



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE  
Y CENTRO DE ACOPIO PARA UN PARQUE ECOLÓGICO**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**I N G E N I E R O   C I V I L**

**P R E S E N T A:**  
**ALFREDO GALICIA MARTÍNEZ**

**DIRECTORA DE TESIS:**  
**DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA**

México, D.F.

2014





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
MATEMATICA

DIVISION DE INGENIERIAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
H-INEINGCIVIS-FACUTITIS/2014

Sr. Sr.  
**ALFREDO CALICIA MARTINEZ**  
Presente

En atención a su solicitud de ingreso a su convocatoria al tema que propone la profesora URM, **MARÍA NEFTALÍ ROSAS VILLACIL**, que consta en este Comité, aceto que lo desaholle usted conforme a la Ley de Titulación Profesional de la Ley 1 y su reglamento profesional, para obtener su título de INGENIERIA CIVIL

**"DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE COMPOSTAJE Y CENTRO DE ACUPIO PARA UN PARQUE ECOLÓGICO"**

- INTRODUCCION
- I. JUSTIFICACION OBJETIVOS Y ALCANCES
- II. MARCO TEÓRICO
- III. METODOLOGIA
- IV. RESULTADOS
- V. CONCLUSIONES
- VI. RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

Para que usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en el registro visible de cada ejemplo de la zona el libro de texto

Además le recuerdo que la Ley de Profesiones establece que deben prestar servicios desde dentro un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente  
FRANCISCA MARÍA EL ESPÍRITU  
C/ Universidad 870 de febrero de 2014  
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

M. FRYL. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ  
ALCALDE

## *Agradecimientos*

*A Dios por darme el entendimiento y por permitirme terminar esta etapa de mi vida.*

*A mis padres:*

*Rosa María y José Luis, por su paciencia y apoyo incondicional hasta el final de la carrera.*

*A mis hermanos:*

*Cesar, por las discusiones acerca de la felicidad.*

*Paty, por sus regaños que me motivaron a seguir adelante.*

*Jesús, es hermoso verte crecer, gracias porque cuando estoy aburrido tú juegas conmigo.*

*A mis tías Elia y Lilia, por su gran apoyo que me brindaron y enseñarme la disciplina para estudiar, abuelita Antonia por cuidarme y alimentarme con tu sabiduría.*

*Ana Lilia Morales, por ser mi inspiración y estar siempre a mi lado, por ser mi cómplice y todo...*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de pertenecer a la comunidad universitaria.*

*A la Facultad de Ingeniería y profesores que durante la carrera brindaron sus conocimientos.*

*Al Instituto de Ingeniería por el apoyo económico recibido durante la elaboración de la tesis.*

*Un especial agradecimiento y de todo corazón a la Dra. María Neftalí Rojas Valencia, por su apoyo, por su tiempo y paciencia que me brindó para la realización de este trabajo, por creer en mí.*

*A los sinodales designados para mi examen profesional, por el tiempo que dedicaron a la revisión de este trabajo.*

*A mis compañeras(os), Diana Macías, Jessica Rivera, Carmen Chávez, Mayra Maldonado, Karla Serralde, Luz Quintero, Sergio Marín, Alfredo Jesús, Anayansi Rodríguez, por hacer divertida y feliz mi estancia en el Instituto de Ingeniería.*

# Índice

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Resumen .....	i
Introducción .....	1
Capítulo 1. Justificación, objetivos y alcances.....	3
1.1 Justificación.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Alcances .....	5
Capítulo 2. Marco teórico .....	6
2.1 Gestión de residuos sólidos en un parque ecológico .....	15
2.2 Área de estudio .....	19
Capítulo 3. Metodología .....	21
3.1 Primera fase (estudio de gabinete).....	21
3.2 Segunda fase (estudio de generación).....	21
3.3 Tercera fase (procedimiento de diseño de un centro de acopio y planta de composta).....	25
Capítulo 4. Resultados.....	29
4.1 Estudio de gabinete .....	29
4.2 Generación de residuos sólidos en un parque ecológico en operación.....	30
4.3 Cálculo, diseño de pilas de compostaje y dimensionamiento de centro de acopio .....	34
4.4 Beneficios.....	43
Conclusiones .....	46
Recomendaciones .....	47
Bibliografía.....	49
ANEXOS.....	53
Anexo A. Constancia de 1er Congreso Nacional AMICA Campeche 2013.....	53
Anexo B. Extenso presentación oral en el 1er Congreso Nacional AMICA Campeche 2013. .....	54
Anexo C. Certificado Tercer lugar categoría poster en el Congreso: Third International Conference on Recycling and Reuse of Materials (ICRM-2014).....	63
Anexo D. Presentación Poster en el Third International Conference on Recycling and Reuse of Materials (ICRM-2014) .....	64
Anexo E. Extenso presentación oral en el Third International Conference on Recycling and Reuse of Materials (ICRM-2014).....	65

## Índice de figuras

Contenido	Página
Figura 1. Xochitla parque ecológico .....	7
Figura 2. Parque ecológico Huayamilpas .....	7
Figura 3. Contenedores ubicados a la entrada del auditorio al aire libre.....	17
Figura 4. Contenedores en el área del parque Jaguaroundi .....	18
Figura 5. Contenedores de almacenamiento de residuos del parque Jaguaroundi..	18
Figura 6. Mapa de ubicación de Ixhuatlán del Sureste municipio del estado de Veracruz.....	20
Figura 7. Mapa regional que muestra los polígonos del parque Tuzandepetl, así como la ubicación de las principales localidades de influencia directa y potencial sobre el área natural protegida .....	20
Figura 8. Tambo de fierro con capacidad de 200 L .....	23
Figura 9. Secuencia para obtener el peso volumétrico <i>in situ</i> .....	23
Figura 10. Residuos sólidos y cartón en área de almacén de residuos .....	25
Figura 11. Contenedores adecuados para el almacenamiento temporal de los residuos sólidos en el centro de acopio .....	27
Figura 12. Número de visitantes por día durante el estudio .....	32
Figura 13. Centro de acopio propuesto. a) vista frontal. b) vista lateral. c) espacio para los residuos. d) vista posterior .....	38
Figura 14. Montículo de composta generado en una semana.....	40
Figura 15. Pila formada en 3 meses y especificaciones.....	40
Figura 16. Montículo propuesto por semana.....	41
Figura 17. Propuesta de planta de compostaje.....	41
Figura 18. Trituradora de materia orgánica y mezcladora de composta .....	48

## Índice de tablas

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Relación de temperatura y tiempo para garantizar la inocuidad del producto final .....	12
Tabla 2. Comparación de leyes mexicanas.....	29
Tabla 3. Resultados del estudio de generación del parque ecológico Jaguaroundi.....	31
Tabla 4. Porcentaje por día y peso total de residuos sin residuos de jardinería .....	33
Tabla 5. Generación en peso (Kg) en un mes, tres y un año por cada residuo .....	34
Tabla 6. Generación de volumen (m <sup>3</sup> ) en un mes, tres meses y un año por cada residuo ...	36
Tabla 7. Ganancia estimada por la venta de los residuos reciclables .....	44
Tabla 8. Ingresos por Kg de composta a diferentes precios en el mercado .....	45

## Resumen

El INEGI estimó en el 2011 que en la República Mexicana se generan 41 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos lo que equivale a cerca de 112.5 mil toneladas de residuos sólidos/día, de ese total tan solo en Veracruz se generaron 6,178 toneladas de residuos sólidos/día (SEMARNAT, 2014). Para mitigar este problema se están construyendo edificaciones sustentables en los que se incluyen planes de manejo de residuos sólidos. Por lo que el objetivo de éste trabajo es proponer, dentro de las instalaciones de un parque ecológico, la construcción de un centro de acopio para el almacenamiento de residuos sólidos con valor económico; así como, una planta de compostaje para tratar la fracción orgánica.

A partir de un estudio de generación hecho en un parque ecológico en operación se obtuvieron los pesos volumétricos de los residuos generados, los más abundantes fueron el polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en ingles PET)  $38.75 \text{ Kg/m}^3$ , los residuos alimenticios  $110.5 \text{ Kg/m}^3$  y los residuos de jardinería  $2443 \text{ Kg/m}^3$ . Estos datos se utilizaron de base para hacer el dimensionamiento de un centro de acopio y una planta de compostaje del parque ecológico que se planea construir en Tuzandepetl, Veracruz. Los residuos de PET y los plásticos fueron sumados obteniéndose un peso volumétrico de  $2.4 \text{ m}^3$  en tres meses, dicho volumen se utilizó para diseñar las áreas específicas en las que se dividió el centro de acopio, formando cuatro áreas, cada una de 2 metros por 1.5 metros de ancho con una altura de 2 metros más un metro para la ventilación, se propuso un separador movable en caso de que se requiera mayor espacio para algún residuo. Para la planta de compostaje se siguió el método aplicado en el taller-técnicas de compostaje de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), en el que se tomó como dato la densidad de composta  $250 \text{ Kg/m}^3$  y se obtuvo el volumen diario de residuos orgánicos ( $2.25 \text{ m}^3$ ) para diseñar un montículo por semana con dimensiones de 1.5 por 0.8 metros de superficie y 1.2 m de altura, formando una pila de 16 m de largo en tres meses, en ambos se propuso una plancha de concreto de 10 cm de espesor.

Se sugirió que en la planta de compostaje se considere un área para la recepción, para la trituración, vigilancia y de almacenamiento, además del área para las pilas.

Se concluye que el parque ecológico Tuzandepetl debe contar con planes de manejo de residuos sólidos en los cuales se contemplen instalaciones para separar los residuos inorgánicos y otra para tratar los residuos orgánicos, cumpliendo así lo establecido por la Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de manejo especial para el estado de Veracruz.

Se recomienda utilizar los materiales que sean reciclables de otras obras (edificaciones urbanas en demolición) ya que no se requiere de demasiada infraestructura como son: madera, pisos, acabados. Se debe cuidar la salud e higiene del personal que labore en ambas instalaciones para prevenir riesgos de trabajo.

## Introducción

En México se recolectan cada día, en promedio 112.5 toneladas de residuos sólidos/día (SEDESOL, 2011), que son los generados en las viviendas, parques, jardines y edificios públicos, se estima que tan solo en Veracruz se generaron 6178 toneladas de ese gran total (SEDESOL, 2010), por lo que su manejo es un problema. El manejo de los residuos en los tiraderos a cielo abierto se vuelve un problema, ya que es más difícil encontrar lugares con rutas de traslado adecuadas, por otra parte el proceso de descomposición de los residuos es más lento. Para ayudar a resolver dicho problema se están construyendo edificaciones sustentables que incluyen planes de manejo de residuos sólidos y concientización ciudadana.

En algunos parques actualmente etiquetados como ecológicos se fomenta la participación de instituciones de gobierno como son: la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América (CICEANA), universidades como la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana y el Instituto Politécnico Nacional entre otras, las cuales realizan proyectos de protección, restauración y conservación de los recursos naturales dentro de las instalaciones de dichos parques. Un importante convenio entre PEMEX y la UNAM (Instituto de Biología e Ingeniería entre otros) ha sido el estudio técnico para definir el desarrollo y funcionamiento del parque ecológico Tuzandepetl en el cual se ha integrado el diseño de una planta de compostaje y centro de acopio para residuos inorgánicos.

Una definición de parque ecológico es: un territorio que se caracteriza por el cuidado especial que reciben las especies que habitan en él. La finalidad de un parque ecológico es proteger el ecosistema en el que se desarrolla, estas regiones también sirven para la recreación y permiten que la población conozca la naturaleza de un determinado lugar.

Dependiendo de las características formales, un parque ecológico puede clasificarse de distintas formas y recibir diferentes denominaciones. Dentro del grupo de zonas protegidas, es posible hablar de parque nacional, parque sustentable o de reserva ecológica. La especificidad de cada nombre depende de las normativas dispuestas por el país en cuestión, tomado de: <http://definicion.de/parque-ecologico>.

El centro de acopio es un espacio adecuado para que las empresas recolectoras, recicladoras y/o coprocesadoras, se interesen por los residuos, ya que una vez que se tiene al menos una tonelada de los mismos, resulta atractivo acudir por ellos, pues cada residuo asume un precio en el mercado. En el caso de la planta de compostaje es rentable ya que los métodos utilizados para la transformación de la materia orgánica son de bajo costo.

Debido a que en el país no existe una cultura del reciclaje de residuos sólidos, se realiza la construcción del parque ecológico Tuzandepetl en el cual el objetivo del diseño de la planta de composta y centro de acopio no es solo obtener las condiciones mínimas de infraestructura de ambos, sino la concientización de los usuarios del parque así como incorporarlos en el plan integral de manejo de residuos sólidos de proyectos análogos. El centro de acopio cumple con la función de separar los residuos inorgánicos, así como de difundir información y asesoría sobre el tratamiento y limpieza de los residuos sólidos. La planta de compostaje procesa los residuos orgánicos en abono, esto se realiza por medio de un sistema de compostaje con base en montículos de materia orgánica en los cuales se lleva a cabo un proceso de fermentación y luego de tres meses pasa al proceso de maduración, pasado el proceso de maduración está listo el compost (materia orgánica en sus última etapa de descomposición) para ser comercializado localmente.

Por lo anteriormente expuesto en este trabajo se hará un diseño de un centro de acopio y planta de compostaje para un parque ecológico en el cual se aprovechen los residuos reciclables con valor económico; así como tratar el gran volumen de poda que se genera para producir composta.

# Capítulo 1. Justificación, objetivos y alcances

## 1.1 Justificación

Los residuos sólidos representan en la actualidad un problema que aqueja al entorno urbano, ocasionando repercusiones en el ambiente y en la salud humana, además de ser una fuente de generación de gas metano que influye en el calentamiento del planeta por ser un gas de efecto invernadero (INEGI, 2013). Tan solo en Veracruz se recolectan 6,178 toneladas de residuos sólidos diariamente. Por lo anterior se propone el diseño de un centro de acopio y planta de compostaje para tratar los residuos inorgánicos así como la fracción orgánica en el parque ecológico Tuzandepetl en el estado de Veracruz para concientizar al visitante de la problemática de la contaminación y así garantizar el manejo de los residuos sólidos dentro del parque.

Los parques ecológicos pueden servir para fomentar la cultura ambiental de reúso y reciclaje, impactando en los visitantes y trabajadores, esperando que estos a su vez transmitan una conciencia ambiental a sus hijos, ya que ellos serán los sucesores del manejo ambiental en un futuro. La importancia y éxito de lo dicho anteriormente, no solo recae en cursos de concientización en materia de residuos, también es de gran apoyo que los parques cuenten, dentro de sus instalaciones, con un centro de acopio y una planta de compostaje para integrarlos en un plan de manejo de residuos sólidos.

## 1.2 Objetivos

### Objetivo general

Determinar las dimensiones necesarias para instalar una planta de compostaje que permita procesar la fracción orgánica generada *in situ* y un centro de acopio de residuos inorgánicos, con base en las necesidades y características del parque ecológico Tuzandepetl.

### Objetivo específicos

Hacer una revisión documental sobre las leyes, normas y reglamentos existentes relacionados con el reciclaje, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos.

Analizar un estudio de generación de un parque ecológico en operación que servirá de base para determinar las dimensiones del centro de acopio y de la planta de compostaje que se instalaran en un parque con características similares.

Con el volumen obtenido de residuos inorgánicos se obtienen las dimensiones adecuadas y con este diseñar el centro de acopio, también se obtiene el volumen adecuado de materia orgánica para formar una pila de composta con el método expuesto en el taller técnicas de compostaje de la FAO.

Seleccionar el equipo básico para el centro de acopio y planta de compostaje conforme a los volúmenes de residuos sólidos que se obtuvieron del estudio de generación del parque Jaguaroundi.

### **1.3 Alcances**

Se realizó un diseño a nivel de ingeniería básica de un centro de acopio y planta de compostaje, en el que se propone la recuperación de los residuos orgánicos e inorgánicos. Con base en el estudio de generación del parque ecológico Jaguaroundi se obtuvo los datos necesarios para realizar el diseño de la infraestructura mínima que se requiere para almacenar los residuos inorgánicos así como la transformación del volumen de la materia orgánica en composta, en la planta de compostaje. La implementación de estas tecnologías tendrá beneficios ambientales y sociales, los primeros se reflejan en el ahorro de los costos para la infraestructura así como el mejoramiento del medio ambiente y los segundos se dan al educar y concientizar a la población mediante la difusión de información e impartición de clases y asesorías en estos centros.

## Capítulo 2. Marco teórico

Los parques y reservas ecológicas están cimentados en el concepto de biodiversidad y conservación del equilibrio ecológico, fusionado con la historia milenaria de nuestros ancestros mayas y su relación con la tierra. El parque ecológico Sendero del Abuelo, se ha convertido en una alternativa de recreación para la población en general. Y para los visitantes y educadores un área de recreación y paisajismo con un alto potencial pedagógico, didáctico y recreativo. Históricamente significó una fuente de energía para muchas actividades realizadas en su área de influencia maya, actualmente es un lugar en donde se realizan actos ceremoniales. Hoy se busca proteger la totalidad de los recursos naturales y la vasta existencia de flora y fauna de los diversos ecosistemas, promoviendo una cultura conservacionista que involucra a la sociedad en el fomento y promoción de valores y respeto a la naturaleza.

Se define al parque ecológico como un área de alto valor biológico que por sus condiciones de localización y accesibilidad se destina a la preservación, restauración y aprovechamiento sostenible de sus elementos biofísicos, para educación ambiental y recreación pasiva (POT, 2012).

En México existen pocos parques que se pueden considerar como ecológicos, tal es el caso del parque ecológico de Xochimilco (Stephan, 1999), el de Luis Donaldo Colosio y el de Xochitla (Figura 1), otro ejemplo de parque ecológico es el parque Huayamilpas (Figura 2), entre los más recientes se incluye el parque ecológico Jaguaroundi.



Figura 1. Xochitla Parque Ecológico

Un parque ecológico es: “la zona que por su calidad, su ubicación y características en general, se refiera a un área de reserva ecológica o forestal donde se permita a la comunidad desarrollar actividades de recreación pasiva, contemplativa y de educación ambiental, manteniendo sus características ecológicas y paisajísticas” (Rodríguez, 2009).



Figura 2. Parque ecológico Huayamilpas

El manejo integral es una tendencia moderna aplicada a todas las actividades asociadas con la gestión de los residuos dentro de la sociedad. Su meta básica es que desde el sitio de generación hasta el destino final, los residuos sean manejados de una forma que garantice su aprovechamiento y valorización.

El manejo adecuado de residuos sólidos es uno de los problemas más complejos que enfrentan las municipalidades a nivel mundial. Está asociado a los niveles de consumo y desarrollo económico, a los estilos de vida e identificación con valores ambientales y de conservación de la sociedad, a la capacidad técnica-gerencial de las entidades a cargo del servicio, a la priorización de las inversiones que se requieren en equipos e infraestructuras para la disposición final, a los niveles de educación y participación ciudadanas, a la efectividad de los mecanismos legales de control y penalización, al acceso a la tecnología, al establecimiento de los incentivos para desarrollar industrias de reciclaje, entre otros aspectos.

En la actualidad, se reconoce la importancia de apoyar el desarrollo de la industria del reciclaje, vista como una actividad económica en pleno auge, que genera mucho empleo, produce beneficios económicos significativos y favorece la disminución de la cantidad de residuos sólidos que son finalmente dispuestos.

Con una buena estrategia de reciclaje se podría fortalecer las capacidades de las sociedades para reducir y reutilizar los residuos generados en las actividades de consumo y producción, pero principalmente establecer los métodos de recuperación de los materiales reciclables, promoviendo los centros de acopio, y favoreciendo la instalación y desarrollo de la industria dedicada a estos fines.

Por muchas razones que tienen que ver con la cantidad y composición orgánica e inorgánica de los residuos generados en cada sociedad, por la eficiencia en la separación y recuperación de materiales reciclables, por el acceso a métodos y tecnología de reciclaje, por la educación, participación y conciencia ciudadanas, así como el nivel de desarrollo económico, más allá de las famosas tres “Rs” (reducir,

reúsar y reciclar), siempre habrá residuos que gestionar, y se requerirá de planes de manejo integral de residuos sólidos.

Como se trata del diseño de una planta de composta y un centro de acopio a continuación se explicarán brevemente los aspectos a considerar en la selección de los equipos y áreas de trabajo. Se tienen las siguientes definiciones:

En términos generales, puede definirse el compostaje como una biotecnia donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica (Tavera y Alvarado, 2011). Las principales técnicas de compostaje son las siguientes:

- a) Compostaje en montón: se basa en la construcción de un montón formado por las diferentes materias primas y en el que es importante realizar una mezcla correcta.
- b) Compostaje en silos: se emplea en la fabricación de compost poco voluminoso. Los materiales se introducen en un silo vertical de unos dos o tres metros de altura, redondo o cuadrado, cuyos lados están calados para permitir la aireación. El silo se carga por la parte superior y la composta ya elaborada se descarga por una abertura que existe debajo del silo.
- c) Compostaje en superficie: consiste en esparcir sobre el terreno una delgada capa de material orgánico finamente dividido, dejándolo descomponerse y penetrar poco a poco en el suelo. Este material sufre una descomposición aerobia y asegura la cobertura y protección del suelo. Sin embargo, las pérdidas de nitrógeno son mayores, pero son compensadas por la fijación de nitrógeno atmosférico.
- d) Pilas aireadas estáticas: este sistema consta de pilas formadas por residuos orgánicos, mezclados con residuos de jardinería (como hojarasca y madera)

para que estos últimos formen espacios de aireación. Las pilas formadas no se mezclan porque cuentan con una red de tubería que permite una aireación forzada necesaria para la conservación biológica de residuos (de orgánicos a composta) y el control de temperatura dentro de las mismas (Roger, 1993). El material orgánico, que se fermenta en un tiempo de tres a cuatro semanas, debe tener una altura comprendida entre los 2 y 2.5 metros y cubrirse con plástico para evitar los malos olores.

El sitio en donde se establezca una nueva planta de composta debe reunir los requisitos mínimos que se detallan a continuación:

Ubicación del sitio: para instalar una planta de compostaje debe considerarse el principio de proximidad a fin de que el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos se realice en la medida de lo posible, cerca de la fuente generadora. Así mismo, la ubicación de la planta de composta debe considerar el mismo principio hacia los posibles usuarios de la composta.

Accesibilidad: El sitio de composteo debe contar con caminos transitables durante todo el año para facilitar el ingreso de la materia prima y la salida del producto hacia su destino final.

Almacenamiento para los residuos inorgánicos. Las instalaciones deben contar con un lugar para almacenar de manera temporal los residuos inorgánicos que se generen y/o que se obtengan al momento de recibir la fracción orgánica como insumo, a fin de que sean dispuestos conforme a lo establecido por la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal y su Reglamento.

Con el fin de garantizar la protección al ambiente y la salud de la población circundante, se deben implementar acciones para prevenir la propagación de plagas y la mitigación de olores desagradables.

El predio donde se lleve a cabo la actividad de composteo debe contar con un espacio para la carga y descarga de insumos, para tratamiento y almacenamiento del producto terminado (composta), así como del posible producto rechazado, garantizando que en cualquiera de estos casos no ocurran fuera de la planta.

La planta de compostaje debe contar con una caseta de control y vigilancia.

Se debe contar con instalaciones sanitarias para el personal que labore en las plantas de composta, de acuerdo con los principios de seguridad e higiene de la Ley Federal del Trabajo para prevenir riesgos de trabajo y perjuicios al trabajador.

El proceso para el composteo se toma del proyecto de norma ambiental para el Distrito Federal PROY-NADF-020-AMB T-2011. Existen varios tipos de proceso para elaboración de composta como son: pilas con volteo mecánico, pilas estáticas con aireación forzada o pasiva, reactores de flujo vertical u horizontal, montículos, hileras, contenedores, trincheras, entre otros. En cualquiera de ellos se debe llevar control de los parámetros de temperatura, aireación, humedad y mezcla inicial. El proceso seleccionado, será válido siempre y cuando cumpla con las condiciones de seguridad ambiental y sanitaria de la norma Proyecto de Norma.

Materiales a compostear. Los materiales que ingresen a la planta de composta deben estar libres de material inorgánico. Los materiales y productos rechazados deben enviarse a reciclaje, siempre que sea posible, o bien, a disposición final.

Clasificación de materiales. El material recibido debe clasificarse y almacenarse por separado hasta su utilización.

Reducción de volumen. Toda la fracción orgánica, con excepción del pasto y la hojarasca, debe ser triturada o sometida a reducción de volumen, antes de incorporarse al proceso de composteo.

Relación Carbono/Nitrógeno. Es recomendable que los materiales sujetos a composteo, se combinen de manera tal que se inicie con una relación carbono/nitrógeno (C/N) comprendida entre los valores de 25:1 y 40:1, siendo el óptimo de 30:1.

Humedad inicial. La mezcla de materiales se debe humedecer hasta tener un valor inicial comprendido en un rango de 50 a 60%. La mezcla resultante debe ser homogénea.

Humedad durante el proceso. Durante el composteo, la humedad de la mezcla debe mantenerse en un rango de 40 a 70%. No se debe rebasar el 70% de humedad, con el objeto de evitar el escurrimiento de líquidos fermentados y la formación de condiciones anaerobias que pudieran generar olores desagradables.

Temperatura. Durante el proceso de composteo se debe registrar la temperatura en una bitácora. La temperatura alcanzada por el material en composteo es un indicador de que el proceso se está llevando a cabo de forma adecuada. Las relaciones de temperatura-tiempo recomendadas para garantizar la inocuidad del producto final se establecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación de temperatura y tiempo para garantizar la inocuidad del producto final

Temperatura promedio	Tiempo
55 °C	Por dos semanas
60°C	Por una semana
Hasta 65 °C	Por tres días

El rango adecuado de pH a lo largo del proceso de composteo debe estar en el intervalo de 4 a 9.

Aireación. Cualquiera que sea el método de composteo empleado, se debe llevar a cabo un proceso de aireación adecuado, con el fin de evitar la formación de condiciones anaerobias al interior de la mezcla.

Bitácora. Se deben identificar y documentar todos los procesos, y sus parámetros esenciales, que se realicen durante la producción de composta, llevando el control de cada uno a través de registros en bitácoras foliadas. Estas deben estar a disposición de las autoridades para su revisión y auditoría.

Durante las dos primeras semanas del proceso de composteo se debe llevar el registro diario de la temperatura y humedad. Es recomendable continuar con los registros diarios al menos hasta la tercera semana después de haber iniciado el proceso y posteriormente al menos 2 veces a la semana.

Terminación del proceso y almacenamiento. Cuando los parámetros de control establecidos en el proyecto de norma ambiental PROY-NADF-020-AMB T-2011, indiquen que el proceso de composteo concluyó, la composta debe tamizarse para su distribución o comercialización, considerando y cumpliendo con las especificaciones de los tipos de composta.

Con el fin de alcanzar un grado mayor de calidad de acuerdo con las categorías establecidas se procederá al almacenamiento del producto final en caso de requerir un periodo de maduración complementario. Los materiales que no hayan terminado su degradación deben reincorporarse al inicio del proceso.

Empaque. Habiendo alcanzado las especificaciones para alguno de los cuatro tipos de composta establecidos en el proyecto de norma ambiental PROY-NADF-020-AMB T-2011, se procederá al empaque del producto, ya sea en costales o bolsas de diferentes materiales.

Manejo de efluentes. Las plantas de composteo deben contar con un plan de manejo de los efluentes producidos antes durante o después del proceso de compostaje. Dicha fracción líquida debe ser colectada y reincorporada en alguna fase del proceso o bien, tratada para su estabilización y posterior incorporación a preparados para nutrición vegetal o descarga.

Solo durante la primera fase del composteo, los efluentes producidos por la fracción orgánica de los residuos sólidos antes de iniciar el compostaje deben colectarse y ser utilizados para riego del material, antes de alcanzar la temperatura máxima.

A continuación se enlista el equipo mínimo necesario para una planta de compostaje:

- Molino de trituración gruesa.
- Molino de trituración fina.
- Tolva de alimentación de molienda gruesa.
- Camioneta pick up.
- Banda elevadora.
- Equipo de secado puede ser solar.
- Mezcladora mecánica.
- Almacén.

Personal mínimo

Oficina:

- Un administrador técnico en composteo.
- Un peón para recepción y patios.
- Un peón para molienda fina.
- Un velador.

Un centro de acopio se define como el conjunto de: jaulas, casetas, bodegas, megabolsas o tambos de 200 litros o cualquier otro contenedor que reúna las características de seguridad y control del mismo, donde el usuario tiene un acceso más cercano para poder depositar los envases vacíos de agroquímicos, secos y perforados, tomado de: [http://campolimpio.org.mx/centros\\_acopio.php](http://campolimpio.org.mx/centros_acopio.php)

Características de un centro de acopio: Los centros de acopio, deberán estar ubicados en lugares donde se pueda tener control y supervisión sobre quienes, cuándo y cómo dejan los envases vacíos de agroquímicos y afines. Además de ubicarlos en lugares visibles para cualquier persona. Las medidas del letrero son de 2 x 2 metros y estar sujeto con postes metálicos enterrados en la base de la jaulacero, este letrero deberá estar por encima de la parte más alta de la jaula o a un costado de la misma. Los centros de acopio primarios sólo reciben tapas y envases por separado lavables o no lavables, secos y perforados en bolsas de plástico transparente con un calibre de 300 de espesor.

Para el centro de acopio se debe contar con la tecnología y el personal requerido en el proceso de separación de los residuos reciclables. Existen dos tipos de plantas de selección: aquellas que reciben residuos mezclados y las que reciben residuos separados. Es importante destacar que mientras mayor sea la separación de los residuos, mayor será la eficiencia de las plantas, ya que más residuos pueden ser reciclados (Tchobanoglous, 1993). Cabe señalar que el diseño del centro de acopio es para un parque, por lo que se requiere de equipo y personal mínimo, ya que se tratará una menor cantidad de residuos inorgánicos.

## **2.1 Gestión de residuos sólidos en un parque ecológico**

El marco legal bajo el cual se sustenta el manejo integral de los residuos sólidos municipales (RSM) en nuestro país, incluye Leyes, Reglamentos y Normas de los tres órdenes de gobierno e involucra a un número considerable de

instituciones las cuales buscan el bien común mediante la disminución o eliminación de los efectos nocivos que puede causar el manejo inadecuado de los RSM.

El aumento en cantidad y evolución de los residuos sólidos urbanos (RSU) durante las últimas décadas muestra la necesidad de ampliar y mejorar las actividades para realizar un manejo integral completo, según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), en el artículo 5, fracción XVII, se menciona que “El manejo integral incluye las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social” (Rojas, 2012).

El plan de manejo, es un instrumento de gestión integral de los residuos que contiene el conjunto de acciones, procedimientos que facilitan el acopio y las disposiciones de productos de consumo que al desecharse se convierten en residuos. Entre los principales objetivos de los planes de manejo se encuentran: 1) fomentar la minimización de la generación de los residuos; 2) promover la responsabilidad compartida de los productores, distribuidores y comercializadores; 3) realizar la separación en la fuente, 4) efectuar la recolección separada de residuos (Figura 3), 5) fomentar el reúso y reciclaje de los residuos sólidos y 6) maximizar la valorización, con el objeto de reducir el volumen de los residuos que actualmente van a disposición final.



Figura 3. Contenedores ubicados a la entrada del auditorio al aire libre

Lo que busca el plan de manejo es brindar libertad a quien lo formule para que éste elija lo que mejor convenga, siempre y cuando no cause un perjuicio a la salud o al ambiente.

La gestión integral de residuos es el conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo integral de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región (Rojas, 2012).

El Manejo integral incluye actividades de reducción en la fuente, separación, almacenamiento, transporte, reutilización, reciclaje, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (Figura 4).



Figura 4. Contenedores en el área del parque Jaguaroundi

A continuación se describe el plan de manejo: I) Preparación del terreno, II) Construcción y III) Operación y mantenimiento del parque. La primera etapa a su vez se subdivide en tres fases: a) desmonte, b) despalme y c) tala, la segunda etapa incluye dos fases: a) excavación y b) construcción, y la tercera se subdivide en diez fases: a) generación, b) reutilización, c) limpieza y barrido, d) separación, e) almacenamiento, f) recolección, g) acopio, h) transporte, i) tratamiento (centro de compostaje o reciclaje) y j) disposición final (Figura 5).



Figura 5. Contenedores de almacenamiento de residuos del parque Jaguaroundi

## 2.2 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo durante la participación en los estudios técnicos para definir el desarrollo y funcionamiento del parque ecológico Tuzandepetl. En dicho estudio se realizaron visitas al parque ecológico Jaguaroundi, el cual se encuentra en el estado de Veracruz, al sureste de la ciudad de Coatzacoalcos. Esta área natural protegida abarca una extensión de más de 960 hectáreas, las cuales fueron divididas para este estudio en 17 sitios, en donde se encuentran los contenedores de almacenamiento temporal de residuos sólidos. Se pretende analizar la cantidad de residuos sólidos para la obtención de los pesos volumétricos de cada residuo.

El parque ecológico Tuzandepetl se planea construir en el estado de Veracruz en el municipio de Ixhuatlán del sureste, colinda al norte con la ciudad de Nanchital, al este con terrenos del poblado de Ixhuatlán, al sur con la carretera federal 180 Villa Hermosa, Veracruz, tramo Coatzacoalcos – Córdoba y al oeste con el Río Coatzacoalcos. En la identificación de los actores sociales con más cercanía geográfica, se encuentran las poblaciones de: Barragantitlan, Benito Canales pertenecientes al municipio de Ixhuatlán del Suroeste. De las poblaciones con influencia secundaria tomando en cuenta la misma variable geográfica, se encuentran: Las Águilas, Paraíso, la ciudad de Ixhuatlán y la ciudad de Nanchital, que es otra cabecera municipal (Figura 6). El municipio de Ixhuatlán del Suroeste, se encuentra en la zona suroeste del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, limita al norte con Coatzacoalcos; al este y sur con Moloacán y al suroeste con Minatitlán (figura 7). Su distancia aproximada al suroeste de la capital del estado por carretera es de 320 Km. Ixhuatlán del Suroeste, llamado así desde 1959, es la cabecera municipal en la que se inscriben 57 localidades de las que sólo Ixhuatlán es urbana.

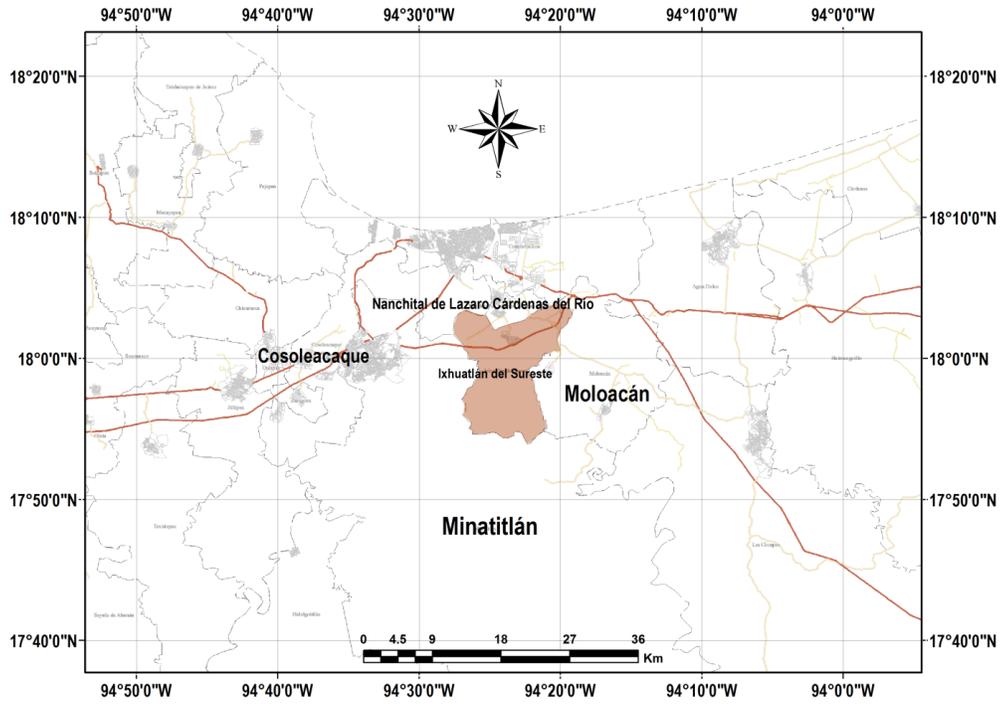


Figura 6. Mapa de ubicación de Ixhuatlán del Sureste municipio del estado de Veracruz

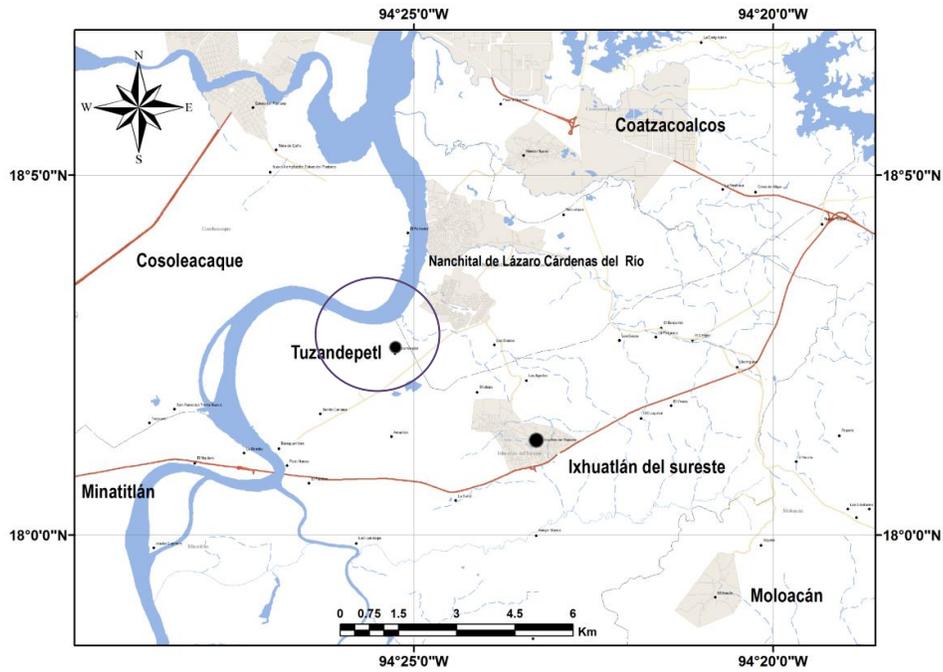


Figura 7. Mapa regional que muestra los polígonos del Parque Tuzandepetl, así como la ubicación de las principales localidades de influencia directa y potencial sobre el área natural protegida

## **Capítulo 3. Metodología**

La metodología de este trabajo se dividió en tres fases: estudio de gabinete, estudio de generación de residuos en un parque ecológico en operación y procedimiento de diseño de un centro de acopio y una planta de compostaje. En la primera fase se hizo un estudio documental de la normativa vinculada a las edificaciones sustentables, en las segunda se desarrolló el estudio de generación de residuos sólidos en un parque ecológico en operación en Veracruz, y en la tercera etapa se calculo el volumen de los residuos y dimensionamiento del centro de acopio y planta de compostaje.

### **3.1 Primera fase (estudio de gabinete)**

Se hizo un análisis exhaustivo de gabinete incluyendo normas y leyes relacionadas con la temática. Se analizaron las Leyes, Reglamentos, y Normas referentes a las edificaciones sustentables de centros de acopio y compostaje.

### **3.2 Segunda fase (estudio de generación)**

Para poder realizar el estudio de generación, separación y cuantificación de los residuos sólidos se tomaron como base las normas relacionadas con los estudios de generación de los residuos sólidos urbanos, tal como se detalla de la numeración romana *i* al *iv*.

- i)* En primera instancia se tomó como base la Norma Mexicana NMX – AA – 061 – 1985 para determinar la generación de residuos sólidos; sin embargo se hicieron adecuaciones acordes a la cantidad de residuos sólidos generados en parques con una estratificación particular de datos.

Para obtener el valor de la generación per-cápita de residuos sólidos en Kg/persona/día correspondiente a una semana que fueron generados se dividió el peso de los residuos sólidos entre el número de personas (ecuación 1), según la (NMX-AA- 061- 1985).

$$Gen Per = \frac{Kg \text{ residuos recolectados}}{No. personas} \dots \dots \dots ec. 1$$

ii) Se empleó el método de cuarteo de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-15-1985.

En este estudio al ser la producción de residuos sólidos menor o igual a 50 kg/día se incluyó el análisis de toda la muestra y no sólo una parte de la muestra como lo indica la normatividad.

iii) Se clasificaron los residuos sólidos encontrados de acuerdo a lo establecido en la NMX-AA-22-1985 ("Selección y cuantificación de subproductos").

- Se levantó un registro para cada clasificación de los residuos sólidos encontrados así como la cantidad expresada en Kg y porcentaje con respecto al total de muestra analizada.
- Se hizo un reporte diario de los materiales clasificados y su cantidad.

iv) Para obtener el peso volumétrico *In situ* se aplicó la NMX-AA-19-1985.

Se hizo la determinación del peso total de los residuos sólidos, de acuerdo a los parámetros técnicos. En la determinación se empleó un tambo con capacidad de 200 L, tal como se muestra en la Figura 8.

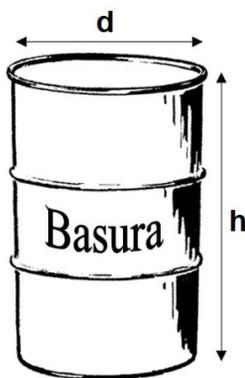


Figura 8. Tambo de fierro con capacidad de 200 L

Como se ilustra en la Figura 9, se pesó el recipiente vacío, tomando este peso como tara del recipiente. El recipiente se llenó con los desechos sólidos de cada día, de manera que se acomodaran perfectamente dentro del recipiente, siendo cuidadosos de no presionar los desechos al colocarlos en el tambo, esto con el fin de no alterar los datos de densidad, asimismo, se golpeó el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm y nuevamente agregando residuos sólidos hasta el tope.



Figura 9. Secuencia para obtener el peso volumétrico "in situ"

Finalmente se obtuvo el peso promedio de los residuos inorgánicos (ecuación 2), calculándose después el peso volumétrico *in situ* de los residuos. Se hizo este cálculo por cada día de estudio y se obtuvo el peso volumétrico promedio para los residuos inorgánicos durante una semana, el cual se cálculo mediante la ecuación 3.

El peso volumétrico de los residuos orgánicos se cálculo mediante los datos de las técnicas de la FAO.

$$P_{promedio} = \sum_{i=sábado}^{sábado} dia_i = Peso_{sábado} + Peso_{domingo} + \dots Pdía_i \dots \dots ec.2$$

$$P_V = \frac{Peso\ promedio\ a\ la\ semana\ (Kg)}{Volumen\ del\ contenedor\ (m^3)} \dots \dots \dots ec.3$$

Donde:

- P<sub>V</sub> = Peso volumétrico promedio de los residuos sólidos Kg/m<sup>3</sup>.
- P = Peso promedio de los residuos (peso bruto menos tara) en Kg.
- V = Volumen del contenedor en m<sup>3</sup>.

Para obtener el volumen de cada residuo sólido, se divide la cantidad de peso de cada uno de los residuos sólidos entre el peso volumétrico promedio obtenido anteriormente (ecuación 4).

$$V = \frac{P\ (Kg)}{P_V\ (\frac{Kg}{m^3})} \dots \dots \dots ec.4$$

Donde:

- V. = Volumen de residuos sólidos (m<sup>3</sup>)
- P<sub>V</sub> = peso volumétrico promedio (Kg/m<sup>3</sup>)
- P = peso de los residuos sólidos (Kg)

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calculó con la ecuación 5:

$$P_s = \frac{G_1}{G} \times 100 \dots \dots \dots ec.5$$

En donde:

$P_s$  = Porcentaje del subproducto considerado.

$G_1$  = Peso del subproducto considerado, en Kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

$G$  = Peso total de la muestra, en Kg.

### 3.3 Tercera fase (procedimiento de diseño de un centro de acopio y planta de composta)

Se sugiere que exista un área específica para el almacenamiento de los desechos sólidos en contenedores de gran capacidad, dichas áreas de almacenamiento deberán cumplir con los siguientes requisitos:

Los contenedores deberán estar colocados de preferencia en espacios cerrados y deberán estar capacitados para rodar.

El piso en donde se encuentren instalados los contenedores si esta a nivel de la calle, tendrá una elevación, a lo más, de 5 cm sobre el nivel de la calle. En la medida de lo posible se puede poner un piso de azulejo sobrante de los acabados interiores de otras construcciones, tal como se muestra en la Figura 10, eso facilita la limpieza del centro de acopio.



Figura 10. Residuos sólidos y cartón en área de almacén de residuos

Tomando nuevamente como referencia el estudio de generación del parque ecológico Jaguaroundi se calculó el espacio necesario para almacenar temporalmente los residuos sólidos que puedan tener cierto valor comercial, se llevó a cabo un cálculo para tres meses de almacenaje de los residuos inorgánicos.

Para los residuos inorgánicos solo se tuvieron áreas específicas, como lo fueron: área para metales, área para PET y plástico, área para papel y tetra Pack, área para otros (trapos y vidrio transparente), de estas el de mayor peso fue PET y plástico (218 Kg). Se consideró una altura de 3 m para el centro de acopio, ya que se puede acumular más residuos y estos se podrían poner en contenedores apilados verticalmente.

La administración del centro de acopio la llevará a cabo un grupo de personas que trabajen activamente en el proyecto. Ellos llevarán las funciones de administración y planeación de las actividades propias del centro.

Cualquier beneficio económico resultante de la venta de reciclables se destinará a gastos de material del centro de acopio y de educación ambiental. El presupuesto se manejará de una forma transparente, llevando bitácora de gastos e ingresos, registro de notas y facturas. Lo que se puede acopiar son residuos con cierto valor económico como:

- PET
- Otros plásticos a excepción del unicel.
- Latas de aluminio,
- Fierro
- Botellas o frascos de vidrio separados en transparentes y vidrio de color
- Periódico, papel
- Cartón
- Celulares usados y todos sus accesorios
- Cartuchos de tinta y toners

- Aceite vegetal gastado
- Libros, revistas, cuadernos u otros materiales que pudieran reusarse o servir a otra persona

Una vez acopiado los materiales se almacenarán por poco tiempo en contenedores con tapadera de plástico de capacidad de 1.17m<sup>3</sup>, en súper-sacos de plástico de 1.5 m<sup>3</sup>, y tambos de 50 litros ver algunos ejemplos en la Figura 11. Los contenedores con llantas facilitan el movimiento y traslado.



Figura 11. Contenedores adecuados para el almacenamiento temporal de los residuos sólidos en el centro de acopio

Aunque el lugar este techado, es recomendable usar contenedores con tapa para almacenar los materiales no plásticos como el cartón, papel, periódico, etc.; para los plásticos se utilizará súper sacos tapándolos con una lona para protección del sol, aire y agua.

En las edificaciones sustentables, se debe tener en cuenta el tratamiento de los residuos orgánicos y una excelente opción para ello es el compostaje.

El parque ecológico Tuzandepetl es un lugar altamente favorecido por las condiciones geográficas en las que se localiza y su amplia área permite hacer edificaciones completas.

Para el diseño de la planta de compostaje se determinó la cantidad de residuos orgánicos en el estudio de generación del parque Jaguaroundí, con estos datos se calcula el número, dimensiones y volumen de las pilas que se deben formar, para ello se calcula el volumen de un montículo que en una semana se obtiene de la recolección de residuos orgánicos. Además se calculó la superficie necesaria para el patio de trabajo, considerando que el tiempo requerido por las pilas para completar el proceso y quedar lista como composta es de 3 meses en promedio.

Basándose en los cálculos del taller-técnicas de compostaje (FAO, 2012), para la obtención de una pila de composta y con los pesos obtenidos del estudio de generación de materia orgánica, se obtuvieron las medidas de un montículo que se puede formar en una semana, después se hizo el cálculo para formar una pila en tres meses.

## Capítulo 4. Resultados

### 4.1 Estudio de gabinete

Con base en el estudio de gabinete se establece que Veracruz cuenta con una Ley Estatal de protección Ambiental, Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente, Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (ver más detalles en la Tabla 2). Según la ley se necesita el manejo adecuado de residuos y la disposición de estos, lo ideal es poder contar, dentro de los planes de manejo, con centros de acopio y plantas de compostaje adecuados.

Tabla 2. Comparación de leyes mexicanas

LGEEPA	Legislación del DF	Legislación del estado de Veracruz
Disminución de efectos sobre el ambiente en la generación, almacenamiento, manejo y tratamiento de residuos no peligrosos.	Es responsabilidad de toda persona, física o moral. <i>(Artículo 24, Ley de residuos sólidos)</i>	Es fundamental la participación de los generadores.
	Será realizada por los particulares a solicitud de la Secretaría. <i>(Artículo 71, Reglamento de la Ley de residuos sólidos)</i>	Es responsabilidad del propietario, la disminución de generación de residuos sólidos. <i>(Artículo 31, LPGIRSUME*)</i>
	Será realizada por los particulares a solicitud de la Secretaría. <i>(Artículo 71, Reglamento de la Ley de residuos sólidos)</i>	Es obligación de los particulares la disminución de efectos sobre el ambiente. <i>Artículo 173, Ley estatal de protección ambiental.</i>

\*LPGIRSUME: Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el estado de Veracruz.

Cabe mencionar que la norma NTEA-010-2008 aborda aspectos relacionados con el tratamiento de residuos orgánicos, con plantas de selección, de composta, de centros de transferencia y centros de acopio.

Además existen las normas que indican los estudios que se pueden realizar a los residuos sólidos urbanos como la: NMX-AA-022-1985 (selección y cuantificación de subproductos), NMX-AA019-1985 (peso volumétrico *in situ*), NMX-AA-61-1985(determinación de la generación) y la NMX-AA-015-1985 (método del cuarteo).

## **4.2 Generación de residuos sólidos en un parque ecológico en operación**

Fue indispensable hacer un diagnóstico sobre el tipo y cantidad de residuos sólidos (desechos de los visitantes, así como residuos alimenticios y de poda) que se generan *in situ*. Para este estudio se tomó como base el parque ecológico Jaguaroundi el cual se encuentra en operación, cuenta con una base de 28 empleados que laboran de lunes a domingo, normalmente de 9:00 a 17:00 hrs, 4 personas se encargan del servicio de limpieza y 2 de la jardinería.

De acuerdo a las necesidades del parque ecológico Tuzandepetl referente a la gestión de los residuos sólidos urbanos, se debe entender la importancia del estudio de generación de residuos sólidos necesario para realizar una proyección en la generación de estos.

Los resultados de la clasificación de subproductos se muestran en la Tabla 3. Se puede observar que se identificaron 22 diferentes tipos de residuos, de los cuales se generan en mayor cantidad los residuos de jardinería (488.64 Kg), residuos alimentarios (22.10 Kg) y PET (7.75 Kg).

La Tabla 3 se muestran los resultados, contiene datos del peso de cada residuo obtenido en el parque ecológico Jaguaroundi. El porcentaje del total incluye

cada una de las fracciones y el porcentaje del residuo que más se genera. Estos datos son importantes para el diseño de las pilas de composta y el centro de acopio.

Tabla 3. Resultados del estudio de generación del parque ecológico Jaguaroundi.

<b>Residuos sólidos</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentaje en peso (%)</b>
Bolsas de plástico	3.4	0.62
Cartón	1.96	0.36
Envolturas	0.85	0.15
Lata de aluminio	0.9	0.16
Madera	5.5	1.00
Metal	0.9	0.16
Otros	2.9	0.53
Papel de estraza	1.27	0.23
Papel higiénico	3.1	0.56
Papel blanco	0.17	0.03
Papel aluminio	0.15	0.03
Periódico	0.01	0.00
<b>PET</b>	<b>7.75</b>	<b>1.41</b>
Plástico ligero	2.35	0.43
Plástico rígido	3.2	0.58
Unicel	0.58	0.11
<b>Residuos alimenticios</b>	<b>22.1</b>	<b>4.02</b>
<b>Residuos de jardinería</b>	<b>488.6</b>	<b>88.86</b>
Tetra pack	2.85	0.52
Trapo	0.01	0.00
Vidrio transparente	1.22	0.22
Folletos	0.08	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>549.85</b>	<b>100%</b>

En la Figura 12 se muestra el número de visitantes diarios que se registraron durante 7 días, con estos resultados es posible relacionar las generaciones diarias de residuos por persona y actividad.



Figura 12. Número de visitantes por día durante el estudio

Tal como se planteó en la metodología, para calcular la generación per-cápita de residuos sólidos en Kg/empleado/día, correspondiente a la fecha en que fueron generados; se dividió el peso total, que fue de 549.88 Kg, entre el número de empleados y visitantes del parque, que fue de 359 (ecuación 1). Según la NMX-AA-061-1985.

Algoritmo de cálculo:

$$Gen Per = \frac{549.85 \text{ Kg}}{359 \text{ No. personas}} = 1.53 \frac{\text{Kg}}{\text{personas/día}}$$

En los resultados del estudio de generación, se restó el peso total de residuos menos la cantidad de los residuos de jardinería (ecuación 1.a) y se dividieron entre el mismo número de personas (ecuación 1.b), para obtener la generación per cápita de 0.17 Kg/persona/día sin residuos de jardinería y alimenticios.

$$549.85 \text{ Kg} - 488.6 \text{ kg} - 22.1 = 39.15 \text{ Kg} \dots \dots \dots ec. 1. a$$

$$Gen.Per = 39.15 \text{ Kg} / 359 \text{ personas} = 0.109 \text{ kg/persona/día} \dots \dots \dots ec. 1. b$$

A continuación se calculó el peso volumétrico promedio considerando el porcentaje de generación diaria sin incluir los residuos de jardinería y alimenticios, proporcionado en la Tabla 4. La suma de los pesos diarios se divide entre 7 días, éste peso se dividió entre el volumen del recipiente, en este caso es un bote de 0.2 m<sup>3</sup>, con dicho resultado se dimensionó el centro de acopio, mientras que para los residuos orgánicos (alimenticios y poda) se realizó un cálculo independiente que consistió en su peso volumétrico para dimensionar los montículos de la pila de compostaje.

Tabla 4. Porcentaje por día y peso total de residuos sin residuos de jardinería

Días	Número de visitantes por día	Porcentajes de generación diaria de los residuos (sin incluir residuos de jardinería) %	Peso de residuos sin incluir residuos de jardinería (Kg)
Sábado	58	12	4.7
Domingo	141	10	3.92
Martes	5	13	5.09
Miércoles	51	28	10.96
Jueves	12	11	4.31
Viernes	35	10	3.92
Sábado	29	16	6.26
Total	331	-----	39.15

El peso promedio a la semana (sin incluir residuos de jardinería y alimenticios) se calcula como:

$$P_{promedio} = \frac{(4.7 + 3.92 + 5.09 + 10.96 + 4.31 + 3.92 + 6.26)Kg}{7 \text{ días}} = 5.6 \frac{Kg}{dia}$$

El peso volumétrico obtenido sin incluir residuos de jardinería:

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Peso promedio a la semana (Kg)}}{\text{Volumen del contenedor (m}^3\text{)}} = \frac{5.6 \text{ Kg}}{0.2 \text{ m}^3} = 28 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Los centros de acopio presentan características propias, ya que se diseñan para satisfacer las necesidades de cada proyecto. Se debe tener en cuenta que el peso y el volumen que ocupa un residuo son muy diferentes con respecto a otro; por ello, una vez que se conoce el peso de cada tipo de residuo, se debe convertir a volumen para poder diseñar un centro de acopio con un área precisa y necesaria, esto mediante el uso de las densidades, dependiendo el tipo de residuo.

### 4.3 Cálculo, diseño de pilas de compostaje y dimensionamiento de centro de acopio

Para cada residuo se obtuvo el peso que se generaría por mes, a tres meses y en un año (ver Tabla 5), paralelamente se obtuvo el volumen por cada residuo en un mes, tres meses y un año (ver Tabla 6), esto con el fin de saber en qué tiempo se pueden recolectar los residuos depositados en el centro de acopio y la cantidad que se generará.

Tabla 5. Generación en peso (Kg) en un mes, tres y un año por cada residuo

Residuos sólidos	Peso (Kg)	Porcentaje en peso (%)	Residuos acumulados en un mes (Kg)	Residuos acumulados en tres meses (Kg)	Residuos acumulados en un año (Kg)
Bolsas de plástico	3.4	0.62	13.6	40.8	163.2
Cartón	1.96	0.36	7.84	23.52	94.08
Envolturas	0.85	0.15	3.4	10.2	40.8
Lata de aluminio	0.9	0.16	3.6	10.8	43.2
Madera	5.5	1.00	22	66	264
Metal	0.9	0.16	3.6	10.8	43.2
Otros	2.9	0.53	11.6	34.8	139.2
Papel de estraza	1.27	0.23	5.08	15.24	60.96
Papel higiénico	3.1	0.56	12.4	37.2	148.8
Papel blanco	0.17	0.03	0.68	2.04	8.16
Papel aluminio	0.15	0.03	0.6	1.8	7.2
Periódico	0.01	0.00	0.04	0.12	0.48

Continuación de la Tabla 5.

PET	7.75	1.41	31	93	372
Plástico ligero	2.35	0.43	9.4	28.2	112.8
Plástico rígido	3.2	0.58	12.8	38.4	153.6
Unicel	0.58	0.11	2.32	6.96	27.84
Tetra pack	2.85	0.52	11.4	34.2	136.8
Trapo	0.01	0.00	0.04	0.12	0.48
Vidrio transparente	1.22	0.22	4.88	14.64	58.56
Folletos	0.08	0.01	0.32	0.96	3.84
TOTAL	61.25	100%	245	735	2940

Como se aprecia en la Tabla 6 es conveniente que se acumule durante tres meses los residuos para que se obtenga un volumen de 7.8 m<sup>3</sup> (aproximadamente 218 Kg). Ya obtenido el peso volumétrico, de la ecuación 4 se despeja el volumen, se divide el peso del residuo para un mes, tres meses y un año, entre el peso volumétrico de 28 Kg/m<sup>3</sup>. Con este volumen de tres meses para cada residuo se dimensionó el espacio que se requiere, al final se obtuvieron las dimensiones del centro de acopio. Los residuos alimenticios y residuos de jardinería no se consideran para las dimensiones del centro de acopio.

*Peso de PET y plásticos = 218 Kg*

$$P_v = \frac{P}{V} \text{ despejando el volumen } V = \frac{P}{P_v}$$

$$\text{Sustituyendo el peso del PET y plásticos } V = \frac{218 \text{ Kg}}{28 \text{ Kg/m}^3} = 7.8 \text{ m}^3$$

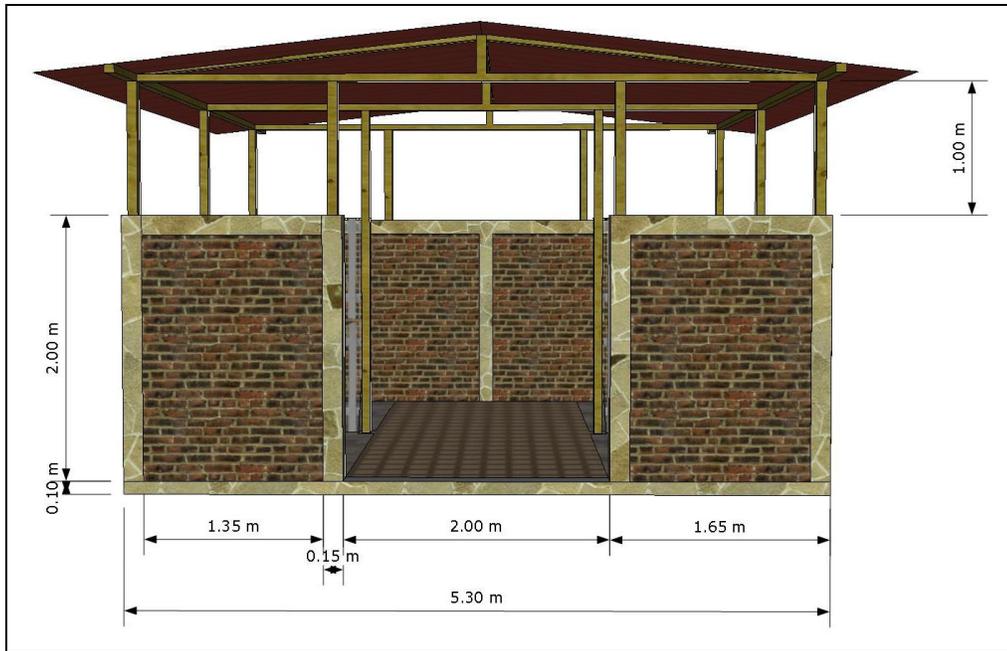
Con el volumen obtenido se calculan las dimensiones adecuadas para el contenedor de PET y plásticos, se propone una base de 1.5 m de ancho por 2 m de largo, se busca la altura adecuada, que es de 3 m. Solo se consideran los residuos que tienen un valor económico, así solo se tendrán áreas específicas, como son: área para metales, para PET y plástico, papel y tetrapack, entre otros.

Tabla 6. Generación de volumen (m<sup>3</sup>) en un mes, tres meses y un año por cada residuo

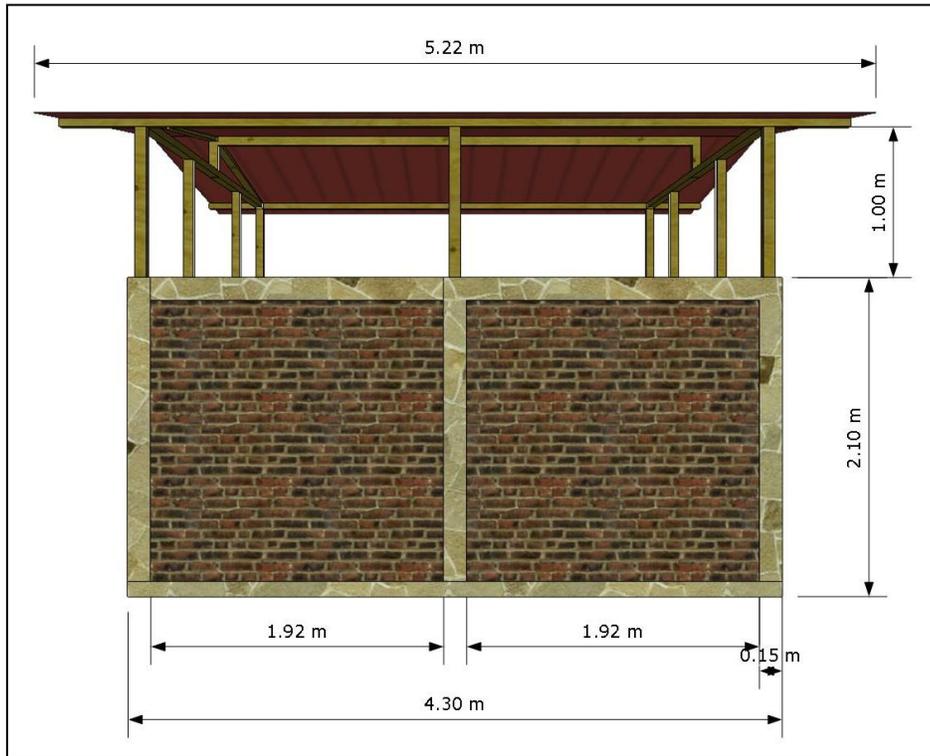
<b>Residuos sólidos</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Volumen por residuo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen al mes (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen a los tres meses (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen anual (m<sup>3</sup>)</b>
Bolsas de plástico	3.4	0.12	0.49	1.46	5.84
Cartón	1.96	0.07	0.28	0.84	3.36
Envolturas	0.85	0.03	0.12	0.36	1.46
Lata de aluminio	0.9	0.03	0.13	0.39	1.54
Madera	5.5	0.20	0.79	2.36	9.44
Metal	0.9	0.03	0.13	0.39	1.54
Otros	2.9	0.10	0.41	1.24	4.98
Papel de estraza	1.27	0.05	0.18	0.54	2.18
Papel higiénico	3.1	0.11	0.44	1.33	5.32
Papel blanco	0.17	0.01	0.02	0.07	0.29
Papel aluminio	0.15	0.01	0.02	0.06	0.26
Periódico	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
PET	7.75	0.28	1.11	3.33	13.30
Plástico ligero	2.35	0.08	0.34	1.01	4.03
Plástico rígido	3.2	0.11	0.46	1.37	5.49
Unicel	0.58	0.02	0.08	0.25	1.00
Tetra pack	2.85	0.10	0.41	1.22	4.89
Trapo	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Vidrio transparente	1.22	0.04	0.17	0.52	2.09
Folletos	0.08	0.00	0.01	0.03	0.14

Estas áreas se consideraron porque son las que mayor generación tendrán a los tres meses; para el área de metales se debe considerar los pesos de las latas de aluminio, metal y papel aluminio (23.4 Kg). El área de PET y plásticos es aproximadamente 218 Kg, en el área de papel y tetra pack se tiene aproximadamente 113 Kg y en el área para otros (trapos, vidrio) se estima un peso de 116 Kg.

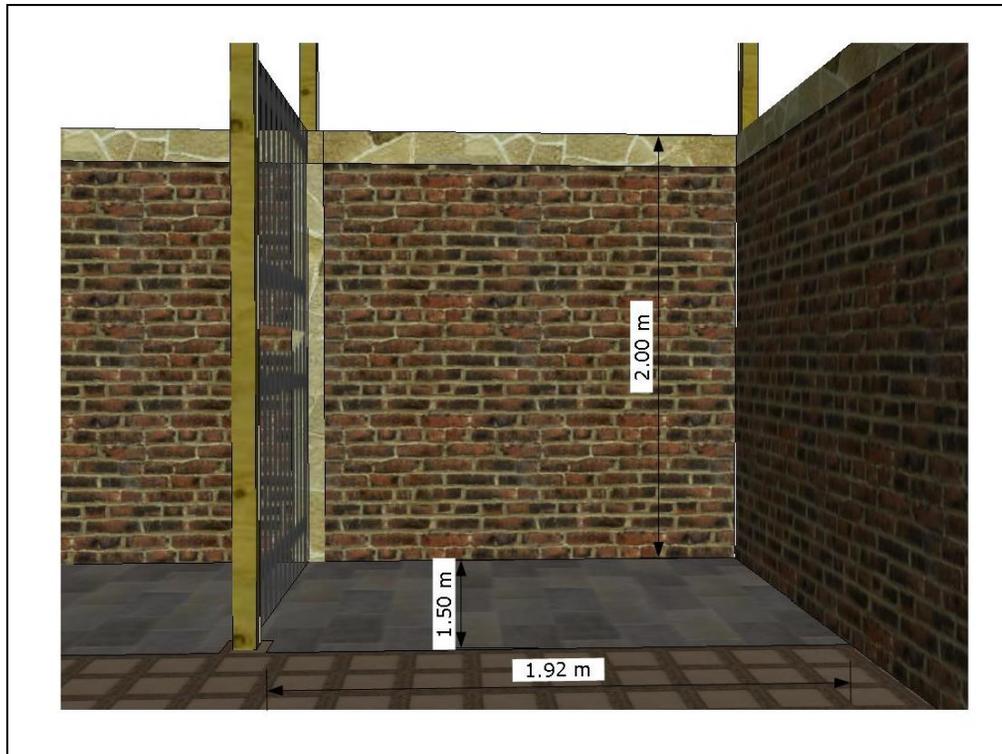
Por lo tanto, como se muestra en la Figura 13 (a, b, c, d) el centro de acopio se dividió en 4 áreas, considerando aproximadamente un volumen de 7.8 m<sup>3</sup> para cada una. Es importante que sea un sitio al que se tenga fácil acceso, que cuente con toma de agua, que se encuentre bajo techo para evitar el ingreso de agua pluvial y el exceso de sol, que sea venteado, y localizado a cierta distancia de los espacios ocupados por el personal o visitantes, como puede ser el jardín, patio, etc.



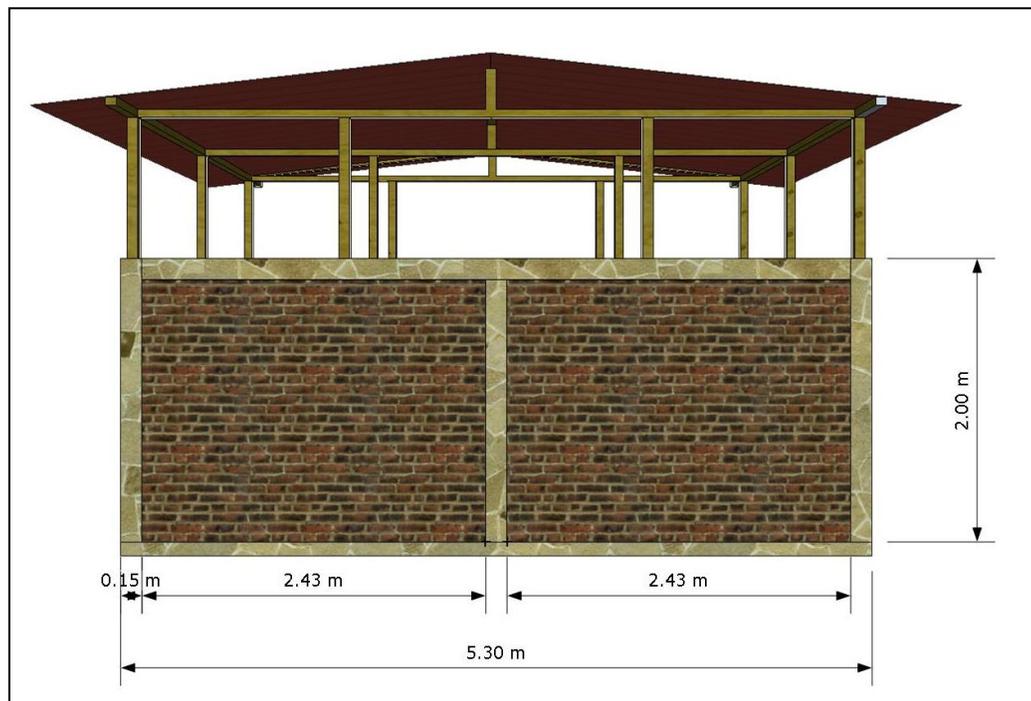
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 13. Centro de acopio propuesto. A) Vista Frontal. B) Vista Lateral. C) Espacio para los residuos. D) Vista Posterior

Con el fin de diseñar la planta de compostaje, fue necesario calcular el volumen de residuos diario que ésta recibirá, dividiendo la cantidad de residuos esperados entre el peso volumétrico de ellos, y este volumen se incremento en un 10% con la finalidad de crear un espacio de amortiguamiento para la planta.

Se hizo el cálculo con los resultados del parque Jaguaroundi, los cuales se muestran en la Tabla 3, se sumaron los pesos de residuos de jardinería y alimenticios, con lo cual se obtuvieron 510.7 Kg a la semana, con información del archivo Taller-técnicas de compostaje (FAO, 2012), se tomó en cuenta que el peso volumétrico de composta es de 250 Kg/m<sup>3</sup>, a continuación se obtuvo el volumen dividiendo 510.7 Kg de residuos orgánicos entre 250 Kg/m<sup>3</sup> dando como resultado 2.043 m<sup>3</sup>, más el 10% que es 0.2043 m<sup>3</sup> en total fue de 2.247 m<sup>3</sup>, siguiendo el ejercicio se obtuvo el largo del montículo con la siguiente ecuación:

Ejemplo de algoritmo de cálculo

$$Volumen = \pi * h * ancho * \frac{largo}{2} \dots \dots \dots ec.6$$

Sustituyendo volumen, altura y ancho recomendados se obtiene el largo.

$$2.247 m^3 = \pi * 1.2 * 1.5 * \frac{largo}{2}$$

$$Largo = 0.79 m$$

Por lo tanto las dimensiones del montículo que se genera en una semana son:

Largo=0.79 m ~ 0.8 m

Ancho = 1.5 m

Altura = 1.2 m

Los resultados del dimensionamiento de los montículos y pila de composta empleando el método desarrollada por la FAO, se muestran en la Figura 14 y 15.

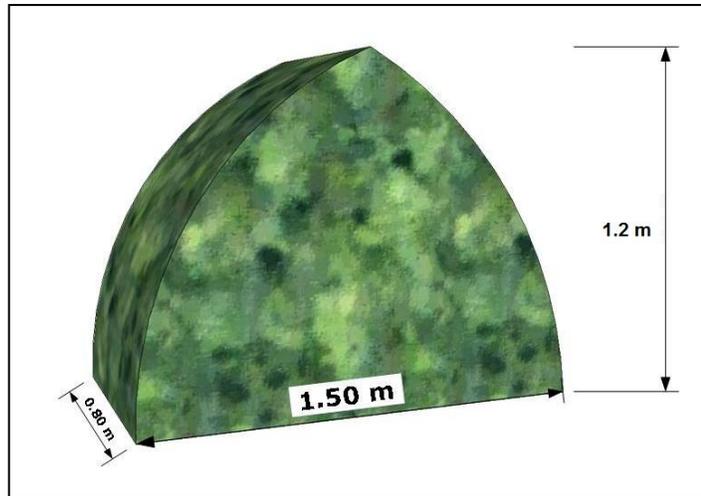


Figura 14. Montículo de composta generado en una semana

Se diseñó un espacio lateral (cuneta) de .5 m de altura por .7 m de ancho (Figura 15), con un volumen de 5.6 m<sup>3</sup> con el objetivo de recolectar los lixiviados durante el proceso de maduración de la composta. Por ser una planta pequeña no se hicieron los cálculos que se hacen para un relleno sanitario.

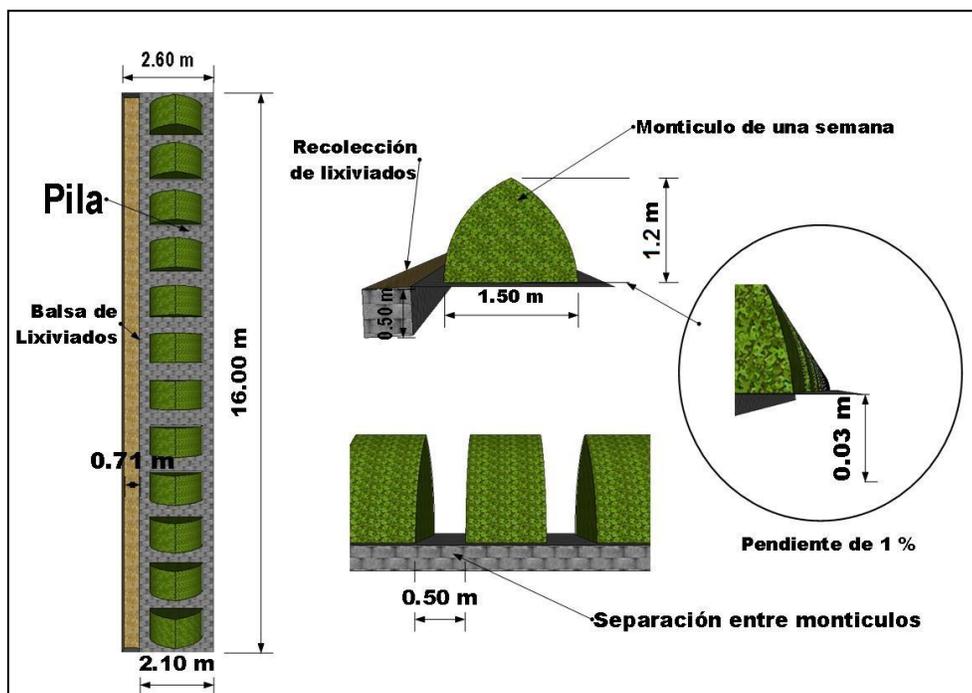


Figura 15. Pila formada en 3 meses y especificaciones

En la Figura 16 se muestran los montículos y otros implementos (tubos) que se recomiendan para evitar que se acumulen el biogás, cuando hay en exceso y se tenga una aeración natural.

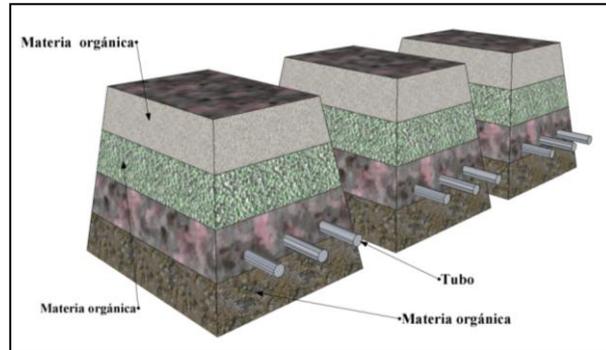


Figura 16. Montículo propuesto por semana

Las instalaciones para el compostaje, además del patio de composteo deben contar con las siguientes áreas: a) caseta de vigilancia; b) recepción de los insumos; c) trituración y formación de mezclas; d) maduración y almacenamiento (ver Figura 17).

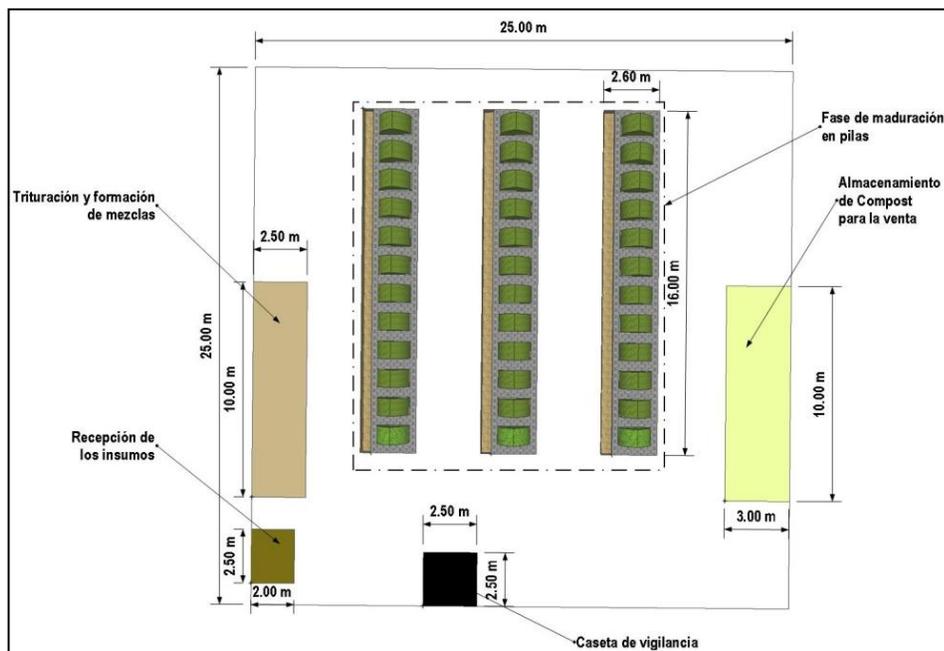


Figura 17. Propuesta de planta de compostaje

El centro de acopio no requiere mayor infraestructura, lo que se recomienda es que se utilice el 50 % de los materiales que sobren de otras obras como muros, pisos, techos y acabados. Lo que sí es importante, es considerar que una vez que los residuos son separados y manejados adecuadamente, es necesario mantenerlos bajo condiciones que permitan que su valor de reaprovechamiento no disminuya, evitando en lo posible que se mojen, se combinen o se impregnen de otros residuos.

La infraestructura recomendable es la siguiente:

- Techado a una o dos aguas, que permita el desalojo del agua pluvial.
- Aprovechamiento al máximo del alumbrado natural.
- Delimitado por cerca perimetral y alambre de púas, entre otros.
- Plancha de concreto o grava.
- Delimitaciones para los residuos que se acopiarán (plástico, metal, vidrio, papel y cartón).
- Los materiales no pueden estar expuestos a condiciones ambientales como la lluvia, el sol, el aire, a excepción de los plásticos.
- Deben estar en lugar seguro para evitar robos.
- Deben estar ordenados, secos y limpios para prevenir fauna nociva.

Medidas de seguridad:

- Uso de extintores
- Deben estar alejados de fuentes de ignición para prevenir contacto.

## 4.4 Beneficios

Los beneficios que se obtienen de la separación de residuos municipales y en general de cualquier clase de residuo son muchos, ya que ayudan en algún aspecto de la sociedad. Los residuos orgánicos permiten la aglomeración de bacterias, dichas bacterias provocan procesos de putrefacción que afectan al medio ambiente, provocando olores, plagas y diferentes tipos de enfermedades. La separación de estos contribuye a la generación de combustibles alternos, además de que hace innecesario el gasto de energía para la producción de nuevos materiales de uso doméstico. Al separar los residuos se da paso al proceso de reciclaje, este proceso permite la fabricación de nuevos bienes, haciendo innecesaria el uso de nuevos recursos naturales. Cuando los residuos inorgánicos son separados y agrupados se pueden vender para la fabricación de nuevos objetos, esto permite la generación de ingresos, al mismo tiempo el proceso de separación de estos genera empleo.

Los beneficios que se pueden obtener al poner en operación una planta de compostaje y un centro de acopio en un parque ecológico son:

### a) Ambientales:

- Eliminación segura de los residuos orgánicos.
- Aprovechamiento de los lixiviados en el proceso de compostaje.
- Aprovechamiento de los residuos reciclables.
- Se reduce el deterioro del ecosistema.
- Se evita el depósito de los residuos en vertederos
- Disminuye la emisión de gases invernadero.

### b) Económicos:

- Ahorro en costos de infraestructura, ya que se utilizarán materiales de la región o aquellos que su durabilidad requiera poco mantenimiento para el centro de acopio y planta de compostaje.
- Se generan empleos directos e indirectos.

- Con la venta de la composta y de los residuos reciclables podrían generarse recursos para mantenimiento de estos centros.

Se hizo un análisis acerca del mercado de reciclaje. En la Tabla 7 se puede observar los residuos que actualmente tienen mercado de reciclaje y que por lo tanto son recolectados por las empresas acopiadoras de residuos. Para la elaboración de esta tabla se utilizó el promedio de los datos obtenidos a través de entrevistas a seis centros de acopio que se encuentran dentro del Distrito Federal, y a dos centros de acopio de la ciudad de Veracruz entrevistados por vía telefónica.

Tabla 7. Ganancia estimada por la venta de los residuos reciclables

Residuos	Peso (Kg/semana)	Precio (\$/Kg)	Ingreso semanal (\$/semana)	Ingreso mensual (\$/mes)	Ingreso Anual (\$/año)
Periódico	0.01	0.90	0.009	0.036	0.432
Papel color (revistas, folletos, etc.)	0.08	0.90	0.072	0.288	3.456
Papel blanco	0.17	1.80	0.306	1.224	14.688
Cartón	1.96	0.90	1.764	7.056	84.672
Tetra pack	2.85	1.00	2.85	11.4	136.8
Plástico duro	3.20	1.50	4.8	19.2	230.4
Bolsas de plástico	3.40	1.50	5.1	20.4	244.8
Vidrio	1.22	0.40	0.488	1.952	23.424
Aluminio (Latas)	0.90	15.80	14.22	56.88	682.56
PET	7.75	2.70	20.925	83.7	1004.4
<b>TOTAL</b>			<b>50.534</b>	<b>202.136</b>	<b>2425.632</b>

En la mayoría de los casos las recicladoras no aceptan materiales como el tetra pack, pilas y el unicele, porque su manejo es complicado y el mercado es pequeño, sin embargo en otros casos los aceptan, pero no pagan por ellos. El tetra pack está siendo reciclado hace poco tiempo en México, por lo que existe poco mercado para el mismo, el unicele presenta muchos inconvenientes para su acopio y reciclaje, también las pilas son un problema por su potencial peligrosidad. En muchos centros de acopio tampoco aceptan bolsas de plástico porque este tipo de material

se caracteriza por tener mucho volumen y poco peso, lo que resulta poco rentable para las empresas acopiadoras (Rojas, 2012).

Se debe tener en cuenta que la composta que se genera a partir de los residuos orgánicos, también puede ser comercializada. Los precios de mercado de la composta obtenidos en páginas de internet varían entre \$ 1.5 a \$4.0 el kilo. En este caso no es posible realizar una adecuada estimación de la generación de abono producto del compostaje, porque la cantidad generada varía mucho de acuerdo a los tratamientos que se aplican, pero suponiendo que de cada 100 Kg de residuos orgánicos se obtiene 30 Kg de composta y se tienen tres pilas formadas en un año, se tiene la Tabla 8, donde se tiene un ingreso máximo de \$ 22 062 al año.

Tabla 8. Ingresos por Kg de composta a diferentes precios en el mercado

	<b>Residuos orgánicos (Kg)</b>	<b>Composta (Kg)</b>	<b>Diferentes precios por Kilogramo</b>				
			<b>\$ 2 /Kg</b>	<b>\$ 2 /Kg</b>	<b>\$ 2 /Kg</b>	<b>\$ 3 /Kg</b>	<b>\$ 4 /Kg</b>
En tres meses	6128	1839	\$ 2758	\$ 3309	\$ 3677	\$ 4596	\$ 7354
En seis meses	12257	3677	\$ 5516	\$ 6619	\$ 7354	\$ 9193	\$ 14708
En nueve meses	18385	5516	\$ 8273	\$ 9928	\$ 11031	\$ 13789	\$ 22062

c) Sociales:

- Educar y concientizar a la población mediante la difusión de información e impartición de clases y asesorías en estos centros.
- Se contribuye a la salud pública evitando la propagación de enfermedades.
- Generación de fuentes de trabajo.

## Conclusiones

A pesar de que en México existe normatividad para el tratamiento de los residuos sólidos se carece de disposiciones legales específicas para la operación, construcción y diseño de plantas de compostaje así como de centros de acopio no solo en las ciudades y edificaciones sustentables; sino también en los parques ecológicos.

El diseño del centro de acopio y planta de compostaje se basó en los resultados obtenidos del estudio de generación de un parque ecológico en operación. Las dimensiones del centro de acopio que se obtuvieron para el caso de estudio fueron: 5.3 m por 4.3 m con una altura de 3 m, por dentro fue dividido en cuatro áreas de 1.5 por 2 m y un muro de 2 m cada una en las cuales se guardan los residuos reciclables. El diseño de la planta de compostaje se basó en la técnica de diseño de la FAO, se concluye que es una técnica que se puede aplicar fácilmente para este caso. Las dimensiones de la planta de compostaje fueron: montículos de 0.8 m por 1.5 m y 1.2 m de altura, pilas de 16 m de largo por 2.6 m de ancho con un área total de 625 m<sup>2</sup>.

La comercialización de los residuos genera ingresos, en mayor medida los orgánicos ya que su volumen y precio es mayor, mientras que el ingreso por la venta de los residuos inorgánicos puede parecer poco, sin embargo puede ser utilizado como incentivo para el personal de limpieza encargado de realizar la recolección y el acopio de los mismos.

El equipo básico para el centro de acopio son: tambos de 200 L y megabolsas y para la planta de compostaje el equipo básico es: molino de trituración gruesa, molino de trituración fina, tolva de alimentación, equipo de secado puede ser solar y mezcladora mecánica. Para ambos centros se requiere de una camioneta pick up, para trasladar el material al centro de compostaje.

## Recomendaciones

Se deben implementar acciones para prevenir la propagación de plagas y mitigación de olores desagradables y se debe contar con instalaciones sanitarias para el personal que labore en las plantas de composta, esto de acuerdo con la Ley Federal del Trabajo y los principios de seguridad e higiene para prevenir riesgos de trabajo y perjuicios al trabajador.

De acuerdo a las entrevistas realizadas a las empresas recicladoras, necesitan grandes cantidades de residuos, que superen mínimo una tonelada para que les resulte rentable recolectar los residuos. Teniendo en cuenta que la cantidad de residuos que el parque generará no llegará a dicha cantidad se recomienda su donación o que el personal de limpieza se encargue de su comercialización y obtenga un ingreso extra con la venta de los materiales (Rojas, 2012).

Se recomienda instalar un techo con residuos de la región (madera, poda) para la planta de compostaje en el área de las pilas, para protección del material orgánico, así se genera un menor volumen de lixiviado y no excederá el volumen diseñado de la cuneta.

Para la elaboración de composta, como no hay una norma específica para Veracruz, se recomienda seguir los lineamientos que se establecen en el proyecto de norma ambiental para el Distrito Federal, PROY-NADF-020-AMB T-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida; en la citada norma se detallan las características que debe tener el sitio para la instalación de una planta de compostaje, cómo debe realizarse el proceso de compostaje, las características de la composta terminada, el etiquetado, el muestreo y análisis.

Es recomendable que se considere comprar el equipo básico para la elaboración de la composta, considerando que el parque ecológico Jaguaroundi y Tuzandepetl se encuentran a una distancia relativamente corta entre sí (aproximadamente 10 km en línea recta), se recomienda comprar un trituradora y una mezcladora que se pueda usar para ambos parques (Figura 18)



Figura 18. Trituradora de materia orgánica y mezcladora de composta

## **Bibliografía**

**Campo limpio, Amocali A.C.** 2014. ¿Qué es un centro de acopio? Disponible en: [http://campolimpio.org.mx/centros\\_acopio.php](http://campolimpio.org.mx/centros_acopio.php) (Consultado el 26 de marzo de 2014)

**Centro modelo de tratamiento de residuos**, 2013. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/proyectos/cemtrar/html/compostaje.htm> (Consultado el 22 de junio de 2013)

**FAO**, Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Paraguay. Técnicas de compostaje 2012. Disponible en: [http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller\\_tcp-par-3303/compost.pdf](http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf) (Consultado el 18 de julio de 2013)

**INE**, Instituto Nacional de Ecología, Experiencias de la producción de composta en México. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/499/experiencias.html#top> (Consultado el 14 de abril de 2013)

**INEGI**, Estadística básica sobre medio ambiente datos de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2013. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Boletines/Boletin/Counicados/s/ especiales/2013/Abril/comunica22.pdf> (Consultado el 18 de abril de 2013)

**INEGI**, Estadística básica sobre medio ambiente, 2013. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Boletines/Boletin/Counicados/Especiales/2013/abril/comunica2.pdf> (Consultado el 25 de junio de 2013)

**Informe de la situación del medio ambiente en México**, edición 2012. Disponible en:[http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/07\\_residuos/cap7\\_1.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/07_residuos/cap7_1.html) (consultado el 16 de abril de 2014).

**Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**, Diario oficial de la federación, México 1988, pp. 1-107. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf> (Consultado el 12 de septiembre de 2012)

**Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**, Ley número 76, México 1990, pp. 1-39. Disponible en: [http://sistemas.cgever.gob.mx/2003/Normatividad\\_Linea/constitucion\\_codigos\\_y\\_leyes/LEY%20ESTATAL%20DEL%20EQUILIBRIO%20ECOLOGICO%20Y%20LA%20PROTECCION%20AL%20AMBIENTE.pdf](http://sistemas.cgever.gob.mx/2003/Normatividad_Linea/constitucion_codigos_y_leyes/LEY%20ESTATAL%20DEL%20EQUILIBRIO%20ECOLOGICO%20Y%20LA%20PROTECCION%20AL%20AMBIENTE.pdf) (Consultado el 13 de septiembre de 2012)

**Ley Federal Del Trabajo**, Diario Oficial de la Federación, 1970. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/125.pdf> (Consultado el 26 de septiembre de 2012)

**Norma Mexicana NMX-AA-061-1985** Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la Generación. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa061.pdf> (Consultado el 25 de enero de 2013)

**NMX-AA-015-1985**. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo. Residuos Sólidos Municipales – Muestreo-Método de Cuarteo. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa015.pdf> (Consultado el 25 de enero de 2013)

**NMX-AA-019-1985**. Protección al Ambiente-Contaminación del Suelo. Residuos Sólidos Municipales- Peso Volumétrico "*in situ*". Disponible en:

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa019.pdf> (Consultado el 25 de enero de 2013)

**NMX-AA-022-1985.** Protección al ambiente-Contaminación del Suelo Residuos Sólidos Municipales-Selección y Cuantificación de subproductos. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa022.pdf> (Consultado el 25 de enero de 2013)

**Plan de Ordenamiento Territorial (POT) 2012.** Disponible en: [http://www.metrocuadrado.com/m2-content/cms-content/glosario/ARTICULO-WEB-GLOSARIO\\_M2-2033425.html](http://www.metrocuadrado.com/m2-content/cms-content/glosario/ARTICULO-WEB-GLOSARIO_M2-2033425.html). (Consultado el 1 de marzo de 2012).

**PROY-NADF-020-AMB T-2011.** Proyecto de Norma Ambiental para el Distrito Federal, 2012. (Consultado el 17 de Abril de 2014)

**Reglamento de limpia pública del municipio de Boca del Río,** estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Gaceta Oficial del Estado de Veracruz, México 2008, pp. 16. Disponible en:

[http://bocadelrio.gob.mx/reglamento/ReglamentoLimpiaPublica\\_Boca\[1\].pdf](http://bocadelrio.gob.mx/reglamento/ReglamentoLimpiaPublica_Boca[1].pdf)  
(consultado el 17 de marzo de 2013)

**Rodríguez Marcos, Ana Córdova (2006).** *Manual de compostaje Municipal. Tratamiento de Residuos sólidos Urbanos*, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. (Consultado el 21 de abril de 2014)

**Rodríguez Pérez, Juan Ernesto,** *“Análisis y diseño de un parque ecológico sustentable en el entorno urbano”*, IPN, 2009. (Consultado el 14 de abril de 2014)

**Stephan, Otto Erwin (coord.)**, “*Segundo Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco*”, Tomos I y II, edita la Asociación Internacional de Investigadores de Xochimilco, México 1999. (Consultado el 31 de octubre de 2013)

**Torres C.L.** *Elaboración de composta*, SAGARPA. Disponible en:

<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Elaboraci%C3%B3n%20de%20Composta.pdf> (Consultado el 19 de septiembre de 2013)

**Tavera C; Ortiz H; Valtierra G.** *Factibilidad económica de una planta de compostaje*, 2009. Disponible en:

[http://www.aiest.unam.mx/biblio/Tavera\\_%20Planta\\_compostaje.pdf](http://www.aiest.unam.mx/biblio/Tavera_%20Planta_compostaje.pdf) (Consultado el 24 de julio de 2013)

**Tavera Cortés, Alvarado Raya.** *La factibilidad tecnológica para la producción de composta en el Distrito Federal*, 2011. pp. 38-39. (Consultado el 21 de abril de 2014)

**Tchobanoglous, G.** (1993). “*Integrated Solid Waste Management*”. Mc. Graw- Hill. Tomo I pp. 221-260. (Consultado el 2 de agosto de 2013)

**Rojas Valencia, Ma. Neftalí**, 2012. “Estudios técnicos para definir el desarrollo y funcionamiento del Parque Ecológico Tuzandepetl”. Instituto de Ingeniería, UNAM. (Consultado el 18 de mayo de 2012)

## ANEXOS

Anexo A. Constancia de 1er Congreso Nacional AMICA Campeche 2013.



Congreso Nacional  
**AMICA**  
Campeche 2013  
Construyendo caminos hacia la sustentabilidad



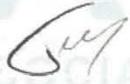
"Construyendo caminos hacia la Sustentabilidad"

La Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión  
Ambiental A.C, Otorga la presente  
CONSTANCIA a:

ALFREDO GALICIA MARTINEZ

Por su participación en el 1° Congreso Nacional de AMICA a realizarse en la  
ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche del 12 al 14 de noviembre  
de 2013.

Campeche, Campeche, 14 de Noviembre 2013.



Dra. Pilar Tello Espinoza  
Presidente AMICA.

Dra. Icela Dagmar Barceló Quintal  
Coordinadora General del Congreso.

Anexo B. Extenso presentación oral en el 1er Congreso Nacional AMICA Campeche 2013.



## DISEÑO DE UN CENTRO DE ACOPIO Y UNA PLANTA DE COMPOSTAJE PARA UN PARQUE SUSTENTABLE

*Design of a reception and storage center and composting plant for a sustainable park*

**Ma. Neftalí Rojas-Valencia**<sup>1</sup>  
**Alfredo Galicia Martínez**<sup>2</sup>  
**Mabel Vaca Mier**<sup>3</sup>

**Dirección de contacto:** Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM, Coordinación de Ingeniería Ambiental Edificio 5, cubículo 212. Avenida Universidad # 3000. Colonia Coyoacán, Distrito Federal, México. Tel. (52) (55) 52-56-23-36-00 ext. 8663. Fax: (52) (55) 52 E-mail: [nrov@pumas.iingen.unam.mx](mailto:nrov@pumas.iingen.unam.mx)

### **Abstract**

*The management of the 84,388.00 tons of solid wastes generated everyday in Mexico is a complicated matter. In order to help solve this problem, sustainable buildings that include solid waste management plants and community awareness programs are being constructed. The objective of this research is to propose the building of a reception and storage center for storing the economically valuable wastes as well as a composting plant for treating the organic fraction within the installations of a sustainable park. The methodology is based on Laws, Regulations and Standards related to sustainable buildings, reception and storage centers and composting plants. The composting plant is integrated by 1.5 m long X 0.8 m wide X 1.2 m high mounds. For the reception and storage center, a 2.0 m long X 1.5 m wide X 3 m high zone is necessary. These areas will help promote awareness among the visitors.*

**KeyWords:** composting plant, ecological park, reception and storage center, waste generation.

---

<sup>1</sup> Realizó sus estudios de Licenciatura en Biología y de Maestría en Ciencias (especialidad en recursos acuáticos) en la Facultad de Ciencias, en la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM). Obtuvo el título de Doctor en Ingeniería Ambiental en la Universidad Autónoma Metropolitana en el 2004. Desde 1993 ha trabajado en el área de Ingeniería Ambiental, en el Instituto de Ingeniería, UNAM. Desde el 2005 es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Como coautor su producción científica y técnica se resume en: 55 informes de investigación, 100 artículos en congresos tanto nacionales como internacionales, 38 artículos en revistas de divulgación e indexadas, 6 capítulos de libros, 1 libro y 3 manuales en materia de residuos. Sus líneas de investigación incluyen: Microbiología ambiental, desinfección, manejo y tratamiento de aguas y residuos sólidos. E-mail: [nrov@pumas.iingen.unam.mx](mailto:nrov@pumas.iingen.unam.mx).

<sup>2</sup> Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y becario del Instituto de Ingeniería UNAM de la Subdirección de Hidráulica y Ambiental. Ha participado en proyectos de manejo de residuos sólidos dentro de los cuales sobre sale el proyecto titulado "Diagnóstico para la gestión integral de los residuos sólidos de un parque ecológico".

<sup>3</sup> Doctora en Ingeniería. Profesora-Investigadora titular de tiempo completo del Departamento de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Líneas de investigación que desarrolla: Restauración de suelos y acuíferos contaminados, tratamiento de residuos industriales. E-mail: [mvm@correo.azc.uam.mx](mailto:mvm@correo.azc.uam.mx)

## Diseño de un centro de acopio y una planta de compostaje para un parque sustentable

### Resumen

En México se generan 112.5 toneladas de residuos sólidos/día; por lo que su manejo es un problema. Para ayudar a resolver dicho problema se están construyendo edificaciones sustentables que incluyen planes de manejo de residuos sólidos y concientización ciudadana, el objetivo de esta investigación fue proponer dentro de las instalaciones de un parque sustentable la construcción de un centro de acopio para el almacenamiento de residuos con valor económico así como una planta de compostaje para tratar la fracción orgánica. La metodología se basó en Leyes, Reglamentos y Normas referentes a las edificaciones sustentables, centros de acopio y compostaje. La planta de compostaje fue integrada por montículos con dimensiones de 1.5m X 0.8m con una altura de 1.2 m. Para el centro de acopio se requirió un área de 1.5 m X 2.0 m con una altura de 3 m. Estas áreas servirán de apoyo para la concientización de los visitantes.

**Palabras clave:** centro de acopio, generación de residuos, parque ecológico, planta de compostaje.

### Introducción

En el ámbito Nacional durante el año 2010 se generaron 39,055 millones de toneladas de residuos, se estima que tan solo Veracruz genero 2070 millones de toneladas del total (INEGI, 2012), por lo que es necesario implementar planes para contar con un manejo adecuado de residuos sólidos generados en diferentes edificaciones incluyendo los parques. En algunos parques actualmente etiquetados como sustentables o ecológicos en donde se fomenta la participación de instituciones de gobierno como lo son la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, y el Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América y universidades como la Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma Metropolitana entre otras, las cuales realizan proyectos de protección, restauración y conservación de los recursos naturales dentro de las instalaciones de dichos parques. Los parques sustentables pueden servir para fomentar la cultura ambiental de reúso y reciclaje, impactando en los visitantes y trabajadores, esperando que estos a su vez transmitan una conciencia ambiental a sus hijos, ya ellos serán los sucesores del manejo ambiental en un futuro. La importancia y éxito de lo dicho anteriormente no solo recae en cursos de concientización en materia de residuos, es de gran apoyo que los parques cuenten dentro de sus instalaciones con un centro de acopio y una planta de compostaje para integrarlos en un plan de manejo de residuos sólidos. Con base a las necesidades y capacidades del parque sustentable Tuzandepetl, determinar las dimensiones necesarias para instalar una planta de compostaje que permita procesar la fracción orgánica generada *in situ* al igual que un centro de acopio de residuos inorgánicos, basado en el estudio de generación de un parque sustentable en operación.

### Metodología

La metodología se dividió en tres fases:

Primera Fase: Se hizo un análisis exhaustivo de gabinete incluyendo normas y leyes relacionadas con la temática. Se analizaron las Leyes, Reglamentos, y Normas referentes a las edificaciones sustentables de centros de acopio y compostaje.

Segunda Fase: Para poder realizar el estudio de generación, separación y cuantificación de los residuos sólidos se tomaron como base las normas relacionados con los estudios de generación de los residuos sólidos urbanos, tal como se detalla de la numeración romana *i* al *iv*.

- i) En primera instancia se tomó como base la Norma Mexicana NMX – AA – 061 – 1985 para determinar la generación de residuos sólidos; sin embargo se hicieron adecuaciones acordes a la cantidad de residuos sólidos generados en parques con una estratificación particular de datos. Para obtener el valor de la generación per-cápita de residuos sólidos en kg/persona/día correspondiente a la fecha en que fueron generados se dividió el peso de los residuos sólidos entre el número de personas (ecuación 1), según la (NMX-AA- 061- 1985).

$$Gen\ Per = \frac{Kg\ residuos\ recolectados}{No.\ personas} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde

Gen Per: Generación per cápita

Kg: Kilogramos de residuos recolectados

No. Per: Número de personas

ii) Se empleó el método de cuarteo de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-15-1985.

En este estudio al ser la producción de residuos sólidos menor o igual a 50 kg/día se incluyó el análisis de toda la muestra y no sólo una parte de la muestra como lo indica la normatividad.

iii) Se clasificaron los residuos sólidos encontrados de acuerdo a lo establecido en la NMX-AA-22-1985 ("Selección y cuantificación de subproductos").

- Se levantó un registro para cada clasificación de los residuos sólidos encontrados así como la cantidad expresada en kg y porcentaje con respecto al total de muestra analizada.
- Se hizo un reporte diario de los materiales clasificados y su cantidad.

iv) Para obtener el peso volumétrico "In situ" se aplico la NMX-AA-19-1985.

Se hizo la determinación del peso total de los residuos sólidos, de acuerdo a los parámetros técnicos. En la determinación se empleó un tambo con capacidad de 200 L, tal como se muestra en la figura 1.

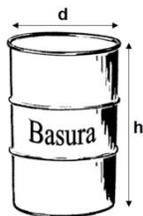


Figura 1. Tambo de fierro con capacidad de 200 L.

Como se ilustra en la figura 2, se peso el recipiente vacío, tomando este peso como tara del recipiente. El recipiente se llenó con los desechos sólidos de cada día, de manera que se acomodaran perfectamente dentro del recipiente, siendo cuidadosos de no presionar los desechos al colocarlos en el tambor, esto con el fin de no alterar los datos de densidad, así mismo se golpeó el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm y nuevamente agregando residuos sólidos hasta el tope.



Figura 2. Secuencia para obtener el peso volumétrico "in situ".

Finalmente se obtuvo el peso de la basura por diferencia, entre la tara y el peso del recipiente conteniendo a los desechos sólidos; calculándose después el peso volumétrico *in situ* de los residuos. Las ecuaciones 2 y 3 se emplearon para el cálculo de volumen.

$$Vol = \frac{\pi \times D^2}{4} \times h \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Vol.: Volumen del recipiente

D: Diámetro del recipiente

h: Altura del recipiente

$$V_{total} = V_1 + V_2 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

Vol. total: Volumen total

Vol. 1: Volumen del recipiente

Vol. 2: Volumen de residuos

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calculó con la ecuación 4:

$$P_s = \frac{G_1}{G} \times 100 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

PS: Porcentaje del subproducto considerado

G<sub>1</sub>: Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa empleada

G: Peso total de la muestra

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, fue el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se deberá repetir la determinación. Finalmente se obtuvo el peso de la basura por diferencia, entre la tara y el peso del recipiente conteniendo a los desechos sólidos; calculándose después el peso volumétrico de los residuos. Se hizo este cálculo por cada día de estudio y se obtuvo el peso volumétrico promedio, el cual se calculó mediante la ecuación 5.

$$P_v = \frac{P}{V} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

P<sub>v</sub>: Peso volumétrico promedio de los residuos sólidos Kg/m<sup>3</sup>

P: Peso promedio de los residuos (peso bruto menos tara) en Kg

V: Volumen del recipiente en m<sup>3</sup>

### Tercera Fase:

Basándose en los cálculos del Taller-técnicas de compostaje (FAO, 2012), para la obtención de una pila de composta y con los pesos obtenidos del estudio de generación de materia orgánica se obtuvieron las medidas de un montículo que se puede formar en una semana, después se hizo el cálculo para formar una pila en tres meses. Para los residuos inorgánicos solo se tuvieron áreas específicas como lo fueron: área para metales, área para PET y plástico, área para papel y tetra Pack, área para otros, de estas el de mayor peso fue PET y plástico (218 Kg). Se consideró una altura de 3 m para el centro de acopio ya que se puede acumular más residuos y estos se podrían poner en contenedores apilados verticalmente.

### **Resultados**

Basados en el estudio de gabinete se puede decir que Veracruz cuenta con una Ley estatal de protección ambiental, Ley estatal del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, Ley de prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave ver más detalles en la tabla 1.

### Generación de residuos sólidos en un parque ecológico en operación

Fue indispensable hacer un diagnóstico sobre el tipo y cantidad de residuos sólidos (basura) que se generan *in situ*. Para este estudio se tomó como base el Parque Ecológico Jaguaroundi el cual se encuentra en operación, cuanta con una base de 28 empleados que laboran de lunes a domingo normalmente de 9:00 a 17:00 hrs, 4 personas se encargan del servicio de limpieza y 2 de la jardinería. De acuerdo a las necesidades del Parque Ecológico Tuzandepetl referente a la gestión de los residuos sólidos urbanos, se debe entender la importancia del estudio de generación de residuos sólidos necesario para realizar una proyección en la generación de estos. En la tabla 2 se muestran los resultados, contiene datos del peso de cada residuo obtenido en el Parque Ecológico Jaguaroundi. Estos datos son importantes para el diseño de las pilas de composta y el centro de acopio.

**Tabla 1.** Comparación de leyes mexicanas.

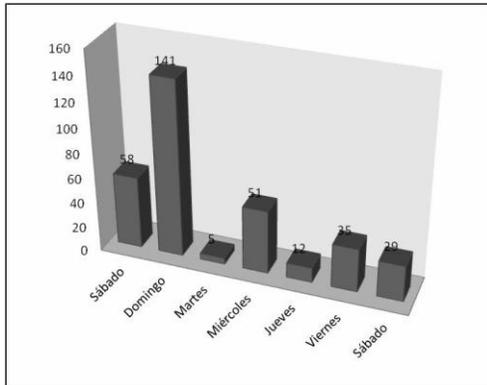
LGEEPA	Legislación del DF	Legislación del estado de Veracruz
Disminución de efectos sobre el ambiente en la generación, almacenamiento, manejo y tratamiento de residuos no peligrosos.	Es responsabilidad de toda persona, física o moral. ( <i>Artículo 24, Ley de residuos sólidos</i> )	Es fundamental la participación de los generadores.
	Será realizada por los particulares a solicitud de la Secretaría. ( <i>Artículo 71, Reglamento de la Ley de residuos sólidos</i> )	Es responsabilidad del propietario, la disminución de generación de residuos sólidos. ( <i>Artículo 31, LPGIRSUME</i> )
	Será realizada por los particulares a solicitud de la Secretaría. ( <i>Artículo 71, Reglamento de la Ley de residuos sólidos</i> )	Es obligación de los particulares la disminución de efectos sobre el ambiente. <i>Artículo 173, Ley estatal de protección ambiental.</i>

\*LPGIRSUME: *Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el estado de Veracruz.*

**Tabla 2.** Resultados del estudio de generación del Parque Ecológico Jaguaroundi.

Residuos sólidos	Peso (Kg)	Porcentaje en peso (%)
Bolsas de plástico	3.4	0.62
Cartón	1.96	0.36
Envolturas	0.85	0.15
Lata de aluminio	0.9	0.16
Madera	5.5	1.00
Metal	0.9	0.16
Otros	2.9	0.53
Papel de estraza	1.27	0.23
Papel higiénico	3.1	0.56
Papel blanco	0.17	0.03
Papel aluminio	0.15	0.03
Periódico	0.01	0.00
PET	7.75	1.41
Plástico ligero	2.35	0.43
Plástico rígido	3.2	0.58
Unicel	0.58	0.11
Residuos alimenticios	22.1	4.02
Residuos de jardinería	488.6	88.86
Tetra pack	2.85	0.52
Trapo	0.01	0.00
Vidrio transparente	1.22	0.22
Folletos	0.08	0.01
TOTAL	549.85	100%

En la figura 3 se muestra el número de visitantes diarios que se registraron durante 8 días, con estos resultados es posible relacionar las generaciones diarias de residuos por persona y actividad.



**Figura 3.** Número de visitantes por día durante el estudio.

Tal como se planteó en la metodología, para calcular la generación per-cápita de residuos sólidos en kg/empleador/día correspondiente a la fecha en que fueron generados; se dividió el peso total que fue de 549.88 kg entre el número de empleados y visitantes del parque que fue de 359, según la NMX-AA- 061-1985. Algoritmo de cálculo:

$$Gen\ Per = \frac{549.85\text{kg}}{359\text{No. personas}} = 1.53\text{kg/ persona/ día} \quad \text{Ecuación (1)}$$

A los resultados del estudio de generación, se le restó la cantidad de los residuos de jardinería y se dividieron entre el mismo número de personas, el resultado es de 0.17 kg/persona/día.

$$549.85\text{ kg} - 488.6\text{ kg} = 61.25\text{ kg} \quad \text{Ecuación (1.a)}$$

$$Gen. Per\ capita = 61.25\text{ kg} / 359\text{ personas} = 0.17\text{ Kg/persona/día} \quad \text{Ecuación (1.b)}$$

A continuación se calculó el peso volumétrico considerando el peso proporcionado. Este peso se dividió entre el volumen del recipiente, en este caso es un bote de 0.2 m<sup>3</sup>, para cada residuo, se determinó su peso volumétrico con dicho resultado, se dimensionó el centro de acopio mientras que para los residuos orgánicos (alimenticios y poda) se realizó un cálculo independiente, que consistió en su peso volumétrico para dimensionar los montículos de la pila de compostaje. Como ejemplo del cálculo del peso volumétrico se toma el PET con un peso de 7.75 kg:

$$P_v = \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{volumen recipiente (m}^3\text{)}} = \frac{7.75}{0.2} = 38.75\text{ Kg/m}^3 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Así como el ejemplo anterior se calcularon para los demás residuos. Se debe tener en cuenta que el peso y el volumen que ocupa un residuo u otro son muy diferentes; por ello, una vez que se conoce el peso de cada tipo de residuo, se debe convertir a volumen para poder diseñar un centro de acopio con un área precisa y necesaria, esto mediante el uso de las densidades dependiendo el tipo de residuo.

#### Cálculo, diseño de pilas de compostaje y dimensionamiento de centro de acopio.

Para cada residuo se obtuvo el peso que se generaría por mes, a tres meses y en un año (ver tabla 3), paralelamente se obtuvo la generación en volumen por cada residuo en un mes, tres meses y un año (ver tabla 4), esto con el fin de saber en qué tiempo se puede recolectar los residuos depositados en el centro de acopio y la cantidad que se genera.

Como se ve en la tabla 4 es conveniente que se acumule durante tres meses los residuos para que se obtenga un volumen de 2.4 m<sup>3</sup> (aproximadamente 218 Kg). Ya obtenido el peso volumétrico, de la ecuación 5 se despeja el volumen, se divide el peso del residuo para un mes, tres meses y un año, entre el peso volumétrico de la tabla 2. Con este volumen de tres meses para cada residuo, se dimensionó el espacio que se requiere, al final se obtuvieron las dimensiones del centro de acopio.

**Tabla 3.** Generación en peso (kg) en un mes, tres y un año por cada residuo.

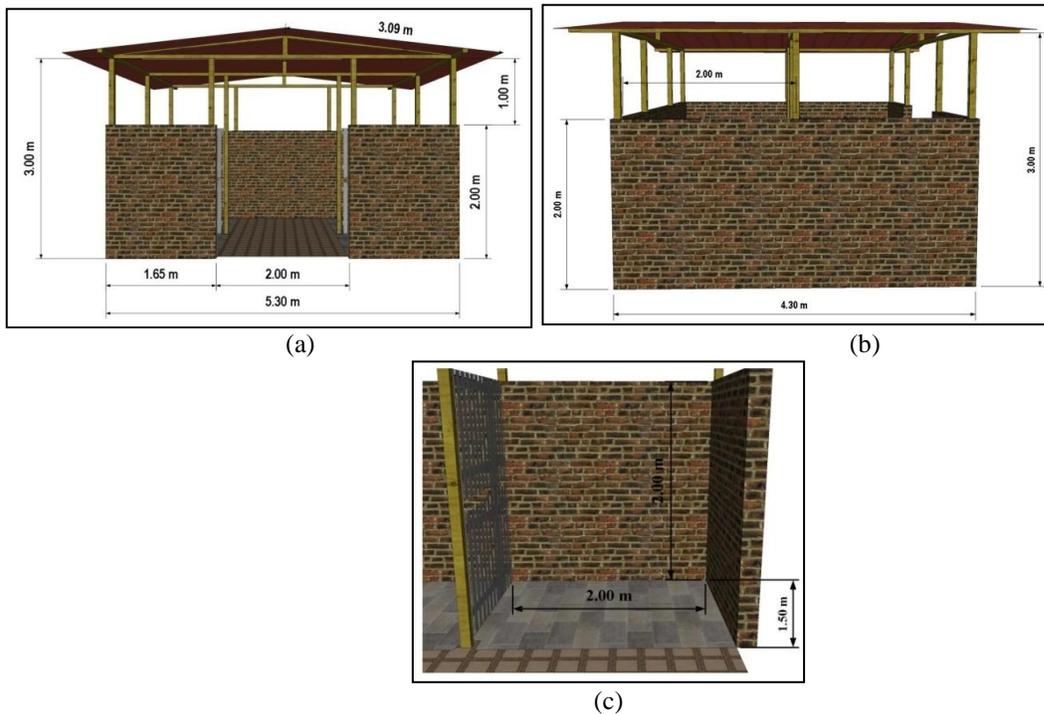
Residuos sólidos	Peso (kg)	Porcentaje en peso (%)	Residuos acumulados en un mes (Kg)	Residuos acumulados en tres meses (Kg)	Residuos acumulados en un año (Kg)
Bolsas de plástico	3.4	0.62	13.6	40.8	163.2
Cartón	1.96	0.36	7.84	23.52	94.08
Envolturas	0.85	0.15	3.4	10.2	40.8
Lata de aluminio	0.9	0.16	3.6	10.8	43.2
Madera	5.5	1.00	22	66	264
Metal	0.9	0.16	3.6	10.8	43.2
Otros	2.9	0.53	11.6	34.8	139.2
Papel de estraza	1.27	0.23	5.08	15.24	60.96
Papel higiénico	3.1	0.56	12.4	37.2	148.8
Papel blanco	0.17	0.03	0.68	2.04	8.16
Papel aluminio	0.15	0.03	0.6	1.8	7.2
Periódico	0.01	0.00	0.04	0.12	0.48
PET	7.75	1.41	31	93	372
Plástico ligero	2.35	0.43	9.4	28.2	112.8
Plástico rígido	3.2	0.58	12.8	38.4	153.6
Unicel	0.58	0.11	2.32	6.96	27.84
Residuos alimenticios	22.1	4.02	88.4	265.2	1060.8
Residuos de jardinería	488.6	88.86	1954.4	5863.2	23452.8
Tetra pack	2.85	0.52	11.4	34.2	136.8
Trapo	0.01	0.00	0.04	0.12	0.48
Vidrio transparente	1.22	0.22	4.88	14.64	58.56
Folletos	0.08	0.01	0.32	0.96	3.84
<b>TOTAL</b>	<b>549.85</b>	<b>100%</b>	<b>2199.4</b>	<b>6598.2</b>	<b>26392.8</b>

**Tabla 4.** Generación de volumen (m<sup>3</sup>) en un mes, tres meses y un año por cada residuo

Residuos sólidos	Peso (Kg)	Volumen por residuo (m <sup>3</sup> )	Volumen al mes (m <sup>3</sup> )	Volumen a los tres meses (m <sup>3</sup> )	Volumen anual (m <sup>3</sup> )
Bolsas de plástico	3.4	0.12	0.49	1.46	5.84
Cartón	1.96	0.07	0.28	0.84	3.36
Envolturas	0.85	0.03	0.12	0.36	1.46
Lata de aluminio	0.9	0.03	0.13	0.39	1.54
Madera	5.5	0.20	0.79	2.36	9.44
Metal	0.9	0.03	0.13	0.39	1.54
Otros	2.9	0.10	0.41	1.24	4.98
Papel de estraza	1.27	0.05	0.18	0.54	2.18
Papel higiénico	3.1	0.11	0.44	1.33	5.32
Papel blanco	0.17	0.01	0.02	0.07	0.29
Papel aluminio	0.15	0.01	0.02	0.06	0.26
Periódico	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
PET	7.75	0.28	1.11	3.33	13.30
Plástico ligero	2.35	0.08	0.34	1.01	4.03
Plástico rígido	3.2	0.11	0.46	1.37	5.49
Unicel	0.58	0.02	0.08	0.25	1.00
Tetra pack	2.85	0.10	0.41	1.22	4.89
Trapo	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Vidrio transparente	1.22	0.04	0.17	0.52	2.09
Folletos	0.08	0.00	0.01	0.03	0.14

Los residuos alimenticios y residuos de jardinería no se consideran para las dimensiones del centro de acopio. Por lo tanto se requieren 7.8 m<sup>3</sup> para cada residuo y un área de 1.5 m de ancho por 2 m de largo, con una altura de aproximadamente 3 m. Solo se consideran los residuos que tienen un valor económico, así solo se tendrán áreas específicas como son: área para metales, para PET, plástico, papel y tetra Pack entre otros. Estas áreas se consideraron porque son las que mayor generación tendrán a los tres meses; para el área de metales se debe considerar los pesos de las latas de aluminio, metal y papel aluminio (23.4 kg), el área de PET y plásticos es

aproximadamente 218 Kg, en el área de papel y tetra pack se tiene aproximadamente 113 Kg y en el área para otros se estima un peso de 116 Kg. Por lo tanto el centro de acopio se dividió en 4 áreas considerando aproximadamente un volumen de 2.4 m<sup>3</sup> para cada una, como se muestra en la figura 4 (a, b, c).



**Figura 4.** Centro de acopio propuesto. a) Vista Frontal. b) Vista Lateral. c) Espacio para los residuos.

Con el fin de diseñar la planta de compostaje, fue necesario calcular el volumen de residuos diario que ésta recibirá, dividiendo la cantidad de residuos esperados entre el peso volumétrico de ellos, y a este volumen se le agregó el 10% con la finalidad de crear un espacio de amortiguamiento para la planta. Se hizo el cálculo con los resultados del parque Jaguoroundi los cuales se muestran en la tabla 2, se sumaron los pesos de residuos de jardinería y alimenticios con lo cual se obtuvieron 510.7 Kg a la semana, con información del archivo Taller-técnicas de compostaje (FAO, 2012), se tomo en cuenta que la densidad de composta fue de 250 Kg/m<sup>3</sup>, a continuación se obtuvo el volumen dividiendo 510.7 Kg entre 250 Kg/m<sup>3</sup> dando como resultado 2.043 m<sup>3</sup>, más el 10% que es 0.2043 m<sup>3</sup> en total fue de 2.247 m<sup>3</sup>, siguiendo el ejercicio se obtuvo el largo de la pila con la siguiente ecuación: Ejemplo de algoritmo de cálculo

$$V = \pi * h * a * \frac{l}{2} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

V: Volumen de residuos

h: Altura de la pila

a: Ancho de la pila

l: Largo de la pila

Sustituyendo volumen, altura y ancho recomendados se obtiene el largo.

$$2.247 \text{ m}^3 = \pi * 1.2 * 1.5 * \frac{\text{largo}}{2}$$

$$\text{Largo} = 0.79 \text{ m}$$

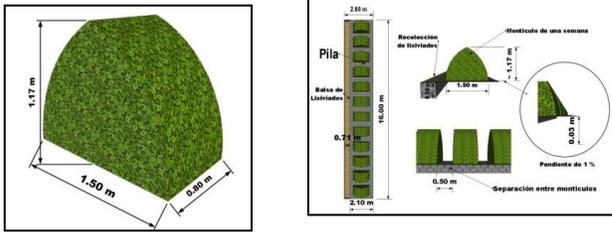
Por lo tanto las dimensiones del montículo que se genera en una semana son:

$$\text{Largo} = 0.79 \text{ m} \sim 0.8 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1.5 \text{ m}$$

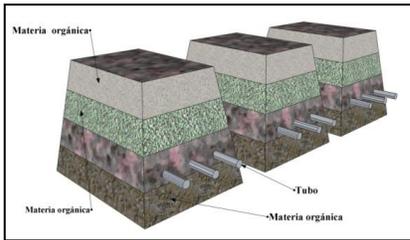
$$\text{Altura} = 1.2 \text{ m}$$

Los resultados del dimensionamiento de los montículos y pila de composta empleando el método desarrollada por la FAO, se muestran en la Figura 5.



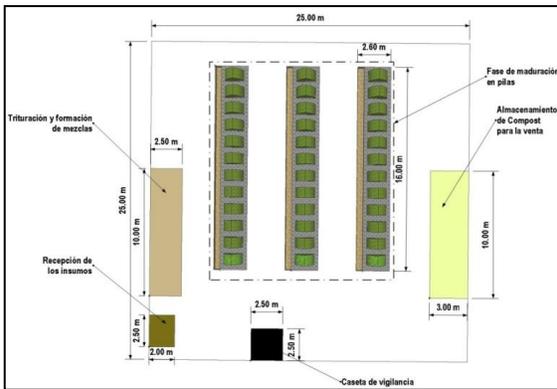
**Figura 5.** Montículo de composta generado en una semana y pila formada en 3 meses

En las figuras 6 se muestran los montículos y otros implementos que se recomiendan para evitar que se acumulen el biogás, cuando hay en exceso y se tenga una aeración natural.



**Figura 6.** Montículo propuesto por semana.

Las instalaciones para el compostaje, además del patio de composteo deben contar con las siguientes áreas: a) caseta de vigilancia; b) Recepción de los insumos; c) Trituración y formación de mezclas; d) Maduración y almacenamiento (ver figura 7).



**Figura 7.** Propuesta de planta de compostaje.

### Conclusiones y recomendaciones

Los resultados del estudio de generación de residuos del parque en operación ayudaron para hacer una estimación y proyección para considerar un área conveniente para construir un centro de acopio y una planta de compostaje en el parque sustentable Tuzandepetl. Es recomendable que para la construcción de un centro de acopio y de composta se reutilicen los residuos de construcción y tala que se generen durante la construcción del parque. Este proyecto puede ser un modelo a seguir por otros parques ya que incluye entre sus planes de manejo educación y cultura en el tema de los residuos sólidos.

Anexo C. Certificado Tercer lugar categoría poster en el Congreso: Third International Conference on Recycling and Reuse of Materials (ICRM-2014)







## **Proposal for recycling organic and inorganic materials in an ecological park**

M. Neftalí Rojas-Valencia\* and Alfredo Galicia Martínez

*Institute of Engineering, Coordination of Environmental Engineering, National Autonomous University of Mexico, Post Box 70-472, Coyoacán 04510, Mexico, D.F. Mexico. \*e-mail: nrov@iingen.unam.mx. Tel. (52) (55) 56233600. Ext 8663.*

### **Introduction**

In Mexico, an average of 86,388.00 tons of urban solid wastes mainly generated in housing, parks, gardens and public buildings are collected every day. In Veracruz, on average, 4,451 tons of urban solid wastes are collected daily (INEGI, 2010). It is thus necessary to implement plans to appropriately manage the solid wastes generated in different sustainable constructions, including parks.

Government institutions such as the Secretariat of Environment and Natural Resources (SEMARNAT), the North American Center for Environmental Information and Communication (CICEANA), universities such as the Universidad Nacional Autónoma de México (National Autonomous University of Mexico), the Universidad Autónoma Metropolitana (Metropolitan University Autonomy) and the Instituto Politécnico Nacional (National Polytechnic Institute) among others, are involved in some parks, currently labeled as sustainable and/or ecological. Said institutions and universities carry out projects for the protection, restoration and conservation of the natural resources within the installations of said parks.

An ecological park is a place characterized by the special care received by the species living in it. The purpose of an ecological park is to protect the ecosystem in which it develops. It can also serve as recreational area and promote the knowledge of the nature of a given place among the population. Depending on its formal characteristics, an ecological park can be classified in various way and receive different denominations. Within the group of protected zones, it is possible to talk about national park, sustainable park, or ecological reserve. The

specificity of each name depends on the regulations of the country in question. <http://definicion.de/parque-ecologico>.

In Mexico, few parks can be considered sustainable or ecological. Among them the Xochimilco Park (Stephan, 1999), Luis Donaldo Colosio Park, Xochitla Park and “Sendero del Abuelo” park can be mentioned, as well as the Jaguaroundi Park which is one of the most recent.

Sustainable parks can help promote the environmental culture of reutilization and recycling, leaving an impact on visitors and workers who, in turn, may transmit an environmental consciousness onto their children, the environmental managers of the future. The importance and success of the above does not depend only on waste awareness courses, but also on practical and concrete implementations, and thus parks integrating a reception and storage center and a composting plant in a global solid waste management program are essential.

The reception and storage center is an appropriate area to attract waste collection, recycling and/or co-processing companies since once at least one ton of waste is stockpiled, its market value is economically interesting.

The purpose of this study was to design a specific reception and storage center for the Tuzandepetl ecological park, based on the quantity of solid wastes generated in an operating ecological park, and to promote among visitors and workers the habit of separating and commercializing solid wastes as an environmental education alternative.

## **Methodology**

The methodology was divided in three phases: **First Phase:** A comprehensive desk study was performed, including standards and laws related to the topic. The Laws, Regulations and Standards related to the sustainable buildings of reception and storage centers and composting plants were analyzed. **Second Phase:** In order to study the generation, separation and quantification of solid wastes, standards related to the studies of urban solid wastes generation were considered: First, the Mexican Standard NMX – AA – 061 – 1985 was taken as basis for determining the generation of solid wastes; however, adaptations were made to take into account the quantity of solid wastes generated in parks with a particular data stratification. In order to obtain the value of the per capita generation of solid wastes in kg/person/day corresponding to the date on which they were generated (NMX-AA- 061-1985). The solid wastes found were classified according to the provisions of standard NMX-AA-22-1985 (“Selección y cuantificación de subproductos” [By-products Selection and Quantification]). In order to obtain the volumetric weight "*In situ*" Mexican Standard NMX-AA-19-1985 was used. Finally, the weight of the wastes was obtained through the difference

between the tare and the weight of the container containing the solid wastes; then the “*in situ*” volumetric weight of the wastes was calculated. **Third Phase:** Based on the calculations of the Workshop - composting techniques (FAO, 2012) for finding out the size of a compost pile and taking into account the quantity of organic matter obtained from the study, the size of a mound corresponding to one week was first determined, and then the size of the pile obtained in three months was calculated. With regard to inorganic wastes, only the following specific areas were implemented: metal area, PET and plastic area, paper and tetra Pack area, area for other materials. The heaviest being PET and plastic (218 Kg). A 3-meter height was considered for the reception and storage center because more wastes can be accumulated and placed in vertically stacked containers.

## **Results**

Based on the desk study, it was determined that Veracruz has an environmental protection State Law, an ecological balance and environmental protection State Law, a Law for the Prevention and integrated Management of Urban Solid and Special Wastes for the state of Veracruz of Ignacio de la Llave. According to the laws, an adequate management of the wastes and their disposal is requested, the ideal situation being the integration of reception and storage centers and adequate composting plants within the management programs.

The legislation of the State of Veracruz is on a par with the federal legislation. For this reason we recommend that the guidelines regarding the design and operation of the ecological park should adhere to the national legislation. As far as waste handling is concerned, we recommend to follow the guidelines of the Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (National Commission of Protected Natural Areas) because they offer a wider scope than the federal, state and municipal legislations. As previously mentioned, it is necessary to implement an integral waste management program including separation, temporary storage, transportation and adequate final disposal. These concepts will determine, together with other factors, the spatial and functional design of the installations. Moreover, strategically located waste collection facilities must be supplied for tourists and other users. The purpose of said facilities and the environmental improvements generated by their use must be clearly indicated. Furthermore, it is important to implement appropriate technologies and methods for treating organic and solid wastes. Because it is an ecological park, it has large wood and green areas and thus the material obtained from pruning, mowing or maintenance of said areas will be abundant, potentially permitting its use as compost. With regard to wastes not

susceptible to be composted, it is advisable to reuse materials such as PET, paper, cardboard, glass and tetra pack, or collect them for recycling purposes.

**Generation of solid wastes in an operating ecological park** First, a diagnostic of the type and quantity of solid wastes (trash) generated “*in situ*” was conducted. The volumetric weight was then calculated taking into account the weight given in Table 1 per type of waste. This value was divided by the volume of the container, in this case a 0.2 m<sup>3</sup> bin; its volumetric weight was determined per type of waste. Based on said results, the reception and storage center was sized while an independent calculation consisting of volumetric weight was made with regard to the organic waste (food and pruning waste) in order to determine the size of the mounds of the compost pile. As established in the methodology, in order to calculate the per capita generation of solid wastes in kg/person/day corresponding to the date on which they were generated, the total weight amounting to 549.88 kg was divided by the number of employees and visitors of the park (359), according to NMX-AA- 061-1985.

Table 2. Waste generation by weight (kg) and type, in one month, three months and one year.

Solid wastes	Weight (kg)	Percentage by weight (%)	Wastes accumulated in one month (Kg)	Wastes accumulated in three months (Kg)	Wastes accumulated in one year (Kg)
Plastic bags	3.4	0.62	13.6	40.8	163.2
Cardboard	1.96	0.36	7.84	23.52	94.08
Wrappings	0.85	0.15	3.4	10.2	40.8
Aluminum cans	0.9	0.16	3.6	10.8	43.2
Wood	5.5	1.00	22	66	264
Metal	0.9	0.16	3.6	10.8	43.2
Others	2.9	0.53	11.6	34.8	139.2
Brown paper	1.27	0.23	5.08	15.24	60.96
Toilet paper	3.1	0.56	12.4	37.2	148.8
White paper	0.17	0.03	0.68	2.04	8.16
Aluminum foil	0.15	0.03	0.6	1.8	7.2
Newspaper	0.01	0.00	0.04	0.12	0.48
PET	7.75	1.41	31	93	372
Light plastic	2.35	0.43	9.4	28.2	112.8
Rigid plastic	3.2	0.58	12.8	38.4	153.6
Unicel	0.58	0.11	2.32	6.96	27.84
Food wastes	22.1	4.02	88.4	265.2	1060.8
Gardening wastes	488.6	88.86	1954.4	5863.2	23452.8
Tetra pack	2.85	0.52	11.4	34.2	136.8
Cloth	0.01	0.00	0.04	0.12	0.48
Transparent glass	1.22	0.22	4.88	14.64	58.56
Leaflets	0.08	0.01	0.32	0.96	3.84
<b>TOTAL</b>	<b>549.85</b>	<b>100%</b>	<b>2199.4</b>	<b>6598.2</b>	<b>26392.8</b>

Calculation Algorithm:

$$\text{Equation 1. } \text{Per Gen} = \frac{549.85\text{kg}}{359\text{Number of persons}} = 1.53\text{kg/person/day}$$

Gardening wastes were discounted from the results of the waste generation study and the quantity was divided by the same number of people. The result is 0.17 kg/person/day.

$$\text{Equation 1.a. } 549.85 \text{ kg} - 488.6 \text{ kg} = 61.25 \text{ kg}$$

$$\text{Equation 1.b. } \text{Per capita Generation} = 61.25 \text{ kg} / 359 \text{ persons} = 0.17 \text{ kg/person/day}$$

PET, with a weight of 7.75 kg, was taken as an example of volumetric weight calculation:

$$\text{Equation 2. } P_v = \frac{\text{Weight (kg)}}{\text{volume of the container (m}^3\text{)}} = \frac{7.75}{0.2} = 38.75 \text{ kg/m}^3$$

The other types of waste were calculated as above: The reception and storage centers have their own characteristics because they are designed to meet the specific needs of each project. The weight and volume of each type of waste have to be considered because they vary greatly from project to project. For this purpose, in order to design a reception and storage center having the appropriate size, the weight of each type of waste has to be converted into volume taking into account its density.

The reception and storage center does not require a sophisticated infrastructure. It is recommended to use 50 % of the excess materials from other works such as walls, floors, roofs and finishings. It is important to consider that once the wastes are separated and adequately handled, it is necessary to keep them in conditions that maintain their reutilization value, preventing as much as possible soaking, combination or impregnation with other wastes.

The advisable infrastructure is as follows: 1) Gabled or shed-style roof, for enhancing rain water discharge, 2) Maximum use of natural lighting, 3) Surrounded by a perimeter fence and barbed wire, among others, 4) Concrete slab or gravel, 5) Partitions for separating the wastes that will be collected and stored (plastic, metal, glass, paper and cardboard), 6) The materials should not be exposed to weathering such as rain, sun, wind, except plastics. 7) They must be in a safe place to prevent theft, 8) They must be orderly, dry and clean to check harmful fauna. Safety measures: 1) Use of extinguishers and 2) Away from ignition sources.

### **Calculation, design of compost piles and sizing of the reception and storage center**

The weight of each type of waste generated per periods of one month, three months and one year (see Table 2) was determined. Concurrently, the volume of each type of waste per periods of one month, three months and one year was defined, in order to find out the time

needed to fill the reception and storage center and to size up the processed quantity. Accurate volume estimate may help prevent the saturation of the reception and storage center.

As can be seen in Table 1, in order to obtain a volume of 2.4 m<sup>3</sup> (approximately 218 Kg) wastes have to accumulate during three months. Once the volumetric weight is obtained, volume is deduced from equation 5, the weight of the waste corresponding to one month, three months and one year is divided by the volumetric weight given in Table 2. The space was sized based on the three-month volume per type of waste, obtaining thus the dimensions of the reception and storage center. Food and gardening wastes were not considered for sizing the reception and storage center.

Thus, a 2.4 m<sup>3</sup> volume is requested per type of waste, i.e. a structure approximately 1.5 meters wide, 2 meters long and 3 meters high. Only economically valuable wastes are taken into account and so only areas for metals, PET and plastics, paper and tetra Pack, and others, will be considered because they are the ones corresponding to the most abundantly generated wastes. With regard to the area for metals, the weight of the aluminum cans, metal and aluminum foil (23.4 kg) shall have to be taken into account; the weight of PET and plastics is about 218 kg, the weight of paper and tetra pack is about 113 kg and it is estimated that the weight of other wastes reaches 116 kg.

Thus, the reception and storage center was divided in 4 areas considering a volume of about 2.4 m<sup>3</sup> per area, as shown in Figure 1 (A, B, C, D). The site should be easily accessible, have water supply and be covered in order to avoid the penetration of rain water and excess sun. The area should also be ventilated and located at some distance from places where staff or visitors operate, such as the garden, courtyard, car park, roof, etc., because undesirable odors are likely to be generated during the training process.

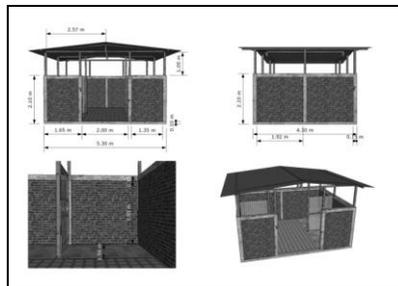


Figure 1. Proposed reception and storage center. A) Front View. B) Side View. C) Space for wastes. D) Internal View

If wastes are to be stored for more than three months, it is advisable to separate them with wheeled partitions that can be moved to adapt to the quantity of wastes. In this way, materials economically profitable for the park and the industries can be flexibly stored.

In sustainable buildings, the treatment of organic waste should be considered and composting is an excellent option for said purpose.

For its location, the geographic information system *ArcGis Arcview* 9.0 was used. The geographic conditions of the Tuzandepetl Ecological Park are highly favorable because there is ample space to build complete structures. The topography of the place was also analyzed, so that vehicles can access the selected site (López-Atamoros *et al.*, 2011).

In order to design the composting plant, we calculated the daily volume of wastes it will receive, dividing the expected quantity of wastes by their volumetric weights. Ten percent (10%) was added to this volume to create a buffer space.

The calculation was made based on the results obtained from the operation ecological park that are shown in Table 2. The weights of gardening and food wastes were added giving a total of 510.7 kg per week. With information from the Taller-técnicas de compostaje (Workshop - composting techniques) (FAO, 2012), compost density was estimated at 250 kg/m<sup>3</sup>, and the volume was obtained dividing 510.7 kg by 250 kg/m<sup>3</sup> resulting thus in 2.043 m<sup>3</sup>, plus 10%, i.e. 0.2043 m<sup>3</sup>, adding up to 2.247 m<sup>3</sup>. The length of the pile was obtained through the following equation:

Example of calculation algorithm

Equation 3. 
$$Volume = \pi * h * width * \frac{length}{2}$$

Substituting recommended volume, height and width, the length was obtained.

$$2.247m^3 = \pi * 1.2 * 1.5 * \frac{length}{2}$$

Length = 0.79 m

Thus, the dimensions of the mound generated per week are:

Length = 0.79 m ~ 0.8 m, width = 1.5 m, height = 1.2 m

The results of the sizing of the mounds and compost pile using the method developed by the FAO are shown in Figures 2.

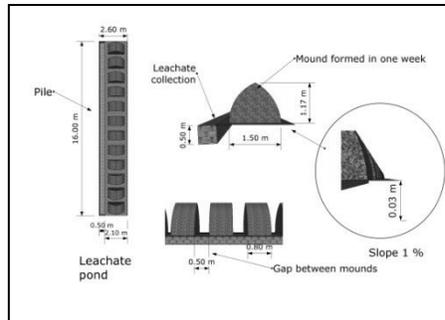


Figure 2. Pile formed in 3 months and specifications.

The composting installations, besides the composting yard must have the following areas: a) Surveillance booth; b) Input reception; c) Trituration and mixture formation; d) Maturing and storage. Once the Tuzandepetl ecological park is operating, the pruning and mowing periods, as well as the quantity of food wastes, shall have to be reviewed, for composting purposes. The drought periods shall have to be monitored in order to increase or reduce the compost maturation area. The drought periods influence the production of a pile and must be taken into account for determining the most appropriate distributions of the compost pile area.

## Conclusions and recommendations

The results of the study of waste generation in the operating Ecological Park helped make an estimate and projection for the building of the reception and storage center and composting plant in the Tuzandepetl ecological park.

This project may become a model followed by other parks because it includes solid waste education and culture in its management plans.

The installations must have an area for temporarily storing the inorganic wastes generated and/or obtained when receiving the organic fraction as input in order to dispose them according to the provisions of the Law for the Prevention and Integrated Management of Urban Solid and Special Wastes for the state of Veracruz de Ignacio de la Llave.

Actions must be implemented to prevent pests propagation and to mitigate undesirable odor generation. Sanitary installations must be available to the staff in the composting plants, according to the principles of safety and hygiene to prevent labor risks and harm to the worker, and to the Federal Labor Law. It is convenient that the reception and storage center should record the entries and exits of the various solid wastes that can be commercialized, define the use of the obtained resources and verify that the recycling companies have the permits corresponding to their fields.