMEH, la humedad relativa de la región en estudio varía entre 75.00% y 80.00%.
5. **Vientos.** Los vientos predominantes sobre el territorio nacional son del Noreste al Suroeste; es decir, siguen las características normales de los alisios. Dada la configuración topográfica del país, en regiones del mismo se registran vientos de direcciones diferentes a lo indicado, lo que se debe atribuir únicamente a condiciones exclusivamente locales.

6. Insolación. De acuerdo con el mapa de isohelias medias mensuales del INSIVUMEH, el brillo solar de la región en estudio varía entre 200.00 horas/sol y 220.00 horas/sol.

D. Suelos

1. Geología. El complejo recreativo del IRTRA se encuentra ubicado en la cuenca del río Samalá, en la región norte de la planicie costera del Pacífico. Esta región ha sido formada a lo largo del litoral del Pacífico por los productos de erosión de las tierras altas volcánicas. arenas, gravas, pómez y depósitos laháricos de espesor desconocido, se asientan gradualmente hacia las rocas volcánicas de las tierras altas. Debido al tremendo volumen de detritus en abanicos fluviales coalescentes, y quizá a un posible hundimiento, el drenaje de las áreas costeras es deficiente (IGN, 1970)

2. Fisiografía. La región en estudio se encuentra ubicada en la pendiente volcánica reciente, región que incluye los volcanes de más reciente formación en Guatemala, así como el material asociado que ha sido drenado o depositado hacia la costa sur. Dicho material es principalmente de edad cuaternaria y la actividad que lo produjo está asociada con una zona fallada paralela a la costa (IGN, 1970).

3. Clasificación genética de los suelos. La región en estudio presenta suelos desarrollados sobre material fluviovolcánico reciente en elevaciones medias. Esta área esta formada por abanicos aluviales traslapados, de material arrojado por los volcanes en época relativamente reciente. La pendiente en la región se encuentra entre el 30.00% al pie de los volcanes. Los suelos son jóvenes, profundos y fértiles. La textura del suelo superficial es franca y francoarcillosa, ligeramente ácidos, color oscuro y de un espesor que varía de 0.30 m hasta 0.50m. Los subsuelos son de textura francoarcillosa a franca, ligeramente ácidos, color café amarillento, de profundidad variable de 1.00 m a 2.00 m (IGN, 1970).

E. Recurso agua

1. Hidrología. La precipitación pluvial en la zona en estudio varía entre 2,100.00 mm/año y 4,300.00 mm/año.

2. Hidrografía. El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la cuenca del río Samalá, la cual a su vez se ubica en la vertiente del Pacífico. El río que colinda con el terreno propuesto para la construcción de la planta de tratamiento de los desechos sólidos es el río Cangrejo, tributario del río Samalá.

F. Zona de vida

El piso basal es tropical y se encuentra dentro del bosque tropical húmedo. Este tiene una estación seca de dos a cuatro meses. La vegetación original presentaba 100 o más especies de árboles, tres a cuatro pisos arborescentes, perennifolios. Las lluvias son de mayor duración, van desde 2,136.00 mm/año a 4,327.00 mm/año. La biotemperatura va de 22°C a 25°C, la evapotranspiración es de 0.45%. En el área específica de estudio, los terrenos son de topografía relativamente plana. La elevación es de 500.00 msnm. La vegetación existente es *Orbignya Cohume*, *Enterolobium Cyclocarpum*, *Triplaris Sp*, *Cydistax Donnell Smithii*, *Lonchocarpus Salvadorensis*, *Sikingia Salvadorensis*. Los parques cuentan con grandes áreas jardinizadas en donde se pueden apreciar una gran variedad de plantas precisamente provenientes de la región identificada como Bosque Tropical Húmedo, entre éstas se pueden mencionar variedades de: *Syngonium*, *Aglaonema*, *Anthurium*, *Calathea*, *Dieffenbachia* y *Heliconias*. Enredaderas como *Philodendron* y *Monstera* que trepan hacia el dosel de los árboles. Las ramas de los árboles, a menudo recubiertas de musgo y helechos, suelen albergar gran número de epífitas, entre éstas se pueden encontrar una gran variedad de orquídeas y Bromeliáceas. Entre éstas últimas se aprecian una gran variedad de *Tillandsias*. Así mismo se observan gran variedad de arbustos de la región tales como: *Beloperone Guttata*, *Spathiphyllum* y *Schefflera*.

VII. MÉTODOS

Los métodos utilizados para establecer las directrices para el diseño de las instalaciones se detallan a continuación:

A. Proyecciones de producción de desechos sólidos

Esta fase consistió en determinar la producción de desechos sólidos en el complejo recreativo, proyectada para el período de diseño establecido. Las proyecciones se realizaron con los datos de la caracterización realizada en la primera fase del proyecto, para los parques Acuático, Vacacional y de Diversiones (Mijangos, 2002). Debido a que existen otros proyectos recreativos que se desarrollen en el futuro, fue necesario considerar las proyecciones sobre la producción de desechos que los mismos generarán. Estos proyectos no cuentan con datos de caracterización propios, por lo que se les adaptaron los datos de los parques ya estudiados, con base en la similitud en cuanto al funcionamiento y prestación de servicios.

El desarrollo de las proyecciones se describe a continuación:

1. Variables utilizadas para determinar las proyecciones

a. Población beneficiada. Se consideró como población beneficiada, a las personas que visitan los diferentes parques, los huéspedes y los empleados que laboran en los mismos, por ser los que generan los desechos sólidos.

b. Características de los desechos sólidos. Consistió en recolectar los resultados del estudio de la caracterización de los desechos sólidos, obtenidos en la primera fase del proyecto (Mijangos, 2002). Para efectos de cálculo de cada parque estudiado, se recolectó la siguiente información: producción per cápita, porcentaje en peso y volumen de materia biodegradable y no recuperable; densidad de la materia biodegradable y del material no recuperable. En el caso del complejo residencial, por tratarse de viviendas para los trabajadores, se utilizaron los datos de caracterización del municipio de San Lucas Sacatepéquez, ya que éstos se adaptaban a las condiciones de producción de desechos de una población habitacional en un municipio.

c. Período de diseño. En todo proyecto de ingeniería, se establece una vida útil del proyecto y con base en eso se diseñan las instalaciones. En el presente caso, se determinó que el factor limitante está en el relleno sanitario considerando que el terreno disponible es pequeño, por lo que para calcular la vida útil del proyecto se realizó el siguiente procedimiento:

- 1) Se ubicó en el plano el relleno sanitario.
- 2) Se establecieron las cotas del fondo del relleno.
- 3) Se midió el área que ocupará el relleno
- 4) Se calculó el volumen disponible para el relleno, multiplicando el área del relleno por 15.00 m, que será la altura máxima que alcance el mismo.
- 5) Se calculó la proyección en volumen acumulado de material no recuperable durante un período no menor de 20 años (período especificado en este tipo de proyectos).
- 6) Se realizó una comparación entre el volumen disponible para el relleno sanitario y el volumen acumulado proyectado durante el período de diseño.
- 7) En el año en que ambos volúmenes coincidieron en cantidad, ese fue el número de años de diseño del proyecto. Considerando que a excepción del relleno sanitario, el resto de las instalaciones tendrán una vida útil de 20 años o más, en el futuro habrá que considerar transferir el material de rechazo a otro relleno sanitario alejado del terreno actual.

2. Procedimientos para determinar las proyecciones

a. Proyección de los visitantes. La proyección de los visitantes no se calculó por los métodos estadísticos convencionales de crecimiento de población, debido a que no se trata de una población que vive en el lugar, sino que se trata de personas que visitan los parques por uno o varios días, ya sea por negocios, vacaciones, etc. Es importante también considerar que estos parques fueron creados fundamentalmente para la recreación de los trabajadores de la iniciativa privada y sus familias (aunque de acuerdo a las políticas del IRTRA se permite el ingreso gratis de estudiantes al parque Acuático, así como el ingreso de cualquier persona mediante el pago de las tarifas establecidas). Por tal razón, para realizar las proyecciones se tomaron en cuenta los criterios que se describen mas adelante para cada parque, los cuales fueron concertados de común acuerdo con la gerencia general del IRTRA, ya que se ajustan a la experiencia de los tres últimos años y a las políticas de mercadeo y publicidad que la institución emprenderá a corto plazo.

Con base en lo anterior, el número promedio diario de visitantes a cada parque en funcionamiento, se estableció de la siguiente manera:

- 1) **Parque Acuático.** Al promedio diario de visitantes durante los años 1999 a 2001, se le incrementó el 15.00%.
- 2) **Parque Vacacional.** Al promedio diario de visitantes durante los años 1999 a 2001, se le incrementó el 30.00%.
- 3) **Parque de Diversiones.** Se estableció el número promedio diario de visitantes durante el primer año de proyección con base en el 50.00% de la capacidad del parque (debido a que el mismo fue recientemente inaugurado). Considerando que el parque funciona cuatro días de la semana (de jueves a domingo) y que lo que se necesita conocer es la población de visitantes diaria, el resultado se multiplicó por cuatro (representa los cuatro días que funciona el parque a la semana) y se dividió entre siete (representa los siete días de la semana), con lo cual se obtuvo el número de visitantes diario.
- 4) **Proyectos futuros.** La proyección de visitantes a los parques futuros, se realizó con base en los porcentajes de ocupación de los parques Acuático, Vacacional y salón de convenciones El Torreón, de los reportes de visitantes de los años 1999, 2000 y 2001, adaptándolos, en cada caso, de acuerdo a las similitudes en cuanto a los servicios prestados y el calendario de servicio. Con base en lo anterior, el número promedio diario de visitantes a cada parque a construirse en el futuro, se describe a continuación:
 - a) Hotel Polinesio y La Ranchería (segunda fase). El número promedio diario de visitantes durante el primer año de proyección en estos hoteles se calculó considerando el porcentaje de ocupación del parque vacacional. Los resultados se incluyen en la proyección a partir del año de inauguración del mismo.

La fórmula aplicada fue la siguiente:

Visitantes diarios = capacidad (Polinesio y La Ranchería) X porcentaje de ocupación promedio (parque Vacacional).

b) Complejo residencial. El número promedio diario de visitantes durante el primer año de proyección del complejo residencial, se calculó con base al 90.00% de su capacidad (por tratarse de viviendas para los trabajadores del IRTRA, se considera que tendrán un alto porcentaje de ocupación). La producción per cápita que se utilizará, por tratarse de residencias, fue la de la población de San Lucas Sacatepéquez, (de Franco, 1996). Los resultados se incluyeron en la proyección, a partir del año de inauguración.

La fórmula aplicada fue la siguiente:

Ocupación diaria = capacidad (complejo residencial) x porcentaje de ocupación establecido.

c) Camping Place. El número promedio diario de visitantes durante el primer año de proyección al Camping Place, se calculó con base al porcentaje promedio de ocupación del parque Vacacional. Considerando que este parque funcionará cuatro días de la semana. Este resultado se multiplicó por cuatro y se dividió entre siete. Los resultados se incluyeron en la proyección, a partir del año de inauguración.

La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$\text{Ocupación diaria} = \frac{\text{capacidad (Camping Place)} \times \text{porcentaje ocupación (parque Vacacional)} \times 4 \text{ días}}{7 \text{ días}}$$

d) Centro de convenciones. El número promedio diario de visitantes durante el primer año de proyección al centro de convenciones, se calculó considerando el porcentaje de ocupación del salón de convenciones El Torreón. Los resultados se incluyeron en la proyección a partir del año de inauguración.

La fórmula aplicada fue la siguiente:

Ocupación diaria = capacidad (centro de convenciones) x porcentaje ocupación (salón de convenciones El Torreón).

e) Parque de Aventuras. El número promedio diario de visitantes durante el primer año de proyección de este parque se calculó con base al porcentaje de ocupación del parque Acuático. Debido a que este parque funcionará cuatro días de la semana, el resultado anterior se multiplicó por cuatro y se dividió entre siete. Los resultados se incluyeron en la proyección a partir del año de inauguración.

La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$\text{Ocupación diaria} = \frac{\text{capacidad (parque Aventuras)} \times \text{porcentaje ocupación (parque Acuático)} \times 4 \text{ días}}{7 \text{ días}}$$

f) Área deportiva. El número promedio diario de visitantes durante el primer año de proyección del área deportiva se calculó con base al porcentaje de ocupación del parque Acuático. Considerando que este parque funcionará cuatro días de la semana, el resultado anterior se multiplicó por cuatro y se dividió entre siete. Los resultados se incluyeron en la proyección a partir del año de inauguración.

La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$\text{Ocupación diaria} = \frac{\text{capacidad (área deportiva)} \times \text{porcentaje ocupación (parque Acuático)} \times 4 \text{ días}}{7 \text{ días}}$$

b. Proyección en peso de la producción total de desechos sólidos.

Consistió en calcular la producción diaria de desechos sólidos de cada parque, proyectada para el período de diseño establecido. La fórmula aplicada, según Jaramillo (1991), fue la siguiente:

$$P = PPC * Pob / 1000 \text{ (tm)}$$

Donde,

P = producción total de desechos sólidos (tm)

PPC = producción per cápita (kg/habxdía)

Pob = número de visitantes

Para este caso específico, no se le aplicó ningún porcentaje de incremento anual a la producción per cápita, por considerarse que la misma no debe aumentar, si se toman en cuenta las recomendaciones de manejo más limpio recomendadas en la primera fase del proyecto (Mijangos, 2002).

c. Proyección en peso de la materia biodegradable.

Consistió en calcular el peso de la materia biodegradable que se generará cada día, durante el período de diseño. La fórmula aplicada, según de Franco (1996), fue la siguiente:

$$PMB = \% MB \times Pob / 1000 \text{ (tm)}$$

Donde,

PMB = Peso de la materia biodegradable (tm)

% MB = porcentaje de la materia biodegradable

Pob = número de visitantes

d. Proyección en volumen de la materia biodegradable. Consistió en

calcular el volumen del material no recuperable que se generará cada día, durante el período de diseño. La fórmula aplicada, según de Franco (1996), fue la siguiente:

$$VMB = PMB/DMB \text{ (m}^3\text{)}$$

Donde,

VMB = volumen de la materia biodegradable (m³)

PMB = peso de la materia biodegradable (tm)

DMB = densidad de la materia biodegradable (tm/m³)

e. Proyección en peso del material no recuperable. Consistió en

calcular el peso del material no recuperable que se generará cada día, durante todo el período de diseño. La fórmula aplicada, según de Franco (1996), fue la siguiente:

$$PMNR = \%MNR \times Pob/1,000 \quad (\text{tm})$$

Donde,

PMNR = peso del material no recuperable (tm)

%MNR = porcentaje del material no recuperable

Pob = número de visitantes

f. Proyección en volumen del material no recuperable. Consistió en

calcular el peso del material no recuperable que se generará cada día, durante todo el período de diseño. La fórmula aplicada, según de Franco (1991), fue la siguiente:

$$VMNR = PMNR/DMNR + 25\% \quad (\text{m}^3)$$

Donde,

VMNR = volumen del material no recuperable (m³)

PMNR = peso del material no recuperable (tm)

DMNR = densidad del material no recuperable (tm/m³)

25% = corresponde al incremento por el material de cobertura para las celdas del relleno sanitario.

g. Proyección anual acumulada de material no recuperable (en

volumen). Para calcular el volumen anual requerido y las dimensiones del relleno resultante, se multiplicó el volumen total diario de material no recuperable por 365 días.

El volumen total de material no recuperable durante la vida útil del proyecto se calculó aplicando la siguiente relación (Jaramillo, 1991):

$$V_{MNR} = \sum_{i=1}^n V_{MNR}$$

donde,

V_{MNR} = volumen del material no recuperable durante la vida útil (m^3)

n = número de años de vida útil

B. Selección de ubicación del proyecto

En este caso, la única opción disponible que el IRTRA planteó fue un predio que se ubica en la misma finca del complejo recreativo. Se trata de un sector aledaño al río Cangrejo, colinda al Norte con el caserío el Zapote, al Sur con la finca Mariland y el río Cangrejo, al Este con el río Cangrejo y al Oeste con el mismo predio.

C. Recolección y análisis de información topográfica del terreno

Antes del desarrollo del diseño de la planta se solicitó al departamento de construcción del IRTRA el levantamiento planimétrico y altimétrico del predio. Los planos se elaboraron a escala 1:1,000. Con la información disponible se efectuó un análisis de las cotas del terreno para determinar la mejor ubicación de las unidades de tratamiento. Se desarrollaron dos opciones alternativas, escogiéndose, por indicaciones de la dirección del IRTRA, la que ocupara menor área (restringiéndose la vida útil del relleno sanitario de 18 a 13 años).

D. Determinación del tipo de unidades de tratamiento de acuerdo a la caracterización de desechos sólidos de los parques

Se diseñó un sistema centrado en el tratamiento de la porción orgánica putrescible, por ser ésta mayoritaria (57.00% del peso) y la reutilización del material inorgánico (43.00% del peso), hasta donde sea posible. Así, los desechos transportados, serán descargados en la planta de tratamiento, en donde se separarán hacia los diferentes destinos, siendo ellos el reciclaje o la reutilización, o bien el compostaje de la materia orgánica. Los desechos restantes (rechazos), todavía voluminosos, serán llevados al relleno sanitario para su disposición final.

E. Determinación del sistema de operación de la planta

El diseño de las unidades de tratamiento se realizó tomando en cuenta los aspectos técnicos de construcción del proyecto de Alameda Norte, basados en la misma tecnología, esto es, en lo referente a las características de funcionamiento específicas para cada unidad de tratamiento.

A continuación se describirán únicamente los aspectos más relevantes en cuanto al funcionamiento de cada unidad que conformará el sistema, las cuales fueron la base para el diseño de las unidades. Los aspectos de construcción se describirán en los planos de diseño correspondientes.

1. Caseta de selección y almacenaje. Sean separados los desechos sólidos en el origen o no, el sistema contempla una selección de objetos recuperables, previo tratamiento, sobre mesas de concreto receptoras directas de las basuras frescas. La selección se efectuará a mano, separando plásticos, metales, vidrios, papel y cartón y materia orgánica principalmente. La porción orgánica, todavía con cierta cantidad de material inorgánico no recuperable, pasará a las cámaras de compostaje por medio de carretillas de mano. En el caso de los parques en estudio, este proceso se dará para los desechos provenientes de los hostales, servicios sanitarios, caminos y áreas recreativas. Los desechos provenientes de restaurantes y cocinas, en donde el personal ya está capacitado para realizar la selección en dos recipientes identificados por los colores verde y amarillo para desechos orgánicos e inorgánicos respectivamente, la selección se realizará únicamente para los recipientes identificados con color amarillo (material inorgánico). El material orgánico será descargado directamente en las cámaras de compostaje.

El material recuperable será procesado (prensado, quebrado etc.) para almacenarlo en bodegas mientras llegan los camiones que lo retirarán de la planta. Los recipientes de basura, después de ser vaciados serán lavados para ser retornados a los parques.

2. Cámaras de compostaje. El tratamiento del material putrescible, que representa el mayor peso (57.00%) se desarrollará en dos fases para asegurar suficiente homogeneidad en la biodegradación. Para la primera fase se diseñaron una serie de cámaras con dimensiones adecuadas para cubrir el volumen de desechos que se generarán durante los 45 días de residencia necesarios. Cumplido el tiempo de residencia, mediante un volteo manual o mecanizado (con minitractor), se pasarán a una segunda serie de cámaras, que serán construidas, en igual número, a la par de las primeras, para completar el proceso de tratamiento (segunda fase), en donde se almacenarán durante otros 45 días. Así, antes de

terminar de llenar la serie de cámaras de la primera fase, las segundas se irán vaciando después de cubrir ese período de tiempo (90 días mínimo), dejando espacio para las nuevas remesas.

Una vez completada la segunda fase con períodos de tiempo similares, estas cámaras se vaciarán, descargando el compost a la galera para su maduración y almacenaje, para su ulterior tamizado, ensacado y utilización o venta. El material remanente del tamizado, todavía voluminoso (aunque de poco peso), se trasladará mediante carretilla de mano, al relleno sanitario aledaño, para su disposición final. A la distribución de las cámaras entre las etapas, se le diseñaron pasillos techados de 3.00 m de ancho a todo lo largo de las cámaras, que permitirán el paso de carretas y minitractores y la distribución cruzada de la materia en proceso de descomposición de la primera a la segunda fase.

La galera de maduración y almacenaje, tamizado y ensacado del compost, consistirá en un área techada para evitar el agua de lluvia, sin paredes para permitir la ventilación. Esta estará ubicada a continuación de la serie de cámaras de la segunda etapa.

El proceso de descomposición de la materia biodegradable dentro de las cámaras deberá realizarse siguiendo un proceso de biodegradación aerobia, que por sus características de termofilia (60°C a 70°C), elimina agentes patógenos y produce un acondicionador de suelos degradados, con cierta demanda comprobada.

3. Relleno sanitario. La disposición final del material no recuperable (aproximadamente 43.00% del peso), libre de materiales malolientes y disminuida disminuida en su volumen, se dispondrá en un relleno sanitario de rechazos inertes, manual o semimecanizado (por no necesitar maquinaria motorizada pesada para la conformación correspondiente de celdas), bastando la compactación con rodillos accionados a mano o con un pequeño tractor (preferiblemente de oruga).

4. Laguna de estabilización de lixiviados. No se considera que los lixiviados puedan ser altamente contaminantes, puesto que la mayor parte del material contaminante será material biodegradable, que será dispuesto en las cámaras de compostaje. No obstante, considerando que la mayor parte de los desechos llega sin seleccionar, el material no recuperable que se destinará al relleno sanitario podría contener una mínima cantidad de material putrescible. La descomposición de este material putrescible, en la época de invierno, por la infiltración, podría producir lixiviados con cierto grado de contaminación por lo que, en el presente estudio, se consideró el diseño de una laguna de estabilización de lixiviados, la cual

deberá ser construida siempre y cuando se realice un análisis químico que demuestre altas concentraciones de DBO.

F. Criterios para el diseño de la planta de tratamiento

1. Unidades de tratamiento

a. Caseta de selección y almacenaje

- 1) La caseta de selección estará próxima a las cámaras de compostaje y al relleno sanitario, para facilidad de acceso, puesto que es en ésta en donde los desechos que no vienen clasificados se seleccionarán y distribuirán a las diferentes unidades de tratamiento mencionadas.
- 2) La descarga de los desechos para selección se hará parcialmente por gravedad, dejando un desnivel de 2.00 m a través de una rampa por donde se deslizan hasta llegar a la mesa de selección.
- 3) El área de selección tendrá dos mesas para clasificación, un área para lavar los recipientes de basura que posteriormente regresarán a los parques y un área de procesamiento de objetos recuperados (prensado, quebrado, sobreselección, etc.).
- 4) Las bodegas para almacenaje de los objetos recuperables (metales ferrosos y no ferrosos, plásticos, vidrios, papel y cartón) tendrán acceso a la calle de circulación interna para facilitar la carga de los camiones que retirarán estos materiales.
- 5) Será conveniente que exista un desnivel de 1.00 m entre la calle de acceso y las bodegas, para facilitar la carga de los camiones.

b. Cámaras de compostaje

- 1) Para establecer el número de cámaras en la primera fase de tratamiento se definieron previamente las dimensiones de cada cámara y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Número de Cámaras} = \frac{45 \times \text{VMB} \text{ (m}^3\text{/día)}}{\text{Vc} \text{ (m}^3\text{)}}$$

Donde,

45 = número de días de residencia en la cámara

VMB = volumen diario del material biodegradable en el primer año de proyección (m³)

Vc = capacidad de la cámara : alto x ancho x largo (m³)

- 2) Será recomendable, si la topografía del terreno disponible lo permite, que exista un desnivel entre la calle de acceso y las cámaras de la primera fase de 2.50 m de alto y de 2.00 m entre las cámaras de la primera y la segunda fase. Esto, con la finalidad de que la descarga de los desechos de la primera fase como el volteo de la segunda fase se realice parcialmente por gravedad, lo que además evitará la acumulación de desechos en las puertas de acceso a las cámaras.
- 3) El área destinada para maduración y ensacado del compost quedará anexa a las cámaras de la segunda fase, puesto que el compost deberá ser descargado de estas últimas. Un desnivel de 2.00 m de alto entre la puerta de salida de las cámaras de la segunda fase y la galera de maduración es recomendable y facilitará la descarga del compost hacia el trómel (tamizador rotatorio) ubicado en la galera.
- 4) La galera de maduración deberá tener acceso con la calle de circulación interna con un desnivel entre ambas de 1.00 m, para facilitar cargar los camiones con los sacos de compost y con los rechazos destinados al relleno.
- 5) Se construirán cuatro canales en el fondo de cada cámara, dotados de rejillas, que permitirán el paso del aire proveniente del extremo libre del piso, para provocar la aireación no mecanizada por convección del aire introducido, con lo cual el material en descomposición sufrirá un calentamiento debido a la exotemia del proceso. Estos canales servirán además para la recolección de lixiviados, por lo que deberán conectarse a la red de drenaje exterior.
- 6) En el techo se colocarán extractores rotatorios, fabricados de piezas de lámina galvanizada de 625 mm de diámetro, tecnología muy común en Guatemala, para la extracción del aire caliente, lo que asegurará el proceso convectivo que provee la oxigenación requerida. Se utilizarán dos unidades de estos aparatos por cada cámara.

c. Relleno sanitario

- 1) La base del relleno sanitario deberá estar por lo menos 1.00 m más bajo que el nivel de la calle que circunda el área, con el objeto de evitar que el relleno con material no recuperable sufra desprendimientos en la base.
- 2) Considerando lo anteriormente expuesto, será necesario realizar cortes en la preparación de la plataforma para el relleno, debiendo conformar los taludes con una relación 1:1. El material cortado se trasladará y almacenará en el sitio adyacente al relleno, fuera de la plataforma del mismo, y se irá utilizando como material de cobertura diaria.
- 3) En la base del relleno, se deberán diseñar desniveles, a la manera de pañuelos que se acoplen a drenajes de tipo francés, en espina de pez (uno principal y otros secundarios que lo interceptan) para recoger los lixiviados remanentes que proceden del percolado del agua de lluvia, que pasa a través de los rechazos inertes de la basura que conforman el relleno. Este drenaje estará conectado mediante pozos de visita, los cuales deberán ir aumentando de altura, conforme crece hacia arriba el relleno sanitario. Es importante resaltar que los desechos provenientes de los parques no contienen contaminantes peligrosos en cantidades apreciables, según lo demuestran los resultados de los análisis del muestreo realizado en la primera fase del proyecto (Mijangos, 2002). Esto implica menores riesgos de lixiviados contaminantes.
- 4) En los casos donde se evidencien problemas con el nivel freático, ya sea por su proximidad a la superficie del relleno o bien por problemas de contaminación sobre la plataforma del relleno, se preverá la utilización de una capa de arcilla para impermeabilización de 0.25 m a 0.50 m de espesor, en el fondo del relleno, previo acondicionamiento, siguiendo la forma de los pañuelos cuya pendiente será hacia los puntos más bajos. El índice de infiltración o permeabilidad de la arcilla deberá ser de 1×10^{-7} y se colocarán al menos en dos capas para un volumen aproximado de 1,900.00 m³.
- 5) El tratamiento de fondo constituye una película impermeable que conduce las aguas infiltradas en la basura (lixiviados) hacia el drenaje francés, de donde se trasladan a la laguna de estabilización de lixiviados.

- 6) No se ha considerado la construcción de chimeneas para la expulsión de gas bioquímico por haberse eliminado la mayor parte de la porción putrescible o biodegradable de los desechos.
- 7) Se deben dejar 6.00 m de ancho de calle alrededor del área del relleno y 4.00 m más que servirán para ubicar los andenes, cunetas y contracunetas.
- 8) Según Jaramillo (1991), para la confección de las celdas que conformarán el relleno sanitario, lo recomendable es hacer coberturas con tierra o compost de desecho cada tres o cinco días, dependiendo del volumen de material de rechazo que se genere. Para calcular las dimensiones de cada celda, previamente se estableció el alto y el ancho de la misma, para luego calcular el largo mediante la siguiente fórmula:

$$L_{\text{celda}} = \frac{VMNR_{\text{diario}} \times 7 \times 0.5}{H_{\text{celda}} \times A_{\text{celda}}} \quad (\text{m})$$

Donde,

L_{celda} = largo de la celda

$VMNR_{\text{diario}}$ = volumen diario del material no recuperable (m^3)

7 = número de días de la semana

0.5 = factor aplicado por concepto de compactación, ya que el volumen de material no recuperable deberá ser compactado para reducir su volumen.

H_{celda} = alto de la celda (previamente establecido)

A_{celda} = ancho de la celda (previamente establecido)

- 9) Para calcular el área de terreno a cubrir durante el primer año de funcionamiento, se aplicó la misma fórmula con las siguientes modificaciones:

$$L_{\text{relleno}} = \frac{VMNR_{\text{diario}} \times 365 \times 0.5}{H_{\text{celda}} \times A_{\text{relleno}}} \quad (\text{m})$$

Donde,

L_{relleno} = largo del relleno

A_{relleno} = ancho del relleno, se establece tomando en cuenta el ancho de las celdas

365 = número de días del año

- d. Laguna de estabilización de lixiviados.** Se diseñó una laguna de estabilización facultativa con el propósito de alcanzar los siguientes objetivos:
- la remoción de la DBO
 - promover condiciones aerobias

Para establecer las dimensiones de la laguna se realizó el siguiente procedimiento:

- 1) Se estimó el caudal de lixiviados, el cual se infiltra a través del relleno sanitario en el drenaje francés.
- 2) Se determinó la temperatura en el mes más frío del año.
- 3) Se calculó la carga de retención hidráulica, mediante la siguiente fórmula (Oskley, 1997):

$$CSm = 357.4(1.085)^{T-20} \quad (\text{kg/ha-día})$$

Donde,

CSm = carga superficial máxima de DBO

T = temperatura media del aire en el mes más frío (°C)

- 4) Se calculó el área requerida para la laguna de estabilización, mediante la siguiente fórmula (Oskley, 1997):

$$Af = \frac{10 La Q}{CSmx (FS)} \quad (\text{m}^2)$$

Donde,

Af = área de la laguna (m²)

La = concentración del afluente DBO (mg/l)

Q = caudal promedio (m³/día)

FS = factor de seguridad (0.8 a 0.9)

- 5) Se definieron las dimensiones de la laguna. Según Oskley (1997), se recomienda una relación de largo/ancho de 2/1. Se recomienda una profundidad útil de 1.50 m a 2.00 m (no incluye el metro estimado para acumulación de lodos), para mantener condiciones aerobias en el primer metro de profundidad.

- 6) Se calculó el volumen de la laguna, aplicando la siguiente fórmula (Oskley, 1997) :

$$Vf = (P / 6) \times [(l \times a) + (l - 2iP) (a - 2iP) + 4 (l - iP) (a - iP)] = \quad (\text{m}^3)$$

Donde,

V_f = volumen de la laguna (m^3)

P = profundidad útil de la laguna (m)

l = largo superficial de la laguna (m)

a = ancho superficial de la laguna (m)

i = relación horizontal / vertical del talud interior (3, recomendado)

- 7) Se calculó el período de retención hidráulica, aplicando la siguiente fórmula (Oskley, 1997) :

$$O_f = V_f / Q \text{ (días)}$$

Donde,

V_f = volumen de la laguna (m^3)

Q = caudal promedio ($m^3 / \text{día}$)

Si el período de retención (O_f) es menor de 10 días, será necesario recalcular las dimensiones de la laguna, hasta que el período de retención sea mayor o igual a 10 días.

8) Considerando que la acumulación de lodos en el fondo de la laguna facultativa puede afectar su funcionamiento disminuyendo el volumen y por lo tanto el período de retención hidráulica, en el diseño se debe calcular la acumulación de lodos o bien se puede maximizar la frecuencia de limpieza diseñando la laguna con una profundidad que tome en cuenta un volumen para almacenaje de lodos. No obstante en el presente caso no se cuenta con valores teóricos ni experimentales de acumulación de lodos provenientes de lixiviados (en la literatura se encuentran valores sólo para aguas negras), por lo que no se pueden aplicar fórmulas establecidas.

2. Obras complementarias

a. Oficina y garita de control. Consistirá en una pequeña edificación, ubicada al ingreso del predio, que cuente con área de vestidores con casilleros para ropa, servicio sanitario, ducha y comedor para los trabajadores. Así mismo, deberá contar con una bodega (para guardar las herramientas de trabajo), oficina y una sala pequeña de sesiones.

b. Vías de acceso a la planta. Deberá considerarse que el camino de acceso a la planta de tratamiento se encuentre en buenas condiciones, de lo contrario, será necesario rehabilitarlo, dándole mantenimiento a la capa de rodadura y colocándole drenajes pluviales.

c. Vías internas de circulación de vehículos. El área deberá tener un camino permanente para vehículos, de preferencia de doble vía, que conecte con las siguientes áreas:

- 1) Oficina y garita de control.
- 2) Área de selección y almacenaje, para la descarga de los desechos para selección.
- 3) Bodegas de material recuperable para el retiro de los mismos.
- 4) Cámaras de compostaje (primera fase), del lado donde se ubiquen las puertas de ingreso para la descarga del material putrescible.
- 5) Patio de maduración para cargar los camiones con el compost y el remanente de rechazos post-tamizado.
- 6) Relleno sanitario, dependiendo de la extensión y forma del mismo, se deberá proveer, además del camino de circulación, uno o más caminos interiores que permitan que los vehículos lleguen al sitio de descarga del material no recuperable, sin necesidad de desplazarse por largos tramos sobre la superficie del relleno y que, además, puedan ser usados en cualquier época del año.

d. Vías internas de circulación peatonal. Se deberán contemplar caminos peatonales, necesarios para trasladar, mediante carretilla de mano, los diferentes tipos de desecho de un lugar a otro, como se especifica a continuación:

- 1) Del área de selección, hacia el corredor entre las cámaras de la primera fase y la calle de circulación. Este acceso permitirá trasladar el desecho putrescible después de que ha sido seleccionado, así mismo dará facilidad de acceso a los trabajadores, cuando se necesite abrir las puertas de ingreso a las cámaras para efectuar el volteo del material en descomposición.
- 2) Del área de selección, hacia el corredor entre las cámaras de la primera y segunda fase. Este acceso permitirá a los trabajadores acceder fácilmente cuando se necesite realizar el volteo de la primera a la segunda fase del tratamiento.

- 3) Del área de selección al corredor entre las cámaras de la segunda fase y el patio de maduración. Este acceso permitirá a los trabajadores desplazarse fácilmente cuando se necesite descargar el compost de las cámaras hacia el patio de maduración.
- 4) De la galera de maduración, hacia el relleno sanitario. Este acceso permitirá trasladar los desechos no recuperables que quedan después del tamizado del compost, hacia el relleno sanitario, para su disposición final.
- 5) En todo el perímetro que ocupe el relleno sanitario, paralelo a la calle de paso de vehículos. Este acceso dará seguridad a los trabajadores del relleno sanitario, quienes para realizar su trabajo deberán moverse hacia los diferentes puntos del relleno.
- 6) Del relleno sanitario hacia la laguna de estabilización de lixiviados. Este paso es necesario para cuando se necesite darle mantenimiento a la laguna y extraer los lodos de la misma. Dependiendo de las pendientes del terreno y de los niveles en que se construyan las diferentes unidades de tratamiento. Estas vías deberán tener una pendiente no mayor del 10.00%.

e. Cercado y aislamiento visual. El área perimetral del predio donde se ubique la planta de tratamiento deberá estar cercada para evitar el ingreso de personas ajenas al lugar, así como para que los objetos que puedan volar, por la acción del aire, encuentren un obstáculo y no ocasionen problemas a terceras personas. También es importante considerar, si las condiciones lo permiten, que el área aledaña al predio pueda ser reforestada para obstruir la vista hacia la planta de tratamiento.

f. Drenajes. A continuación se describen los tipos de drenaje necesarios:

- 1) Cunetas para la evacuación de las aguas pluviales del área donde se ubique el relleno sanitario.
- 2) Canales con rejillas para la evacuación de los lixiviados de las cámaras de compostaje y aireación de las mismas.
- 3) Drenaje francés para la evacuación de los lixiviados del relleno sanitario.

- 4) Tubería de drenaje pluvial, para la evacuación de las aguas pluviales de las calles de circulación dentro del predio.

G. Planos de diseño

El proyecto final es un juego de planos de diseño que describen las especificaciones técnicas de la infraestructura de la planta de tratamiento de los desechos sólidos, los cuales fueron elaborados por medio de computadora, a través del programa AutoCad 2002.

H. Aspectos de operación y mantenimiento

Considerando que el sistema estará centrado en el tratamiento de la porción orgánica putrescible, la reutilización de la porción de material inorgánico recuperable, previa selección y la disposición final de los rechazos, el proceso conllevará diferentes tipos de actividades, que necesitarán la organización del personal para realizarlas.

Esta sección tratará todos esos aspectos referentes a las tareas para la operación de la planta de tratamiento, en lo que se refiere a la recolección, distribución, manejo y disposición final de los desechos sólidos. Así también, todas las operaciones, con la finalidad de darle mantenimiento a las instalaciones. Todo lo anterior, con el objeto de que la planta funcione de manera apropiada, en función del diseño. Para calcular la cantidad de mano de obra necesaria para cada tarea, no existen formulas ya establecidas debido a que este tipo de tratamiento que conlleva selección, proceso de descomposición y relleno sanitario no es común en la literatura ni en la práctica en Guatemala, por lo que el cálculo se realizará con base en la experiencia en Alameda Norte.

Todas las tareas a realizar se derivarán del mismo proceso descrito para el diseño de las unidades de tratamiento, puesto que en el mismo se describe el porqué de cada unidad o complemento del diseño. El resultado será una guía con la descripción de las actividades en los diferentes módulos diseñados. Para tal efecto, a continuación se enumeran todas las tareas a realizar para la operación adecuada de la planta de tratamiento:

1. El traslado de los desechos de las diferentes estaciones de transferencia ubicadas en los diferentes parques (Mijangos, 2002) hacia la planta de tratamiento.
2. La selección de los desechos en las mesas de selección y el traslado de los desechos ya clasificados hacia los diferentes destinos: cámaras de compostaje, relleno sanitario y bodegas de almacenaje.

3. Lavado de los recipientes de basura, previo a su traslado nuevamente a los parques.
4. Descarga de los desechos putrescibles a las cámaras de compostaje.
5. Volteo del material en proceso de descomposición de las cámaras de la primera a la segunda fase.
6. Extracción del compost de las cámaras de la segunda fase al trómel, para la tamización y el ensacado.
7. El traslado del material no recuperable producto de la tamización, hacia el relleno sanitario para su disposición final.
8. Recepción de los desechos no recuperables, así como la conformación de las celdas del relleno sanitario: compactación y recubrimiento.
9. Limpieza diaria del área de selección.
10. Limpieza de las zanjas en el fondo de las cámaras, para que el paso del aire proveniente del extremo libre del piso no sea obstaculizado por remanentes de material putrescible.
11. Limpieza de los canales de agua pluvial para mantener el buen funcionamiento de los sistemas pluviales.
12. Supervisión de los trabajos y atención a los visitantes.
13. Vigilancia en el ingreso y egreso de camiones y otros vehículos a la planta de tratamiento.

VIII. RESULTADOS

A. Proyecciones de la producción de desechos sólidos

1. Variables utilizadas para determinar las proyecciones

a. **Población beneficiada.** Para realizar las proyecciones de visitantes, se consideró únicamente el número de visitantes diarios a cada parque. No se tomó en cuenta el número de empleados ya que la producción per cápita ponderada ya incluye la proporción de desechos generada por éstos (Mijangos, 2002).

b. **Características de los desechos sólidos.** A continuación se describen las características físicas de los desechos sólidos generados en los parques Vacacional, Acuático y de Diversiones, obtenidos en la primera fase del estudio (Mijangos, 2002). Así mismo se enumeran las características físicas de los desechos de San Lucas Sacatepéquez (de Franco, 1996). Estos últimos servirán de base para las proyecciones del proyecto habitacional incluido en los proyectos futuros a desarrollarse en el complejo recreativo.

1) Parque Vacacional

a)	Producción per cápita (ponderada):	2.13 kg/visitante/día
b)	Materia biodegradable:	78.51%
c)	Material no recuperable:	16.32%
d)	Densidad materia biodegradable:	493.00 kg/m ³
e)	Densidad material no recuperable:	315.00 kg/m ³

2) Parque Acuático

a)	Producción per cápita (ponderada):	0.18 kg/visitante/día
b)	Materia biodegradable:	12.61%
c)	Material no recuperable:	81.16%
d)	Densidad materia biodegradable:	245.00 kg/m ³
e)	Densidad material no recuperable:	315.00 kg/m ³

3) Parque Temático

a)	Producción per cápita (ponderada):	0.38 kg/visitante/día
b)	Materia biodegradable:	39.03%
c)	Material no recuperable:	55.05%

- d) Densidad materia biodegradable: 250.00 kg/m³
- e) Densidad material no recuperable: 315.00 kg/m³

4) Proyecto de San Lucas Sacatepéquez. Según de Franco (1996) los datos de la caracterización son los siguientes:

- a) Producción per cápita: 0.45 kg/visitante/día.
- b) Materia biodegradable: 86.00%
- c) Material no recuperable: 10.00%
- d) Densidad basura suelta: 270.00 kg/m³

c. Período de diseño.

1) De acuerdo al plano de diseño 2, inciso E de este mismo capítulo, el área que ocupa el relleno sanitario, es de 3,200.00 m². Multiplicando ésta por el alto que alcanzará el relleno sanitario durante su vida útil, 15.00 m, se obtuvo el volumen disponible para el material no recuperable: 48,000.00 m³.

2) Si se observa el cuadro 8, en diciembre del año 2017 (resaltado con color azul) se alcanzarán 49,690.00 m³, si se considera que el relleno sanitario comience a operar en julio de 2004.

3) De acuerdo con lo anterior, se concluye que la vida útil del relleno sanitario es de 13 años con seis meses.

2. Resultados de las proyecciones

a. Proyección de los visitantes. A continuación se describe la información de cada parque.

1) Parque Acuático. De acuerdo con el cuadro uno, el promedio diario de visitantes durante el período 1999 – 2001 fue de 1,400 visitantes. Por lo tanto, el promedio diario de visitantes proyectado, para el primer año de proyección será: $1,400 \times 15.00\% = 1,600$ visitantes. Los resultados de la proyección para 20 años se muestran en la segunda columna del cuadro 3.

2) **Parque Vacacional.** De acuerdo con el cuadro uno, el promedio diario de visitantes durante el periodo 1999 – 2001 fue de 532 visitantes. Por lo tanto, el promedio diario de visitantes proyectado, para el primer año de proyección será: $530 \times 30.00\% = 700$ visitantes. Los resultados de la proyección para 20 años se muestran en la segunda columna del cuadro 4.

3) **Parque de Diversiones.** Como la capacidad total del parque es para albergar 12,000 visitantes, el número promedio diario de visitantes durante el primer año de proyección será: $\frac{12,000 \times 50.00\% \times 4}{7} = 3,500$ visitantes.

7

Los resultados de las proyecciones para 20 años se muestran en la segunda columna del cuadro 5.

Cuadro 1. Visitantes promedio mensual de los parques Vacacional y Acuático durante los años 1999, 2000, 2001.

Mes	parque Vacacional			parque Acuático		
	Visitantes por año			Visitantes por año		
	1,999	2,000	2,001	1,999	2,000	2,001
Enero	12978	12282	18897	39634	35896	30122
Febrero	8495	7899	13604	19201	24280	21042
Marzo	13614	10211	16951	45839	36284	50743
Abril	12060	16051	26106	57900	80678	67014
Mayo	11512	7585	13650	48710	34183	50240
Junio	13051	12698	23917	45240	38938	51112
Julio	12063	19476	21202	48947	47870	48726
Agosto	9003	17899	17333	43497	37383	42035
Septiembre	8257	14014	13106	29048	36180	38678
Octubre	9984	14421	14816	31557	42413	40480
Noviembre	14610	24402	26047	30170	33710	40016
Diciembre	20052	37742	36620	46348	53084	68472
Total anual	145679	194680	242249	486091	500899	548680
Promedio diario por año	400	533	665	1330	1375	1500
Promedio diario por periodo	532			1400		

4) **Proyectos futuros.** Las características de los parques futuros, de acuerdo a la información verbal proporcionada por don Manuel Valdéz, gerente general del IRTRA, aparecen en el cuadro 2, a continuación:

Cuadro 2. Descripción de los proyectos futuros a desarrollarse en el complejo recreativo del IRTRA (Referencia: Sr. Manuel Valdéz, gerente IRTRA).

Año de Inauguración	Proyecto	Capacidad (Visitantes)	Calendario	Observaciones
2004	Hotel Polinesio	750	lunes a domingo	Ampliación capacidad de hospedaje
	Camping Place	2000	jueves a domingo	Parque Ecológico
	Complejo residencial	50	lunes a domingo	Vivienda trabajadores Y sus familias.
	Hotel La Ranchería	2000	lunes a domingo	Ampliación capacidad de hospedaje
2005	Centro de convenciones	800	lunes a domingo	Ampliación capacidad de eventos
2006	Parque de Aventuras	8000	jueves a domingo	Parque similar al Temático
2010	Área deportiva	2000	jueves a domingo	Parque similar al Acuático

Estos proyectos no cuentan con datos de caracterización de desechos sólidos propios, por lo que para efectos de cálculo de proyecciones, se adaptaron los porcentajes de ocupación de los parques ya estudiados, con base en la similitud en cuanto al funcionamiento y prestación de servicio. Los porcentajes de ocupación de los parques Vacacional y Acuático se describen a continuación:

$$\text{Parque Vacacional : } \frac{530 \text{ (visitantes promedio por día de servicio)}}{1,875 \text{ (capacidad)}} * 100.00\% = 30.00\%$$

$$\text{Parque Acuático : } \frac{2,469 \text{ (visitantes promedio por día de servicio)}}{6,000 \text{ (capacidad)}} * 100.00\% = 41.00\%$$

El porcentaje de ocupación del salón de convenciones El Torreón, se calculó en base a la ocupación promedio de visitantes proporcionada por la gerencia administrativa del IRTRA:

Eventos especiales: $\frac{110 \text{ (visitantes promedio por día de servicio)} * 100.00\%}{1,750 \text{ (capacidad)}} = 10.00\%$

a) Hotel Polinesio y La Ranchería (segunda fase). Para estos proyectos, por similitud de características, se tomó el porcentaje de ocupación del parque Vacacional. Por lo tanto, de acuerdo a la capacidad que se tiene considerada para este parque (cuadro 2), para el primer año de proyección, el número de visitantes diarios será: $2,750 * 30.00\% = 850$. Los resultados se incluyen en la segunda columna del cuadro 6, a partir del año 2004.

b) Complejo residencial. Para este proyecto se consideró el 90.00% de ocupación, por lo que para el primer año de proyección, el número de visitantes (ocupantes del complejo residencial) diarios será: $50 * 90.00\% = 45$ personas. Los resultados se incluyen en la segunda columna del cuadro 6, a partir del año 2004.

c) Camping Place. Para este proyecto, por similitud de características, se tomó el porcentaje de ocupación del parque Vacacional. Por lo tanto, de acuerdo a la capacidad que se tiene considerada para este parque (cuadro 2), para el primer año de proyección, el número de visitantes diarios será: $(2,000 * 30.00\% * 4)/7 = 400$ visitantes. Los resultados se incluyen en la segunda columna del cuadro 6, a partir del año 2004.

d) Centro de convenciones. El porcentaje de ocupación del centro de convenciones existente es del 10.00%. Considerando la capacidad proyectada para este proyecto (cuadro 2), para el primer año de proyección, el número de visitantes diarios será: $800 * 10.00\% = 80$ visitantes. Los resultados se incluyen en la segunda columna del cuadro 6, a partir del año 2005.

e) Parque de Aventuras. Para este proyecto, por similitud de características, se tomó el porcentaje de ocupación del parque Acuático. Por lo tanto, de acuerdo a la capacidad que se tiene considerada para este parque (cuadro 2), para el primer año de proyección, el número de visitantes diarios será: $8,000 * 41.00\% * 4/7 = 1,900$ visitantes. Los resultados se incluyen en la segunda columna del cuadro 6, a partir del año 2006.

f) Área deportiva. Para este proyecto, por similitud de características, se tomó el porcentaje de ocupación del parque Acuático. Por lo tanto, de acuerdo a la capacidad que se tiene considerada para este parque (cuadro 2), para el primer año de proyección, el número de visitantes será: $2,000 * 41.00\% * 4/7 = 500$ visitantes. Los resultados se incluyen en la segunda columna del cuadro 6, a partir del año 2010.

b. Proyección en peso de la producción total de desechos sólidos.

Los cuadros 3, 4, 5 y 6, en la tercera columna muestran los resultados de la producción total en peso proyectada para 20 años, para los parques Acuático, Vacacional, de Diversiones y para los proyectos futuros respectivamente.

c. Proyección en peso de la materia biodegradable. Los cuadros 3, 4, 5 y 6, en la cuarta columna muestran los resultados de la producción en peso proyectada para 20 años de la materia biodegradable para los parques Acuático, Vacacional, de Diversiones y para los proyectos futuros respectivamente.

d. Proyección en volumen de la materia biodegradable. Los cuadros 3, 4, 5 y 6, en la quinta columna muestran los resultados de la producción en volumen proyectada para 20 años de la materia biodegradable para los parques Acuático, Vacacional, de Diversiones y para los proyectos futuros respectivamente.

e. Proyección en peso del material no recuperable. Los cuadros 3, 4, 5 y 6, en la sexta columna se muestran los resultados de la producción en peso proyectada para 20 años del material no recuperable para los parques Acuático, Vacacional, de Diversiones y para los proyectos futuros respectivamente.

f. Proyección en volumen del material no recuperable. Los cuadros 3, 4, 5 y 6, en la séptima columna muestran los resultados de la producción en volumen proyectada para 20 años del material no recuperable para los parques Acuático, Vacacional, de Diversiones y para los proyectos futuros respectivamente.

Cuadro 3. Producción diaria de desechos sólidos del parque Acuático proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.

Año	Visitantes	Producción desechos (ton)	Materia biodegradable		Material no recuperable	
			Peso (ton)	Volumen (m3)	Peso (ton)	Volumen compactado (m3)
2004	1600	0.32	0.04	0.17	0.26	1.03
2005	1600	0.32	0.04	0.17	0.26	1.03
2006	1760	0.35	0.05	0.19	0.29	1.13
2007	1760	0.35	0.05	0.19	0.29	1.13
2008	1760	0.35	0.05	0.19	0.29	1.13
2009	1760	0.35	0.05	0.19	0.29	1.13
2010	1760	0.35	0.05	0.19	0.29	1.13
2011	1936	0.39	0.05	0.21	0.31	1.24
2012	1936	0.39	0.05	0.21	0.31	1.24
2013	1936	0.39	0.05	0.21	0.31	1.24
2014	1936	0.39	0.05	0.21	0.31	1.24
2015	1936	0.39	0.05	0.21	0.31	1.24
2016	2130	0.43	0.06	0.23	0.34	1.37
2017	2130	0.43	0.06	0.23	0.34	1.37
2018	2130	0.43	0.06	0.23	0.34	1.37
2019	2130	0.43	0.06	0.23	0.34	1.37
2020	2130	0.43	0.06	0.23	0.34	1.37
2021	2343	0.47	0.06	0.25	0.38	1.51
2022	2343	0.47	0.06	0.25	0.38	1.51
2023	2343	0.47	0.06	0.25	0.38	1.51

Cuadro 4. Producción diaria de desechos sólidos del parque Vacacional proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.

Año	Visitantes	Producción desechos (ton)	Materia biodegradable		Material no recuperable	
			Peso (ton)	Volumen (m3)	Peso (ton)	Volumen compactado (m3)
2004	700	1.71	1.36	2.77	0.27	1.08
2005	700	1.71	1.36	2.77	0.27	1.08
2006	770	1.86	1.48	3.01	0.30	1.18
2007	770	1.86	1.48	3.01	0.30	1.18
2008	770	1.86	1.48	3.01	0.30	1.18
2009	770	1.86	1.48	3.01	0.30	1.18
2010	770	1.86	1.48	3.01	0.30	1.18
2011	847	2.02	1.62	3.28	0.32	1.28
2012	847	2.02	1.62	3.28	0.32	1.28
2013	847	2.02	1.62	3.28	0.32	1.28
2014	847	2.02	1.62	3.28	0.32	1.28
2015	847	2.02	1.62	3.28	0.32	1.28
2016	932	2.20	1.76	3.58	0.35	1.40
2017	932	2.20	1.76	3.58	0.35	1.40
2018	932	2.20	1.76	3.58	0.35	1.40
2019	932	2.20	1.76	3.58	0.35	1.40
2020	932	2.20	1.76	3.58	0.35	1.40
2021	1025	2.40	1.92	3.90	0.38	1.53
2022	1025	2.40	1.92	3.90	0.38	1.53
2023	1025	2.40	1.92	3.90	0.38	1.53

Cuadro 5. Producción diaria de desechos sólidos del parque de Diversiones proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.

Año	Visitantes	Producción desechos (ton)	Materia biodegradable		Material no recuperable	
			Peso (ton)	Volumen (m3)	Peso (ton)	Volumen (m3)
2004	3500	1.40	0.55	2.18	0.77	3.06
2005	3500	1.40	0.55	2.18	0.77	3.06
2006	3850	1.54	0.60	2.40	0.85	3.36
2007	3850	1.54	0.60	2.40	0.85	3.36
2008	3850	1.54	0.60	2.40	0.85	3.36
2009	3850	1.54	0.60	2.40	0.85	3.36
2010	3850	1.54	0.60	2.40	0.85	3.36
2011	4235	1.69	0.66	2.64	0.93	3.70
2012	4235	1.69	0.66	2.64	0.93	3.70
2013	4235	1.69	0.66	2.64	0.93	3.70
2014	4235	1.69	0.66	2.64	0.93	3.70
2015	4235	1.69	0.66	2.64	0.93	3.70
2016	4659	1.86	0.73	2.91	1.02	4.07
2017	4659	1.86	0.73	2.91	1.02	4.07
2018	4659	1.86	0.73	2.91	1.02	4.07
2019	4659	1.86	0.73	2.91	1.02	4.07
2020	4659	1.86	0.73	2.91	1.02	4.07
2021	5124	2.05	0.80	3.20	1.13	4.47
2022	5124	2.05	0.80	3.20	1.13	4.47
2023	5124	2.05	0.80	3.20	1.13	4.47

Cuadro 6. Producción diaria de desechos sólidos de los proyectos futuros proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.

Año	Visitantes	Producción desechos (ton)	Materia biodegradable		Material no recuperable	
			Peso (ton)	Volumen (m3)	Peso (ton)	Volumen compactado (m3)
2004	1295	1.85	1.49	3.07	0.36	1.43
2005	1375	2.01	1.63	3.35	0.39	1.53
2006	3413	2.94	2.09	4.90	0.84	3.35
2007	3413	2.94	2.09	4.90	0.84	3.35
2008	3413	2.94	2.09	4.90	0.84	3.35
2009	3413	2.94	2.09	4.90	0.84	3.35
2010	3913	3.03	2.11	4.95	0.92	3.35
2011	4304	3.33	2.32	5.58	1.02	4.25
2012	4304	3.33	2.32	5.58	1.02	4.25
2013	4304	3.33	2.32	5.58	1.02	4.25
2014	4304	3.33	2.32	5.58	1.02	4.25
2015	4304	3.33	2.32	5.58	1.02	4.25
2016	4734	3.67	2.55	6.14	1.12	5.85
2017	4734	3.33	2.32	6.14	1.02	5.85
2018	4734	3.33	2.32	6.14	1.02	5.85
2019	4734	3.33	2.32	6.14	1.02	5.85
2020	4734	3.33	2.32	6.14	1.02	5.85
2021	5208	3.67	2.55	6.76	1.12	8.04
2022	5208	3.67	2.55	6.76	1.12	8.04
2023	5208	3.67	2.55	6.76	1.12	8.04

g. Proyección de la producción de desechos sólidos en el complejo recreativo. El cuadro 7 muestra los resultados de la producción en peso y volumen proyectada para 20 años de la materia biodegradable y del material no recuperable para el complejo recreativo en estudio. La gráfica 1 muestra el volumen diario de material biodegradable.

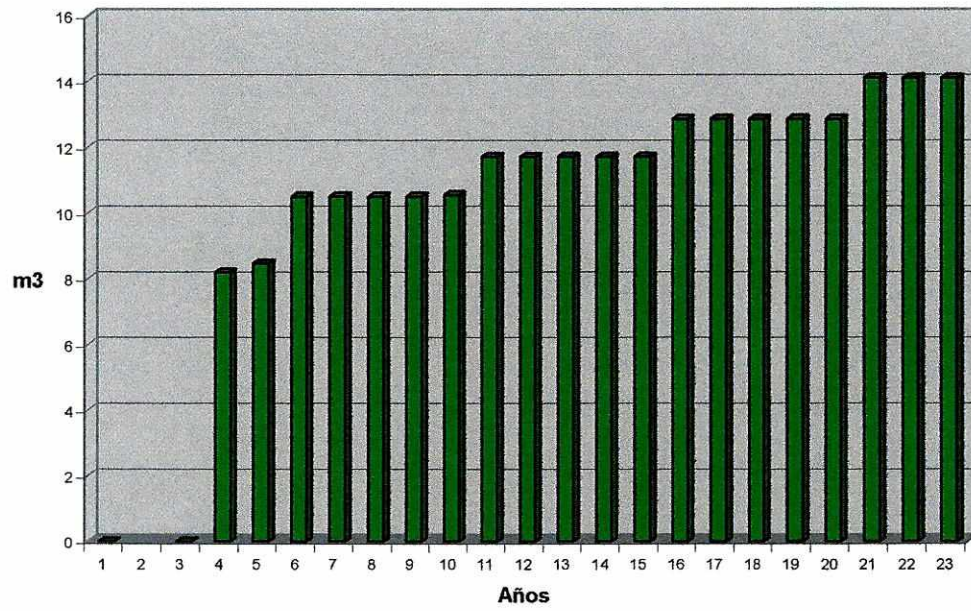
h. Proyección anual acumulada de material no recuperable (en volumen). El cuadro 8 muestra el volumen acumulado de material no recuperable, durante 20 años, para el complejo recreativo en estudio. La gráfica 2 muestra el volumen acumulado durante 20 años del material no recuperable, cuya disposición final será el relleno sanitario.

El cuadro 7 muestra la proyección, para los próximos 20 años, de la materia biodegradable y del material no recuperable (en peso y volumen) que producirán diariamente los visitantes al complejo recreativo. Considerando que para el diseño de las cámaras de compostaje se utilizará la producción diaria en volumen de la materia biodegradable, la misma se esquematiza en la gráfica 1.

Cuadro 7. Producción diaria de desechos sólidos del complejo recreativo proyectada al año 2023 según la disposición final propuesta.

Año	Material biodegradable		Material no recuperable	
	Peso (ton)	Volumen (m3)	Peso (ton)	Volumen compactado (m3)
2004	3.44	8.19	1.66	6.59
2005	3.58	8.47	1.69	6.70
2006	4.22	10.50	2.27	9.02
2007	4.22	10.50	2.27	9.02
2008	4.22	10.50	2.27	9.02
2009	4.22	10.50	2.27	9.02
2010	4.24	10.55	2.35	9.02
2011	4.64	11.71	2.59	10.48
2012	4.64	11.71	2.59	10.48
2013	4.64	11.71	2.59	10.48
2014	4.64	11.71	2.59	10.48
2015	4.64	11.71	2.59	10.48
2016	5.09	12.85	2.84	12.68
2017	4.86	12.85	2.74	12.68
2018	4.86	12.85	2.74	12.68
2019	4.86	12.85	2.74	12.68
2020	4.86	12.85	2.74	12.68
2021	5.33	14.10	3.01	15.55
2022	5.33	14.10	3.01	15.55
2023	5.33	14.10	3.01	15.55

Grafica 1. Producción diaria de material biodegradable del complejo recreativo proyectada al año 2023.

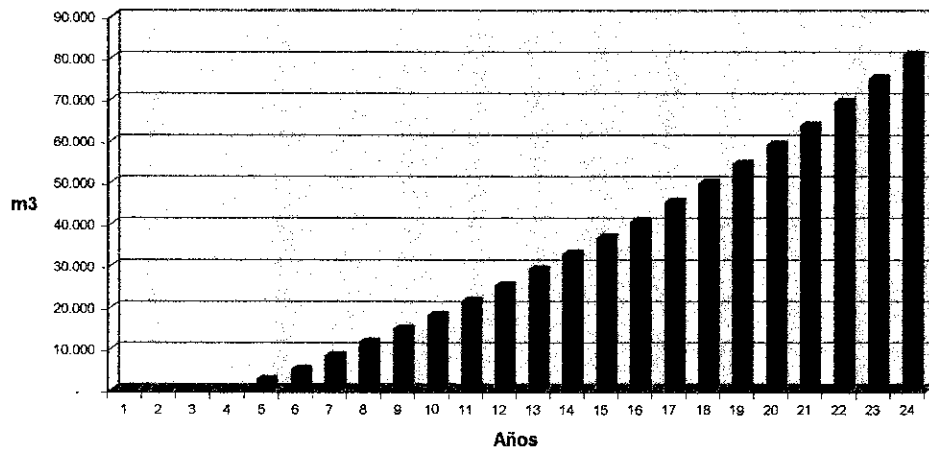


El cuadro 8 muestra la producción en volumen, diaria, anual y acumulada durante 20 años, del material no recuperable compactado. Resaltado se muestra el año en el que el relleno sanitario alcanzará el período de diseño (inciso 1. c. de esta misma sección). Considerando que para el diseño del relleno sanitario se utilizará el volumen acumulado, el mismo se esquematiza en la gráfica 2 .

Cuadro 8. Producción anual de material no recuperable del complejo recreativo proyectada al año 2023.

Año	Volumen diario compactado (m3)	Volumen anual compactado (m3)	Volumen acumulado (m3)
2004	6.59	2406	2,406
2005	6.70	2446	4,852
2006	9.02	3291	8,144
2007	9.02	3291	11,435
2008	9.02	3291	14,726
2009	9.02	3291	18,018
2010	9.02	3291	21,309
2011	10.48	3824	25,134
2012	10.48	3824	28,958
2013	10.48	3824	32,783
2014	10.48	3824	36,607
2015	10.48	3824	40,431
2016	12.68	4629	45,061
2017	12.68	4629	49,690
2018	12.68	4629	54,319
2019	12.68	4629	58,948
2020	12.68	4629	63,577
2021	15.55	5674	69,252
2022	15.55	5674	74,926
2023	15.55	5674	80,601

Grafica 2. Producción acumulada de material no recuperable del complejo recreativo, proyectada al año 2023.



B. Ubicación del proyecto

El predio forma parte de la finca propiedad del IRTRA, en donde se ubican los parques Acuático, Vacacional y de Diversiones, en el municipio de San Martín Tzapotitlán, departamento de Retalhuleu, en el kilómetro 180.50 de la carretera CITO-180 que conduce de la costa sur hacia Quetzaltenango.

El sitio en estudio colinda al Norte con el caserío El Zapote, al Sur con el río Cangrejo y la finca Mariland, al Este con el río Cangrejo y al Oeste con el mismo predio (planos de diseño 1 y 2, inciso E de este mismo capítulo).

En las fotos que se presentan a continuación se puede observar el terreno disponible para el presente proyecto, desde distintos ángulos.

C. Información topográfica del predio

El predio tiene un área de 1.83 ha (18,289.00 m²). Presenta una forma de polígono irregular y un desnivel en el sentido Noreste – Suroeste de 14.00 m. En el sector Noroeste presenta la parte más alta en la cota 43.00 y 29.00 en la parte más baja, hacia el Suroeste (plano de diseño 2, inciso E de este mismo capítulo).



Figura 1. Vista del ingreso al predio.



Figura 2. Vista general del predio, al fondo se observa el muro perimetral que colinda con el río Cangrejo.



Figura 3. Vista del predio, se observa la pendiente natural.

D. Diseño de la planta de tratamiento

El nivel freático en el área de estudio fue uno de los factores limitantes para lograr que los criterios para el diseño de las unidades de tratamiento se lograran cumplir, debido a que no fue posible realizar cortes de plataforma como se deseaba. Esto quedó evidenciado al observar el plano de diseño 2, inciso E de este mismo capítulo, en donde el nivel freático se definió por las cotas del río Cangrejo, en la parte mas baja (cota 29.00). Otra de las limitaciones fue el tamaño del predio, debido a que el área para el relleno sanitario es pequeña para cubrir un período de diseño de 20 años.

Tomando en cuenta estas limitaciones se diseñó la planta, ubicando las unidades de tratamiento desde la parte más baja hacia arriba, para que la descarga de los drenajes llegara a la superficie del río Cangrejo, en la cota 29.00. De acuerdo a esta consideración se ubicó en primer término la laguna de estabilización de lixiviados, seguidamente el relleno sanitario y por último las cámaras de compostaje, caseta de selección y almacenaje, oficina y garita.

Todas las características que presentan las unidades de tratamiento y que serán descritas a continuación, se basan en los criterios para diseño, descritos en el capítulo VII, sección F del presente documento. La descripción de las unidades se realizará de acuerdo al orden en que operará la planta de tratamiento.

1. Unidades de tratamiento

a. Caseta de selección y almacenaje. Este módulo se ubicó próximo a la puerta de ingreso, siendo el primer punto de parada de los carretones que ingresarán a descargar los desechos provenientes de los parques. Esta unidad presenta las siguientes características de diseño:

- 1) Cuenta con una área total de $17.00 \times 19.00 \text{ m}^2$, distribuidos de la siguiente manera:
 - a) Un área para selección de desechos sólidos de $17.00 \times 8.00 \text{ m}^2$, en donde se ubican dos mesas de concreto para selección, una área para lavado de recipientes de basura y una área para el procesamiento de objetos recuperados (prensado, quebrado, etc.).

- b) Dos bodegas de $3.00 \times 4.80 \text{ m}^2$ cada una, para almacenar los materiales poco voluminosos (papel, cartón y vidrio).
 - c) Dos bodegas de $3.60 \times 4.80 \text{ m}^2$ cada una, para almacenar los metales ferrosos, no ferrosos y plásticos.
 - d) Dos corredores de 3.00 m de ancho cada uno, a ambos lados de la caseta.
- 2) El sector de descarga de los desechos sólidos, en el área de selección, se diseño con un desnivel de 2.00 m más bajo que el nivel de la calle (la calle está en la cota 40.00 y la caseta está en la cota 38.00) para facilidad en la descarga de los desechos para selección (plano de diseño 3, inciso E de este mismo capítulo). Los desechos para selección llegan a la mesa de selección mediante una rampa (plano de diseño 4, inciso E de este mismo capítulo).
- 3) Las bodegas se ubican en la parte opuesta al área de selección, al mismo nivel (cota 38.00). Su ubicación, dada la localización de todas las unidades, se encuentra alejada de la calle de acceso, por lo que se hizo necesario conectarlas a través de una rampa de 8.20 m de largo (siendo el punto más alto en la cota 37.00 y el punto más bajo en la cota 36.00).
- 4) Considerando que serán camiones los que retirarán los materiales recuperables almacenados en las bodegas (vidrio, papel, cartón, plásticos, metales ferrosos y aluminio), se dejó una grada de 1.00 m entre el nivel de las bodegas y la rampa, para facilidad de carga (las bodegas están en la cota 38.00 y el punto más alto de la rampa es la cota 37.00) (planos de diseño 2 y 3, inciso E de este mismo capítulo).

b. Cámaras de compostaje. Este módulo se ubicó a continuación de la caseta de selección y almacenaje, siendo el segundo punto de parada de los carretones que ingresan a descargar los desechos provenientes de los parques (los detalles constructivos de esta unidad se muestran en los planos de diseño 2, 3, 4 y 6, inciso E de este mismo capítulo). Este presenta las siguientes características de diseño:

- 1) Cuenta con un área total de $33.00 \times 28.20 \text{ m}^2$, distribuidos de la siguiente manera:

- a) Dos módulos para cámaras de compostaje (primera y segunda fase de tratamiento), de cuatro unidades cada uno.
 - b) Galera de maduración y ensacado.
 - c) Corredores de 3.00 m de ancho, entre cada área antes descrita.
- 2) El número de cámaras se estableció de la siguiente manera: cada cámara se diseñó para una capacidad de 100.00 m³, con dimensiones de 5.00 m de ancho, 8.00 m de largo y 2.50 m de alto. De acuerdo con lo anterior y tomando en cuenta los 45 días de recolección continua, el volumen de la materia biodegradable que se producirá en el primer año de operaciones es de 8.19 m³ (cuadro 8). El número de cámaras para cada fase necesarias será:

$$\text{Número de cámaras} = \frac{45 \times 8.19 \text{ m}^3}{100 \text{ m}^3} = 4 \text{ cámaras}$$

- 3) La descarga de la materia biodegradable del carretón, se realizará por gravedad, ya que se diseñó para que existiera un desnivel entre la calle y las cámaras de 2.50 m (la calle se ubica en la cota 38.50 y el nivel de piso de las cámaras en la cota 36.00, detalle en planos de diseño 2 y 3, inciso E de este mismo capítulo).
- 4) Para el volteo de la materia putrescible de las cámaras de la primera fase a la segunda fase no quedó ningún desnivel ya que como ya se mencionó, no se pueden realizar muchos cortes en el terreno debido a que el nivel freático es alto (las cámaras de la segunda fase se ubican en la cota 36.00).
- 5) Considerando que no existe ningún tipo de desnivel entre las cámaras de la primera y la segunda fase, al realizarse el volteo del material putrescible, esta cámara quedará llena hasta las puertas de acceso por lo que fue necesario ubicar un ingreso adicional para cada cámara, mediante una puerta, que se ubica a 2.50 m del nivel del piso. Para ingresar a través de la puerta mencionada será necesario utilizar una escalera.
- 6) La galera de maduración y ensacado cuenta con un área de 33.00 x 12.80 m², no lleva paredes en los alrededores y es techada. En este caso, como la topografía del terreno no permitía otro desnivel, este se mantiene en la cota 36.00 (planos de diseño 2 y 3, inciso E de este mismo capítulo).

7) La galera se ubica en el lado opuesto a las cámaras de compostaje, con acceso a la calle de circulación interna. Esta se diseñó con un desnivel de 1.00 m con respecto al nivel de la calle, para facilitar la carga de los sacos de compost al camión que los retirará (la calle en este punto se ubica en la cota 35.00).

c. Relleno sanitario. El área de terreno que ocupará el relleno sanitario es de 3,200.00 m², multiplicada por el alto que alcanzará el relleno ya terminado (15.00 m) da el volumen a disponer, el cual es de aproximadamente 48,000.00 m³. El predio disponible para el relleno sanitario se llenaría iniciando operaciones en julio del año 2004, en diciembre del año 2017 (cuadro 8), sobre la base de una densidad compactada de 315.00 kg/m³ (Mijangos, 2002). Si la compactación es mayor, esta etapa puede prolongarse por algunos años más. Lo mismo sucedería si no se alcanza la producción de desechos no recuperables prevista ya sea porque no se construyeran los proyectos futuros o bien porque no se consiguiera un aumento en el ingreso de visitantes. Por el contrario, si la compactación fuera menor a la prevista, el relleno podría no alcanzar el período de diseño establecido.

Con respecto al alto que alcanzará el relleno sanitario (15.00 m), tomando en cuenta que la plataforma base del mismo se encuentra al nivel de la calle (en la cota 35.00), podría producir un impacto visual negativo, lo cual tendrá que ser evaluado con anticipación para tomar las medidas que se consideren convenientes.

El relleno presenta las siguientes características de diseño:

1) La parte más baja del relleno quedó definida por la cota 33.00, debido a que es necesario dejar un desnivel en la base del relleno para el drenaje (planos de diseño 2 y 3, inciso E de este mismo capítulo), esta cota se definió considerando previamente las cotas de descarga de los lixiviados al río Cangrejo y las cotas de la laguna de estabilización de lixiviados, como se describirá más adelante.

2) Considerando que la cota más baja del relleno es la 33.00, teniendo una longitud de 130.00 m de largo, se consideró 1.60% de pendiente para el drenaje, con lo que la cota más alta al inicio del relleno quedó en 35.00.

3) Tomando en cuenta que la cota de la calle que comunica al patio de maduración con el relleno sanitario quedó en 35.00, igual que la cota de la base del relleno sanitario, fue necesario considerar un relleno de tierra entre ambas, de 1.00 m de alto y taludes con relación 1:1, para evitar desprendimientos del material no recuperable en la base del relleno.

4) El drenaje tipo francés se construirá con tubos de concreto de 300 mm de diámetro perforados por encima y recubiertos con piedras de 10 mm a 25 mm de diámetro, tal como se muestra en los detalles del plano de diseño 6, inciso E de este mismo capítulo.

5) Para la conformación de las celdas de material no recuperable, según Jaramillo (1991), el alto de la celda será de 1.00 m a 1.50 m, para que brinde una mayor estabilidad mecánica a la construcción del relleno, mientras que el ancho será entre 3.00 m y 6.00 m, el cual se fija de acuerdo con el frente de trabajo necesario para la descarga de la basura por los vehículos recolectores. El largo de la celda no podrá ser mayor de 10.00 m.

En el presente caso, considerando que el volumen diario de material no recuperable ya incluye el 25.00% de material de cobertura, para efectos del cálculo de las celdas, este porcentaje se deberá descontar, con lo cual, de acuerdo al cuadro 8, el volumen de material no recuperable en el primer año será de $6.60 \text{ m}^3 - 25.00\% = 5.00 \text{ m}^3$.

Para establecer las dimensiones de la celda se realizó el siguiente procedimiento:

- a) El ancho de las celdas se definió de 4.00 m.
- b) El alto de las celdas se definió de 1.25 m, que será conformado por tres capas sucesivas de material no recuperable de 0.30 m de espesor (altura) cada una, con coberturas parciales de 0.05 m del material de cobertura disponible. Al final de las tres capas sucesivas, al alcanzar una altura de 1.00 m $[(0.30 + 0.05) + (0.30 + 0.05) + 0.30]$ se remata la celda con una capa de 0.25 m, quedando la celda terminada de 1.25 m de alto, como ya se mencionó.

El cálculo de la longitud de las celdas del relleno sanitario, aplicando la fórmula correspondiente es:

$$L_{\text{celda}} = \frac{5.00 \text{ m}^3 \times 7 \text{ días}}{0.90 \text{ m (alto)} \times 4.00 \text{ m (ancho)}} = 9.70 \text{ m}$$

En este caso no se aplicó el factor 0.5 por concepto de compactación, ya que el volumen de material no recuperable se estableció previamente compactado (Mijangos, 2002). El alto se calculó sin tomar en cuenta las coberturas parciales de 0.05 m, ni la capa de 0.25 m de cobertura final de la celda. El detalle para la conformación de las celdas se muestra en el plano de diseño 3, inciso E de este mismo capítulo.

6) El volumen anual requerido, según el cuadro 8 es de 2,400.00 m³, por lo que, considerando siete celdas de 4.00 m cada una, para conformar franjas de 28.00 m de ancho, aplicando la fórmula anterior, representa una plataforma de 90.00 m de largo. Así, las plataformas anuales con altura de 1.25 m serán de 28.00 x 90.00 m². El volumen y por ende la superficie requerida anualmente, es relativamente pequeña. De esta manera, se completarán las etapas del relleno previstas.

7) El final de cada celda será inclinado, con un talud de 1: 3.

8) La compactación se hará semimecanizada o manualmente, con rodillos y apisonadoras.

9) La conformación del acceso para ir trabajando los distintos frentes se hará conforme avanza el relleno, en sus distintos niveles o etapas. Al inicio del relleno se construirá un camino de acceso para ingresar directamente al área del relleno sanitario hasta el área donde se inicie a rellenar. Para la construcción del camino será necesario mover el material existente, conformar la cajuela y colocar la capa de balastro no menor de 0.30 m de espesor compactada en dos capas de 0.15 m.

10) El acondicionamiento del nivel terminado del relleno tipo jardinería se hará paulatinamente, al ir alcanzando los niveles previstos.

11) Los pozos de visita dentro del área del relleno sanitario también deberán ir creciendo, conforme el nivel del relleno va aumentando.

d. Laguna de estabilización de lixiviados. Se ubicó en la parte más baja del predio (plano de diseño 2, inciso E de este mismo capítulo), para que pudiera existir una pendiente mayor del 1.00 % en la tubería que conducirá los lixiviados del último pozo de visita del relleno sanitario hacia la laguna.

Considerando que no se cuenta con mediciones de campo del caudal de infiltración del drenaje francés, ni se conoce la concentración DBO para lixiviados, se decidió utilizar datos teóricos. De acuerdo a esta consideración, los datos son los siguientes (Oskley, 1997):

$$\begin{aligned} \text{DBO de las aguas negras crudas (La)} &= 290.00 \text{ mg / l} \\ \text{Caudal de Infiltración (Q)} &= 100.00 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

La información conocida es la siguiente:

Temperatura del ambiente del mes más frío = 22°C

Factor de Seguridad FS = 0.9

Relación horizontal y vertical del talud interior $i = 3$

Las dimensiones de la laguna se calcularon aplicando las fórmulas correspondientes, como se detalla a continuación:

- 1) Carga de retención hidráulica:

$$\text{CSm} = 357.4(1.085)^{22-20} = 420.75 \text{ kg/hab-día}$$

- 2) Área requerida para la laguna de estabilización de lixiviados:

$$\text{Af} = \frac{10 \times 290 \text{ mg/l} \times 100 \text{ m}^3/\text{día}}{420.75 \times 0.9} = 766.00 \text{ m}^2$$

- 3) Las dimensiones de la laguna, de acuerdo a la relación largo y ancho recomendado (2/1) y tomando en cuenta el espacio disponible es de

20.00 x 40.00 m². El fondo de la laguna, considerando las limitaciones en el terreno se definió en la cota 29.90, tomando en consideración que el nivel freático se encuentra en la cota 29.00. La altura total del agua se definió en la mínima recomendada a 1.60 m (Oskley, 1997), con lo cual queda en la cota 31.50. La cota de corona se definió a 1.00 m más alto que el nivel del agua, con lo cual queda en la cota 32.50. La profundidad útil de la laguna no cumple con los requerimientos mínimos, por lo que se considerará la profundidad de acumulación de lodos de 0.50 m, mientras que la profundidad útil fue 1.10 m.

- 4) El volumen de la laguna:

$$\begin{aligned} \text{Vf} &= (1.10/6) \times [(40.00 \times 20.00) + (40.00 - 2 \times 3 \times 1.10) \times \\ &\quad (20.00 - 2 \times 3 \times 1.10) + 4 (40.00 - 3 \times 1.10) (20.00 - 3 \times 1.10)] = \\ \text{Vf} &= 680.00 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

5) El período de retención hidráulica:

$$Of = \frac{680.00 \text{ m}^3}{100.00 \text{ m}^3/\text{día}} = 7 \text{ días}$$

Aplicando las fórmulas establecidas de acuerdo a datos teóricos de DBO y de caudal de infiltración, se puede observar que el período de retención hidráulica es menor de 10 días, por lo que las medidas de la laguna deberá ser rediseñada para una mayor área (largo y ancho). No obstante, considerando que existen limitaciones en cuanto al área destinada para la ubicación de la laguna y en la profundidad útil por las cotas del terreno, es conveniente mencionar las siguientes recomendaciones:

- a) Al finalizar el primer año de operación del relleno sanitario será necesario realizar las mediciones del caudal de infiltración proveniente del drenaje francés.
- b) Realizar un análisis químico de estos líquidos para establecer la DBO.
- c) Si la concentración de DBO se encuentra arriba de 500.00 mg/l, se hace necesaria la construcción de la laguna, para lo cual, con las fórmulas antes mencionadas se puede rediseñar la misma.
- d) Si el diseño diera como resultado que el período de retención hidráulica fuera mayor o igual a 10, se puede dar por concluido el diseño en cuyo caso se construirá con los datos establecidos en la misma.
- e) Si el período de retención hidráulica fuera menor de 10 pero cercano, considerando que existen limitaciones en el área para la ubicación la laguna, se podría considerar la limpieza de lodos con mayor frecuencia (dos años), considerando 0.25 m de profundidad de acumulación de lodos. Esta solución parece factible si se toma en cuenta que la cantidad de lodos presentes en los lixiviados es mucho menor a la contenida en las aguas negras crudas.

Los detalles de construcción de la laguna y de las obras complementarias se muestran en el plano de diseño 5, inciso E de este mismo capítulo.

2. Obras complementarias

a. **Oficina y garita de control.** Este módulo se ubicó próximo a la puerta de ingreso, siendo el punto de control de los camiones que ingresarán a la planta de tratamiento. Consiste en una pequeña edificación de 10.20 x 7.20 m², distribuidos de la siguiente manera (planos de diseño 2 y 4, inciso E de este mismo capítulo):

- 1) Vestíbulo
- 2) Oficina
- 3) Sala de conferencias
- 4) Servicio sanitario
- 5) Comedor para empleados
- 6) Vestidor para empleados con servicio sanitario y ducha
- 7) Bodega
- 8) Garita de control

b. **Vías de acceso a la planta.** El camino de acceso que conduce al predio es por la entrada al parque Acuático, tomando el camino de servicios del mismo, como puede observarse en el plano de diseño 1, inciso E de este mismo capítulo. Se encuentra a 1.00 km de los parques.

c. **Vías internas de circulación de vehículos.** Se diseñaron de 8.00 m de ancho. Para la habilitación de los caminos de circulación interna se deberá colocar una capa de balastro no menor de 0.30 m de espesor compactada en dos capas de 0.15 m cada una. La pendiente transversal será de 1.00% hacia donde se ubican las cajas de registro tipo tragante para la recolección del agua pluvial (planos de diseño 2 y 6, inciso E de este mismo capítulo).

d. **Vías internas peatonales.** Las vías de circulación peatonal entre las cámaras de compostaje y la caseta de selección y almacenaje consisten en rampas, diseñadas con pendientes no mayores del 10.00%. Así mismo, se diseñaron andenes en todas las calles de circulación interna (planos de diseño 2 y 3, inciso E de este mismo capítulo).

e. **Cercado y aislamiento visual.** Actualmente, el predio se encuentra parcialmente cercado con un cerco perimetral prefabricado. Por consiguiente considerando que el resto del predio será utilizado para otros parques recreativos, el resto del predio se deberá cercar.

f. **Drenaje.** En el presente proyecto, el sistema de drenaje para las instalaciones se dividió en varios ramales, de acuerdo al tipo de agua a transportar. El mismo se describe a continuación. El plano de diseño 6, inciso E de este mismo capítulo, muestra la planta de instalaciones de drenajes y detalles.

- 1) **Drenaje para aguas servidas de la oficina y bodega.** Este circuito consistirá en la instalación de tubería de cloruro de polivinilo (PVC) de 10.00 mm de diámetro para la descarga de las aguas negras de los servicios sanitarios. En este circuito la tubería descargará en una fosa séptica y pozo de absorción.
- 2) **Drenaje para lixiviados del relleno sanitario.** Consiste en un drenaje francés, con tubos de concreto de 30.00 mm de diámetro. Este drenaje se diseñó para descargar a la laguna de estabilización de lixiviados para su tratamiento, previo a la descarga en el río Cangrejo.
- 3) **Drenaje para aguas pluviales del predio.** Consiste en un drenaje de tubos de concreto para la descarga de las aguas pluviales. Este sistema se diseñó para descargar directamente al río Cangrejo.
- 4) **Canales con rejilla para lixiviados y aireación de las cámaras de compostaje.** Estarán provistas de rejillas y se ubicarán dentro de las cámaras de compostaje. Estas cajas se unirán a través de un tubo de PVC de 10.00 mm de diámetro al canal longitudinal ubicado en los corredores, el cual estará provisto de rejillas y losetas en los puntos donde se ubiquen puertas. Este último canal mencionado se unirá a la tubería de drenaje pluvial.
- 5) **Canales de aguas pluviales para el relleno sanitario.** Consiste en canales ubicados en todo el perímetro del relleno sanitario, para la recolección de las aguas pluviales del mismo. Este drenaje descargará directamente al río Cangrejo.
- 6) **Cabezal de descarga.** Consiste en una estructura de mampostería, que se construirá en el margen de río Cangrejo, para la protección de la tubería de descarga, de las corrientes del río.

E. Planos de diseño

En el cuadro 9 se enumeran los planos de diseño de las instalaciones de la planta de tratamiento de los desechos sólidos, los cuales se incluyen en el presente documento.

Cuadro 9. Planos de diseño de las instalaciones de la planta de tratamiento de los desechos sólidos de complejo recreativo IRTRA.

Número de plano	Nombre del plano de diseño
1	Localización del predio
2	Localización de instalaciones en plano altimétrico y fachadas
3	Secciones de planta de terreno, relleno sanitario y celdas
4	Planta acotada, oficina y garita, caseta de selección y almacenaje, cámaras de compostaje, cortes y detalles varios
5	Laguna de estabilización de lixiviados y detalles
6	Planta de instalación de drenajes y detalles



**INSTITUTO DE RECREACIÓN DE LOS
TRABAJADORES DE LA EMPRESA
PRIVADA DE GUATEMALA, IRTRA**

PROYECTO DE TESIS:
PLANTA DE TRATAMIENTO DE LOS
DESECHOS SOLIDOS
COMPLEJO RECREATIVO IRTRA

SAN MARTÍN TZAPOTITLAN, RETALHULEU

CONTIENE:
LOCALIZACIÓN DE PREDIO

SEPTIEMBRE 2003

1/6

F. Aspectos de operación y mantenimiento

1. Personal operativo.

a. Personal requerido para la operación de la planta de tratamiento.

Para la operación de la planta será necesario contar con 12 trabajadores cuyas actividades serán distribuidas de la siguiente manera: para la selección de los desechos se contará con cuatro personas, dos en cada mesa de selección; para la conformación de las celdas en el relleno sanitario se emplearán cuatro personas y dos personas más para realizar diversas tareas, tales como el transporte mediante carretilla de mano de los desechos a los diferentes destinos (cámaras de compostaje, relleno sanitario, etc.), para el lavado de los recipientes de basura, para trabajos de mantenimiento dentro de la planta de tratamiento o bien para cubrir los descansos del personal. Se deberá contar además, con una persona que dirija y oriente las operaciones en calidad de supervisor. Su presencia será importante especialmente en los primeros meses de operación. Con la experiencia de trabajo, será posible reducir el tiempo de permanencia a dos horas diarias: una hora en la mañana y otra en la tarde. Así mismo será importante contar con un guardia que controle el ingreso y egreso de los vehículos.

Para la recolección de los desechos en los parques y el transporte de los mismos a la planta de tratamiento, se contará con dos personas por parque.

Se considera la jornada de ocho horas con un tiempo efectivo de seis horas, tomando en cuenta las condiciones climáticas de la región. Los descansos de los trabajadores podrán programarse para los días martes, miércoles y jueves, ya que es en estos días en los que el volumen de desechos es bajo. Los turnos de descanso en estos días podrán ser de cuatro personas por día, quedando los ocho restantes para la realización de las diversas tareas.

b. Medidas higiénicas y de seguridad para los operadores de la planta de tratamiento.

Cada operario tendrá uniforme, el cual deberá ponerse antes de iniciar sus labores. El mismo consiste en *overall*, botas de hule, guantes de hule y gabacha plástica. El supervisor mantendrá el cuidado de sustituir frecuentemente cualquiera de las piezas del uniforme dañadas. A excepción del *overall*, todas las prendas utilizadas en la jornada de trabajo deben permanecer en las instalaciones.

Al iniciar el proyecto y periódicamente se capacitará al personal sobre el tema de manejo de desechos sólidos, el mantenimiento de las instalaciones, primeros auxilios y medidas de higiene

y de seguridad para prevenir riesgos para su salud. Así mismo deberán ser vacunados contra el tétano, fiebre tifoidea y otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades sanitarias del área. Las medidas de seguridad recomendadas se describen a continuación:

- 1) Los servicios sanitarios deben contar con agua limpia, jabón desinfectante y secadores de manos (toallas desechables o aire).
- 2) Se debe contar con un botiquín de primeros auxilios que incluya tela adhesiva, algodón, alcohol, solución de detergente desinfectante, tijeras, pinzas y un repelente para mosquitos e insectos.
- 3) Todas las herramientas de trabajo deben lavarse con agua limpia antes de ser guardadas, al finalizar la jornada de trabajo.
- 4) Cualquier herida que puedan sufrir los operadores debe desinfectarse inmediatamente después de que se hayan producido.
- 5) Para el procesamiento del vidrio (prensado, quebrado, etc.), el operador deberá utilizar el equipo adecuado para prevenir accidentes.

2. Operación de la planta de tratamiento

a. Recolección y transporte de los desechos sólidos. En los parques los desechos de los recipientes de basura serán transportados hacia las diferentes estaciones de transferencia por el personal encargado (Mijangos, 2002). Las estaciones de transferencia serán trasladadas a la planta de tratamiento por el personal asignado para tal efecto (dos personas por parque). En este caso no existe un horario fijo por lo que el personal encargado vigilará que las estaciones de transferencia se encuentren totalmente llenas para poder realizar el traslado, lo cual frecuentemente se realiza una vez al día, a excepción de los días viernes, sábado y domingo, en los que se realizarán dos o más acarreos por tratarse de días de alta ocupación.

Los vehículos pasarán a depositar los desechos a la caseta de selección, en donde se lleva a cabo la separación (entre orgánicos e inorgánicos). En el caso de los carretones que provienen del área de restaurantes y cocinas de los parques Vacacional y de Diversiones, los desechos orgánicos serán trasladados directamente a las cámaras de compostaje, los mismos serán reconocidos porque el recipiente de basura es de color verde.

b. Selección de los desechos sólidos. En las mesas de selección se realizará la selección de los desechos: materia biodegradable, material no recuperable y material recuperable. Ya realizada la selección, la materia orgánica será trasladada en carretillas de mano a las cámaras de compostaje, los objetos recuperables serán almacenados de acuerdo a su naturaleza en las distintas bodegas de donde saldrán a la venta y el material no recuperable será trasladado en carretillas al relleno sanitario. Cuando sea necesario, los vehículos que hacen la recolección de los desechos sólidos, deberán trasladar los rechazos que salen de las cámaras de compostaje al relleno sanitario, después de pasar depositando los desechos a la caseta de selección.

Los recipientes de basura deberán lavarse antes de regresarlos a los parques en el área prevista para tal efecto (caseta de selección y almacenaje).

c. Cámaras de compostaje. Tal como se indicó anteriormente la materia orgánica será trasladada a las cámaras de compostaje a través de carretillas de mano o carretones. Se iniciará por llenar la primera cámara superior, esparciendo bien los desechos hasta alcanzar una altura de 2.50 m en toda la cámara. Las cámaras deberán quedar completamente cerradas al terminar de depositar los desechos cada día, para asegurar el proceso de convección.

Cuando se haya llenado una de las cámaras se procederá a llenar la siguiente y así sucesivamente, hasta completar las cuatro cámaras de la primera fase de tratamiento.

Al completarse los 45 días de residencia en cada una de las cámaras de la primera fase, los desechos deberán voltearse a las cámaras de la segunda fase. Así, al quedar vacías las cámaras de la primera fase se volverán a llenar de la misma forma en la que se indicó anteriormente.

Al completarse los 45 días de residencia en las cámaras de la segunda fase del tratamiento, se vaciarán en el área de maduración y almacenaje, donde se almacenarán hasta que el material sea tamizado.

Una vez terminada la etapa de maduración, la materia estabilizada (el compost) será tamizada para luego llenar los sacos, listos para su destino final. Los rechazos, subproducto del tamizado del compost, serán trasladados en carretilla de mano al relleno sanitario manual.

Deberá controlarse la temperatura del material (biomasa) en las cámaras, la cual deberá mantenerse entre 60°C y 70°C en las primeras semanas del proceso de degradación. Asimismo, se debe tener controlada la humedad que debe ser alrededor del 60.00%. Si se diera el caso, que la materia en degradación se encuentra muy seca, será necesario regar agua hasta alcanzar la humedad adecuada en la biomasa. En caso contrario, es decir que la materia estuviera demasiado húmeda, deberá utilizarse hojarasca seca para controlar la humedad. Estos aspectos deberán controlarse frecuentemente.

d. Relleno sanitario

1) Construcción de las celdas en el relleno sanitario. Las operaciones de disposición de los rechazos inertes se iniciará en la parte más baja del relleno, debiendo los operarios indicar a los conductores de los vehículos y a los seleccionadores, el lugar donde se deben descargar los rechazos. El proceso de conformación de celdas se realizará en base al diseño especificado en el capítulo VIII, inciso D, siguiendo el siguiente procedimiento:

- a) Se colocará diariamente el material inerte en una capa de aproximadamente 0.30 m de espesor, acomodados al inicio contra el talud del terreno. En los laterales de la basura dispuesta, se dejará una pendiente que tenga una relación alto y ancho de 1: 3.
- b) Seguidamente serán compactados por medio de apisonadores y el rodillo compactador o por un pequeño tractor de oruga.
- c) Al finalizar la jornada, los desechos serán cubiertos con una capa de tierra de 0.05 m de espesor, debidamente compactada.
- d) Se continuará todos los días el mismo procedimiento hasta cubrir las dimensiones de la primera celda, en un tramo de 4.00 m de ancho por 10.00 m de largo.
- e) Para la segunda y tercera capa, se continuará con el mismo procedimiento, hasta alcanzar una altura de 1.00 m.
- f) La última capa será de tierra de 0.25 m de espesor para completar la primera celda (celda terminada de 1.25 m de alto).

g) Al terminar la primera celda se continuará la siguiente, al lado de la primera, para seguir el mismo procedimiento. De acuerdo a las proyecciones realizadas, se espera conformar una celda por semana en las dimensiones especificadas.

h) Los rechazos que afecten el procedimiento de colocación en la celda, por su volumen o por otras circunstancias, deberán transformarse de acuerdo a las características del relleno sanitario.

i) El material de cobertura se obtendrá del material que quedará acumulado desde la construcción inicial. En su defecto, podrá usarse el compost grueso, no apto para siembra, como material de cobertura.

2) Acabado final del relleno sanitario. Es menester darle un acabado final al relleno sanitario una vez alcanzada la altura de diseño. Dependiendo del acabado final del relleno, se puede dar el uso más adecuado al área así recuperada. Se podrá pensar en áreas de juego y recreación o bien en reforestación con valor paisajístico, mediante la siembra de algún tipo de gramíneas y arbustos.

El recubrimiento final no debe ser menor de 0.60 m, con suelo bien apisonado. Esto permitirá sustentar la mayoría de los usos antes mencionados. Hay que recordar aquí, que al no depositarse el grueso de los materiales putrescibles, según la tecnología propuesta, no se espera tener problemas con los gases bioquímicos comunes a los rellenos sanitarios convencionales.

El otro punto importante a atender en las medidas a tomar para el acabado final es la conformación de pañuelos o superficies con desniveles dirigidos a sitios de drenaje para que el agua de lluvia no se encharque o, por el contrario, erosión por escorrentía de alta velocidad.

e. Laguna de estabilización de lixiviados

1) Puesta en marcha de la laguna. La laguna deberá llenarse inicialmente con agua del cuerpo receptor o de otra fuente de agua limpia. Esto con el objetivo de evitar que se generen condiciones sépticas de las aguas negras si se llenara solamente con agua residual, y permitir el desarrollo de las poblaciones de microorganismos debido al tiempo de llenado de una laguna facultativa.

La laguna deberá llenarse de agua lo más pronto posible una vez construida, para evitar que los taludes se agrieten debido a las lluvias o que crezcan malezas en el fondo. Debe eliminarse toda la vegetación del fondo y taludes antes de empezar el llenado.

2) Medición de caudales. La medida del caudal tendrá una importancia decisiva para evaluar el funcionamiento de la laguna. Es fundamental tener un registro de los caudales para determinar la carga orgánica e hidráulica, el tiempo de retención hidráulica y como resultado, la eficiencia del sistema de tratamiento y su capacidad. El operador deberá registrar los caudales diariamente para tener una historia de los mismos, mediante el empleo de vertedores triangulares en las cajas de registro de entrada y salida.

3) Detecciones sensoriales: olores y colores. Las detecciones de malos olores y colores son muy importantes para conocer la efectividad del proceso de degradación. El operador deberá estar pendiente de los olores y los colores que sean extraños a los que deben existir normalmente en las lagunas. Este tipo de laguna no debe tener olores fuertes si están funcionando bien. El color del agua residual en la entrada de una laguna facultativa normalmente debe ser gris; el color de las aguas a la salida debe ser verde por la concentración de algas presentes.

4) Medición de la profundidad de lodos. La única forma de verificar los cálculos de acumulación de lodos es efectuar mediciones con una frecuencia de una vez por año. Se mide la acumulación de lodos al sumergir un palo de 2.50 m de largo que tiene un extremo revestido con tela blanca absorbente. Se introduce éste en la laguna cuidando que permanezca en posición vertical, hasta que alcance el fondo. Seguidamente, se retira y se mide la altura manchada con lodos, que queda fácilmente retenido en la tela. Se debe efectuar cuadrículas con una lancha en la superficie de la laguna para poder estimar la profundidad media y el volumen de lodos. Antes que la profundidad de los lodos llegue a 0.25 m se debe planificar una limpieza durante la próxima época seca.

3. Mantenimiento de las diferentes unidades de tratamiento. Con el objeto de garantizar el adecuado funcionamiento del proceso, tal como fue diseñado y para garantizar la vida útil de las instalaciones, será importante darle mantenimiento a las mismas. Las actividades a realizar se describen a continuación:

a. Caseta de selección y almacenaje. Diariamente, al finalizar las tareas, deberán limpiarse las mesas de selección, el piso y los canales con rejilla.

b. Cámaras de compostaje. Posteriormente a los volteos del material putrescible y antes de iniciar el llenado de cada cámara, deberán limpiarse los canales con rejilla para evitar que se llenen de materia putrescible que pueda obstaculizar la aireación de las mismas. Para asegurar la continuidad de las bacterias termofílicas, responsables del proceso de biodegradación aerobia, en ningún caso se usará agua para limpiar.

c. Relleno sanitario. La tubería de concreto, los canales periféricos que sirven para drenar el agua de lluvia y los tragantes deberán mantenerse libres de basuras y cualquier otro material que obstaculice la circulación del agua.

d. Laguna de estabilización de lixiviados. El mantenimiento rutinario de la laguna consiste en efectuar limpieza de la caja de entrada. El material extraído debe ser enterrado para evitar problemas de malos olores y la atracción de roedores, o bien, podría dársele tratamiento en las cámaras de compostaje. Siempre existen natas y sólidos flotantes en sistemas de lagunas. La remoción de éstas se debe hacer diariamente para que no se extiendan demasiado sobre el área superficial de la laguna donde puede haber problemas de malos olores por su descomposición, por disminución de aireación natural y por la formación de lugares para la proliferación de insectos. También se debe mantener limpia la pantalla de la caja de salida para que las natas o sólidos no se salgan de la laguna en el efluente.

El césped no debe llegar hasta el borde del agua para evitar problemas en la operación de la laguna. El operador deberá mantener una faja limpia de al menos 0.20 m por encima del borde del agua. Se debe prestar especial atención al surgimiento de jacintos de agua y otras plantas acuáticas, las que deben ser extraídas para darles tratamiento en las cámaras de compostaje.

Se deberá inspeccionar una vez por semana el estado de los taludes para verificar si ha ocurrido algún asentamiento o erosión. Los daños deben ser reparados con material arcilloso y cubierto con el revestimiento adecuado.

La manera más económica de remover los lodos es la limpieza en seco, donde se vacía la laguna y se secan los lodos exponiéndolos al sol durante la época seca. No obstante, como en este caso no se cuenta con otra laguna para desviar el afluente, no se puede esperar hasta que los lodos se sequen por lo que para extraerlos (los lodos tienen una humedad de alrededor del 70.00%) se puede utilizar un cargador frontal y camión de volquete para removerlos. Los lodos removidos deben ser tratados en las cámaras de compostaje o con cal, en una concentración de 15.00% por peso, y enterrados en un sitio que no ofrezca peligro a la población y al medio

ambiente. Después de haberse removido los lodos, se llena la laguna para recuperar la capacidad de tratamiento. La remoción se deberá realizar cuando alcancen una altura media de 0.25 m.

e. Obra exterior. Los caminos de acceso deberán mantenerse en buen estado. Cualquier deterioro deberá ser reparado lo antes posible. El área en su totalidad deberá estar señalizada y no se permitirá el acceso a personas ajenas al lugar, salvo cuando sea autorizado por el supervisor.

4. Equipo y herramientas. El equipo con el que se debe contar para la operación de la planta de tratamiento incluye lo siguiente: guantes de cuero y mascarillas para la manipulación de vidrio, carretillas de mano, palas, azadones, machetes, desnatador, rastrillos, pico, martillos, escobas, cortadora de césped, mangueras, destornillador, recipientes en diferentes tamaños para recolección de cualquier tipo de desechos, lancha pequeña, apisonadores y rodillos para compactar.

Por la modalidad tecnológica escogida en la operación de la planta, se ha minimizado el empleo de equipo mecanizado. Sin embargo, podría emplearse de manera opcional un tractor pequeño tipo bobcat con cargador frontal para la carga y el traslado del material de rechazo, materia orgánica fresca, en proceso de descomposición y compost, dentro de la planta de tratamiento. Los andenes y rampas al igual que las compuertas de las instalaciones fueron diseñadas para este tipo de uso, además del manejo manual alternativo.

Así mismo para operar el relleno sanitario en el acondicionamiento del material de rechazo, la extracción y aplicación del material de cobertura, la conformación de celdas y el acabado del relleno sanitario, podría emplearse un tractor tipo D4 o un tipo D6 marca Caterpillar, Komatsu o equivalente. El mismo deberá estar provisto de orugas (no de llantas de hule) para efectuar una compactación modesta del relleno, en sus diferentes capas y de una cuchilla frontal tipo *bulldozer*.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Proyecciones

Uno de los puntos importantes a discutir es que los métodos empleados para calcular las proyecciones de los visitantes, se basan únicamente en criterios de mercadeo y publicidad que serán adoptados por la institución, para incentivar el ingreso de visitantes a los parques. Considerando la trascendencia que estas proyecciones tienen en el cálculo de las dimensiones de las unidades de tratamiento, se considera que podría haber fluctuaciones en la vida útil del relleno en el terreno disponible (13 años aproximadamente), con la posibilidad de prolongarse o reducirse. En el caso de que estas políticas no alcancen los objetivos deseados, la producción de desechos sólidos podría ser menor a la proyectada, con lo cual el relleno podría sobrepasar el tiempo estipulado de vida útil.

B. Ubicación del predio

El predio se ubica en la misma finca donde se encuentran los parques, lo cual es una ventaja puesto que las distancias a recorrer por los camiones y carretones son cortas, sin permitir que la planta de tratamiento sea visible desde los parques.

C. Diseño de las unidades de tratamiento

1. Características del predio. Las características del predio en cuanto al tamaño, el nivel freático alto y la topografía accidentada, fueron determinantes en el diseño de las unidades de tratamiento y en la definición de la vida útil del relleno sanitario, e incidieron en las variaciones en el diseño de las unidades de tratamiento, en relación a los criterios establecidos, por las siguientes razones:

a. La vida útil del relleno sanitario no alcanzó los 20 años de diseño debido a que el predio es pequeño y no se pudieron realizar cortes para bajar el nivel de la plataforma del relleno ya que el nivel freático es alto.

b. El nivel freático alto no permitió que las cámaras de compostaje se diseñaran de manera escalonada, a lo cual se sumó la topografía accidentada del predio ya que si la plataforma de la segunda fase se hubiera bajado de nivel 2.00 m, como se deseaba, una parte de la cimentación de las cámaras de compostaje quedaba sobre terreno de relleno, como puede observarse en el corte C-C del plano de diseño 3, inciso E del capítulo VIII.

Este problema se explica mejor si se observa el plano de diseño 1, inciso E del capítulo VIII, en el cual se observa que en el sentido noreste – suroeste existe un desnivel de 14.00 m, que va desde la cota 43.00 en el punto más alto, a la cota 29.00 en el río Cangrejo, mientras que en el sentido noroeste – sureste también existe un desnivel de 5.00 m, que va desde la cota 36.00 en el punto más alto a la cota 31.00 en las márgenes del río Cangrejo, por lo que si se realizaban cortes para definir las plataformas de acuerdo a los criterios de diseño establecidos también debían realizarse grandes rellenos, lo cual se consideró contraproducente para la estabilidad de las estructuras.

2. Características de las unidades de tratamiento. Las unidades de tratamiento se ubicaron en el orden en que operará el proceso de tratamiento de los desechos sólidos.

a. Caseta de selección y almacenaje. Es la primera unidad en el orden del tratamiento puesto que es el punto en donde se descargan los desechos sin clasificar para seleccionarlos y distribuirlos a los diferentes destinos finales, tales como las cámaras de compostaje para los desechos putrescibles, el relleno sanitario para la materia no recuperable y las bodegas para los desechos recuperables. Esta unidad cumple con todas los criterios de diseño establecidos.

b. Cámaras de compostaje. Como segunda estación de parada de los carretones, se ubican las cuatro cámaras de compostaje de la primera fase de descomposición. En este lugar se descargarán los desechos procedentes del área de restaurantes y cocinas de los parques Vacacional y de Diversiones. Cuenta con accesos adecuados hacia la caseta de selección y almacenaje de donde serán trasladados los desechos putrescibles ya seleccionados.

Las cámaras de la primera fase cuentan con el desnivel adecuado, con relación a la calle de acceso (2.50 m), no obstante, debido al nivel freático alto, mencionado antes, las cámaras de la segunda fase ya no se diseñaron de manera escalonada como era recomendable para facilidad de manipulación del material putrescible. Esta situación traerá algún tipo de problema para el volteo ya que al llenarse la cámaras (de la segunda fase), el espacio quedaría completamente lleno con dificultad para mover las puertas cuando se hiciera necesario regar el material putrescible o bien descargar el compost hacia la galera de maduración. El problema se resolvió colocando una puerta a una altura de 2.50 m, la cual servirá para facilidad de ingreso del personal que realice las actividades de riego o descarga del compost. El ingreso a la misma se realizará colocando una escalera.

c. Relleno sanitario. Como ya se mencionó, la plataforma base del relleno sanitario en la parte más alta se diseñó al mismo nivel de la calle perimetral (cota 35.00) debido a que no fue posible realizar cortes de terreno, por el nivel freático alto. La cota más baja fue 33.00 ya que se consideró un desnivel de 2.00 m en el sentido noreste – suroeste, en donde hay 130.00 m de largo, para dejar definida la pendiente del drenaje francés en 1.50%. Esto conllevó las siguientes repercusiones:

- La plataforma base del relleno quedó sobre la superficie del terreno natural sin posibilidad de aumentar el volumen mediante cortes.
- En algunas áreas del relleno sanitario en donde las cotas del fondo del relleno coinciden con las cotas de las calles de circulación interna, fue necesario diseñar una protección formada por un relleno de tierra de 1.00 m de alto, con taludes hacia ambos lados, para evitar que el relleno de material no recuperable quedara expuesto en la base y evitar así desprendimientos del mismo.
- Al finalizar el relleno a la altura de diseño (15.00 m), podría provocar un impacto visual negativo ya que prácticamente se formará un montículo sobre la plataforma del terreno natural, lo cual deberá ser evaluado en su oportunidad.

d. Laguna de estabilización de lixiviados. El diseño de esta laguna presentó el problema que no existen datos de caudal de infiltración del drenaje francés y además, no se conoce la DBO de este tipo de lixiviados, por lo que el diseño se realizó con datos no ajustados a la realidad. No obstante, en el presente documento se presentan todos los criterios para el rediseño de la misma, siempre y cuando se cuente con datos reales. El caudal de infiltración podrá ser medido directamente del drenaje francés y una muestra del mismo podrá ser llevada al laboratorio para conocer las concentraciones de DBO presentes en los lixiviados.

e. Obras complementarias. Comprende toda la infraestructura que no forma parte precisamente del tratamiento y disposición final de los desechos, pero es un complemento para que la planta, en su conjunto, funcione de manera adecuada. El más importante de mencionar es la oficina y garita. Es la primera en el orden, ubicada en el ingreso al predio, es el lugar en donde el guardia podrá vigilar el ingreso y egreso de los camiones. Cuenta con dos áreas principales:

1) **Área de servicios para los trabajadores.** Esta área cuenta con vestidores, servicio sanitario, ducha y comedor. Al respecto, es importante resaltar que el IRTRA cuenta con este tipo de servicios para sus trabajadores, sin embargo, para los que van a laborar en esta área, les quedaría muy lejos movilizarse hacia esos servicios.

2) **Área de visitantes a la planta de tratamiento.** El área para visitantes se ubica en la oficina y garita y cuenta con sala de conferencias para seis a ocho personas, servicio sanitario y área de parqueo de vehículos. Con el objeto de que esta planta de tratamiento, por sus características, sirva de modelo para la región, en esta área se pretende atender a autoridades municipales interesadas en conocer el proceso de tratamiento de los desechos, para que en un futuro, este tipo de sistemas pueda ser desarrollado para las localidades vecinas en calidad de proyectos municipales de aseo urbano.

E. Aspectos de operación y mantenimiento

Este capítulo fue diseñado para establecer las directrices para el correcto funcionamiento de la planta, con lo cual se espera que los procesos se realicen de manera correcta, en el tiempo establecido, en un ambiente adecuado para los empleados en el desempeño de sus actividades y evitar así la contaminación del entorno y riesgos de enfermedades e infecciones.

X. CONCLUSIONES

- La planta de tratamiento de desechos sólidos propuesta para el complejo recreativo IRTRA, cumple con especificaciones técnicas y ambientales de manejo integral de los desechos sólidos, para evitar la contaminación del ecosistema, ocasionada por las actividades de recreación en el área.
- El enfoque tecnológico empleado para el tratamiento de los desechos sólidos del complejo recreativo del IRTRA, corresponde al tipo de desechos generados según la caracterización realizada, puesto que, entre otras cosas, contempla la recuperación de la porción mayoritaria de las basuras (materia orgánica putrescible) y la disposición final de los desechos no recuperables en un relleno sanitario.
- La ubicación resultante de las unidades de tratamiento es acorde con el orden de operación que requiere una planta de esta categoría: área de selección y almacenaje, área de tratamiento del material putrescible (cámaras de compostaje), área de disposición final de material no recuperable (relleno sanitario) y laguna de estabilización de lixiviados.
- El tratamiento propuesto para el material orgánico, representa un sistema novedoso, por cuanto el proceso de descomposición se realiza por cámaras de convección de aire, que evita la excesiva manipulación (un volteo en vez de 12, como es común) y la mecanización sofisticada de sistemas como los que se acostumbra en los países industrializados (sistemas Dano, Beltsville, etc).
- El proceso de descomposición del material putrescible planteado, no causa malos olores, por tratarse de una descomposición aerobia, debido al sistema de oxigenación por medio de canales provistos de rejillas, ubicados en el piso de las cámaras, que permiten el paso de aire y la extracción del aire caliente mediante extractores rotatorios en el techo.
- Existe un riesgo de fluctuaciones en la vida útil del relleno sanitario debido a la dependencia de las políticas que el IRTRA ponga en práctica para propiciar el incremento de visitantes en los parques y a la construcción de nuevos proyectos.

- El relleno sanitario no presenta problemas respecto a la formación de gas bioquímico (lo cual se exhibe en rellenos sanitarios convencionales) porque al menos el 80.00% de la materia orgánica putrescible se extraerá del material inerte, que luego, se depositará en este vertedero controlado, reduciendo el riesgo potencial.

- La infraestructura propuesta es sencilla, se emplean procedimientos y materiales de bajo costo, frecuentemente utilizados en Guatemala (cimentaciones y muros de *block* reforzado, armaduras de hierro y lámina galvanizada, plataformas de concreto armado, techos de lámina galvanizada, etc.).

- Los requerimientos administrativos para la operación y mantenimiento de las instalaciones diseñadas, son los necesarios para obtener la más adecuada coordinación y planificación para el seguimiento y operación de la planta.

XI. RECOMENDACIONES

- En cumplimiento del Artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (decreto 68-86), se deberá realizar un estudio de evaluación de impacto ambiental del proyecto. En el mismo se deberán identificar los impactos al ambiente que el proyecto generará, tanto en la etapa de construcción como en la etapa de operación así como proponer las medidas de mitigación adecuadas.
- Con el objeto de mejorar el rendimiento de la biodegradación, es necesario mejorar la relación Carbono: Nitrógeno (C:N) de la biomasa, la cual debe ser de 25 a 30:1 (Mijangos, 2002). Para mejorarla, en el inicio de las operaciones de las cámaras de compostaje, se recomienda realizar pruebas utilizando diferentes cantidades de hojarasca, las mismas deberán ser evaluadas a través de un análisis físico y químico del compost para establecer la cantidad de hojarasca a mezclar en el proceso.
- Para mantener un proceso eficiente de biodegradación en las cámaras, es recomendable mantener el 60.00% de humedad dentro de la biomasa, lo cual se consigue regando agua diariamente. Se deberá tener cuidado de no exceder este límite para evitar microorganismos anaerobios y para no producir los lixiviados. En caso de que los desechos ya mezclados rebasen los límites de humedad, se debe bajar el porcentaje agregando a la biomasa la hojarasca seca que en abundancia se produce en los jardines de los parques.
- Con el objeto de eliminar la proliferación de patógenos y semillas de pastos y frutos que pudiera contener la basura, se recomienda controlar la temperatura dentro de las cámaras, la cual se medirá en dos estratos, en la superficie deberá oscilar entre los 38°C y 45 °C. A 1.00 m de profundidad se deberá encontrar entre 65°C y 70°C.
- En la etapa de finalización del relleno sanitario, se recomienda la recuperación del terreno para fines de jardinería, mediante la reforestación del área.

- Tomando en cuenta que a excepción del relleno sanitario, el resto de las instalaciones tendrá una vida útil de 20 años o más, habrá que considerar transferir el material de rechazo a otro relleno sanitario alejado del terreno actual.

- Se recomienda que los materiales recuperables sean evacuados con prontitud para evitar la proliferación de plagas.

- Se recomienda realizar un análisis químico de los lixiviados procedentes del drenaje francés, al finalizar el primer año de operación del relleno sanitario. Si la concentración de DBO se encuentra arriba de 500.00 mg/l, se recomienda la construcción de la laguna de estabilización, debiendo para tal efecto, realizar nuevamente el diseño de la misma aplicando los datos de DBO obtenidos en el análisis.

- Se recomienda propiciar la investigación, a través de proyectos de tesis, del proceso de tratamiento de los desechos sólidos, con el objeto de mejorar aspectos tales como: la eficiencia de la realización de los procesos de biodigestión, mediante la utilización de inóculos bacterianos, mejoramiento de la composición física y química del compost, presencia de patógenos, etc., con el objeto de enriquecer con datos veraces el diseño de futuros proyectos.

- Finalmente, se recomienda la construcción de la planta de tratamiento de desechos sólidos, de acuerdo a las especificaciones de diseño propuestas en el presente estudio, para eliminar los problemas del manejo empírico existentes actualmente.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- Actualización de los estudios y diseños de un sistema de manejo de desechos sólidos en las Cabeceras municipales de Coban, San Pedro Carcha y San Juan Chamelco, departamento de Alta Verapaz.* 2001. Consultora en ingeniería ambiental y sanitaria. Guatemala. 130 págs.
- Deffis, Armando. 1991. *La Basura es la Solución.* México, D.F., Árbol, 277 págs.
- De Franco, Vicelda; N. de Franco. 1996. *Manejo integral de los desechos sólidos en San Lucas Sacatepéquez.* Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. 92 págs.
- Dominguez, Julio. 2001. *Descripción del procesamiento de desechos sólidos domiciliarios en la planta Alameda Norte como alternativa ambiental.* Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. 64 págs.
- Guatemala. 1970. *Atlas geográfico de la república de Guatemala.* Guatemala, Instituto Geográfico Nacional (IGN). 30 págs.
- Guatemala. 1998. Unidad de construcción de edificios del estado. *Bases de la licitación 10-98.* Guatemala, Ministerio de comunicaciones, infraestructura y vivienda. 57 págs.
- Jaramillo, Jorge. 1991. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales.* Washington D. C. 214 págs.
- Mijangos, Nadia. 2002. *Manejo integral de desechos sólidos del complejo de parques del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA): Acuático Xocomil, Vacacional Tzapotitlan y de Recreaciones Xetulul, ubicados en San Martín Tzapotitlan, Retalhuleu. Fase I: caracterización y ordenamiento del manejo de desechos sólidos.* Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 117 págs.
- Oakley, Stewart. 1997. *Manual de diseño, operación y mantenimiento para lagunas de estabilización en Honduras.* Honduras. 104 págs.
- Szantó, Marcel. 1996. *Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para manejo de residuos sólidos urbanos.* Chile. 284 págs.

XIII. APÉNDICE

Apéndice I

Monografía del complejo de parques recreativos del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA): Acuático Xocomil, Vacacional Tzapotitlán y de Diversiones Xetulul.

El Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA), se creó mediante el decreto 1,528 del Congreso de la República, en vigor a partir del 1 de Julio de 1,962. La finalidad principal del IRTRA, es la de organizar el descanso y la recreación de los trabajadores del sector privado y de sus familias, ofreciéndole las condiciones e instalaciones adecuadas para el mejor empleo de su tiempo de descanso laboral por medio de recreación sana en lugares idóneos.

Para el sostenimiento del IRTRA, a partir del 1 de Julio de 1962, los empresarios privados contribuyeron mensualmente con el 3.00‰ sobre sueldos y salarios ordinarios de sus trabajadores. A partir del 1 de Agosto de 1992, mediante el Decreto 43-92 del Congreso de la República que contiene las disposiciones que reforman el Decreto 1,528, los patronos del sector privado contribuyen con el 1.00% por ciento sobre sueldos y salarios ordinarios y extraordinarios que pagan a sus trabajadores.

La junta directiva está integrada por un representante de la Cámara de Comercio, dos representantes de la Cámara de Industria, un representante de la Asociación General de Agricultores, dos representantes de los trabajadores organizados, un representante del Organismo Ejecutivo y un suplente por cada una de las entidades mencionadas.

El IRTRA tiene en operación actualmente cinco parques recreativos: Amatitlán, Agua Caliente, Petapa, Vacacional Tzapotitlán, Acuático Xocomil y de Diversiones Xetulul.

Para los trabajadores de la empresa privada, el ingreso a las instalaciones es absolutamente gratuito y pueden usar sin costo alguno las canchas deportivas, áreas verdes, piscinas, zoológico y el área de espectáculos. A precios favorables pueden disfrutar de algunos servicios dentro de los parques, tales como: venta de alimentos, bebidas no alcohólicas, juegos mecánicos infantiles, paseos en lanchas, baños de vapor y hospedaje (en el parque Vacacional).

A continuación se describen los parques que conforman el complejo recreativo del IRTRA de Retalhuleu, ubicados en el municipio de San Martín Tzapotitlán, localizados en el kilómetro 180.50 de la carretera CITO-180 que conduce de la costa sur hacia Quetzaltenango.

1. Parque Vacacional Tzapotitlán (hostales del IRTRA). Este parque tiene un área de 120.00 mz. El área recreativa del parque tiene una capacidad aproximada para 2,500 personas. El área de hospedaje está dividida en tres sectores:

- Hostal de San Martín con 192 habitaciones dobles y baño privado.
- Hostal La Ranchería con 40 cabañas que cuentan con dos habitaciones dobles, sala, comedor y cocina.
- Hostal Santa Cruz con 95 habitaciones dobles, 38 junior suites y 18 suites.

Este parque cuenta con piscina para niños y adultos, área deportiva con cancha de basketball, voleibol, papifutbol y fútbol, tienda de souvenirs, salón de juegos, puestos de venta de alimentos, lavandería, clínica médica y traslado al parque Acuático Xocomil en el tren ferrocarril de los altos. Cuenta además con área para parqueo con capacidad para 300 vehículos y un área jardinizada de 107,182.00 m².

El parque ofrece además alimentación en los restaurantes que se mencionan a continuación:

- Restaurante La Hacienda, con capacidad para 600 personas.
- Restaurante Las Arecas con capacidad para 260 personas.
- Salón de convenciones El Torreón con capacidad para 150 personas.
- Bar Las Bóvedas,

2. Parque Acuático Xocomil. Este parque tiene una extensión de 77,300.00 m², con una capacidad para 6,000 personas simultáneamente, parqueo para 976 vehículos, en un área de 24,999.50 m². Cuenta con toboganes de alta velocidad, piscinas con olas, el río lento, tienda de souvenirs y juegos interactivos para niños, bodegas con una extensión de 2,560.00 m², vestidores para empleados con una superficie de 500.00 m², un pozo con capacidad de depósito de 840.00 gl (3,150.00 lt/min) y un depósito de 173,250.00 lt. El parque ofrece alimentación en el restaurante El Gran Chac, con capacidad para 650 personas y en cinco diferentes puntos de venta.

3. Parque de Diversiones Xetulul. Se encuentra ubicado a un costado del parque Acuático Xocomil. Tiene como tema central al país y sus orígenes con escenarios que imitan aspectos arquitectónicos y culturales de las diferentes ciudades del territorio nacional, así como representaciones de ciudades que han influenciado la cultura latinoamericana como lo son España, Italia, Alemania, Suiza y Francia. Cuenta con las siguientes áreas :

- Atracciones y juegos electromecánicos entre los cuales se encuentran: top spin, cyber loop, dos montañas rusas, splash muntain, carrusel y carros chocones.
- Tiendas de souvenirs
- Teatro
- Juegos de arcada
- Discoteca
- una feria tradicional.
- Sección gastronómica: cafés, restaurantes nacionales e internacionales, heladerías, cervecería y marisquería.
- Área de servicios generales, que incluye oficinas administrativas, bodegas de alimentos y de mantenimiento.

Apéndice 2

Glosario

Aerobio. Relativo a la vida o a procesos que pueden ocurrir únicamente en presencia de oxígeno.

Aguas de escorrentía o escurrimiento. Agua que no penetra en el suelo, o lo hace lentamente y corre sobre la superficie del terreno después de una lluvia.

Anaerobio. Una condición en la cual no existe oxígeno libre. Requerimiento de ausencia de aire o de oxígeno para la degradación.

Bacteria. Organismos unicelulares y microscópicos en los cuales el núcleo no está rodeado de membrana. Algunos son capaces de causar enfermedades tanto en el hombre como en las plantas y animales. Son muy importantes en el tratamiento de aguas negras y desechos sólidos.

Biodegradable. Se dice de las materias que son eliminadas por efectos biológicos naturales.

Biomasa. Es la cantidad de materia perteneciente a organismos vivos que hay en un ecosistema. Puede medirse como peso fresco de organismos vivos, pero seco.

Compost. Producto químico orgánico que se utiliza para compensar con materias orgánicas los suelos que tienen esta carencia. Mezcla de tierra, residuos orgánicos y cal o materias calcáreas. Mediante la preparación de las mezclas llamadas compost se favorece la descomposición de residuos diversos y se hace más eficaz su empleo como fertilizante.

Disposición final. Es la última actividad operacional del servicio de aseo urbano, mediante la cual las basuras son descargadas en forma definitiva.

Gas metano. Es un gas que se forma en la descomposición de materias orgánicas por fermentación. Se desprende en los pantanos o en vertederos incontrolados en cantidades que pueden ser peligrosas. Aparece también en los gases naturales en zonas petrolíferas y en el gas de alumbrado.

Lixiviado. Es el líquido que percolado a través de los desechos sólidos, acarrea materiales disueltos o suspendidos. La infiltración de una fracción de la precipitación pluvial es el principal generador del lixiviado en los rellenos sanitarios y en los botaderos de basura. Otros contribuyentes son: el contenido de humedad propia de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas.

Materia inorgánica. Se aplica a los cuerpos sin órganos para la vida, como los minerales.

Materia orgánica. Materia que se obtiene a partir de los seres vivos (vegetales o animales), sin excluir aquello que por vía sintética se puede obtener.

Permeabilidad. Se define como la velocidad de flujo del agua en el suelo bajo un gradiente hidráulico unitario. La dimensión de la permeabilidad es la de una velocidad, ya que su dimensión es la longitud dividida por el tiempo.

Precipitación. Es el agua atmosférica que cae al suelo en estado líquido o sólido, tal como la lluvia y granizo. La intensidad y frecuencia de la precipitación deben ser previstas en la construcción del relleno sanitario, para adoptar las dimensiones apropiadas de los sistemas de drenaje.

Tratamiento. Es el proceso de transformación físico, químico o biológico de los desechos sólidos que procura obtener beneficios sanitarios o económicos, reduciendo o eliminando efectos nocivos al hombre o al medio ambiente.

Vida útil. Es el período de tiempo en que el relleno sanitario estará apto para recibir basura continuamente. El volumen disponible por rellenar, es el que habrá entre la superficie original del terreno, después de su preparación para empezar a recibir basura y la superficie final.

