



**Organización de Estados Americanos**



**Programa Horizontal de Tecnologías Limpias y Energías  
Renovables**

---

**Manual de Tecnologías Limpias en PyMEs del Sector  
Residuos Sólidos**

---

Elaborado por:

**MSc. Leandro Sandoval Alvarado**

**Julio de 2006**

**Las opiniones expresadas en este Manual no son necesariamente las  
opiniones de la OEA, de sus órganos, de sus funcionarios o de los  
Estados Miembros que la conforman.**

# Manual de Tecnologías Limpias en PYMEs del Sector Residuos Sólidos

## Contenido

### Presentación

### Objetivo del Manual

### ¿A quien va dirigido este manual?

### Estructura del manual

#### 1. Introducción

- a. Tecnología limpia y uso de energía renovable
- b. La gestión y manejo de residuos sólidos
- c. Estado de la tecnología del sector residuos sólidos
- d. Participación del sector privado en el manejo de residuos sólidos

#### 2. Principios de las tecnologías limpias

- a. Buenas prácticas de manufactura
- b. Simplificación de procesos
- c. Control de los procesos
- d. Sustitución de materiales, combustibles y fuentes de energía que se utilizan en el proceso
- e. Reuso y reciclado de materiales, residuos y energía
- f. Modernización de equipos

#### 3. Buenas prácticas en el manejo de residuos sólidos

- a. Generación y Presentación
- b. Recolección y Transporte
- c. Transferencia

#### 4. Tecnologías limpias aplicables a procesos de tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos

##### 4.1 Residuos sólidos Inorgánicos

- a. Tecnologías Limpias empleadas en el proceso reciclado de Papel
- b. Tecnologías Limpias empleadas en el proceso reciclado de Vidrio
- c. Tecnologías Limpias empleadas en el proceso reciclado de Plástico
- d. Tecnologías Limpias empleadas en la disposición final de los Residuos Sólidos

##### 4.2 Residuos sólidos Orgánicos

- a. Tecnologías Limpias empleadas en el proceso de elaboración de Compost
- b. Generación de Gas Metano y Biól
- c. Alimentación de cerdos con residuos orgánicos tratados
- d. Producción de Biodiesel
- e. Recuperación de aceites y lubricantes

#### 5. Desarrollo del proceso de gestión empleado para el manejo de residuos sólidos

- a. Identificación de una política institucional
- b. Planteamiento de objetivos
- c. Elaboración de indicadores
- d. Medición de la satisfacción de los participantes
- e. Balances de masa y energía

#### 6. Fuentes de información

#### 7. Anexos

- Estudio de caso 1: producción de biogás con estiércol de cuy
- Estudio de caso 2: Opciones para la producción de biodiesel en el Perú

## **Presentación**

El Proyecto de la Organización de Estados Americanos (OEA) *Programa de Cooperación Horizontal de Tecnologías Limpias y Energías Renovables*, bajo la coordinación general del Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC Perú, busca mejorar la productividad y la competitividad de empresas PYMEs en varios países de América Latina dentro de los mercados globales, así como elevar la calidad de vida de las personas que dependen de ellas. En el programa participan varios países de América Latina: Argentina, Ecuador, El Salvador, México, Panamá, Paraguay, Perú, Trinidad y Tobago y Surinam.

Este manual ha sido diseñado para apoyar esta importante tarea mediante la difusión de información técnica que facilite la adopción de tecnologías limpias, prácticas de ecoeficiencia y el uso de energías renovables en los procesos de manejo de residuos sólidos.

La tecnología es un conjunto ordenado de conocimientos, herramientas y procedimientos aplicados para la producción de bienes y servicios. En este manual se define a las tecnologías limpias como aquellas que permiten: i) mejorar la eficiencia de los procesos de producción; ii) reducir la contaminación y; iii) hacerlo en forma continua.

El documento describe algunas tecnologías limpias que pueden ser aprovechadas por pequeñas y medianas empresas en el sector de residuos sólidos en América Latina. En él se describen algunas tecnologías las que se sugieren para su consideración por parte de las empresas de residuos sólidos, debiendo advertirse que antes de hacer uso de estas alternativas debe profundizarse en el conocimiento del proceso de producción hasta conocer con detalle las características de cada etapa del mismo.

Las sugerencias hechas en este manual son de carácter general y deben ser adecuadas a las condiciones específicas de cada proceso productivo. Debido a que la clasificación de PYMEs puede incluir a una variedad muy amplia de compañías que trabajan en condiciones muy diversas, debe tomarse en consideración que aunque el manual busca ser útil a la mayor parte de las empresas de residuos sólidos, es posible que algunas de las recomendaciones hechas en él no sean aplicables a todas ellas.

## **Objetivo del Manual**

Introducir a los participantes involucrados en el manejo de residuos sólidos, en los principios y fundamentos de la producción limpia, así como alternativas tecnológicas y buenas prácticas para aumentar la eficiencia y productividad de su proceso productivo bajo consideraciones de mejora competitiva y respeto al medio ambiente.

### **¿A quien va dirigido este manual?**

A empresas del sector residuos sólidos pequeñas y medianas en América Latina interesadas en aumentar su competitividad mediante la mejora de sus prácticas operativas y las mejoras tecnológicas en el manejo de los residuos sólidos.

## **Estructura del manual**

El Manual ha sido diseñado para que el empresario vinculado al manejo de los residuos sólidos conozca las alternativas tecnológicas existentes para mejorar la eficiencia de su proceso productivo y adopte buenas prácticas en función del contexto en el que se desenvuelve la empresa.

En el primer capítulo se describe el contexto de la gestión y manejo de residuos sólidos en América Latina, destacándose las tecnologías limpias y el uso de energías renovables y la participación del sector privado, en especial de las PYMEs correspondientes a este sector tomando en consideración aspectos como la competitividad, las tendencias del mercado, los aspectos tecnológicos asociados a todo ello y su relación con el ambiente.

El segundo capítulo presenta los principios bajo los cuales las tecnologías limpias son diseñadas y en que forma estos principios influyen en la capacidad de estas tecnologías para mejorar la eficiencia, productividad y competitividad de las empresas.

En el tercer capítulo se describen las prácticas operativas de baja o nula inversión que generalmente ofrecen oportunidades de mejora en la productividad y eficiencia de los procesos de tratamiento de residuos sólidos.

El cuarto capítulo se destina a la descripción de opciones tecnológicas que podrían ser empleadas por las empresas de residuos sólidos.

En el quinto capítulo se presenta el desarrollo del proceso de gestión empleado en el manejo de residuos sólidos, enmarcados en un proceso de mejora continua para la empresa.

En el último capítulo se ofrece información concreta sobre fuentes de asistencia técnica y financiera para la identificación de tecnologías apropiadas y su implementación, así como sobre referencias bibliográficas.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **a. Tecnología limpia y uso de energía renovable**

El objetivo esencial de una empresa es transformar la materia prima en un producto comerciable. La generación de residuos y emisiones durante el proceso productivo puede ser considerada como una pérdida del proceso y un mal aprovechamiento de la materia prima empleada, por lo tanto, representa un costo adicional del proceso productivo. A su vez, la generación de residuos origina impactos económicos importantes asociados a los costos de tratamiento y disposición final de éstos.

El enfoque tradicional con que se ha abordado el control de la contaminación, considera como primera opción reducir los contaminantes después de que se hayan generado por los procesos industriales, exigiendo la aplicación de tecnologías de etapa final o "fin de tubo" (end of pipe), que muchas veces alcanzan costos elevados obstaculizando la competitividad de las empresas, especialmente en el caso de las PYMEs.

Producción limpia es: *"La aplicación continua de una estrategia integrada de prevención ambiental a los procesos y a los productos, con el fin de reducir los riesgos*

*a los seres humanos y al medio ambiente.*" La producción más limpia se consigue mediante la aplicación de los conocimientos, la mejora de la tecnología y el cambio de actitudes. Es una opción de gestión ambiental que ha demostrado ser, la etapa previa a las alternativas correctas de tratamiento o disposición con las cuales no es incompatible. La Producción Limpia invierte o reorienta la jerarquía de gestión de los contaminantes, considerando las oportunidades de prevención de la contaminación:

- *reducción de los residuos en el origen;*
- *reutilización y reciclado;*
- *tratamiento o control de la contaminación;*
- *disposición final*

Las tecnologías limpias están orientadas tanto a reducir como a evitar la contaminación, modificando el proceso y/o el producto. La incorporación de cambios en los procesos productivos puede generar una serie de beneficios económicos a las empresas tales como la utilización más eficiente de los recursos, reducción de los costos de recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

Una tecnología de producción limpia (TPL) puede ser identificada de varias maneras: o permite la reducción de emisiones y/o descargas de un contaminante, o la reducción del consumo de energía eléctrica y/o agua, sin provocar incremento de otros contaminantes; o logra un balance medioambiental más limpio, aún cuando la contaminación cambia de un elemento a otro. Esto último supone evaluar la nueva tecnología sobre la base de las normas y estándares fijados por la legislación medioambiental.

En principio, la producción limpia podría entenderse como aquella que no genera residuos ni emisiones. En la realidad esto no es así. Primero, porque en el estadio actual de desarrollo son escasas las tecnologías económicamente viables que logren cero emisión. Segundo, porque si bien toda emisión puede generar una externalidad negativa (o pérdida de bienestar social sin compensación), el nivel óptimo de contaminación no es igual a cero, sino aquel en que los beneficios sociales marginales de minimizar residuos, sean equivalentes a los costos sociales marginales de lograr tales reducciones

La dimensión ambiental, no tiene porque ser asumida sólo como un costo para las empresas. De hecho, a mayor emisiones o descargas, es posible constatar una mayor ineficiencia en los procesos productivos, que al ser corregida, puede incluso generar beneficios para la empresa, más allá de lo que implica cumplir con las normativas.

## **b. La gestión y manejo de residuos sólidos**

La gestión de residuos juega un rol importante en la preservación del medio ambiente, sobre todo si se tiene en cuenta el sostenido aumento en su generación por habitante.

Un eficaz reciclado de los materiales secundarios incide positivamente sobre la calidad ambiental, debido a que favorece el uso sostenible de las materias primas, en tanto que la recuperación de energía a partir de los residuos contribuye a la conservación de la energía primaria, disminuyendo la utilización de combustibles fósiles.

En relación al manejo de residuos existen tres grandes alternativas de gestión ambiental para la empresa, habiéndose demostrado en la práctica, que hay una clara jerarquización respecto del orden en que éstas deben aplicarse, de acuerdo a sus ventajas y desventajas.

En orden de conveniencia, es posible distinguir las siguientes alternativas:

- Reducción de Residuos en el Origen, que involucra cambios en los productos y cambios en los procesos productivos (sustitución de materias primas e insumos, cambios tecnológicos y la aplicación de buenas prácticas en la gestión de operaciones).
- Reciclaje (reuso de materiales o residuos).
- Tecnología de Control, que se aplica al final del proceso («end of pipe») y que comprende el tratamiento de los residuos y su disposición final.

La solución de los problemas ambientales debe ser buscada a través de la aplicación secuencial de las alternativas señaladas, en el mismo orden descrito. Las dos primeras alternativas pueden generar importantes beneficios para la empresa, que se traducen en una mayor productividad y competitividad. En cambio, el tratamiento y disposición final de los residuos sólo involucra costos.

Mediante la primera alternativa, generalmente la más simple de aplicar, es posible mejorar algunos sistemas y procedimientos que permiten reducir los volúmenes de desechos en la empresa, con lo cual se disminuye en forma ostensible la necesidad de reutilizar o reciclar, y se reduce o elimina la necesidad de un sistema de tratamiento y disposición final.

Adicionalmente a las ventajas directas o indirectas en términos ambientales de la reducción de residuos en el origen, éstas normalmente redundan en una reducción de costos de producción a través de un mejor manejo de materiales y una mayor eficiencia del proceso.

La aplicación de la segunda alternativa, el reciclaje o reutilización, todavía puede generar beneficios tangibles para la empresa, aunque en menor grado que aplicando la reducción en el origen. Finalmente, el tratamiento y disposición final sólo está asociado a costos, en términos de inversión y de operación.

Es importante mencionar que en el desarrollo de este tipo de gestión se entrecruzan los principios desarrollados en las Normas ISO 9.000 (Aseguramiento de Calidad) e ISO 14.000 (Gestión Ambiental).

La gestión de los residuos sólidos entendida como recolección, el procesamiento y la disposición final de los desechos tiene hoy en día el mismo objetivo que ha tenido desde los tiempos prehistóricos en que se inició: preservar la salud pública. El actual nivel de concientización que la sociedad tiene sobre la ecología exige que la gestión de los residuos también proteja el medio ambiente; el público demanda cada vez mayores y mejores controles y reglamentaciones. Un objetivo adicional de gran importancia es que la gestión de los residuos contribuya a reducir el uso de materias primas y a ahorrar energía.



**Gestión tradicional de los residuos sólidos municipales**



**Métodos de manejo de los residuos Sólidos**

En general, se piensa que es factible inducir cambios en los sistemas de envasado, de modo que ello se traduzca en una reducción sustancial de residuos de envases y embalajes en el monto total de los residuos sólidos. Esta creencia no toma en cuenta que los desarrollos tecnológicos de los últimos años ya permiten hacer reducción en la generación per capita de residuos: las latas y botes metálicos, así como las botellas y frascos de vidrio son ahora mucho más ligeros que hace 10 ó 15 años; el aluminio está reemplazando a la hojalata; el PET al vidrio, y los materiales laminados a base de películas plásticas y de aluminio están sustituyendo a latas metálicas, a los frascos de vidrio, etcétera. Es obvio que a los productores de envase, así como a los usuarios es decir, a los empacadores les conviene reducir sus costos mediante el uso mínimo de materiales de envases, siempre y cuando los materiales nuevos continúen ofreciendo la protección que los productos envasados requieren.

Sin embargo, algunos países como Bélgica y Francia, en vez de usar el enfoque de Responsabilidad Extendida del Fabricante, introdujeron el enfoque de Responsabilidad Compartida, donde las autoridades juegan un papel en todo el sistema de recolección y el costo adicional, por encima del costo normal del manejo y disposición de los residuos, es pagado a través de los sistemas alternativos. Por lo anterior, al comparar los costos de la operación de los sistemas en Austria y Alemania que utilizan el primer enfoque, con los de Bélgica y Francia, que utilizan el segundo, resulta que los últimos son significativamente más bajos.

Otra diferencia que influye en los costos, es que los tiempos para implementar los programas en los países que tienen menos costos, también fueron más largos (en Francia se previó la implantación de los programas durante un periodo de 10 años). Se estima que los esquemas establecidos en Austria y Alemania son 10 a 15 veces más elevados que los del sistema francés, en términos del porcentaje del Producto Interno Bruto per cápita; lo cual representa una desventaja competitiva para estos países.

Un factor de éxito que merece ser discutido por separado es el Sistema de "Pago Variable". El principio de Responsabilidad Compartida se aplica cada vez más en el pago de servicios de manejo y tratamiento de Residuos Sólidos Municipales. El término "Pago Variable" se refiere a un sistema en el que el cargo que se hace a cada domicilio depende de la cantidad de residuos sólidos que generan. El servicio eléctrico, el gas y el agua se miden y se cobran con base en el consumo, siguiendo este mismo enfoque; los cobros por concepto de manejo y tratamiento de residuos sólidos pueden realizarse con base en la cantidad de residuos que se generan. Mientras más residuos se generen en alguna casa, ésta deberá pagar una cantidad mayor por el manejo y tratamiento de esos residuos, y viceversa, quien genere menos residuos pagará menos por el servicio de su manejo y tratamiento. Este "Pago Variable" representa un incentivo financiero claro para que los consumidores modifiquen su actitud con respecto a la generación de menos residuos sólidos.

Este cambio en actitud puede verse reflejado de dos maneras:

- a). Una mayor participación ciudadana en los programas de reciclaje / compostaje, que se refleja en un mayor beneficio potencial para las autoridades responsables del manejo integral de los residuos sólidos.
- b). La elección y compra de productos y servicios que generan una cantidad mínima de residuos sólidos. Éste constituye un mensaje muy claro en términos comerciales para los productores / fabricantes, de manera que el diseño de productos que generen menos residuos sólidos para el consumidor representa un atributo mercadotécnico positivo.

### **c. Estado de la tecnología del sector residuos sólidos**

Las ventajas de de las PYMEs del sector residuos sólidos radican en el uso intensivo de la mano de obra, la utilización de tecnologías de muy bajo costo que emplean tracción animal, humana o mecánica (tricyclos) y la promoción de mayor participación comunitaria para facilitar la operación de recolección y separación de materiales en la fuente de generación.

Sin embargo, el desarrollo tecnológico e investigación en relación con los residuos sólidos es reducido en la mayoría de los países de ALC. La contribución de institutos y universidades en el área de investigación y desarrollo tecnológico para el área de residuos sólidos aún es escasa.

La microempresa y la pequeña empresa trabajan generalmente en forma complementaria con el personal operativo de las municipalidades o con contratistas convencionales. Muchas veces, la municipalidad facilita a las microempresas sitios de transferencias, espacios físicos de trabajo y transporte de los residuos

Las PYMEs han empleado tecnologías apropiadas y se han desarrollado en los campos de la recolección, barrido, disposición final y reciclaje de residuos sólidos, entre otros, buscando principalmente atender a las poblaciones que no acceden a los servicios convencionales de limpieza pública. En general, las PYMEs han demostrado una gran versatilidad y capacidad para responder a las demandas de este servicio, sobre todo en zonas peri-urbanas. Sin embargo, en estos 3 lustros se han podido recoger referencias puntuales, tanto de experiencias de significativo éxito, como de iniciativas que atravesaron severas dificultades haciéndolas insustentables. Siendo una de las causas el no empleo de tecnologías limpias.

#### **d. Participación del sector privado en el manejo de residuos sólidos**

Los países de América Latina se encuentran en diversas etapas del desarrollo del sector de residuos sólidos y su respectiva institucionalidad. A nivel local, los municipios mantienen la titularidad del servicio cuya operación adopta distintas modalidades, entre las cuales la iniciativa privada ha ido adquiriendo cada vez mayor prominencia, no solo en la prestación de los servicios de aseo urbano, sino además, aún en forma incipiente, en las inversiones para el desarrollo del sector de residuos sólidos; aunque a menudo sin una contraparte municipal desarrollada para llevar a cabo una gestión pública democrática, coherente, sólida y transparente y con la capacidad de supervisión que se requiere para promover el fortalecimiento del sector en todos sus ámbitos.

La participación privada ha ido adquiriendo cada vez mayor relevancia en la Región, especialmente en la provisión de los servicios de barrido de calles y recolección de basura, y en menor escala en la disposición de los residuos.

En la década de los 80s en las ciudades más grandes de América Latina se intensificó el proceso de concesión de los servicios de limpieza pública y a principios de la década del 90, se dio un creciente movimiento de privatización social de los servicios de limpieza pública sobre todo en zonas de escasos recursos económicos. Esto se desarrolló a través de la implementación de microempresas y cooperativas de manejo de residuos sólidos, bajo diferentes modalidades.

## **2. PRINCIPIOS DE LAS TECNOLOGÍAS LIMPIAS**

Por lo general los cambios tecnológicos son promovidos por el surgimiento de nuevas exigencias en los mercados y la necesidad de obtener una ventaja competitiva. No obstante, en ocasiones son también resultado de requerimientos normativos más estrictos o limitaciones en la oferta de algunas materias primas. Aunque no en todos los casos, el avance tecnológico está también usualmente ligado a procesos productivos más eficientes en los que aumenta la productividad. En este contexto, la tecnología está íntimamente asociada a la competitividad de las empresas y es un factor fundamental para la supervivencia de las mismas en el largo plazo.

Los cambios de tecnología modifican los equipos o procesos de producción. Estos cambios pueden mejorar la calidad de los productos, aumentar la capacidad de

producción, reducir el consumo de materias primas, reducir la cantidad de residuos generados o hacer un uso más eficiente de agua y energía. También pueden reducir los tiempos de producción, las necesidades de mantenimiento o la intervención humana través de la automatización, aumentando la certidumbre en el desempeño de los procesos y mejorando la capacidad de respuesta de las empresas.

Los principios bajo los cuales se desarrollan y operan las tecnologías limpias están a menudo interrelacionados y son esencialmente los siguientes:

**a. Buenas prácticas de manufactura**

El cuidado de las condiciones bajo las cuales se llevan a cabo las diferentes actividades de la empresa que tienen que ver con sus procesos de producción es una primera condición para hacerlo eficiente. La observancia de las recomendaciones de los proveedores de sustancias químicas y equipos, la aplicación de procedimientos para la realización de las operaciones del proceso, el establecimiento de controles, el mantenimiento preventivo y el manejo cuidadoso de las instalaciones y el programa de producción son algunos de los aspectos que favorecen el ahorro de materias primas, agua y energía, así como reducen y evitan los desperdicios innecesarios y los costos asociados a ellos.

**b. Simplificación de procesos**

La simplificación de procesos busca reducir el número de pasos o etapas de un proceso de producción eliminando aquellas que no son estrictamente necesarias para obtener el producto final con la calidad requerida. También incluye el rediseño del proceso en forma tal que permita la reducción de consumo de energía y un menor desperdicio de materias primas.

**c. Control de los procesos**

Control de los procesos a través del conocimiento preciso de las operaciones de los mismos, la medición de sus parámetros, dosificaciones adecuadas y mecanismos de corrección de desviaciones con el fin de reducir el consumo de materiales, agua y energía, y mejorar la calidad de los productos y la certidumbre en el proceso de producción.

**d. Sustitución de materiales, combustibles y fuentes de energía que se utilizan en el proceso**

La utilización de materias primas de mayor calidad y pureza mejora la calidad de los productos, evita la generación de residuos no deseados, incrementa la eficiencia de los procesos y aumenta la vida útil de los equipos. También la sustitución de materias primas por otros materiales menos contaminantes o peligrosos propiciará en la generación de residuos menos contaminantes y reducirá los costos de tratamiento o disposición de los mismos. Además en algunos casos ofrece la oportunidad de tener acceso a ciertos mercados con exigencias ambientales, como el de la Unión Europea.

La sustitución de combustibles puede en ocasiones reducir los costos de operación de la empresa y también mejorar su desempeño ambiental. Entre las alternativas también se puede sustituir la fuente de energía.

#### **e. Reuso y reciclado de materiales, residuos y energía**

El reuso y reciclamiento de materiales y residuos que se generan durante el proceso de su producción, ya sea en éste mismo o en otros procesos. Esto es aplicable también al agua de los procesos, el vapor y la energía. Esto permite reducir en forma significativa el consumo de algunas materias primas, agua y energía con los consiguientes beneficios económicos para la empresa. En la misma forma que el principio de sustitución de materiales, el reuso y reciclaje pueden además disminuir en forma considerable los requerimientos para el tratamiento y/o disposición final de residuos y aguas residuales que salen del proceso de producción y que con frecuencia deben cumplir con requerimientos específicos contemplados en legislaciones locales. El principio de reciclado es útil también para la energía térmica del proceso, en la recuperación de calor para el precalentamiento de aire de combustión o del agua de alimentación en las calderas.

#### **f. Modernización de equipos**

Cuando existe esa posibilidad, casi siempre es bueno optar por la modernización de los equipos con los que se cuenta. En el caso de aquellos en los que se requieren motores eléctricos, éstos pueden ser sustituidos por motores de alta eficiencia, los de transferencia de materiales también suelen mejorar su eficiencia.

Los equipos modernos también suelen tener menores requerimientos de mantenimiento, y suelen ofrecer mejores condiciones para el control y la automatización de las operaciones.

Como ejemplo de buenas prácticas de operación se puede mencionar las siguientes:

- Capacitación permanente del personal sobre condiciones del proceso, seguridad industrial, manejo de materiales y salud ocupacional.
- Uso de incentivos al personal, no sólo de tipo monetario. Los empleados se comprometen más con la aplicación de medidas de prevención si saben que obtendrán algún beneficio, directo o indirecto, o un reconocimiento por su desempeño. Desarrollo de manuales de operación y procedimientos incluyendo desde listas de verificación o figuras de llamado de atención para los operarios, hasta manuales para el personal profesional, con el fin de clarificar y/o modificar operaciones del proceso para aumentar la eficiencia y controlar las pérdidas. En general, este punto es uno de los más débiles dentro de las industrias.
- Optimización de operaciones de almacenamiento y manejo de materias primas (desarrollando por ejemplo sistemas FIFO: lo primero que entra es lo primero que sale), así como del control de inventarios. Mantención de un stock mínimo de materiales, sobretodo si éstos son perecibles, para evitar pérdidas innecesarias. Uso de las materias primas e insumos en las cantidades exactas para cada trabajo. Evitar tránsito excesivo en las zonas de almacenamiento y producción.
- Optimización de los programas de producción y mantención preventiva de los equipos con el fin de evitar accidentes, escapes, derrames y/o falla de los equipos. Esto incluye el chequeo y revisión de bombas, válvulas, empaques, estanques de retención, filtros, equipo de seguridad, etc.
- Control de calidad de materias primas en la recepción para verificar que cumplen las especificaciones requeridas. Esto incluye la calidad de los insumos y la exigencia de

certificación de la calidad y devolución de los materiales si éstos no cumplen los requisitos establecidos.

- Desarrollar listas de programación para cada tipo de producto, con tiempos estimados de inicio y término de cada lote de producción, con el fin de controlar el inventario de las materias primas activas y mejorar la eficiencia de utilización de los equipos, para así lograr una adecuada cobertura de la demanda de los productos.

### 3. BUENAS PRÁCTICAS EN EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

La implementación de buenas prácticas para la gestión de residuos sólidos debe contener los siguientes elementos:



- **Buena administración:** Una buena administración es necesaria en el manejo integral de residuos sólidos, como en cualquier otro negocio. La toma de decisiones a corto y largo plazo debe basarse en datos confiables.
- **Visión:** Es fundamental que una persona o un equipo tengan una estrategia a largo plazo clara y bien definida de cómo llevar a cabo el sistema de manejo de residuos sólidos.
- **Estabilidad:** Facilita el desarrollo de una estrategia a largo plazo y se requiere tanto en los departamentos de residuos sólidos como en el marco de referencia político de la autoridad local.
- **Economía de escala:** Esencial para el desarrollo de infraestructura y para asegurarse que cantidades suficientes de, por ejemplo, materiales reciclados, compostaje, biogás, estén disponibles para que se establezcan los sistemas.
- **Recursos económicos:** La disponibilidad de recursos económicos, a través de donaciones, subsidios, sociedades o acuerdos de cooperación es primordial para desarrollar obras mayores de infraestructura y mejorar la infraestructura actual.
- **Legislación:** Sus efectos pueden ser positivos o negativos. Las legislaciones de fomento mejoran la flexibilidad y promueven estrategias integrales de manejo integral de residuos.

- **Opinión pública:** El apoyo público es crucial para que funcionen los sistemas de recolección y para que el desarrollo de infraestructura se lleve a cabo. Se debe llevar a cabo una comunicación a través de campañas educativas, consultas públicas y diálogos para incrementar la concientización y la comprensión sobre el manejo de los residuos sólidos.
- **Control de todos los residuos sólidos:** Es indispensable que un sistema de manejo integral de residuos sólidos incluya todos los residuos. De otra manera, puede suceder que un sistema económicamente viable deje de serlo, al forzar la operación de las instalaciones de tratamiento a una capacidad por debajo de su diseño. Esto incrementa el costo por tonelada del sistema en su totalidad.
- **Responsabilidad compartida:** El principio "el que contamina paga" establece que el costo de los impactos ambientales debe ser pagado por aquellos que causan la contaminación. Este principio es también conocido como "responsabilidad compartida". Responsabilidad compartida significa que los residuos generados en cada etapa de los productos (extracción de materia prima, proceso, fabricación, distribución y consumo) son responsabilidad del dueño del producto en cada etapa. La responsabilidad compartida resulta en un sistema en donde las responsabilidades de cada individuo en la cadena de abasto están claramente definidas y los costos se asignan con base en la cantidad y tipos de residuos generados. Hay un incentivo financiero para reducir la cantidad de residuos sólidos generados en cada etapa del ciclo de vida.

Los siguientes pasos se sugieren para la aplicación de Buenas Prácticas:



- Programas de devolución voluntaria de productos: principalmente residuos peligrosos tales como baterías recargables, acumuladores de automóviles, disolventes y lubricantes usados o pinturas.
- Alianzas entre empresas para trabajar conjuntamente en la investigación de nuevas formas de reciclaje o conservación de recursos.
- Desarrollo e implementación de normas voluntarias establecidas por gobierno e industria:
- Colaboración entre fabricantes y proveedores. Con objeto de establecer normas en cuanto el contenido de materiales reciclables, reducción de sustancias tóxicas y otros aspectos, en los materiales o productos que el proveedor entrega al fabricante.
- Programas conjuntos de reciclaje y de manufactura: Tales como los establecidos por los fabricantes de enseres domésticos (lavadoras, refrigeradores, etc). que son refabricados a partir de los productos usados devueltos al fabricante.

Las Buenas Prácticas pueden ser aplicadas en las siguientes etapas del manejo de los residuos sólidos:

### **a. Generación y Presentación**

Corresponde a los generadores de residuos el consumo y utilización de productos que reduzcan la generación de residuos y adoptar adecuadas prácticas de presentación de los residuos a ser entregados al servicio de recolección.

- Almacenar los residuos en recipientes adecuados que los mantengan aislados de las personas y animales domésticos
- Mantenerlos en el interior de la vivienda hasta que sean solicitados por el servicio de recolección municipal o dejarlos en las aceras o lugares señalados por el servicio de recolección.

### **b. Recolección y Transporte**

El sistema de recolección y transporte debe ser tal que no atente contra el ambiente y la salud. Por ejemplo:

- Los vehículos deben contar con una cubierta para que los residuos no escapen del vehículo durante su recorrido
- El personal de recolección no debe dejar restos tirados en el suelo producto de su actividad en los lugares donde opera.
- Mejorar técnicas de barrido orientadas a reducir levantamiento de polvo
- Barrido en húmedo y aspiración
- Uso de filtros
- Mejorar la combustión de los vehículos
- Mejorar los hábitos que contribuyan en la reducción del nivel de ruido
- Prever la contención de lixiviados en las unidades motoras

### **c. Transferencia**

Estos lugares deben cumplir con su función sin atentar contra la salud ni el ambiente.

- Cumpliendo con evacuar los residuos oportunamente y no almacenarlos más allá del tiempo establecido.
- Utilizando los elementos necesarios para evitar que los residuos livianos escapen del área de trabajo.
- Disponiendo adecuadamente los residuos que quedan en los alrededores del frente de trabajo

### **Adecuada manipulación de los residuos sólidos en las PYMES**

- Tener en cuenta que no todos los residuos sólidos son iguales. Existen residuos sólidos comunes y tóxicos peligrosos, los cuales no se deben mezclar.
- Reservar un espacio para almacenar los residuos comunes por separado. Por ejemplo se puede tener un tacho para papeles y cartones, otro para vidrio, otro para plásticos, y así sucesivamente; luego estos materiales se pueden vender al por mayor.
- Colocar los residuos sólidos tóxicos / peligrosos (p.e. envases de insumos químicos, pesticidas, pilas, venenos, materiales punzo cortantes en un recipiente especial, con una marca o indicación clara del tipo de desecho que contiene.
- Reutilizar creativamente los envases, papeles y otros empaques limpios en el centro de trabajo.

- Colocar instrucciones visibles sobre los procedimientos para realizar el reciclado de materiales, empezando por la colocación de tachos de colores e identificación del residuo que se debe disponer en cada tacho.
- Recordar que cada vez que se compra algo, gran parte de lo que se compra finalmente termina en el tacho de basura. Deben adquirirse productos que generan la menor cantidad de residuos sólidos.

#### **4. TECNOLOGÍAS LIMPIAS APLICABLES A PROCESOS DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

##### **4.1 Residuos sólidos Inorgánicos**

###### **a. Tecnologías Limpias empleadas en el proceso reciclado de Papel**

Se considera que, después de los residuos de alimentos, el principal "culpable" de que se saturan los rellenos sanitarios es el desecho celulósico. Se trata básicamente de revistas, papel periódico, de escritura, de fotocopiado y de computación. El papel y el cartón usados para envases y embalajes representan sólo una pequeña parte del total de este tipo de residuos, mientras gran parte de ellos se recupera y se recicla.

**Enfoque de Proceso:** Para el desarrollo del proceso de reciclaje de papel se han identificado:

- i.) Elementos de Entrada (IN): Son los elementos de ingreso al proceso, los cuales presentan tres etapas:
  - Identificar al Proveedor: Entiéndase como la etapa de reconocer y asegurar que el desarrollo del proceso se lleve a cabo
  - Identificar el Recurso: Entiéndase como la etapa de reconocer el tipo de producto que se recibe para asegurar la materia prima fuente del proceso.
  - Identificar los atributos: Entiéndase como la etapa que permite valorar las características del producto recibido con el fin de garantizar la calidad del producto final del proceso.
- ii.) Desarrollo del proceso: Son los diferentes pasos que se desarrollan para asegurar que el producto a obtener cumplan con ciertas características que serán valoradas por el cliente o usuario final. Durante la ejecución del proceso para reciclaje de papel se han descrito seis pasos que son:
  - Recolección: Es la etapa donde el proveedor acopia el producto a transformar de los diferentes generadores asegurando de esta manera las características necesarias que son valoradas durante el desarrollo del proceso.
  - Clasificación: Etapa consecutiva de la recolección donde la materia prima es separada de acuerdo a su naturaleza, origen, estado, estas características son importantes tener en cuenta ya durante el desarrollo del proceso estos atributos inciden de manera positiva o negativa en la calidad del producto resultante.
  - Enfardado y Transporte: Es la etapa intermedia que ayuda a valorar y manipular la materia prima, además permite el direccionamiento hacia los diferentes canales de tratamiento. Hasta el desarrollo de esta etapa intervienen

los proveedores que recolectan, clasifican, los cuales dan una valorización a la materia prima y aseguran la generación de nuevos productos.

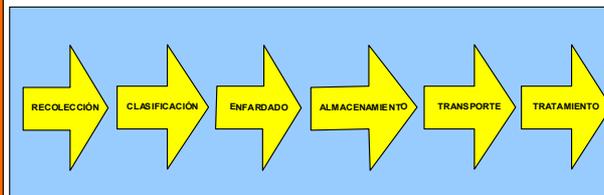
- **Transformación:** Es la última de las etapas donde la valorización de la materia prima logra su máximo pico, en esta etapa el transformador aplicando procesos físicos como químicos transforma un residuo en un recurso necesario de su cadena de valor, pues entra al flujo productivo como un insumo que será usado para la fabricación de un nuevo producto que será consumido por el cliente y usuario final.

## RECICLAJE DEL PAPEL

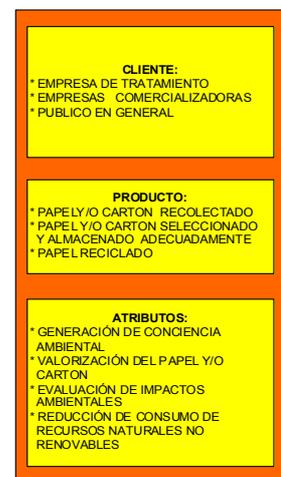
### ENTRADAS (IN)



### DESARROLLO DEL PROCESO



### SALIDAS (OUT)



### b. Tecnologías Limpias empleadas en el proceso reciclado de Vidrio

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable; especialmente el envase de vidrio ya que este es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero. Muchas ciudades del mundo cuentan ya con contenedores de vidrio en los que puedes depositar botellas y todo tipo de envases de cristal que, al fundirlos, volverán a convertirse en vidrio.

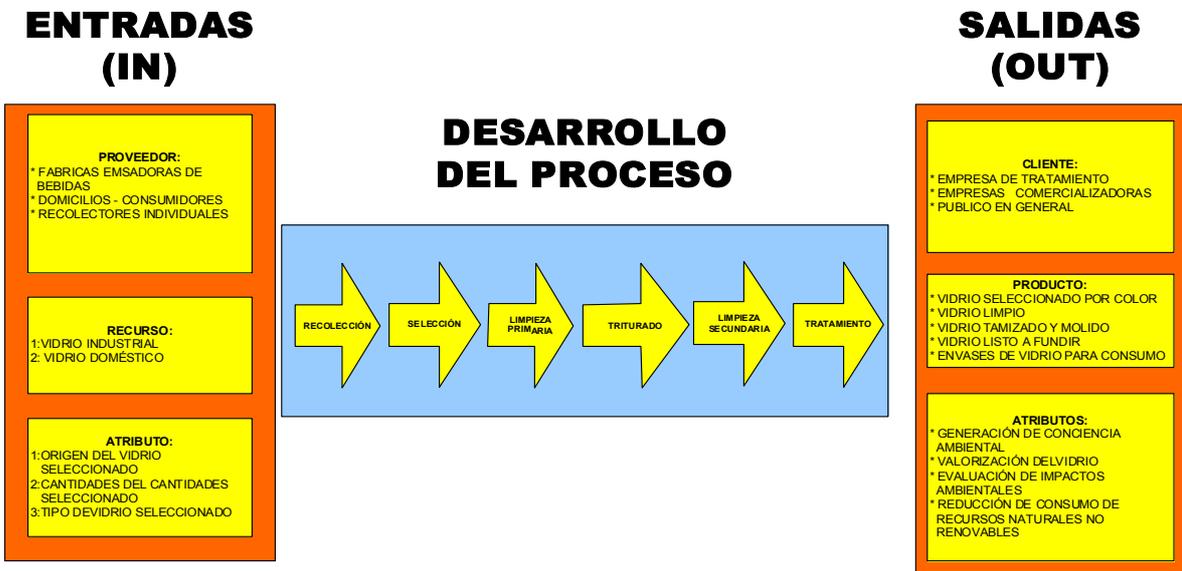
En el proceso de reciclaje de vidrio primero debe fragmentarse el vidrio en partes pequeñas y es importante señalar que el reciclaje necesita un 26% menos de energía que la producción original, en la que para crear un kilo de vidrio se necesitan unas 4.200 kilocalorías de energía. Además el material generado por reciclaje reduce en un 20% la contaminación atmosférica. Para reciclar no se pueden mezclar las botellas o los envases de color diferente y tampoco los residuos sólidos de otros cristales.

El vidrio para envases es el vidrio utilizado para la fabricación de frascos y botellas. Es el vidrio de las botellas de gaseosas, cerveza, de los frascos de mayonesa y conservas, de los frascos de comidas para bebés, de las botellas de vino, licores, además de otras comidas y bebidas envasadas. El vidrio para envases es el único vidrio que en la actualidad se recicla en grandes cantidades.

El vidrio de ventanas, bombillos, espejos, platos de cerámica, vasos, recipientes para el horno y fibra de vidrio no es reciclable junto con el vidrio de envases, y se considera

contaminante en el reciclaje de los mismos. El frasco o la botella de vidrio son únicos en la industria de los reciclables. Una botella de vidrio que se funde y se vuelva a formar, dará lugar a una botella igual, sin ninguna pérdida de calidad. No se genera ningún residuo o producto secundario en el proceso de refabricación, y el mismo vidrio puede hacerse y rehacerse de forma repetida para formar la botella. Esta característica hace del vidrio uno de los pocos bienes fabricados que es al 100 por 100 reciclable. El vidrio de envases es común en el uso diario; sin embargo, tiene unas propiedades únicas que lo convierten en un reciclable especial. Por ejemplo, el vidrio se fabrica a partir de unas materias primas inertes, y abundantes en la naturaleza, que incluyen: arena silícea blanca, sosa y caliza. Las cenizas vitrificadas, el sulfato de sodio, el feldespato, la argonita y los vidrios rotos son otros ingredientes frecuentemente utilizados para fabricar envases de vidrio. Estas materias primarias y secundarias no son escasas, son abundantes y fáciles de obtener.

# RECICLAJE DEL VIDRIO



Desde el punto de vista del color los más empleados son:

- El verde (60%). Utilizado masivamente en botellas de vino, cava, licores y cerveza, aunque en menor cantidad en este último.
- El blanco (25%). Usado en bebidas gaseosas, zumos y alimentación en general.
- El extraclaro (10%). Empleado esencialmente en aguas minerales, tarros y botellas de decoración.
- El opaco (5%). Aplicado en cervezas y algunas botellas de laboratorio. Existen otras formas más complejas de clasificación del vidrio (ver Esquema), pero no entraremos a analizarlas por la limitación de espacio y porque se saldría de la temática del artículo.

Más del 42 %, del vidrio reciclado procede del doméstico, siendo el sector principal de producción de vidrio recuperable.

La recuperación del vidrio se atribuye inicialmente a Alemania y Suiza, aunque fueron los daneses los pioneros en este campo comenzando en 1962, el envase de

vidrio fue un producto reutilizable que se devolvió a la empresa embotelladora o envasadora para su lavado y relleno.

Tradicionalmente, el calcín era el vidrio recuperado en las roturas y rechazos que se producían en los procesos de fabricación, lavado o embotellado. La era de los envases de vidrio sin depósito no retornables, y de otras formas de envases a nuevos y mejorados para los alimentos (por ejemplo, envases de aluminio y plástico), enviaron la mayoría de los envases de vidrio al flujo de los residuos evacuables. El cambio en la evacuación del vidrio llegó con las distintas prácticas de recolección de residuos sólidos. Por lo general, los envases de vidrio recuperados y devueltos para su refabricación son el resultado de una serie de prácticas, realizadas para la recuperación de los materiales, que:

- Recuperan envases de vidrio en centros de recolección dedicados a la separación de reciclables.
- Recuperan los envases de vidrio procedentes de fuentes comerciales.
- Recuperan los envases de vidrio a partir de reciclables mezclados, que normalmente incluyen: papel, vidrio, aluminio y plásticos.
- Recuperan envases de vidrio en plantas de procesamiento para los residuos sólidos.

Recuperan vidrios rotos y rechazos procedentes del proceso de fabricación de envases de vidrio y de la industria envasadora.

En el proceso de recuperación y cumpliendo con lo anterior se logra establecer en este ciclo una serie de características que hacen del reciclaje una actividad esencial en la preservación del medio ambiente. Para que el material recuperado sea apropiado para la reutilización debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Que el material obtenido pueda ser utilizado de nuevo íntegramente.
- Que el nuevo material mantenga al 100% sus cualidades.
- Que el material resultante se utilice para fabricar el mismo producto del que proviene.

#### •Procesamiento de envases de vidrio.

El procesamiento de los envases de vidrio está directamente relacionado con el tipo de productos que serán fabricados y con el tipo de materiales que serán sustituidos por el calcín. En la industria del vidrio, siempre se ha introducido el calcín propio en el lote de producción, ya que se trata de una materia secundaria fiable y libre de contaminantes. Sin embargo, la reutilización del vidrio de envases tardó muchos años en implantarse como un segmento de la industria del reciclaje. Los requisitos básicos para emplear envases de vidrio usados en la fabricación de envases de vidrio nuevos no han cambiado desde que el calcín propio fue introducido por primera vez como un ingrediente secundario. El vidrio debe estar limpio, libre de tapas y anillos metálicos, y lo que es aún más importante, debe estar seleccionado por colores. Como consecuencia de estos criterios de fabricación, el procesamiento del vidrio ha evolucionado hasta incluir los pasos necesarios que garantizan una materia secundaria útil. Los pasos básicos para el procesamiento del vidrio de envases son:

- Lavado inicial, separación de tapas.
- Separación por colores.
- Reducción del volumen mediante trituración o rotura.
- Preparación para su transporte al mercado.

- Beneficio propio.

Estos pasos se realizan en diversas etapas después de la recuperación post consumidor y de la comercialización planificada del vidrio procesado.

- Limpieza inicial y separación por colores.**

Los programas de recuperación para los reciclables mezclados pueden diseñarse de forma que incluyan a los envases de vidrio. La recuperación de las botellas y frascos de vidrio se realiza normalmente mediante cintas transportadoras y selección manual. Los envases de vidrio pueden seleccionarse sistemáticamente al mismo tiempo que se recolectan de la cinta de procesamiento. Algunas bandas transportadoras se diseñan para que sólo con la selección manual se consiga la desviación de los envases de vidrio hasta transportadoras individuales, que dirigen los envases seleccionados por colores hacia los procesos de rotura, cribado y almacenamiento a granel.

- Rotura y trituración del vidrio**

La rotura del vidrio no es deseable si se produce antes de la separación por colores. No es fácil separar el vidrio roto del flujo de los residuos mezclados, pasando a convertirse en un material de vidrio mezclado que no tiene valor real para los usuarios de calcín. Si los envases de vidrio van a recuperarse para ser vendidos a los fabricantes de envases o a otros usuarios de calcín limpio y libre de contaminantes, entonces hay que realizar una selección por colores antes de que se produzcan roturas; los anillos metálicos, las etiquetas de papel y los residuos de comida deben ser eliminados, cribados y separados del vidrio después de la rotura inicial y/o trituración, y el almacenamiento del calcín procesado debe asegurar que el material a granel se mantenga limpio hasta que se envíe al mercado.

- Preparación y transporte**

El vidrio de envase es un material de baja densidad hasta que se rompe o tritura. Entonces se convierte en un material de alta densidad. Normalmente es necesario almacenar el vidrio, hasta acumular la cantidad suficiente de un color que posibilite un transporte rentable.

Los vidrios rotos se transportan frecuentemente como material a granel en grandes contenedores. Ocasionalmente se utilizan contenedores más pequeños para transportar cantidades menores de vidrio limpio y de color uniforme hasta los usuarios de vidrio triturado de alta calidad.

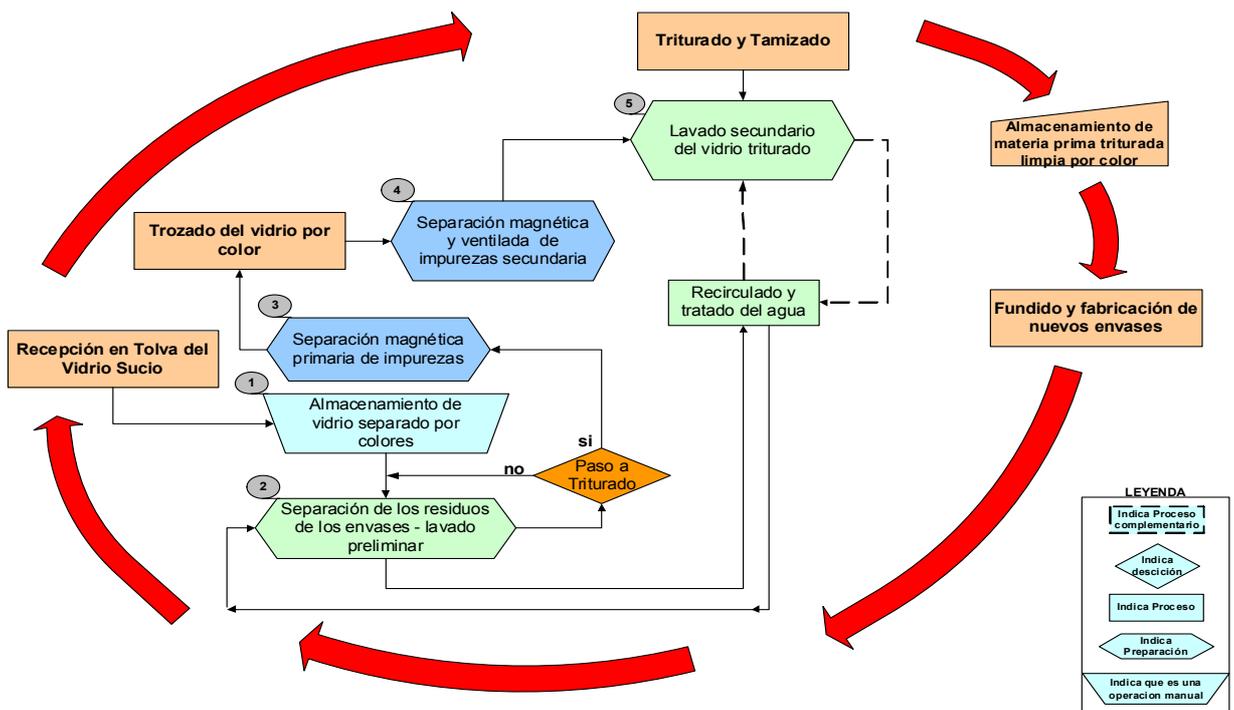
- Procesamiento final**

Los envases seleccionados por colores se envían, enteros, rotos o triturados, hasta los usuarios finales. El lavado final se realiza en la fábrica mediante un equipo especializado que separa los materiales residuales, el plástico y las etiquetas de papel.

Después, los vidrios rotos se mezclan con las materias primas utilizadas para la elaboración del vidrio. A continuación, el lote se funde en un horno a temperaturas entre 1.425 y 1.525°C, según el porcentaje de vidrios rotos presente en el lote. La mezcla puede fundirse a una temperatura menor si se utilizan más vidrios rotos. El vidrio fundido cae sobre una máquina moldeadora donde se

sopla o se moldea hasta conseguir la forma final. Los nuevos envases ya formados se enfrían lentamente en un túnel de recocido. Se inspeccionan para detectar posibles defectos, se embalan y se transportan hasta la compañía embotelladora. En resumen, la regla básica más importante para recuperar y vender los envases de vidrio consiste en limpiar y seleccionar por colores con el fin de lograr un producto reciclable de alta calidad. No es necesario lavar exhaustivamente los envases de vidrio para poder reciclarlos; un aclarado rápido es suficiente, y no es necesario quitar las etiquetas de papel. En términos generales, si los envases están lo suficientemente limpios como para ser almacenados en casa durante una semana, entonces estarán lo suficientemente limpios como para ser reciclados. Muchos metales, piedras, cerámicas y otros elementos extraños no se funden en el horno junto con los materiales que forman el vidrio, creando bultos o burbujas en las botellas. Esto no solo ocasiona problemas estéticos, sino que también debilita la pared de la botella. En el horno para vidrio, los contaminantes de hierro y plomo caen hasta el fondo del depósito del horno y corroen su revestimiento de ladrillos. Los materiales más grandes (por ejemplo tapas de acero y cerámica), frecuentemente, bloquean las líneas de alimentación del horno, provocando paradas temporales en la producción. Actualmente no existen sistemas mecánicos para la selección por colores. La investigación de estos sistemas, y de los que permiten la detección de cerámicas, es prometedora; sin embargo, actualmente, estas funciones se realizan manualmente. Los representantes de la industria indican que cumplir los requisitos de calidad mediante un procesamiento uniforme es el desafío más difícil a la hora de establecer e implantar buenos programas para el reciclaje del vidrio.

## ETAPAS DE UN RECICLADO MECANIZADO DE VIDRIO



**c. Tecnologías Limpias empleadas en el proceso reciclado de Plástico**

Los residuos sólidos plásticos, forman parte de los residuos sólidos urbanos (RSU), que se generan en casas, comercios, instituciones y áreas públicas. La acumulación de RSP es un problema ambiental que, sin reciclar, reutilizar o reducir se desaprovecha su valor potencial. La creciente escasez de materias primas para la síntesis de plásticos, su recuperación y la protección del ambiente, son razones suficientes para su reciclaje.

En las ciudades de países pobres o de economía de transición, es frecuente ver RSP acumulados en basureros o tiraderos a cielo abierto. Los tiraderos de RSP impactan negativamente al ambiente mezclados con residuos orgánicos e inorgánicos. La descomposición orgánica causa malos olores, lixiviados, propicia la proliferación de insectos y roedores que son vectores de microorganismos patógenos de humanos y animales.

En los países desarrollados, las estrategias de manejo y aprovechamiento de RSP, se emplean para generar energía eléctrica por incineración.

**Terminología empleada en ingeniería ambiental para el manejo de residuos sólidos urbanos**

<b>Recuperación.</b>	Proceso para extraer materiales: papel, cartón, plástico, vidrio, metales ferrosos y no-ferrosos, textiles y orgánicos del flujo de desperdicios sólidos para reintegrarse a la cadena de uso.
<b>Reciclaje.</b>	Proceso por el que un material previamente recuperado del flujo de desperdicios sólidos se reintegra a la cadena de uso.
<b>Reutilización.</b>	Utilizar un producto para un fin distinto al que tuvo originalmente.

# RECICLAJE DEL PLÁSTICO

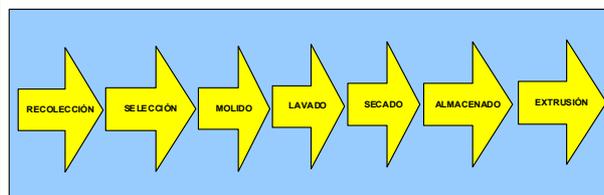
**ENTRADAS (IN)**

**PROVEEDOR:**  
 \* INDUSTRIAS MANUFACTURERAS  
 \* CONSUMO DOMÉSTICO  
 \* CENTROS COMERCIALES  
 \* ACOPIADORES INDIVIDUALES

**RECURSO:**  
 1: ENVASES DE PLÁSTICO RECICLABLE

**ATRIBUTO:**  
 1: CANTIDAD  
 2: LIMPIEZA  
 3: TIPO DE PLÁSTICO

**DESARROLLO DEL PROCESO**



**SALIDAS (OUT)**

**CLIENTE:**  
 \* EMPRESA DE TRATAMIENTO  
 \* EMPRESAS COMERCIALIZADORAS  
 \* PÚBLICO EN GENERAL

**PRODUCTO:**  
 \* PLÁSTICO SELECCIONADO POR TIPO DE PLÁSTICO  
 \* PLÁSTICO Y MOLIDO TAMIZADO  
 \* PLÁSTICO PELLETIZADO

**ATRIBUTOS:**  
 \* GENERACIÓN DE CONCIENCIA AMBIENTAL  
 \* VALORIZACIÓN DEL VIDRIO  
 \* EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES  
 \* REDUCCIÓN DE CONSUMO DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

**Tipos de reciclaje de plásticos:**

- Primario. Clase: PET, HDPE, PVC, LDPE, PP y PS. Se procesan por separación, peletizado, limpieza, moldeado por inyección y compresión, además de termoformación.
- Secundario. Convierte el plástico en artículos con características inferiores a las del polímero original, al mezclarse con: papel, aluminio, etc.
- Terciario. El polímero se mineraliza a CO2 por: pirólisis y gasificación.
- Cuaternario. El calentamiento del plástico libera calor y vapor, algunos gases tóxicos, por lo que no es ambientalmente recomendable.



PET



HDPE



PVC



LDPE



PP



PS





### Mezcla de plásticos:

Hay que hacer otra consideración previa al reciclado mecánico de los plásticos, y es la diferente naturaleza química que presentan. En los residuos de plásticos post consumo se encuentran siempre mezclados los plásticos de diferente naturaleza.

Por regla general la mezcla de plásticos diferentes, en el caso de que se puedan transformar conjuntamente dado que no todos presentan la misma estabilidad térmica, da lugar una mezcla heterogénea que no presenta buenas propiedades mecánicas para ser utilizado como material. Solamente en algunos casos las mezclas de polímeros dan lugar a una masa homogénea originando una sola fase continua, por ser los polímeros miscibles entre sí.

Las siguientes son las etapas básicas del reciclado mecánico:

- Sistema de recolección de desechos (recolección selectiva, municipal, estaciones de transferencia);
- Separación y selección de los diferentes tipos de plásticos;
- Limpieza para eliminar la suciedad y los restos de contenidos;
- Producción de plástico granulado.



#### Separación:

Preparación en una cinta transportadora de los diferentes tipos de plásticos de acuerdo con la identificación o con el aspecto visual. En esta etapa también se separan rótulos de materiales diferentes, tapas de botellas y productos compuestos por más de un tipo de plástico, envases metalizados, broches, etc.

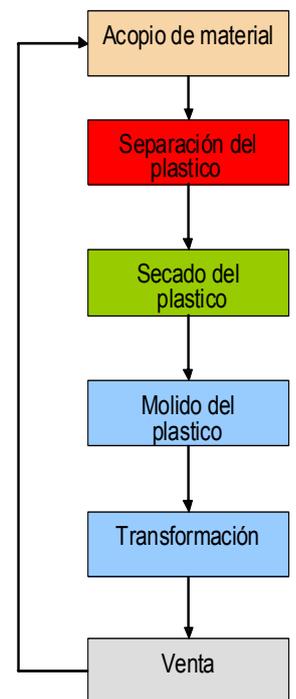
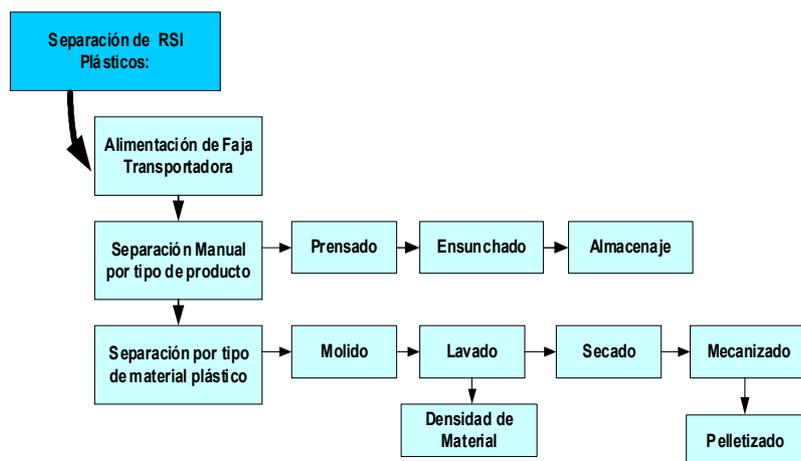
Por ser una etapa manual, la eficiencia depende directamente de la práctica de las personas que ejecutan esta tarea. Otro factor determinante de la calidad es la fuente de material a ser separado, dado que el que proviene de la recolección selectiva es más limpio comparado con el material proveniente de los basurales a transportadora de los diferentes tipos de plásticos de acuerdo con la identificación o con el aspecto visual. En esta etapa también se separan rótulos de materiales diferentes, tapas de botellas y productos compuestos por más de un tipo de plástico, envases metalizados, broches, etc.

Por ser una etapa manual, la eficiencia depende directamente de la práctica de las personas que ejecutan esta tarea. Otro factor determinante de la calidad es la fuente de material a ser separado, dado que el que

proviene de la recolección selectiva es más limpio comparado con el material proveniente de los basurales a cielo abierto.
<b>Molido:</b> Después de haber sido separados, los diferentes tipos de plásticos son molidos y fragmentados en pequeñas partes.
<b>Lavado:</b> Después de triturado, el plástico pasa por una etapa de lavado para eliminar la suciedad. Es preciso que el agua de lavado reciba un tratamiento para su reutilización o emisión como efluente.
<b>Secado:</b> En esta etapa se retira el exceso de agua por centrifugado.
<b>Aglutinación:</b> Además de completar el secado, el material es compactado, reduciéndose así el volumen que será enviado a la extrusora. La fricción de los fragmentos contra la pared del equipo rotativo provoca el aumento de la temperatura, formándose una masa plástica. El aglutinador también se utiliza para la incorporación de aditivos, tales como cargas, pigmentos y lubricantes.
<b>Extrusión:</b> La extrusora funde y vuelve a la masa plástica homogénea. A la salida de la extrusora se encuentra el cabezal, del cual sale un “espagueti” continuo que es enfriado con agua. En seguida, el “espagueti” es picado en un granulador y transformado en pellet (granos plásticos).

## ESQUEMA DESARROLLADO PARA RECICLAR PLASTICOS

## PASOS CLAVES PARA RECICLAR PLASTICOS



### Separación de plásticos:

Separar cada plástico de los otros de diferente naturaleza que aparecen juntos en los RSU, es demasiado complicado y casi imposible ya que aparentemente todos son iguales como consecuencia de los aditivos y cargas que llevan incorporadas.

Se han desarrollado varias técnicas de separación basadas en métodos físicos de diferente naturaleza. Unas ofrecen una respuesta más rápida que otras, pero en todos los casos de una gran fiabilidad. Estas técnicas pueden clasificarse como:

- Técnicas de flotación-hundimiento basadas en la diferencia de densidad.
- Utilización de disolventes.
- Técnicas espectroscópicas.
- Técnicas electroestáticas.
- Utilización de marcadores químicos.
- Marcado mecánico.

A continuación se presenta una breve descripción de estas técnicas.

**i) Técnica de flotación hundimiento.**

La densidad de los plásticos, presenta una diferencia que puede ser utilizada para separarlos por flotación en disolventes de diferente densidad.

El procedimiento a seguir consiste en trocear la mezcla de plásticos de manera homogénea e introducirla en agua que incorpora una pequeña cantidad de detergente para conseguir que el agua moje al plástico. Así, quedan sobre nadando aquellos plásticos con densidad menor a la unidad, hundiéndose los que poseen una densidad mayor que uno.

**ii) Separación basada en la utilización de disolventes.**

El procedimiento de separación basado en la aplicación de disolventes fue desarrollado por Seymour y Stahl en la Universidad de Houston para una mezcla de PE, PS, PVC.

El procedimiento consiste en disolver la mezcla de plásticos en tolueno a temperatura ambiente. En este disolvente no se disuelven el PE ni el PVC, por lo que se separan por filtración.

**iii) Utilización de técnicas espectroscópicas.**

Se basan en la diferente respuesta que tienen los plásticos a la radiación electromagnética en función de su estructura química. Son técnicas de respuesta muy rápida por lo que se han podido aplicar en separaciones en tiempo real y de manera automatizada. Citaremos como las más importantes: la fluorescencia de rayos X y la radiación infrarroja.

**iv) Separación basadas en técnicas electroestáticas.**

A este grupo pertenece la separación triboeléctrica basada en la carga electrostática que se genera en pequeñas partículas de plástico provocada en la fricción con la pared del cilindro provocada por un molino de aire.

Una vez cargadas las partículas se proyectan a un campo electrostático creado entre unas placas metálicas a las que se aplica un potencial de 120.000 voltios.

**v) Técnicas en la incorporación de marcadores químicos.**

En este método de separación basado en la incorporación de marcadores químicos proporcionan al material una cierta propiedad física fácilmente identificable, como la respuesta fluorescente a la radiación ultravioleta, o la respuesta a la radiación infrarroja. El procedimiento consiste en la incorporación específica de un determinado marcador para cada polímero consiguiéndose una respuesta rápida y fiable fácilmente incorporable a una cadena de triaje automatizada.

**vi) Técnicas basadas en la incorporación de códigos.**

Este procedimiento consiste en marcar cada artículo de plástico con un triángulo de flechas curvas, en cuyo interior aparece un número identificativo de cada plástico.

#### **d. Tecnologías Limpias empleadas en la disposición final de los Residuos Sólidos**

##### **El relleno Sanitario Manual con aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos**

Esta tecnología considera no sólo la adecuada disposición final de los residuos sólidos sino además el aprovechamiento y tratamiento de los de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. El conjunto de unidades está conformado por los siguientes componentes: planta de tratamiento de residuos orgánicos; reciclaje de residuos inorgánicos; relleno sanitario.

##### **d.1) Planta de tratamiento de residuos orgánicos**

La experiencia ha demostrado que para las zonas rurales y pequeñas ciudades el tipo de tratamiento biológico en forma de compostaje es uno de los más viables, principalmente porque el producto puede utilizarse directamente en los terrenos agrícolas propios de estas zonas. Mientras que en las zonas urbanas puede no existir mercados sostenibles. Son las instalaciones que permiten efectuar el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos para convertirlos en un mejorador de suelos como es el Compost. En ítems anteriores se ha presentado esta tecnología.

##### **d.2) Planta de tratamiento de residuos inorgánicos**

Son las instalaciones que permiten almacenar los residuos sólidos inorgánicos como: plástico, vidrio, papel, cartón, metal, para luego ser comercializados, una vez que se acumula una cantidad considerable y han sido acondicionados.

La compostificación en el área del Centro Ecológico, se realiza mediante la técnica de rumas en hilera con las siguientes características:

- Altura : 1.60 m. máxima y 1.2 m. mínima
- Ancho : 2.0 m.
- Largo : según la cantidad de residuo orgánico

Los residuos orgánicos que se pueden emplear para preparar el compost son:

- Cáscaras de frutas
- Residuos de verduras
- Vísceras de animales
- Plumas en pequeñas cantidades
- Restos de comida, cocina y mercados en general
- Estiércol animal

Los residuos que NO se deben usar para la compostera son:

- Plásticos, vidrios, metales, residuos domésticos y desechos de origen inorgánico en general
- Conchas o caparzones de choros, conchas de abanico, o similares
- Huesos
- Cáscaras de limón o naranja en exceso
- Pañales descartables o toallas higiénicas

Con los residuos sólidos orgánicos se construye la ruma compostera colocando los residuos en celdas o capas de 20 a 30 cm. humedeciéndolos ligeramente con agua, y esparciendo una capa fina de cal o ceniza. Las rumas tendrán un tubo de ventilación para facilitar la aereación. En todo momento se evitará un exceso de agua o humedad, y la presencia de agua de lluvia.

La ventilación de la ruma de compost, se realizará con tubo perforado de 6 a 8" ubicado en el centro de la ruma. Cuando se usen troncos para la ventilación, estos se colocarán de modo equidistante en cada ruma, y se retirarán al cabo de 1 semana, cuidando mantener el orificio de ventilación que estos dejan.

Se estima que el proceso de compostificación tomará 3 meses. Al cabo del primer mes se realizará un volteo del residuo orgánico; el segundo y último volteo del material se realizará al finalizar el segundo mes; y luego al finalizar los 3 meses se obtendrá el compost.

#### **i) Operación de la planta compostera**

- Recepción de residuos sólidos en la zona de compostificación y llenado del Formulario donde reconsignen estos datos.
- Separación de residuos del tipo orgánico
- Traslado de residuos inorgánicos al centro ecológico
- Construcción de la ruma diaria por capas de residuos sólidos orgánicos agregando cal apagada, y agua opcional de acuerdo a la humedad
- Colocación de una estaca o señal para diferenciar las rumas que corresponden a fechas o días distintos
- Colocar el tubo de ventilación, y en caso de usar troncos retirarlos después de 1 semana, dejando el orificio de ventilación
- Efectuar el control permanente de humedad, evitando una sobre saturación del material en procesamiento (evitar afloramiento de agua en la base)
- Realizar el primer volteo del material al cabo de 1 mes, y el segundo volteo de la ruma al cumplir 2 meses de construida
- Después de 3 meses de procesamiento, se tamizará el material con malla de 10mm. El material que pasa es el compost.
- Control de calidad de la primera producción del compost, con análisis de laboratorio en los siguientes parámetros:
  - Nitrógeno (N)
  - Fósforo (P)
  - Potasio (K)
  - Materia orgánica
  - pH
  - Conductividad eléctrica
  - Relación carbono/nitrógeno (C/N)
- Almacenamiento
- Uso del compost y/o ajuste del proceso de compostificación en base a los resultados de los análisis de laboratorio.
- 

#### **ii) Medidas de seguridad en higiene en el trabajo**

El personal en todo momento usar el siguiente equipo de seguridad e higiene en el trabajo:

- Respirador o mascarilla
- Guantes de cuero
- Casco protector
- Zapatos o botas de seguridad
- Mameluco

Las medidas específicas que debe adoptar son:

- Asegurar una adecuada ventilación ambiental durante el volteo de la materia orgánica en proceso de compostificación
- Mantener una apropiada concentración en el trabajo
- Evitar el ingreso de agua de lluvia a la poza de compost para minimizar la producción de gases y malos olores
- No consumir alcohol y/o drogas antes, ni durante el trabajo.

### **d.3) Reciclaje de residuos sólidos inorgánicos**

Es el método de disposición final que permite disponer de manera sanitaria los residuos sólidos municipales. Emplea una técnica y procedimientos de ingeniería tal que no representa peligro alguno ni riesgos para la salud pública. Además minimiza la contaminación y otros impactos negativos en el ambiente.

Los elementos principales que forman parte de estas instalaciones son:

- Trincheras y/o terraplenes: lugar donde se entierran los residuos sólidos
- Sistema de tratamiento de lixiviados: compuestos por drenes colectores que decepcionan los líquidos lixiviados de los residuos. También se considera la impermeabilización del terreno, así como Pozos de monitoreo para detectar la probable contaminación.
- Sistema de evacuación de aguas pluviales: drenes alrededor de las trincheras para evitar el ingreso de aguas de lluvia.
- Drenaje de gases: permiten evacuar los gases producto de la degradación de la materia orgánica a través de la colocación de conductos verticales construidos en el interior de las trincheras llamados Chimeneas.

### **Sistema de operación del relleno sanitario manual**

Los residuos que se deberán disponer en el relleno son de varios tipos, los mismos que se detallan a continuación:

- Residencial: residencias unifamiliares y multifamiliares edificios de apartamento, etc.
- Comercial: Tiendas, restaurantes, edificios de oficinas hoteles, moteles, instituciones, etc.
- Limpieza pública: Barrido de calles, avenidas, parques, limpieza de monumentos, etc.
- Mercados: Actividades al interior y en áreas aledañas a mercados.

No se deben recibir otros tipos de residuos que ocasionen problemas en el relleno, los mismos que pueden tener características de explosividad, reactividad, radiactividad,

corrosividad o inflamabilidad. En este sentido va la restricción que se da, para no permitir el ingreso de este tipo o calidad de residuos peligrosos.

### **i) Construcción de celdas**

Los pasos para la construcción de las celdas son los siguientes:

- Demarcar (con cal) el área que ocuparán las celdas de acuerdo al plano de distribución de trincheras.
- Guiar al conductor del vehículo recolector para que descargue los residuos en el Frente de Trabajo, respetando lo indicado por el plano de distribución de las trincheras
- Esparcir la basura en capas delgadas de 0.30 m. y compactar hasta obtener la altura de 1.00 a 1.50 m.
- Compactar toda la celda hasta obtener una superficie uniforme, usando los piones y el rodillo.
- Para construir la primera celda se debe delimitar el área que ocupará, de acuerdo con las dimensiones estimadas.
- Descargar los residuos sólidos en el frente de trabajo, procurando mantener una sola y estrecha área descubierta durante la jornada. Se deberá tener un sólo frente de trabajo.
- Esparcir los residuos en capas delgadas de 0.20 a 0.30 m. y compactar hasta obtener la altura recomendada.
- Cubrir los residuos compactados con el material de cobertura acumulado para este fin o extraerlo, de ser necesario, esparciéndolo sobre los residuos compactados. La capa de cobertura tendrá un espesor suficiente para cubrir los residuos y será entre 0.10 y 0.20 m., esto a su vez permitirá rellenar las irregularidades de la superficie de la celda. Esta operación debe realizarse una vez al día al final de la jornada con el espesor suficiente para taparlas completamente y rellenar las irregularidades de la superficie.
- Los trabajadores dedicarán parte del horario de trabajo para disponer permanentemente de material de cobertura. De ser necesario, se podrá contar con apoyo de maquinaria para esta actividad
- Para una adecuada operación al personal no deberá faltarle material de cobertura y, además, este deberá estar cerca al frente de trabajo.
- Compactar toda la celda hasta obtener una superficie uniforme.
- Luego de conformada la primera celda, se descargan los residuos en el frente de trabajo y se esparcen de arriba hacia abajo, manteniendo una pendiente de 3 : 1 (H : V).
- Se coloca el dren vertical para el drenaje de gases, de estar previsto en el área que se está trabajando. Dicho dren debe estar conectado con los drenes horizontales para la evacuación de lixiviados.
- Se repite el ciclo, con la descarga en área contigua, del siguiente ingreso de residuos sólidos al frente de trabajo, todo esto en la primera trinchera.
- Los operarios deberán operar de acuerdo al plano de distribución de trincheras, para lo cual deben recibir una capacitación y la dirección del supervisor.
- Para poder continuar operando durante la época de lluvia, evitando que el agua de las lluvias caigan directamente sobre los residuos se realizará lo siguiente: se colocará una cubierta, a modo de toldo, confeccionada con palos y plástico, sobre los residuos

recién descargados. De esta manera se podrá continuar formando las celdas sin que las lluvias se infiltren en los residuos y los “laven”.

## **ii) Mantenimiento del relleno sanitario**

- Se debe realizar la limpieza del área circundante al frente de trabajo, eliminándose los residuos, como los papeles, que por acción del viento puedan escapar al enterramiento y darle un mal aspecto al área del relleno sanitario.
- Revisión periódica de las instalaciones como el módulo de servicios o el cerco entre otras y disponer los arreglos correspondientes de ser necesario.
- Fumigación periódica de la caseta y las otras áreas del RSM.

## **iii) Control de operaciones**

La organización y supervisión de las labores para lograr un adecuado control de la operación del relleno sanitario, deben contemplar los siguientes aspectos:

- El registro del número de unidades diarias que ingresan al Centro Ecológico (área del relleno sanitario) permitirá determinar la carga promedio recepcionada, rendimiento del personal y agotamiento del relleno sanitario.
- El control del ingreso de los residuos. Se usará la *Ficha: Control de ingreso de vehículos y residuos sólidos*. Ver Anexo.
- Para el control de flujo de vehículos se autoriza la entrada y se anota el volumen de residuos que lleva cubriendo el vehículo, es decir, el encargado del control vehicular deberá expresar en metros cúbicos la capacidad del vehículo.
- Para un adecuado desplazamiento de los vehículos que ingresan al área del relleno sanitario se deberá efectuar la señalización de la orientación del tráfico. El señalamiento de los caminos incluirán, dirección, velocidad máxima permisible, desvíos con los caminos programados y las celdas en operación.
- Para un adecuado control de la descarga de los vehículos en el frente de trabajo se asignará a un operario para que realice esta labor como parte de sus funciones.
- Como parte de las funciones de cada uno de los trabajadores deberán controlar el ingreso de animales y personas extrañas. En el caso de animales, para evitar la excavación del Material de cobertura en las celdas ya conformadas.

## **iv) Personal requerido**

El personal requerido para la operación del relleno sanitario manual es el siguiente:

- El Responsable del grupo de operarios
- Los Operarios
- El Supervisor

Se recomienda que los trabajadores del servicio de limpieza reciban una capacitación adecuada en cuanto a las labores de operación del relleno sanitario manual, con la finalidad de que exista una rotación del personal en el servicio de disposición final.

## **v) Herramientas**

El relleno sanitario manual se opera con la mano de obra organizada y el empleo de herramientas simples, cuyo número está en función del número de trabajadores y del volumen de residuos que ingresan.

El conjunto de herramientas necesarias es el siguiente:

- Palas
- Picos
- Zapas
- Pisones
- Rodillo compactador
- Carretillas
- Rastrillos

En la siguiente tabla se presenta los probables requerimientos de herramientas para llevar a cabo las operaciones básicas en el relleno sanitario manual.

#### **vi) Clausura y uso futuro del relleno**

Las plataformas ya concluidas serán acondicionadas como áreas verdes, los mismos que servirán como pulmones ecológicos. Estas áreas verdes tendrán árboles y vegetación natural de la localidad. Se sembrará plantas de tallo corto. La zona con áreas verdes tendrá caminos que pueden invitar a realizar caminatas.

#### **vii) Evaluación de impacto ambiental**

La alternativa más adecuada para la disposición final de los residuos sólidos en las ciudades y localidades del Perú, así como en la mayoría de los países en desarrollo, es el relleno sanitario. Sin embargo, este método de disposición final también tiene un impacto ambiental que debe ser evaluado.

La ubicación y operación de un relleno sanitario constituye un problema de optimización, donde, sin violentar los requerimientos técnicos, legales, sociales y ambientales, se logre el objetivo deseado. En este sentido, el planteamiento del problema no sólo se restringe al objetivo de minimizar costos en función de restricciones de carácter técnico tales como capacidad del sitio, cantidad de desechos a procesar, distancias con respecto a las áreas sensibles, entre otros. Actualmente el enfoque del problema es diferente, la ubicación y operación de un relleno sanitario reviste también un problema de carácter ambiental, en la medida que se está trasladando el problema a otro ámbito geográfico donde se ocasionará un impacto, el cual es necesario evaluar, con el fin de identificar y proponer las medidas de mitigación necesarias. En tal sentido, el proyecto considera la elaboración de un estudio de impacto ambiental.

Las principales medidas de mitigación son las siguientes:

- Cerco perimetral.- Con el fin de contar con un aislamiento visual de los residuos sólidos, de la vista de los transeúntes, se conformará un cerco vivo con la plantación de árboles de rápido crecimiento. Este además dará una apariencia estética al contorno del terreno, y retendrá los papeles y plásticos levantados por el viento.

- Manejo de gases y lixiviados.-Los gases producidos por la degradación de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos, deberán ser evacuados de manera permanente y controlada, utilizando chimeneas. Serán conducidos y tratados en pozas de evaporación.
- Cobertura.- Mediante la ejecución de la cobertura de los residuos sólidos, se evitará la existencia de olores provenientes de la descomposición anaeróbica de los residuos, el contacto del agua de lluvia con la basura y su posible filtración a napas no contaminadas, la proliferación de vectores y roedores, el desventajoso efecto visual que produce la basura descubierta y la dispersión por efecto del viento de los elementos livianos.
- Primeros auxilios.- En el relleno sanitario se debe contar con un botiquín de primeros auxilios, para atender cualquier emergencia, hasta que se pueda llegar al establecimiento de salud más cercano.

#### **d.4) Aprovechamiento comercial de los residuos**

Esta tecnología plantea la posibilidad del aprovechamiento económico de los residuos sólidos a través de siguientes canales de beneficio:

- La comercialización del compost
- Incremento productivo de cultivos agrícolas
- Comercialización de residuos inorgánicos reciclables

## **4.2 Residuos sólidos Orgánicos**

### **a. Tecnologías Limpias empleadas en el proceso de elaboración de Compost**

Una de las principales limitaciones que tienen la mayoría de los suelos para producir es la falta de materia orgánica, debido a que los agricultores aprovechan o queman los rastrojos de las cosechas o estiércoles. Esta situación debe cambiar si enseñamos a los agricultores a reciclar todo tipo de residuo orgánico que queda en la chacra mediante el proceso de compostaje para producir abonos orgánicos de alta calidad que permitirían mejorar la producción y conservar los suelos.

Los abonos orgánicos como el compost son una alternativa para que el suelo recupere algunas de sus propiedades como la retención de humedad, activar a los microbios del suelo y la capacidad de retener nutrientes. Este tipo de abono es fácil de producir, sin embargo requieren de criterios técnicos para obtener mejores resultados de calidad y de eficiencia económica.

#### **a.1) La elaboración de compost**

##### **Definición de compost.**

Es un abono orgánico que resulta de la descomposición de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, bajo condiciones controladas, buena aireación, humedad y que necesita pasar por una fase de calor (termofílica).

## Ventajas del uso del compost

- Mejorador de las propiedades del suelo:

La utilización del compost como enmienda orgánica o producto restituidor de materia orgánica en los terrenos de labor tiene un gran potencial, ya que la presencia de dicha materia orgánica en el suelo en proporciones adecuadas es fundamental para asegurar la fertilidad:

  - *Mejora las propiedades físicas del suelo:* La materia orgánica contribuye favorablemente a mejorar la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (serán más permeables los suelos pesados y más compactos los ligeros), aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa, y contribuye a aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo mediante la formación de agregados.
  - *Mejora las propiedades químicas:* La materia orgánica aporta macronutrientes N, P, K y micronutrientes, y mejora la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Esta propiedad consiste en absorber los nutrientes catiónicos del suelo, poniéndolos más adelante a disposición de las plantas, evitándose de esta forma la lixiviación. Por otra parte, los compuestos húmicos presentes en la materia orgánica forman complejos y quelatos estables, aumentando la posibilidad de ser asimilados por las plantas.
  - *Mejora la actividad biológica del suelo:* La materia orgánica del suelo actúa como fuente de energía y nutrición para los microorganismos presentes en el suelo. Estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. Una población microbiana activa es índice de fertilidad de un suelo.
  
- Facilita el manejo de estiércoles:

El compostaje reduce el peso, el volumen, el contenido en humedad, y la actividad de los estiércoles. El compost es mucho más fácil de manejar que los estiércoles, y se almacena sin problemas de olores o de insectos y puede ser aplicado en cualquier época del año. Esto minimiza las pérdidas de nitrógeno y el impacto ambiental en el campo.
  
- Mejora la disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas:

El compost convierte el contenido en nitrógeno presente en los estiércoles en una forma orgánica más estable. Por tanto, esto produce unas menores pérdidas de nitrógeno, el cual permanece en una forma menos susceptible de lixiviarse y, por tanto, de perder amonio.

El compostaje disminuye la relación carbono/nitrógeno a niveles aceptables para la aplicación al suelo.

El calor generado mediante el proceso de compostaje reduce la viabilidad de las semillas de malezas que pudieran estar presentes en el estiércol.
  
- Disminuye los riesgos de contaminación y malos olores:

En la mayoría de las granjas, el estiércol es más un residuo que un subproducto con valor añadido. Los principales inconvenientes son los olores y la contaminación por nitratos. El compostaje puede principalmente disminuir estos problemas.
  
- Destruye los patógenos:

La destrucción de patógenos durante la fase termófila permite la utilización no contaminante del abono orgánico. En la Tabla siguiente se recoge la temperatura y el tiempo necesario para la destrucción de algunos de los patógenos y parásitos más comunes que pueden estar presentes en el residuo a compostar.

**Tabla: Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de los parásitos y patógenos más comunes (Golueke, 1972).**

<b>Organismo</b>	<b>Temperatura y tiempo de exposición</b>
<i>Salmonella typhosa</i>	Se elimina rápidamente en el montón de compost. Son suficientes 30 min a 55-60° C para su eliminación. No se desarrolla a temperaturas superiores a 46° C
<i>Salmonella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 hora a 55° C o 15-20 min a 60°C
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 hora a 55° C
<i>Escheirchia coli</i>	La mayoría mueren con una exposición de 1 hora a 55° C o 15-20 min a 60° C
<i>Taennia saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55°C
Larvas de <i>Trichinella spiralis</i>	Mueren rápidamente a 55°C e instantáneamente a 60° C
<i>Brucella abortus</i>	Se elimina con exposiciones a 62-63° C durante 3 min o a 55° C durante 1 hora
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i>	Muere después de 10 min de exposición a 50° C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Muere después de 10 min a 54° C
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>Hominis</i>	Muere después de 15-20 min a 66° C o instantáneamente a 67° C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición durante 45 min a 55° C
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Mueren en menos de una hora a temperaturas superiores a 55° C

## **a.2) Preparación del compost**

Existe una gran variedad de métodos para la elaboración del compost; uno de los más comunes es el “*METODO INDORE*” practicado por primera vez por el Sir Albert Howard Agrónomo del Gobierno Inglés, quien estuvo en la India entre 1905 y 1934, en la localidad de Indore. Lo realizó para atender la necesidad de mejoramiento de suelos y de los cultivos en la región. Es un método tradicional y sistemático de disponer los materiales orgánicos en capas alternadas hasta formar una pila sobre un suelo o en un hoyo con 60 cm. de profundidad.

Esta investigación también fue desarrollada en la India y en Inglaterra. Howard concluyó que los residuos de los animales y plantas sanas que caen en el suelo mejoran la fertilidad del suelo debido al abundante humus que producían.

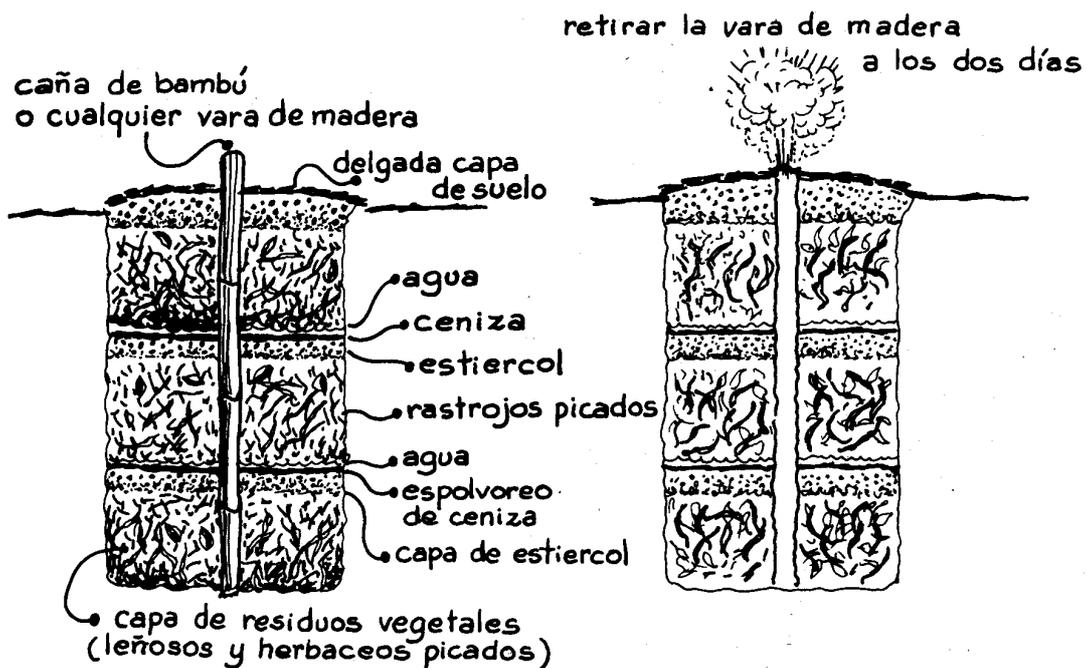
Howard aprendió de los agricultores chinos, la importancia de usar todos los residuos orgánicos para fortalecer las tierras.

En 1931 con Mr.Y.D.Yad, Howard publica el libro: “La utilización de los desechos agrícolas”, lo cual fue considerada como su contribución científica. En sus libros posteriores, hizo énfasis sobre la importancia del humus y la mejora del proceso del compost.

### Forma práctica de hacer compost (Método Indore)

#### Materiales:

- Residuos vegetales (rastros, cáscaras, restos de podas, etc.)
- Fuente de microorganismos (INOCULO): estiércoles, efluentes (aguas residuales de canales o plantas de biogás), compost maduro, o suelo rico en materia orgánica.
- Cal o cenizas, cáscaras de huevo, conchas de mariscos, hueso molido, etc.
- Agua.



*Dibujo Juan Guerrero B, 1993- Manual de Abonos Orgánicos*

#### Metodología

- Cavar una fosa, especialmente en zonas áridas o muy frías, con dimensiones variables, como por ejemplo, 4 x 8 x 0,6 m., ó hacerlos en la superficie del suelo en zonas lluviosas.(3 x 10 x 1,5 m)

- Colocar los rastrojos o residuos vegetales, de preferencia picados, formando una primera capa de más o menos 20 cm de espesor, dejando una parte de la fosa sin llenar para facilitar el volteo de los materiales.
- Introducir varas de madera (10 cm. de diámetro) en forma vertical en varias partes de la fosa, las cuales será retiradas después de 2 o 3 días, de tal manera que queden agujeros bien distanciados para darle una buena aireación a la pila del material. (1 por m<sup>3</sup>).
- Regar la capa de rastrojos hasta que el material alcance la humedad adecuada. Cuando el material es fresco y está cortado requiere muy poca agua o no requiere.
- Esparcir estiércol en forma uniforme sobre la capa de rastrojos hasta alcanzar una capa de más o menos 5 o 10 cm. de espesor, dependiendo del tipo de residuo. Se deberá utilizar mayor cantidad de estiércol cuando el material a compostar es más leñoso.
- Espolvorear sobre el estiércol una ligera pero uniforme capa de cal finamente molida (cenizas, cáscaras de huevo, etc.) para corregir la acidez del medio.
- Humedecer ligeramente para favorecer la distribución del estiércol y la cal.
- Repetir el mismo proceso hasta formar una pila de compost con capas alternadas hasta alcanzar la altura de 1.0 o 1.50m.
- Realizar el volteo de los materiales cuando se observe que la temperatura alta inicialmente ya ha descendido y se encuentra estable (después de 2 ó 3 semanas en verano o después de 1 mes de invierno), para Lima esto varía de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona. El volteo consiste en colocar los materiales de la parte de arriba en la parte inferior y los de abajo hacia la parte superior, regulando nuevamente la humedad y la aireación para facilitar el proceso de descomposición.
- Finalmente, el proceso de compostaje termina después de 3 ó 4 meses (según la zona) y en este momento se aprecia que el material ya ha sido completamente degradado, no hay emanaciones de gas y la temperatura permanece estable.

\* El procedimiento original consistió en hacer una capa de materiales gruesos (pedazos de madera, o tallos) sobre la cual se coloca una capa de 15 cm de residuos vegetales verdes y secos (hojas, ramas, etc.), luego una capa de 5cm de estiércol, adicionada con un poco de suelo. Repitiéndose el procedimiento hasta llegar a 1,5 m de altura. Por lo tanto normalmente se usa una proporción en volumen de 3 a 4 partes de material vegetal por una de estiércol animal. (P. Tripla, 1988; p35)

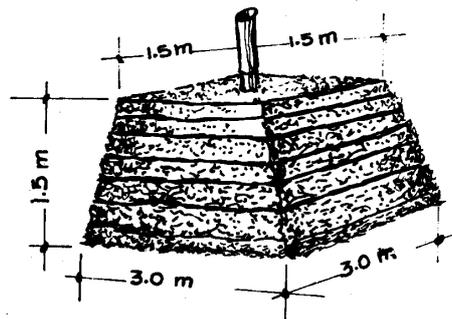


Residuos vegetales picados  
(herbáceos y limosos)

estiercoles +  
suelo húmedo

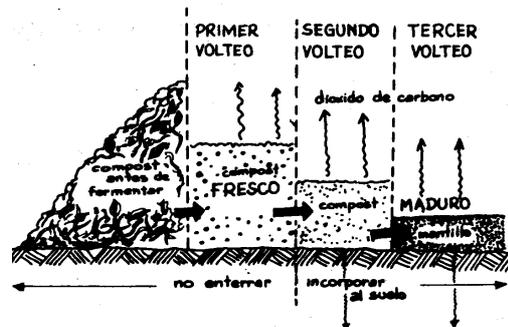


Residuos vegetales picados



(Rodale, 1986)

### a.3) Etapas del proceso de compostaje



*Etapas del proceso de compostaje (Fuente: Roger, 1980)*

El compostaje es una técnica relativamente simple que promueve la humificación de residuos orgánicos a través de la acción de los microorganismos. Tiene gran importancia económica pues permite reciclar residuos que normalmente son perdidos o quemados, proporciona la oportunidad de trabajo, disminuye la elevada dependencia de los agricultores por los fertilizantes químicos. Además permite eliminar las semillas de malezas y de patógenos que pueden estar presentes en los residuos.

El **compostaje** es un proceso biológico de oxidación de residuos provocado y controlado por los microorganismos del ambiente, utilizando el oxígeno del aire. Dicho

de otro modo "*La descomposición microbiológica aeróbica de residuos orgánicos de distinta procedencia en condiciones de temperatura, humedad y aireación controladas, conduce a la obtención de un producto llamado Compost o abono compuesto*" (Climent, 1996)

El control del proceso bio-oxidativo implica que en una etapa termofílica se produzcan fitotoxinas, en cantidad suficiente, para que el producto de degradación resultante sea preferentemente materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas, agua, dióxido de carbono y sales minerales. En estas condiciones, se obtiene un abono compuesto "compost", adecuado y a su vez carente de riesgos para su utilización en la agricultura.

Al comienzo del proceso la mezcla de residuos esta a la temperatura ambiente, a medida que la población microbiana se multiplica, la temperatura aumenta rápidamente. Es una etapa de marcado carácter mesofílico donde se descomponen los ácidos orgánicos de cadena corta, lo que lleva consigo un descenso en el valor del pH. Esto se estima que tiene una duración entre 12 y 24 horas.; en esta fase se aprecia la eclosión forzada de huevos, la evolución de las larvas, la huida de los insectos y la proliferación de un gran número de bacterias mesofílicas (5 000 millones/g), frente a la escasez de bacterias termofílicas (0,2 millones /g) también ocurre el desarrollo de los hongos mesofílicos.

La actividad mesofílica cesa una vez alcanzada los 40°C momento en el cual entra en una segunda etapa llamada termofílica en la que se distinguen tres fases:

**En la fase inicial** la temperatura aumenta progresivamente hasta llegar a los 60 °C apreciándose un aumento del pH, consecuencia directa de la presencia del ión amonio como producto de la degradación. El número de microorganismos termofílicos es de unos 45 millones/g. Hay una destrucción de huevos y larvas de insectos así como de bacterias patógenas, observándose el desarrollo de los Hongos termofílicos y la aparición de posibles sustancias con carácter antibiótico; la duración de esta fase oscila entre 50 y 60 horas.

En la **segunda fase** hay un incremento de la temperatura donde se puede alcanzar a los 75 °C pero es más lenta, existe una disminución de la población de microorganismos (12 millones/g) y la destrucción de bacterias patógenas (paratífus), salmonellas y bacilos intestinales, así como la desaparición de hongos y bacterias termofílicas. El aumento de la temperatura puede provocar pérdidas de nitrógeno en forma amoniacal por lo cual disminuye el pH.

En la última fase de la **etapa termofílica** se observa que el calor que se genera es menor, la mezcla de residuos se enfría y la temperatura desciende al consumirse los materiales degradables, dura aproximadamente unos 15 días, en los cuales, los hongos termofílicos ubicados en las zonas más frías de la mezcla de residuos se desarrollan y comienza el ataque de las sustancias celulósicas. La hidrólisis de los productos formados así como la polimerización y asimilación de estas sustancias, es un proceso lento. Se observa que la temperatura desciende hasta alcanzar la del medio ambiente y el pH no sufre modificación.

**La tercera etapa, llamada también de estabilización o maduración** tiene lugar a temperatura ambiente y dura más tiempo que las etapas anteriores. Hay una desaparición de las bacterias termofílicas y un incremento de las mesofílicas, los actinomicetos y hongos mesofílicos. En esta etapa se observa la presencia de sustancias

antibióticas y desaparición de gérmenes patógenos. La pérdida de masa y emisión de calor son escasas; al mismo tiempo se desarrollan simultáneamente reacciones de condensación y polimerización de gran complejidad que en gran medida, dependen de las condiciones de mantenimiento del producto anteriores al almacenamiento. (Climent et al, 1996)

#### **a.4) Factores que afectan el proceso de compostaje**

La aireación

La humedad

La relación superficie/volumen

Las características del sustrato

Superficie específica de los residuos

Otros (calcio, fósforo, etc.)

La aireación: el oxígeno no solo es necesario para la respiración de los microorganismos y el metabolismo aerobio, sino que también actúa como oxidante de especies químicas orgánicas o inorgánicas presentes en el sustrato; el consumo de oxígeno es proporcional a la actividad microbiana. La aireación es necesaria pero tiene que ser controlada, puesto que una aireación excesiva puede provocar un enfriamiento de la mezcla de residuos lo que provoca una disminución de la actividad metabólica de los microorganismos, en la mezcla de residuos en evolución el CO<sub>2</sub> aumenta mientras que el O<sub>2</sub> disminuye, siendo la suma de los dos gases del orden del 20%. Cuando la proporción de oxígeno descende, los microorganismos aerobios son sustituidos por los anaerobios, los cuales comienzan a proliferar. Entre 28 °C a 55 °C se encuentra el máximo de actividad microbiana y también, el máximo consumo de oxígeno.

Para el desarrollo del proceso termofílico aeróbico es imprescindible la presencia del oxígeno necesario y, con ello se evitan además los problemas de los malos olores (Climent et al, 1996)

- La humedad: debe ser alta durante la etapa de descomposición, en la que prevalecen las bacterias puesto que si la humedad decae por debajo del 35 %, la actividad microbiana descende y puede llegar finalmente a la inhibición. Es difícil estimar la humedad óptima, porque esta íntimamente relacionada con otros factores como el tamaño medio de las partículas y su estado de agregación, y en especial, el sistema de compostaje empleado. En la práctica la humedad puede reducirse mediante aireación por volteo. Un valor inferior al 40 % reduce la actividad de los microorganismos, y por debajo del 12 % el proceso de hace extremadamente lento por falta de actividad biológica.
- La relación superficie/volumen de las partículas, así como también la relación aire/agua en los intersticios entre estas, tienen una influencia directa sobre el modo de conducir la degradación y la velocidad de la misma. Cuando esta relación oxígeno/agua no alcanza el nivel crítico, el metabolismo microbiano se hace más lento, llegando a paralizarse la respiración.
- Características del sustrato:

#### Composición química elemental

La relación C/N de los residuos a comportar debe ser de un valor de 30, en el supuesto de que el sustrato sea rico en nitrógeno (leguminosas, rastrojos verdes, etc.), puede

haber pérdidas de este elemento en forma amoniacal, con lo cual la relación C/N disminuye durante el proceso. Por el contrario si el sustrato es deficiente en nitrógeno, el proceso se prolonga en el tiempo por este motivo se agrega una cierta cantidad de reserva nitrogenada que acelere el proceso, ya sea de origen orgánico o inorgánico (Climment, 1996; Guerrero, 1993)

### Constitución molecular

Los microorganismos solos pueden aprovechar los compuestos simples. Por ello, han de degradar las moléculas de estructura compleja y valerse de procesos enzimáticos más o menos complicados, en función de la molécula a degradar, hasta llegar a estructuras más sencillas. Para llevar a cabo el proceso necesitan de macronutrientes (nitrógeno, carbono, fósforo) esenciales para la reproducción celular; y de micronutrientes como boro, manganeso, cinc, cobre, hierro, molibdeno y cobalto, entre otros. Por su parte los micronutrientes desempeñan un papel decisivo en la síntesis de enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular.

- El tamaño de las partículas es fundamental. Cuanto mayor sea la superficie específica del sustrato, mejor y más rápido será el ataque microbiano, y con ello, se alcanzará una mayor actividad química. Por este motivo es conveniente trocear, desmenuzar y, mejor todavía moler el material de partida. La experiencia aconseja como tamaño adecuado entre 1 y 5 cm de diámetro. En el caso de comportarse de lodos, conviene tener en cuenta la baja porosidad de los mismos, y por tanto es necesario mezclarlos con otros materiales que confieran estructura apropiada para la aireación y la capacidad de retención hídrica y además sean preferentemente inertes desde el punto de vista químico, con el fin de que no se presenten reacciones simultáneas. el aserrín, la corteza de árboles, virutas de madera, paja molida, compost reciclado, residuos sólidos urbanos, cañas y tallos vegetales y restos de podas de árboles, son los productos más frecuentemente destinados para este fin. (Climent, et al, 1996)

### **La madurez y cosecha del compost**

El compost necesita un mes mas después de los tres volteos para estabilizarse y quedar listo para ser tamizado. Si su destino es la venta en sacos o bolsas en una malla de 1 pulgada, o estará listo para su aplicación directa si se va a aplicar al campo inmediatamente

Es recomendable que se mantenga la humedad adecuada hasta antes de la incorporación al suelo para tener los mejores resultados, no es conveniente dejarlos secar porque perdería su riqueza biológica, que representa una de sus principales ventajas.

Si no es posible su venta no debe almacenarse en sacos, sino a granel y en un sitio con sombra adecuada, para mantener su calidad.

### **b. Tecnología limpia en la producción de biogás y bioabonos**

El desarrollo obtenido en China e India del uso de biodigestores a nivel rural ha sido observado como una opción tecnológica para obtener energía (biogás) y fertilizante líquido (biol) al transformar residuos provenientes de los hogares y de las actividades

agrícolas. En 1978 China contaba con 7 millones de pequeñas plantas de producción de biogás.

En el Perú se incentivó en los años 70 la construcción de biodigestores del modelo denominado “chino” y del modelo “Indu” a nivel rural, siendo importante el rol asumido por el ITINTEC en determinar los criterios de diseño, sin embargo no tuvieron en cuenta una serie de consideraciones como el alto costo de construcción.

En las últimas décadas se han usado los biodigestores para los proyectos de desarrollo a nivel rural y se han hecho variantes sobre todo en el tipo de material, usándose mangas de plástico (polietileno), cilindros de plástico y otros tipos de materiales para contener los productos finales (biogás y biol).

En el presente documento se hace una revisión de los principios de un biodigestor y sus aspectos de operación y manejo para la obtención de biogás y de abonos orgánicos.

## **b.1) Biodigestores**

### **¿Qué es el biogás?**

El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire) y está constituido principalmente por gas metano y bióxido de carbono. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente.

### **Biodigestores**

Para diseñar, construir y operar plantas de biogás (llamadas biodigestores) es necesario conocer los procesos fundamentales involucrados en la fermentación del metano. El proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana, como por ejemplo la temperatura.

Razones para implementar biodigestores:

- Tratamiento de residuos, se pueden usar los residuos orgánicos de la preparación de alimentos (verduras, cereales, restos de grasas, carnes, restos de productos lácteos, otros), restos vegetales de las cosechas (rastros) y el estiércol de los animales domésticos (vacunos, porcinos, ovinos, cuyes).
- Producción de energía, se obtiene energía en forma de biogás y algunos resultados de pruebas realizadas estiman que por tonelada de residuos orgánicos se puede obtener entre 300 a 800 m<sup>3</sup> de biogás. En el caso de estiércol se puede obtener aprox. 383 m<sup>3</sup> de biogás / año y cabeza de ganado (vacuno).
- Incremento del valor de fertilizante del estiércol digerido, el estiércol adquiere mayor valor al obtenerse hormonas vegetales, reducir el mal olor y tenerse mejores condiciones de higiene.

- Utilización de áreas no cultivables, estos sistemas pueden usarse para fermentar pastos (ensilaje) que pueden ser mejor aprovechados por el ganado; y por otro lado se pueden cultivar plantas con determinadas propiedades (los nabos silvestres que contienen alto contenido de aceites) en áreas no cultivable para alimentar a los biodigestores.
- Ingresos adicionales, al obtener energía adicional y fertilizante.

### Procesos de obtención de biogás y biol

- Hidrólisis, es la transformación de grandes moléculas como el almidón y glucógeno, las grasas y las proteínas en sus unidades simples (azúcares, ácidos grasos, aminoácidos) por acción del agua y temperatura.
- Fermentación acida, es el proceso en el cual las unidades simples se transforman en ácido acético, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrógeno (gas).
- Fermentación del metano, en este proceso se transforma a partir del dióxido e hidrogeno el metano (CH<sub>4</sub>) y a partir del ácido acético se obtiene dióxido de carbono, ambos procesos ocurren por acción de las bacterias metanogénicas.

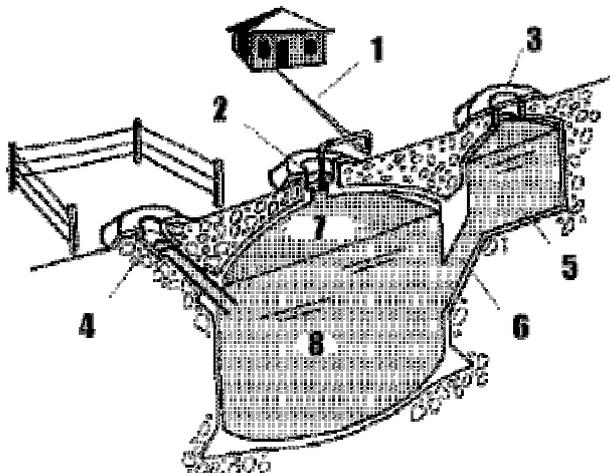
Composición del biogás (% v/v)

Gas	Rango	Promedio
CH <sub>4</sub>	51,8 - 85	65
CO <sub>2</sub>	14 - 48	34.8
H <sub>2</sub> S	0,08 - 5,7	0,2
H <sub>2</sub>	0 - 5	c.d.*
CO	0 - 2,1	c.d.
N <sub>2</sub>	0,7 - 7,5	c.d.
O <sub>2</sub>	0 - 1	c.d.

(\*) c.d.: casi despreciable

### Tipos de biodigestores

#### Modelo chino



Esquema del digestor chino:

1. tubería de salida del gas;
2. Sello removible;
3. Tapa móvil;
4. Entrada;
5. Tanque de desplazamiento;
6. Tubería de salida;
7. Almacenamiento de gas;
8. Materia orgánica.

**Biodigestores de cilindros plástico, orientado principalmente a la obtención del biol**



Botella con sistema para verificar la medición del biogás y asegurarse que el proceso funciona

**Biodigestores de manga de polietileno**



**Aspectos que alteran el proceso de digestión anaeróbica**

- La composición del sustrato: Es necesario tener en el biodigestor en cantidades adecuadas la materia seca y la materia volátil. También es importante tener una relación adecuada entre el Carbono y el Nitrógeno (relación C/N).
- Componentes que disturban la digestión, entre estos componentes se encuentran la madera, la paja gruesa, la arena y polvo, vidrio, metales y plástico.
- Componentes que inhiben el procesos, se ha determinado que hay gases y compuestos que van a inhibir el proceso y por tanto no se producirá biogás entre estos tenemos a: los ácidos grasos volátiles; el amoníaco (NH<sub>3</sub>); el H<sub>2</sub>S; componente trazas como los pesticidas, los desinfectantes, los anticuerpos y productos tenso-activos (detergentes); así como los metales pesados.
- Biodegradabilidad: Es preferible usar compuestos biodegradables como los azúcares complejos (glucosa, glucogeno), las proteínas y grasas.
- Manejo de residuos y propiedades de la digestión: Es necesario tener en consideración las distancias de transporte de los insumos a usar: es necesario prever condiciones adecuadas de almacenamiento, hay que tener consideraciones de higiene mínimas, y es necesario considerar las condiciones locales y regulaciones para la aplicación de los productos finales (biogás y biol).

### **c. Alimentación de cerdos con residuos orgánicos tratados**

El gran crecimiento urbano en América Latina involucra riesgos de contaminación ambiental, cuyos efectos en salud son resultado del manejo inadecuado de residuos sólidos, entre otros temas. Asociado a este manejo, la gran cantidad de personas, generalmente pobres, dedicadas a actividades informales de reciclaje, recolección, entre otros; cubren el déficit de manejo en condiciones no sanitarias y con evidente detrimento de su calidad de vida.

Los botaderos a cielo abierto y el manejo inadecuado de residuos orgánicos, han propiciado las crianzas no tecnificada de animales, en la mayoría de casos clandestinas, principalmente de cerdos, al margen del marco legal que incluso prohíbe el mal uso de ese tipo de residuos.

La falta de controles sanitarios, la mala práctica alimentaria, entre otros factores, condicionan la presencia de enfermedades, algunas de ellas zoonóticas como la cisticercosis, frecuente en la explotación tradicional de cerdos y considerada endémica en parte de Latinoamérica.

En los países de América Latina y El Caribe, la materia orgánica representan entre el 50 y 75% del total de residuos sólidos municipales<sup>1</sup> (Acurio G. et al, 1997), de los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento, el resto es confinado en vertederos o rellenos sanitarios; otro porcentaje es dispuesto inadecuadamente en botaderos o es destinado a la alimentación de cerdos, sin un debido control y procesamiento sanitario.

---

<sup>1</sup> Referidos a desperdicios de cocina, papeles, plásticos, depósitos de vidrio y metálicos, cartones, textiles, desechos de jardín, tierra, entre otros.

El reto de revertir esta situación recae directamente sobre los Gobiernos locales y el sector salud, al margen de la escasez de recursos que hasta hoy limitan la complementación de actores involucrados y la adecuada gestión integral de residuos.

En el ámbito latinoamericano existen ya importantes estudios y para el caso particular de Lima Metropolitana se conoce de antecedentes en crianza de cerdos con residuos orgánicos en condiciones sanitarias y de manejo poco favorables.

Las zoonosis desatendidas representan una carga financiera elevada para el individuo, la familia, la comunidad, el país e incluso la Región, ya que obstaculizan el desarrollo social y económico. Por ejemplo, en América Latina, unos 75 millones de personas viven en zonas donde la cisticercosis debida a *Taenia solium* es endémica, y aproximadamente 400.000 padecen la enfermedad sintomática en zonas donde la neurocisticercosis es la principal causa de epilepsia<sup>2</sup>.

La gran mayoría de los estudios de enfermedades relacionadas al cerdo, son referidos a la epidemiología y describen la enfermedad sin llegar a delimitar relaciones de causa efecto, por ello, aunado al esfuerzo de llevar a cabo un piloto en gestión de residuos, es necesario complementar la investigación en salud que establezcan claramente cual es el límite entre una crianza no tecnificada factible de ser reconvertida, de aquellas que necesariamente deban erradicarse.

En este contexto, se planteó la necesidad de desarrollar un taller participativo para recoger la percepción institucional, principalmente pública, sobre la gestión y seguimiento sanitario de residuos sólidos. Dicho taller, concretado el 29 de noviembre de 2005 en los ambientes del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y del Ambiente - CEPIS, dejó riquísimas contribuciones resumidas en el presente informe.

El insumo principal del taller, fue la propuesta denominada “***Riesgos a la salud por la crianza y consumo de cerdos alimentados con residuos orgánicos y alternativa de gestión integral para su aprovechamiento***”, dicha propuesta, presentada por CEPIS - Lima, sirvió de base para el proceso de análisis en torno de los residuos sólidos. Élla, en resumen, fue puesta a consideración de entidades públicas de distintos niveles de gobierno, Nacional y Local. Socializada en convocatoria al taller, la propuesta pretendió dar inicio a un nuevo espacio de articulación institucional para abordar los temas relacionados a los residuos, tanto en gestión como en salud pública.

### **c.1) Alcances del Taller**

#### **Aportes grupales**

A manera general y como introducción al análisis, los grupos refirieron lo siguiente:

- Las iniciativas en residuos sólidos deben acompañarse de decisión política.
- Para tratar temas de gestión municipal en RS, es preciso hablar también de saneamiento y servicios básicos.
- Será preferible concentrarse en el tema de salud por el uso de residuos, dejando lo ocupacional para paralelas.
- Tomar en cuenta que los municipios tienen ingerencia sobre los residuos y no sobre la crianza de cerdos.

---

<sup>2</sup> 14ª Reunión Interamericana a nivel Ministerial en Salud y Agricultura – RIMSA, Abril de 2005. Las enfermedades desatendidas en las poblaciones postergadas, con énfasis en las zoonosis. RIMSA 14/18 (Esp.)

- Considerar que las iniciativas serán particulares a cada gobierno local, dado que tienen diferencias funcionales y de organización.

### Desarrollo de temas comunes

<b>a) Sobre la propuesta y sus objetivos:</b>		
<u>Grupo 1</u> <i>Segregación de residuos y crianza de cerdos: Lineamientos de formalización</i>	<u>Grupo 2</u> <i>Marco legal, concertación institucional y operación de propuesta</i>	<u>Grupo 3</u> <i>Salud pública y crianza de cerdos con residuos</i>
Es esencial un componente político para darle sostenibilidad.	Formular objetivos de manera más precisa. Considera que los riesgos están ya determinados, por ello se propone hablar de programas para mejorar el uso de residuos orgánicos en condiciones sanitarias óptimas.	Diferenciar dos propósitos: 1.- Mejorar las condiciones sanitarias actuales del manejo de RSO para la crianza de cerdos. 2.- Promover el reciclaje de RSO a través de programas municipales, empresas privadas y públicas, ente otras.

<b>b) Debilidades técnicas y operativas de la propuesta:</b>		
<u>Grupo 1</u> <i>Segregación de residuos y crianza de cerdos: Lineamientos de formalización</i>	<u>Grupo 2</u> <i>Marco legal, concertación institucional y operación de propuesta</i>	<u>Grupo 3</u> <i>Salud pública y crianza de cerdos con residuos</i>
Hay mecanismos y normatividad en el tema de crianza de cerdos que fiscaliza en vez de incluirlos como aliados. Superposición de normas hace que responsables no actúen. Falta de normas específicas complementarias sobre el tema de crianzas. Incumplimiento de competencia institucional.	Analizar la propuesta en el marco de tratados de libre comercio. Se promueve únicamente iniciativas bajo la normatividad aprobada por Salud y Agricultura. Ley de residuos no especifica el rubro de los orgánicos. Falta el marco legal favorecer la coordinación multisectorial e interinstitucional. Establecer una lógica secuencial entre los componentes de salud y gestión.	Falta prioridad sobre propósitos en manejo de RS para uso en cerdos. Falta de diagnóstico situacional respecto a crianza porcina y manejo de RS para alimentación. La problemática no se encuentra inserta en agenda del manejo y gestión de los residuos sólidos. No se establece límites de participación de involucrados.

<b>c) Actividades y mecanismos a incluir:</b>		
<u>Grupo 1</u> <i>Segregación de residuos y crianza de cerdos: Lineamientos de formalización</i>	<u>Grupo 2</u> <i>Marco legal, concertación institucional y operación de propuesta</i>	<u>Grupo 3</u> <i>Salud pública y crianza de cerdos con residuos</i>
Énfasis a la salud ocupacional y al manejo de la crianza de cerdos respecto del público consumidor.	Se debería hablar para residuos orgánicos solamente de generación en la fuente. La clave de la propuesta será el reciclaje en la fuente. Desde el gobierno local, promover empresas privadas de procesamiento y transporte de RSO.	Constituir un grupo técnico sanitario y ambiental que promueva e implemente un plan de gestión integral de RSO.

## Desarrollo de temas específicos

d)Mecanismos importantes para la formalización.	d)Mecanismos importantes para la institucional.	d)Estudios complementarios (gestión de residuos y salud).
<u>Grupo 1</u> <i>Segregación de residuos y crianza de cerdos: Lineamientos de formalización</i>	<u>Grupo 2</u> <i>Marco legal, concertación institucional y operación de propuesta</i>	<u>Grupo 3</u> <i>Salud pública y crianza de cerdos con residuos</i>
Estudio de diagnóstico integral (Historial de iniciativas, fuentes de generación por tipos, costo beneficio). Trabajar por fases: Mejoramiento del sistema actual de crianza (Asistencia técnica), Promover crianza como gestión de residuos, previo sustento de los estudios técnicos.	Uso de RS como combustible para el calentamiento de los RSO. Propuesta de marco legal base, como referencia general para las municipalidades. Educación sanitaria a la comunidad para fomentar cultura en la gestión de RS.	A nivel de criadores: Enfermedades de piel, respiratorias, gastrointestinales, oculares, otras Enfermedades por conductas sociales, Cisticercosis y Teniasis, pues éstas no son un problema de manejo de RSO. Evaluación de enfermedades zoonóticas: correlación entre infección animal y humana (leptospira, toxoplasma, salmonella, etc.). Validación de tecnologías apropiadas en la crianza de cerdos asociadas al manejo de residuos para su alimentación.  A nivel de consumidores: 1.- Inocuidad de la carne y subproductos.

## Aportes de la asamblea al trabajo grupal

Al grupo 1	Al grupo 2	Al grupo 3
Propuesta de sistema de focalización de criadores, no solo para agruparse, también para cambiar la forma de crianza. La problemática es de amplitud macro. Será recomendable trabajar bajo el enfoque de abajo hacia arriba.	Como viabilizar las empresas privadas de procesamiento y transporte (licitación, otros). Trabajar con iniciativas de asociaciones locales. Solicitar el concurso de entidades privadas y asociaciones civiles como apoyo a municipios.	Definir el sistema productivo para la intervenir. Propuesta de coordinación entre universidades, institutos y el estado para transferencia de conocimiento a los criadores. Propuesta de información adecuada para medios de comunicación masiva.

## c.2) Conclusiones

### Sobre generalidades

- Toda propuesta de gestión de residuos en ámbitos municipales, debe contar con el apoyo político de sus autoridades, como estrategia de implementación<sup>3</sup>.
- Para el caso de crianzas de cerdos con residuos, se incluye solamente la no tecnificada, excluyendo aquellas en torno de botaderos, dada su prohibición e inviabilidad sanitaria.

<sup>3</sup> Cuándo las iniciativas rebasan el alcance de las normas, es necesario el apoyo político para complementar el marco legal.

- La solución a la problemática en RS no está únicamente en la erradicación de crianzas informales, podría favorecer el incluir en el sistema de gestión a segregadores y productores no tecnificados<sup>4</sup> como socios estratégicos.
- Es preciso contar como insumo básico con el diagnóstico del uso de residuos municipales, para determinar qué y cómo hacer; sobre esta base, podrá buscarse el apoyo político<sup>5</sup>.
- Existen instrumentos legales en camino de ser expedidas por SENASA y DIGESA.

### **Sobre los temas comunes**

- Se ha determinado dos ideas claves dentro del objetivo general, no obstante este objetivo, podría tratar con mayor fuerza una sola y dejar el detalle para los objetivos específicos<sup>6</sup>.
- La propuesta es inminente de implementar como piloto, pues aun con normas prohibitivas, es un hecho la crianza en condiciones poco favorables.
- El riesgo a la salud por la crianza informal de cerdos, es innegable en la percepción de todas las instituciones.
- Las propuestas de solución requieren de intervenciones multisectoriales y la participación de diferentes niveles de gobierno.

### **Sobre los temas específicos**

- La formalización requerirá de un estudio sistematizado de iniciativas anteriores, como insumo básico para el análisis de implementación.
- La formalización deberá ser planteada con un trabajo a desarrollar por fases.
- Deberá analizarse el contexto del uso de residuos como agentes combustibles en el aprovechamiento de residuos orgánicos.

### **Sobre la propuesta**

- Es primordial tener en cuenta las responsabilidades y competencias de cada sector y nivel de gobierno, de esta forma podrá delimitarse la participación de los involucrados.
- La temática supera la propuesta, no podrá abarcarse todos los temas por limitaciones de tiempo y presupuesto.
- La amplitud de la temática, nos lleva a establecer puntos de prioridad, dando énfasis a la temporalidad en que pudieran ser cubiertos; es decir, corto, mediano o largo plazo.

---

<sup>4</sup> Como se ha referido anteriormente, los criadores no tecnificados son aquellos cuyo sistema utiliza residuos orgánicos obtenidos en lugares distintos a botaderos informales; vale decir, centros de expendio de alimentos, mercados, entre otros. En este caso, el proceso de formalización pasa por ser aceptados como parte de la estrategia municipal en el sistema de gestión de residuos, bajo parámetros técnicos definidos por las autoridades competentes. Podemos hablar de convenios entre generadores y segregadores con supervisión municipal, definiendo para ello esquemas de recojo y sistemas de pago por el valor de los residuos, entre ellos el trueque de residuos por animales como el mas usado.

<sup>5</sup> Este diagnóstico deberá sistematizar intentos anteriores de solución, para incluir cambios, mejoras y correcciones. Así mismo, deberá plantear conclusiones y recomendaciones al proceso, considerando ejes temáticos en botaderos, granjas informales, fuentes de generación, incluyendo tipos de residuos, calidad, formas de segregación, vehículos (Aquí se incluye a todo tipo de centro generador). El diagnóstico incluirá además una zonificación de las crianzas con residuos para estimar número de productores, magnitud de las crianzas y su impacto. Así mismo, deberá plantearse como estudio base para investigaciones futuras que pudieran determinar causas y efectos en la presentación de enfermedades. Tener en cuenta que las enfermedades pueden presentarse no solo en cerdos de crianzas informales, el manejo puede determinar su ocurrencia en granjas incluso tecnificadas, como el caso de la Salmonella.

<sup>6</sup> Proponen el siguiente Objetivo general: "Proponer un sistema que permita el aprovechamiento de residuos orgánicos para alimentar cerdos en condiciones sanitarias y ambientales adecuadas".

### c.3) Recomendaciones

#### Sobre la propuesta

- Llevar la propuesta para ser incluida dentro de la Estrategia Nacional de Residuos Sólidos.
- Dar énfasis a la propuesta, principalmente para segregación en la fuente.
- Incluir en la propuesta un componente de fortalecimiento institucional para la continuidad de enfoques de gestión (El componente deberá incluir capacitación de personal y complemento de cuadros técnicos).
- Establecer una lógica secuencial y temporal para la implementación de los componentes salud y gestión.

#### Sobre la concertación de instituciones

- Establecer una red de enlace entre instituciones relacionadas con la gestión de residuos, las que serán apoyadas por organismos de índole técnica<sup>7</sup>.
- Cada institución conoce la problemática desde su visión y puede determinar los alcances de su participación.

#### Sobre los próximos pasos

- Determinar, a manera de guía, cuáles serían las condiciones sanitarias adecuadas para la crianza de cerdos con residuos.
- Expresar el rango de acción sobre la problemática en salud y el uso de residuos sólidos para no plantear la legalización del uso de residuos como competencia de la crianza tecnificada y formal.
- Gobiernos locales pueden crear la conciencia en manejo de residuos en su población.
- Establecer espacios de diálogo con agentes que utilizan RS, no utilizar únicamente la represión mediante normas.
- Acotar el objetivo general en términos alcanzables con el concurso de las instituciones: *“Proponer sistemas y mecanismos que permitan el aprovechamiento de residuos orgánicos para alimentación de cerdos sanitariamente adecuada”*.

#### Para las instituciones

- Buscar la institucionalización del tema dentro del plan estratégico nacional, como prioridad en los próximos años.
- Centralizarse en el aspecto de salud y agricultura urbana.
- Enfocar la producción de cerdos como sistema de vida.
- Dar al municipio alternativa de manejo de residuos.
- Buscar el soporte político a la propuesta técnica.

#### Consideraciones prioritarias

##### Para ser desarrolladas en el corto plazo

---

<sup>7</sup> Caso CEPIS y CIP.

- Estudio de complementación, donde se sistematice los alcances en salud ligados al uso de residuos sólidos. Dicho estudio, ordenará temáticamente lo trabajado principalmente por iniciativas institucionales<sup>8</sup>.
- Estudio de sistematización, con las experiencias mas resaltantes en el correcto aprovechamiento de residuos sólidos, principalmente orgánicos; con énfasis, en la participación de gobiernos locales<sup>9</sup>.
- Implementar una red institucional o espacio técnico de análisis de la problemática en torno de residuos sólidos.

### **Para ser desarrolladas en el mediano y largo plazo**

- Proponer sistemas y mecanismos que permitan el aprovechamiento de residuos orgánicos para alimentación de cerdos sanitariamente adecuada.
- Estudio comparativo entre las crianza tecnificadas y formales con aquellas desarrolladas en condiciones probables de ser mejoradas y formalizadas<sup>10</sup>.
- Propuesta integral de gestión de residuos en concurso con entidades de apoyo, para el seguimiento paso a paso desde la generación hasta la disposición final (Proyecto Piloto Municipal).
- Análisis de saneamiento básico en ámbitos municipales, como línea de referencia para los planes de gestión e infraestructura.
- Análisis del marco legal de gestión de residuos sólidos, principalmente para las propuestas de normas complementarias<sup>11</sup>.
- Estudio de ordenamiento municipal, acorde a modelos integrales de gestión de residuos<sup>12</sup>.

La producción de porcinos en barrios periféricos de los centros urbanos, demanda la implementación de proyectos de investigación de métodos alternativos de alimentación a partir de residuos sólidos orgánicos domiciliarios, que no impliquen riesgos para la salud pública, animal y ambiental y que resulten viables económicamente.

#### **d. Producción de Biodiesel**

En la búsqueda de substitutos del petróleo y sus derivados se tiene en la producción de aceites de origen animal y vegetal, Biodiesel, una alternativa para los motores de encendido de chispa (ignición – compresión), especialmente los motores de los autos, de los ómnibus y de los tractores.

<sup>8</sup> Para el desarrollo de esta actividad, dada su participación en el taller, será valioso el aporte de las siguientes instituciones: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS, Organización Panamericana de la Salud – OPS, Dirección General de Salud - DIGESA, Proyecto PNI-COP de la Dirección General de Salud – DIGESA, Oficina General de Epidemiología – OGE del Ministerio de Salud, Direcciones de Salud del Ministerio de Salud (DISA I, II, III y IV), Centro Nacional de Salud Ocupación – CENSOPAS del Ministerio de Salud, Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA del Ministerio de Agricultura, Dirección de Zoonosis y Prevención Sanitaria de la Municipalidad Metropolitana de Lima, Municipalidad Distrital de Lince, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Proyecto de Eliminación de Cisticercosis Peru Research, Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de La Molina,

<sup>9</sup> Destacan experiencia como la presentada en el taller por el Programa Cosecha Urbana del Centro Internacional de la Papa, ubicada en una localidad de Hanoi – Vietnam, que utilizan los residuos orgánicos de la ciudad en crianzas de cerdos. Así mismo, destaca la experiencia de la Municipalidad Metropolitana de Lima y su proyecto parque porcino Manchay, el cual destacó la participación del gobierno local, productores y sociedad civil (Estas y otras iniciativas fueron incluidas en la Propuesta “**Riesgos a la salud por la crianza y consumo de cerdos alimentados con residuos orgánicos y alternativa de gestión integral para su aprovechamiento**”, presentada como insumo para el desarrollo de taller.

<sup>10</sup> No se consideran las crianzas clandestinas en torno de botaderos municipales.

<sup>11</sup> Punto a tratar con los Gobiernos Locales, Ministerio de Salud y Ministerio de Agricultura.

<sup>12</sup> Para determinar la correcta inclusión del sistema de gestión integral de residuos sólidos en la estructura orgánica y funcional de los gobiernos locales.

Existen dos ventajas importantes que presenta el biodiesel frente a los aceites crudos y refinados, la primera es su alta pureza y la segunda es su viscosidad, esta última evita la formación de depósitos y la vaporización en frío.

Desde el punto de vista económico y ecológico, existe un amplio rango de materias primas para la producción de biodiesel, en particular grasas que son parte de residuos de aceites vegetales (soya, maní, girasol, lino, palma aceitera, colza o nabo silvestre, higuierilla, aceites derivados del coco, aceite para freír usado).

Para producir el biodiesel, el aceite se extrae de la semilla cultivada, dejando atrás harina de semilla que puede usarse como forraje animal. El aceite es refinado y sometido a la transesterificación, lo que produce glicerina como un derivado. A partir de esta glicerina se pueden formar jabones.

El biodiesel puede usarse en su forma pura (100% biodiesel) o mezclado en cualquier proporción con diesel regular para su uso en motores de ignición a compresión.

El biodiesel puro es biodegradable, no tóxico y esencialmente libre de azufre y compuestos aromáticos, sin importar significativamente el alcohol y el aceite vegetal que se utilice en la transesterificación. Esto es importante para mantener un aire limpio.

Esta nueva alternativa nos presenta su uso en el transporte de carga, masivo o a nivel comunal. En Estados Unidos de Norte América existen varias flotas de ómnibus escolares y de transporte público que usan biodiesel. Así también en la Universidad Nacional Agraria La Molina en Perú, se está utilizando biodiesel, elaborado con aceites del mismo comedor universitario para uno de los ómnibus de transporte de los estudiantes.

#### **d.1) ¿Qué es el biodiesel?**

El biodiesel es un combustible líquido muy similar en propiedades al aceite diesel, pero obtenido a partir de productos renovables, como son los aceites vegetales y las grasas animales.

En Europa, es producido principalmente a partir del aceite de la semilla de canola (también conocida como colza o rapeseed) y el metanol, denominado comercialmente como RME (Rapeseed Methyl Ester), el cual es utilizado en las máquinas diesel puro o mezclado con aceite diesel, en proporciones que van desde un 5% hasta un 20%, generalmente. En Alemania y Austria se usa puro para máximo beneficio ambiental.
---

#### **d.2) Proceso de producción**

##### **Breve historia**

La utilización de aceites vegetales como combustibles data de 1900, cuando Rudolph Diesel lo utilizó por primera vez en su motor de ignición. Sin embargo, fue hasta el año de 1970 que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética y el elevado costo del petróleo.

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la

primera planta piloto productora de RME (Rapeseed Methyl Ester - metil éster de aceite de semilla de colza).

Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiésel en automóviles.

### **Proceso RME**

A partir de la experiencia de Silberberg y del proceso químico de Fischer - Tropsch se han establecido a nivel piloto y de las plantas industriales el sistema RME, en castellano transesterificación de los glicéridos, utilizando catalizadores.

Primero hay que eliminar impurezas a través de un filtro (que puede ser un paño o colador) y luego el agua, a través de calentamiento a 100 °C. Luego el aceite es inicialmente calentado a la temperatura de proceso óptima, y son agregadas cantidades necesarias de metanol y catalizador. Luego de ser mezclado, el producto es transportado hacia dos columnas conectadas en serie. La transesterificación tiene lugar en esas columnas y la glicerina pura es liberada mediante decantación.

Los ésteres son lavados dos veces con agua acidificada. La glicerina obtenida es separada de los ésteres en pocos segundos, de ese modo es posible obtener biodiésel de muy alta calidad, el cual cumple con todos los requerimientos de las normas estándar americanas. El glicerol para ser utilizado debe ser refinado.

### **Expectativas**

Las expectativas de estudios hechos en Europa y EEUU, y recientemente en países de América Latina, es de que puede ser una alternativa frente a la escasez del petróleo y sus altos costos. Se estima un crecimiento de su producción debido a algunas características de producción agrícola como en el caso de Argentina con la producción de soja.

#### **Cuadro N° 1 Ventajas del biodiesel**

- No requiere mayores modificaciones para su uso en motores diesel comunes.
- Es obtenido a partir de aceites vegetales, totalmente renovables.
- Permite al productor agropecuario autoabastecerse de combustible.
- Permite a países agrícolas independizarse de los países productores de petróleo.
- Tiene un gran poder de lubricación y minimiza el desgaste del motor.
- Presenta un menor nivel de emisiones gaseosas de combustión nocivas.
- Su rendimiento en motores es similar al del gasoil derivado de petróleo.
- Puede utilizarse en mezclas con gasoil común en cualquier proporción.
- No requiere cambios de infraestructura para su adopción.
- No altera sustancialmente el consumo.
- Reduce en gran medida los humos visibles durante el arranque.
- Posee una gran biodegradabilidad, comparable a la de la dextrosa.
- Es aproximadamente diez veces menos tóxico que la sal común de mesa.
- Su transporte y almacenamiento es más seguro dado su alto flash point.
- Puede producirse a partir de cultivos abundantes en el país, como la soja.
- Ya ha sido probado satisfactoriamente por más de 20 años en Europa.

- No contiene azufre, y permite el uso de catalizadores.
- Los proyectos de inversión asociados son una buena fuente de empleos.
- El olor de combustión asemeja el olor a fritura, a diferencia del olor del gasoil.

### **d.3) Costos**

La producción del biodiesel es mucho más cara que el diesel convencional a partir de recursos fósiles. Sin embargo, en partes de Europa, tales como Alemania y Austria, su precio al consumidor es levemente menor que aquel del diesel convencional porque el biodiesel está exento del impuesto al aceite o petróleo mineral: al momento de ser esto impreso, el precio del biodiesel en Alemania, por ejemplo, era de alrededor de 0,76 euros/litro (2,67 US\$/galón), comparado a 0,79 euro/litro (2,77 US\$/galón) para el diesel regular. Esta ventaja económica no refleja los costos de producción, los cuales son significativamente mayores para el biodiesel que para el diesel regular. De aquí que la viabilidad del mercado del biodiesel depende en gran medida del apoyo del gobierno.

En los EE UU, el Departamento de Agricultura ha establecido un subsidio para los refinadores que usen aceite de soya como una materia base del biodiesel. Además, los operadores de flota que se rigen por las normas de combustibles del Energy Policy Act de 1992 (EPAAct) pueden exigir créditos de combustible alternativo para la porción de biodiesel del combustible que ellos consumen.

Algunas autoridades de tránsito que usan mezcla de biodiesel han informado menores costos de mantención que aquellos para los vehículos que solamente usan diesel convencional.

### **d.4) Experiencias y penetración en el mercado**

En Europa y los EE UU, el biodiesel es producido y utilizado en cantidades comerciales. En 1998, la DOE en EEUU designó al biodiesel puro ("B100") (100%), como un combustible alternativo y estableció un programa de créditos para el uso de biodiesel. Sin embargo el biodiesel mezclado, cuya forma más común se llama B20 (20% biodiesel, 80% diesel convencional), no ha sido designado como un combustible alternativo.

En los EE UU, flotas de carga mediana y liviana que son centralmente llenadas de combustible en el medio oeste y en el este son actualmente las principales usuarias del combustible biodiesel. Las porciones del mercado total son bajas: por ejemplo, en Alemania, donde el biodiesel está disponible en cerca de 1.000 de un total de 16.000 estaciones de llenado de combustible, la participación del biodiesel está en el orden de 0,3% del diesel vendido, lo cual equivale a 100.000 t. Se espera que esto se eleve a quizás 300.000 en el futuro anticipable, pero incluso los optimistas no esperan que la participación se eleve por sobre un 5%-10% como máximo. Al 2005 la Unión Europea presenta un 1,4 % de biodiesel en el total del mercado de combustibles (UFOP, 2006).

Varias flotas de buses escolares y de transporte público están usando biodiesel en los EE UU.

Según (Joyce, M.), el uso del biodiesel como un combustible alternativo (esto es, en su forma pura) no se espera que sea importante, pero como una mezcla puede aumentar en

los EE UU y en otras partes, aunque quizá principalmente en flotas cautivas con llenado de combustible central o nicho de mercado en áreas ambientales sensibles.

#### **d.5) Limitaciones**

Dentro de las principales limitaciones del biodiesel podemos mencionar sus altos costes de producción y su capacidad de producción limitada, pueden observar en el siguiente cuadro otras más.

**Cuadro: Limitaciones del biodiesel**

- Presenta elevados costos de materia prima, por las cantidades.
- Su combustión puede acarrear un aumento de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).
- Presenta problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C)
- Presenta escasa estabilidad oxidativa, y su almacenamiento no es aconsejable por períodos superiores a 6 meses.
- Su poder solvente lo hace incompatible con una serie de plásticos y elementos derivados del caucho natural, y a veces obliga a sustituir mangueras en el motor.
- Su carga en tanques ya sucios por depósitos provenientes del gasoil puede presentar problemas cuando por su poder solvente "limpia" dichos depósitos, acarreándolos por la línea de combustible.

#### **e. Recuperación de aceites y lubricantes**

El desarrollo industrial y comercial de las últimas décadas ha estado acompañado de un proceso de urbanización acelerada y de un aumento en la concentración de la población. Tanto las industria, como los comercios y la población han aumentado de la demanda por materias primas, productos y energía, lo que ha generado un aumento de los residuos que al no ser tratados adecuadamente afectan nuestro ambiente en forma negativa.

En muchas industrias y comercios existe un problema ambiental-la gestión de aceites usados- que no se esta manejando en forma adecuada debido a la gran informalidad y falta de alternativas técnicas, produciendo como consecuencia, graves problemas de contaminación.

Este inadecuado manejo de los aceites usados, sumado a la falta de conciencia y cultura ambiental de los trabajadores y empresarios, a la carencia de normativa técnica sobre el tema y a la falta de sistema formales de almacenamiento, recolección y aprovechamiento del aceite usado, ocasiona, entre otras causas, los siguientes problemas:

- La contaminación del suelo por derrames y disposición inadecuada de aceites usados. El suelo fértil se pierde definitiva e irreversiblemente.
- La contaminación del agua superficial y subterránea por la presencia de aceites usados. Presencia de metales pesados y químicos tóxicos.
- La contaminación del aire por la quema de aceites usados como combustibles, sin la tecnología ambiental necesaria (ladrilleras, fundiciones, saunas, etc.).
- El deterioro de tuberías y alcantarillado por la presencia excesiva de aceites usados. Estos aceites generan atoro o aniego de las tuberías por la solidificación de las grasas, especialmente en pendientes planas.

- El incremento de los costos de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de aguas residuales.

Por toda problemática anterior expuesta, fue necesario desarrollar un proyecto basado en la gestión ambiental de aceites usados. Este garantizaría la buena gestión ambiental en el acopio, almacenamiento, transporte y en su posterior tratamiento en la planta de re-refinación de aceites usados.

### **e.1) Análisis de la propuesta de solución planteada**

En el diseño preliminar de este proyecto para manejar ambientalmente los aceites usados, se analizaron dos alternativas de tratamiento o de aprovechamiento final.

- El aprovechamiento energético en cementeras y ladrillera formales.
- La re-finación o regeneración.

El aprovechamiento energético consiste en utilizar el poder calorífico de los aceites usados como producto alternativo a los combustibles industriales. Esta modalidad requiere de un tratamiento previo y del control de las emisiones gaseosas.

La re-finación o regeneración de los aceites usados consiste en un conjunto de etapas o procesos petroquímicos que se inicia con la destilación inicial, luego continúa con la acidificación, la neutralización, el clarificado, el filtrado, el aditivazo y el envasado.

Luego de diversos análisis, se descartó la primer opción debido al poco o nulo control ambiental (o posibilidad de hacerlo) de las emisiones generadas al aire. En el Perú solo existen parámetros de control de emisiones gaseosas para los combustibles industriales y no para los aceites usados. Es por ello que la propuesta de solución que plantea el proyecto consiste en fomentar la gestión ambiental de los aceites usados en pollerías, restaurantes, lubricentros, grifos e industrias en general.

### **e.2) Etapas que se ejecutaron en el proyecto**

- **Generación de conciencia y cultura ambiental en los empresarios y trabajadores de las empresas generadoras, sensibilizando a sus clientes en el tema ambiental.**

Para el desarrollo de esta etapa fue necesario elaborar una serie de materiales educativos (cartillas y stickers) y utilizar otros que forman parte del modulo educativo del IPES (afiches, videos, guías, separatas, etc.). Estos materiales son los instrumentos que se han utilizado en los talleres de sensibilización y capacitaicon dirigidos a empresarios y trabajadores de las empresas generadoras y de la empresa recicladora, y en las campañas de sensibilización ambiental dirigida a la población en general.

Los talleres se realizaron en cada una de las empresas generadoras, en horarios establecidos de acuerdo a la carga laboral de cada una de éstas. La metodología con la que se desarrollaron los talleres se basa en el aprendizaje de los participantes, respetando sus conocimientos previos, fomentando su creatividad y la producción del conocimiento. Se utilizó una metodología dinámica, con un lenguaje sencillo y diferentes técnicas participativas.

- **Implementación de sistemas de almacenamiento y recolección de los aceites usados producidos por las empresas generadoras.**

Se han implementado sistemas de almacenamiento de aceites usados siguiendo la normativa técnica internacional que establece como mínimo la utilización de dispositivos debidamente rotulados con el término “ACEITE USADO”

Los dispositivos de almacenamiento implementados (cilindros, tanques y baldes) corresponden a las características de los generadores (tipo de aceite usado generado, volumen de generación y espacio disponible).

Se han implementado los siguientes dispositivos de almacenamiento:

Residuo	Tipo de Residuo	Capacidad	Material	Características
Aceite usado comestible	Balde	5 galones	Plástico polipropileno	Color: Blanco/Altura:0.50m Diámetro : 0.35m Otros: Rotulado y con tapa.
Aceite Usado Mineral	Cilindro	55 galones	Fierro	Color: Azul/Altura:1.10m Diámetro: 0.60m Otros: Rotulado y con embudo para facilitar el ingreso del aceite usado.
Aceite Usado mineral	Tanque	128.40 galones	Fierro	Color : Azul/Altura:0.90m Base: 0.90x0.60m Otros: Rotulado: base metálica; ingreso por la parte superior con su respectiva malla; válvula de salida del aceite usado; y candado de seguridad para las válvulas

El sistema de recolección implementado depende del tipo de generación de aceite usado, así, (i) en el caso de los aceites usados comestibles, el sistema consiste en el cambio de baldes llenos de aceite usado por baldes vacíos de iguales características, los cuales son colocados en la tolva de una camioneta para su posterior traslado hasta la planta recicladora; (ii) en el caso de los aceites usados minerales, el sistema consiste en el cambio de cilindros llenos de aceite usado por cilindros vacíos de iguales características y, en la succión del aceite usado desde los tanques de almacenamiento (a través de una bomba mecánica) hasta una camioneta cisterna, para su posterior traslado a la planta recicladora.

- **Implementación de mejoras en el desempeño ambiental de la planta de refinación de aceites usados para que reciba y trate estos residuos.**

Las mejoras ambientales en la empresa recicladora han sido realizadas tomando como base inicial la identificación de aspectos e impactos y la priorización de los mismos. Estas mejoras han sido diseñadas por el personal técnico del IPES y de la gerencia de la empresa recicladora y ejecutadas por el personal operativo de la empresa y profesionales técnicos contratados.

Las principales mejoras ambientales realizadas son:

- Realización del Estudio de Impacto Ambiental (antes Programa de Adecuación Medio Ambiental) según requerimientos del Ministerio de Energía y Minas (MEM) por la consultora Desechos Industriales S.A.C.
  - Cementado y pintado de la fachada principal
  - Mejoras en cuatro reactores (tuberías, cementado, sistema de vacío, recirculación de gases no condensables).
  - Obtención de grasas aprovechando borras internas
  - Prueba piloto de filtros de aceites usados
  - Implementación de áreas verdes
  - Pintado de tuberías y tanques de acuerdo al MEM
  - Mezcladora de acidificación con aire comprimido
  - Cementado y pintado epóxico del patio de trabajo
  - Mejora del laboratorio
  - Implementación de contención secundaria de tanques
  - Mejora de servicios higiénicos
  - Mejora de las oficinas administrativas
  - Mejoras en los procesos de fabricación de grasas
  - Implementación del área ambiental en la empresa Marte
  - Implementación de respuestas en caso de emergencias
  - Utilización de equipos de protección personal: cascos, botas, mameluco, etc.
- **Desarrollo de normas técnicas de nivel nacional y de una Ordenanza Municipal de acción local para la gestión ambiental de los aceites usados**

La idea de trabajar las normas técnicas surgió debido a la ausencia de un marco normativo para los aceites usados, es así que a través del Comité Técnico de Normalización de Gestión Ambiental promovido por el Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAM) y el Instituto de Protección del Consumidor y la Propiedad Intelectual (INDECOPI), se constituyó el Grupo de trabajo “Gestión de Residuos Sólidos” que tomó como primer tema de trabajo a los aceites usados.

Este grupo está constituido por representantes de diversas instituciones públicas y privadas y es coordinado por el IPES. La metodología de trabajo consiste en reuniones quincenales donde se elaboran los documentos base de las normas, las que se analizan y discuten punto por punto hasta llegar a un consenso. Luego del cual el documento es aprobado por el Comité y remitido al INDECOPI, quien después del proceso de revisión y de consulta pública oficializa el documento como Norma Técnica Peruana (NTP).

A partir de la NTP se procedió a diseñar una Propuesta de Ordenanza Municipal para la gestión de aceites usados en el distrito de Villa El Salvador. Esta norma busca ordenar el sector de los aceites usados en el distrito con el objetivo de reducir la contaminación ambiental provocada por su inadecuado manejo.

### **e.3) Principales logros y tecnologías innovadoras**

El propósito del proyecto consiste en fomentar la gestión ambiental de los aceites usados en pequeñas empresas de Villa El Salvador (lubricentros, pollerías) y en medianas y grandes empresas de Lima y provincias (sector, industria, minería, transporte, petróleo entre otros).

De esta manera se tiene como finalidad disminuir la contaminación del aire, agua y del suelo, provocada por el inadecuado manejo de aceites usados.

Los objetivos o resultados esperados del proyecto fueron:

- Existe conciencia y cultura ambiental en los empresarios y trabajadores de empresas generadoras y de mayor sensibilización de sus clientes.
- Se cuenta con sistemas de manejo de aceites usados y producidos en lubricentros, pollerías y restaurantes y en otras empresas de generación fuera de la zona piloto.
- Las empresas encargadas del tratamiento y/o aprovechamiento de los aceites usados han mejorado sus desempeños ambientales e infraestructura y han implementado programas de seguridad industrial.

#### **e.4) Conceptualización y descripción de las innovaciones técnicas y prácticas validadas en el proyecto**

El fomento de la gestión de aceites usados no es común en países de vías de desarrollo donde existe poco control, mucha informalidad y desconocimiento de soluciones ambientales. Esta es la primera vez que se desarrolla un proyecto con este tema en el Perú.

Luego de analizar el problema se llega a la conclusión que es necesario fomentar la gestión ambiental de aceites usados para solucionar en forma definitiva el problema del inadecuado manejo de este tipo de residuos y sus impactos ambientales. Es por ello que se ha recurrido al modelo de solución ambiental desarrollado en el IPES denominado “Buenas Prácticas Ambientales” (BPA).

Una BPA debe desarrollar los siguientes aspectos:

- Investigación y desarrollo de soluciones ambientales
- Producción de materiales educativos
- Información y difusión
- Normatividad ambiental
- Asistencia Técnica
- Sensibilización y capacitación ambiental

En el caso de aceites usados, el tema se ha investigado desarrollándose un modelo de solución que involucra a los generadores y a los recicladores. Para ello se ha elaborado un paquete de normas técnicas y una ordenanza que permite sentar las bases para que se generalicen este tipo de soluciones.

#### **e.5) Recolección y transporte de aceite usado**

Este servicio consiste en recolectar y transportar aceite usado desde su lugar de generación.

Para este servicio se emplea:

- Camiones cisterna equipados con bombas de succión
- Camiones acondicionados para el transporte de cilindros
- Equipos de seguridad y de consistencia
- Personal experimentado y capacitado

#### **e.6) Re-refinación de aceite usado mineral**

La empresa cuenta con una serie de procesos para dar respuesta al concepto integral de re-refinación. Estos son:

- Recepción y descarga
- Decantación primaria
- Destilación
- Acidificación
- Neutralización
- Clarificación
- Filtración
- Aditivación

#### **e.7) Elaboración de grasas mecánicas**

En busca de optimizar el concepto de “generación de cero residuos” la empresa ha desarrollado una serie de procesos con el fin de aprovechar los residuos generados en la etapas de acidificación y filtrado (borras ácidas y arenas respectivamente). Lubrificantes Marte promueve el reciclaje de aceites comestible, insertándolos en el proceso productivo a través de las siguientes etapas:

- Saponificación
- Mezclado y aditivado

### **5. Desarrollo del proceso de gestión empleado para el manejo de residuos sólidos**

#### **a. Identificación de una política institucional**

¿Qué es el análisis de ciclo de vida?

Este concepto, conocido internacionalmente por la sigla LCA - Life Cycle Assessment, abarca mucho más que un estudio de balance de masa y energía. El análisis de ciclo de vida de un producto o servicio compatibiliza los impactos ambientales provenientes de todas las etapas involucradas: desde su concepción de mercado, planeamiento, extracción y uso de materias-primas, gasto de energía, transformación industrial, compostaje, reciclaje, transporte, consumo hasta su destino final - disposición en relleno sanitario, coprocesamiento térmico o incineración. De esta forma, el acompañamiento de vida de un producto es realizado desde su "nacimiento hasta su muerte". Una serie de normas ISO 14040 abarcan ese importante aspecto de producción.

¿Qué es eco-eficiencia?

El concepto de eco-eficiencia viene siendo adoptado por empresas del mundo entero, asegurando que sus sistemas de producción, productos y servicios se comprometan con una performance económica y ambientalmente correctas. En ese sentido, la empresa que busca la eco-eficiencia pasa a adoptar conductas como a minimización del consumo de materias-primas vírgenes y su substitución por material reciclado, concentrando esfuerzos para disminuir la toxicidad de sus productos y aumentar su vida útil; reduciendo el uso de energía eléctrica entre otros.

¿Qué es eco-design?

Hoy en día, el mercado mundial busca un padrón de producción y consumo optimizados desde el punto de vista económico, social e ambiental. El eco-design consolida la cultura de racionalidad de una empresa, que pasa a generar productos

concebidos a la luz de la ecoeficiencia, de la adopción de tecnologías limpias y de la prevención de la generación de residuos que produzcan impactos. Por lo tanto, el eco-design asegura que un producto sea proveniente del uso racional de energía, de agua y de materias-primas, incluido estudios de biodeterioro.

## **b. Planteamiento de objetivos**

Se requiere aún establecer una política más específicamente enfocada a los RSM, que considere el uso de los materiales y la recuperación de la energía. Un planteamiento así tendrá también implicaciones sobre otros problemas ambientales, como el manejo de los residuos industriales peligrosos, el efecto invernadero, la conservación de los recursos naturales, el desarrollo industrial ecológicamente sostenido y la disminución general de la contaminación.

Una política como está debe basarse en la doble estrategia de prevención de desechos y la gestión eficiente de la energía y los recursos materiales.

Entre los objetivos de la política que se plantee se deben considerar los siguientes:

- Establecer como prioridades nacionales la prevención y reducción de los RSM (con Objetivos de reducir su toxicidad y cantidad)
- Desarrollar una capacidad suficiente en materiales de gestión de RSM.
- Promover métodos de gestión de RSM, que den como resultado la recuperación de materiales y energía.
- Reglamentar dichos métodos de gestión, de modo que garantice una adecuada protección de la salud humana y del medio ambiente.
- Establecer los mecanismos adecuados para la aplicación y control de la gestión de RSM.

También es importante definir que las estrategias generales de gestión que se establezcan sean lo suficientemente flexibles como para permitir variaciones debidas a limitaciones regionales o locales, así como cambios y ajustes, en la medida en que transcurre el tiempo.

Otro factor importante para la implantación de mecanismo de gestión de los materiales a nivel local, es considerar a los RSM en términos de sus componentes y no como una mezcla inseparable. Este requisito se traduce en la necesidad de que algunos de los residuos domésticos y comerciales se conserven separados hasta en tanto sean recolectados, pues sólo así podrá la gestión de los residuos ser eficiente y económica. Adicionalmente, la separación de origen de los materiales reciclables produce residuos más limpios y uniformes, además de favorecer su venta en el mercado de materiales secundarios.

## **c. Elaboración de indicadores**

En el aspecto de las posibles opciones de política, lineamientos, normas, estrategias, legislación y reglamentación, se debe de trabajar en dos grandes áreas: participación del gobierno en el incremento y refuerzo de la capacidad institucional, dentro del marco de operación de la gestión de los RSM, así como en acciones y programas específicos relativos a reducción, reciclaje, relleno sanitario.

Muchas de las opciones están relacionadas, puesto que todas orientan hacia el logro de las metas fijadas y a la implantación de un marco operativo para la gestión de los RSM. En términos generales, los indicadores a plantear son los siguientes:

### **Marco institucional:**

- Planes municipales en materia de gestión de RSM con participación de las empresas.
- Coordinación eficiente de diversos esfuerzos
- Barreras al transporte (importación /exportación ) de los RSM
- Suficiente capacidad de gestión de RSM
- Procedimientos – patrón para definir nuevos lugares de disposición.
- Refuerzo de la capacidad de supervisión
- Inclusión en los Centros de información y divulgación.
- Participación en programas educativos y de concientización
- Incremento de la investigación y desarrollo tecnológico
- Programas de cooperación técnica internacional.

### **Prevención de desechos:**

- Información precisa sobre flujos y composición de RSM
- Metas de reducción de la cantidad de residuos
- Metas de reducción y toxicidad de los residuos
- Planes de adquisición de materiales reciclados
- Planes de prevención de desechos
- Prohibición de productos o materiales
- Promoción de uso de etiquetas que informen sobre reducción de fuentes.

### **Reciclaje:**

- Diseño de productos, envases y etiquetas.
- Cumplimiento de Normas técnicas.
- Guías generales de codificación y etiquetado de productos y envases
- Cumplimiento de la reglamentación de los sistemas de reciclaje.
- Evitar conflictos con reglamentos sobre residuos peligrosos.
- Desarrollo técnico y económico de mercados de materiales secundarios.
- Incentivos, subsidios, exportaciones /importaciones de materiales secundarios.
- Depósito, reuso, retornabilidad de envases, prohibiciones.
- Fomento de uso de materiales secundarios y de prevención de desechos.
- Bolsas de intercambio de residuos industriales y secundarios.

Los indicadores planteados anteriormente representa sólo un marco de referencia general, pues son las empresas las deben de plantear los métodos de gestión de los residuos y la jerarquía de los mismos. Para ello, deberán considerar factores como:

- salud humana,
- riesgos ambientales,
- costos relativos de cada método,
- disponibilidad de tecnologías,
- condiciones locales del mercado de los materiales secundarios y
- aceptación del público respecto de los diversos métodos.

#### **d. Medición de la satisfacción de los participantes**

Es la herramienta de gestión de la calidad que aplica la organización u institución durante el manejo de los RS con la finalidad de cumplir los objetivos planteados para prevenir y controlar la contaminación del suelo mediante el tratamiento adecuado de

los desechos sólidos municipales e industriales y el manejo correcto de las sustancias peligrosas.

Para medir la satisfacción se debe:

- Asegurar la recuperación, protección y conservación de los recursos naturales y el equilibrio de los ecosistemas"
- Contribuir que la educación se constituya en un medio para elevar la conciencia ecológica de la población, consolidando esquemas de comunicación que promuevan la iniciativa comunitaria.

En este ordenamiento se incluye también el ahorro de energía como factor esencial para reducir la emisión de contaminantes.

Así, considerado que la conservación de la energía y de los materiales forman parte de los objetivos que los métodos administrativos modernos de manejo y procesamiento de los residuos están diseñados de modo que garanticen la seguridad de la salud y del medio ambiente, puede establecerse un marco de referencia operativo y sugerirse las siguientes jerarquías para las estrategias de la gestión de los residuos sólidos municipales:

- Reducción en la fuente o en el origen (incluyendo reutilización).
- Reciclaje (incluyendo producción de compost)
- Incineración (con recuperación de energía) y rellenos sanitarios.

Se sugiere la reducción y aún la prevención total de generación, como la primera y mejor opción de la gestión, pues incide directamente en la disminución de residuos que requieren disposición de residuos que requerirán disposición final. Enseguida, se propone el reciclaje como segunda prioridad en la gestión de los RSM, por los beneficios que proveen en cuanto a conservación de recursos y por los ahorros de energía que se logran en la producción secundaria de envases al menos en los casos de aluminio y vidrio) al comparar con la energía requerida en la producción primaria de esos envase usado sólo materias primas vírgenes.

## **6. Fuentes de información**

- Proyecto FDI-CORFO: Generación de Capacidades Nacionales en Tecnologías Aplicables a Residuos Industriales Líquidos (1995-2000) - Guía Técnica de Producción Limpia. Rubro Pinturas. INTEC-CHILE, 1998.
- Proyecto Apoyo a la Gestión Medioambiental de la PYME a través del Fortalecimiento de la Oferta. Documentos de Difusión de Opciones de Gestión Ambiental. INTEC-CHILE, 1998
- Informe Final Proyecto de Prevención de la Contaminación EP3. Hagler Bailly Consulting, USAID-Chile/USA, Water Environment Federation, WEF-USA, Qualitek Consultores. Santiago, Chile, 1996.
- Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. Comisión Nacional del Medio Ambiente, 1998.
- Innovaciones en Tecnologías y Sistemas de Gestión Ambientales en Empresas Líderes Latinoamericanas. CEPAL, Santiago de Chile. 1995.
- Encuentro de Producción Limpia. Secretaría de Producción Limpia. Ministerio de Economía. 1999.
- Página WEB de Corfo: [www.corfo.cl](http://www.corfo.cl)

- Página WEB Secretaría Ejecutiva de Producción Limpia: [www.pl.cl](http://www.pl.cl)
- BID, 1997. Guías para Mejorar la Calidad Ambiental de las Operaciones de Crédito Para Microempresas.
- COFIDE, 1999. Programa de Credito Microglobal. Evaluación Ambiental Anual del Componente Ambiental. Informe Ex Post. OACA/ECOLAB SRL. Perú.
- COFIDE, 1998. Programa de Crédito para la Pequeña Empresa "PROMPEM" del BID y COFIDE.
- Propuesta de Desarrollo del Componente Ambiental. OACA/ECOLAB SRL. Perú.
- OACA, 1999. Resultados del Seminario "Eficiencia Productiva y Adecuación Ambiental en la Pequeña y Microempresa" Lima, 9 al 11 de junio de 1999. CONAM/ MITINCI/ USAID. Perú.
- USEPA, 1995. Centralized treatment Facilities for hazardous and nonhazardous waste generated by small and medium scale industries in newly industrialized countries. USA.
- Acurio G., Rossin A., Teixeira P., Zepeda F. 1997. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos en América Latina y El Caribe. BID – OPS, Washington D.C. No.ENV.97-107
- Basso L.R. y De Caro A. 2004. Evaluación económica del empleo de subproductos procesados de mataderos en la alimentación de cerdos. Revista de la facultad de agronomía, Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Berga A. y González M. 2001. Estrategias de minimización de vertidos en el sector agroalimentario. Revista Alimentación Equipos y Tecnología. 2001:20(158), pág. 95-102. España.
- Berganza J., De las Fuentes L., Guijarro J. y Garay I. Problemática y posibilidades de aprovechamiento de los subproductos generados en la industria alimentaria de la Comunidad Económica Europea. Alimentación Equipos y Tecnología. 2003: 22(175), pág. 91-94. España.
- Blanco G. y Santalla E. 2004. Argentina y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Una experiencia en la gestión de los residuos sólidos urbanos. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N° 76 Sep – Octubre 2004, pág. 88-96. AIDIS Argentina.
- Bustamante J. Suárez F. Estudio comparativo de frecuencias de Toxoplasmosis en porcinos procedentes de crianza tecnificada y no tecnificada. Rev Inv Vet Perú. 2000; 11 (1); Pág. 32-39
- De Aluja A., Villalobos A. Cisticercosis por *Taenia solium* en cerdos de México. Veterinaria México, 31 (3) 2000. Pág. 239-244.
- EVAL 2002. Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales. Informe Analítico Perú. CONAM – OPS. Noviembre 2003.
- Pérez R. 1999. Porcicultura intensiva y medio ambiente en México. Revista Mundial de Zootecnia. 1999(92), pág. 15-24. FAO
- Fontán C. A. 2004. Separación y reciclaje de residuos urbanos en grandes ciudades. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Número 76, pág. 84-87. AIDIS Argentina.
- García J. 2004. Gestión Integral de Residuos Sólidos. III Congreso Nacional de Ingeniería. Guatemala. 2004 (Documento Web)
- Lasso J. 1994. Contribución a la historia de la cisticercosis cerebral. Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de Neurología. Cuadernos de Neurología. Vol. XXI. 1994. Chile.
- Morales, G.; Pino L. A.; Sandoval, E. y Jiménez, D. 2005. Rol del cerdo en la transmisión de cestodos del hombre. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. N° 7 Enero – Abril 2005. INIA-CENIAP, Maracay.

- Municipalidad Provincial de Cajamarca. 2004. Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (Pigars – Cajamarca).
- Navarrete J.M. y León C. El manejo de residuos sólidos municipales en México y la participación del Banco Mundial. Revista de Comercio Exterior, Vol. 55, núm. 4, Pág. 348-361. México.
- RIMSAS 2005. Las enfermedades desatendidas en las poblaciones postergadas, con énfasis en las zoonosis. 14.a Reunión interamericana a nivel ministerial en salud y agricultura. RIMSAS 14/28 (Esp.). Organización Panamericana de la Salud OPS-OMS.
- Sánchez M. 2003. Residuos generados en la industria de transformados de productos vegetales y sus aprovechamientos. Alimentación Equipos y Tecnología. N° 173 Febrero de 2003, pág. 92-95. España.
- Santandreu A., Castro G., Ronca F., 2002. La cría de cerdos en asentamientos irregulares. Intendencia Municipal de Montevideo. Uruguay.
- Vaccari J. 1996. Experiencia de una propuesta de alternativa a la crianza de porcinos con basura. Programa Metropolitano Parque Porcino Manchay. IDMA. (<http://www.geocities.com/idma.geo/cerdos.htm>)
- <http://habitat.aq.upm.es/>
- Ministerio de Energía y Minas (Perú). Balance Nacional de Energía 1998. Lima: El Ministerio; 1998.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). Iniciativa Aire Limpio para Lima y Callao. Lima: El Ministerio; 2001.
- Mittelbach M. Diesel fuel derived from vegetable oils, VI: Specifications and quality control of biodiesel. Bioresource Technology 1996; 56: 7-11.
- Tickell J. From the fryer to the fuel tank: the complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel. 3rd ed. Covington (U.S.A): Tickell Energy Consultants; 2000.
- Zhang Y, Dubé MA, McLean DD, Kates M. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. Bioresource Technology 2003; 89: 1-16.
- Canakci M, Van Gerpen J. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. American Society of Agricultural Engineers 2001; 44(6): 1429-36.
- Álvarez P, Bustillo MD, Barriga F, Pereda J, Durán M. Producción de biodiesel a partir de residuos de industrias agroalimentarias. Revista Alimentación, Equipos y Tecnología 2003; 22(175): 83-90.
- Cualquier comunicación a los autores a los correos:
  - Dr. José Calle. Facultad de Ingeniería Agrícola – UNALM. [jcalle@lamolina.edu.pe](mailto:jcalle@lamolina.edu.pe)
  - Ing. Liliana Castillo Sánchez. Facultad de Industrias Alimentarias – UNALM. [lilianacast@gmail.com](mailto:lilianacast@gmail.com)
  - Ing. Javier Coello Guevara. Gerente Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos Soluciones Prácticas – ITDG. [jcoello@itdg.org.pe](mailto:jcoello@itdg.org.pe)

**ANEXOS**

**ESTUDIOS DE CASO**



El biodigestor de Bioagricultura Casa Blanca tiene una capacidad de diez metros cúbicos. La cámara central tiene tres orificios que están conectados: un orificio central que sólo se abre una vez al año, para la carga inicial y la descarga; un orificio lateral conectado a un tubo que va cerca del fondo de la cámara y que sirve para la alimentación periódica, y finalmente un tercer orificio conectado a una cámara lateral por donde sale el bioabono líquido o biol.

La carga inicial o carga de fondo con la que se alimenta cada año el biodigestor está constituida por un precompost que, en el caso de Bioagricultura Casa Blanca, es preparado a base de rastrojo de maíz y estiércol de cuy. Una tonelada de este precompost, que tiene de tres a cuatro semanas de preparación, y con una temperatura de entre 50 y 55° C, se introduce por la boca central y se mezcla con 200 litros de rumen o bazofia proveniente del estómago del ganado vacuno recién sacrificado; este material se obtiene de un matadero o camal de la zona, sólo una vez al año y, generalmente, de forma gratuita pues es considerado material de descarte. El rumen o basofia contiene una carga alta de microorganismos anaeróbicos responsables del proceso de fermentación y la producción de biogás, en particular de metano.

Luego se añade agua hasta completar un volumen de aproximadamente ocho metros cúbicos, dejando los dos metros cúbicos restantes para el almacenamiento del biogás en la parte superior de la cámara central del biodigestor. Inmediatamente, se procede a cerrar el orificio central con una tapa pesada sobre la cual incluso se colocan piedras para evitar que sea levantada por la presión del biogás producido.

### Cuyes en el corral



El cuy o cobayo o conejillo de la india (*Cavia porcellus*), se cría en los andes y su carne es fácilmente asimilable por el hombre.

Cada semana se alimenta el biodigestor con una mezcla de estiércol de cuy y agua, en proporción de 1:3, lo que nos permite contar con un volumen suficiente de gas para toda la semana.

Al cabo de un año de la alimentación inicial del biodigestor se hace la descarga, obteniéndose el bioabono sólido o biosol. En el modelo original, la descarga se realiza por el orificio central, lo que es muy incómodo y complicado. Para facilitar la descarga del biosol hemos efectuado una modificación al diseño original del biodigestor, que consiste en la construcción de una ventana lateral, que da a un ambiente contiguo al biodigestor, y está cerrada herméticamente con una tapa de hierro galvanizado, sujeta con pernos.

El biodigestor de Bioagricultura Casa Blanca viene funcionando eficientemente desde su construcción hace 10 años y gracias a la producción de biogás hemos podido ahorrar de manera significativa el costo de energía eléctrica de la casa.

Una vez que el biodigestor comienza a producir biogás (a los cinco o seis días en verano), esta energía puede ser utilizada como combustible en la cocina o para el alumbrado en forma directa, mediante lámparas de gas. Si se cuenta con un generador eléctrico que funciona con gasolina, previa modificación del carburador, se puede hacerlo funcionar con el biogás (metano) para producir electricidad.

Por otro lado, obtenemos de manera constante bioabono líquido o biol, que no sólo es un excelente abono orgánico para nuestros cultivos, sino que, por su contenido de fitohormonas, es un valioso activador del crecimiento y floración de las plantas, en particular de los frutales.

El tercer producto del biodigestor se obtiene anualmente al realizar la descarga, cuando se recolecta el bioabono sólido o biosol, el cual es un excelente abono para los cultivos.

Dado el creciente interés por los biodigestores, cada año, cuando vamos a descargar el biodigestor y volverlo a cargar, ofrecemos cursos con el lema «aprender haciendo», a través de los cuales los participantes pueden aprender de manera muy práctica cómo está construido un biodigestor, cómo funciona y cómo se descarga y se vuelve a cargar.

Sin lugar a dudas uno de los atractivos centrales de la chacra es observar el funcionamiento del biodigestor como parte de las labores de reciclaje que realizamos utilizando todos los residuos que la chacra produce.

(\*) Tomado de: Revista de Agroecología LEISA. Vol. 21(1):23-24.

## ESTUDIO DE CASO 2:

### OPCIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN EL PERÚ

Autores: Dr. José Calle Maraví  
Ing. Liliana Castillo Sánchez  
Ing. Javier Coello  
Ing. Paula Castro

#### INTRODUCCIÓN

El actual sistema energético mundial no es sostenible en el largo plazo debido a los impactos ambientales que genera y a la inequidad en su distribución. En el Perú, la energía primaria proviene aproximadamente en un 45% del petróleo y en un 30% de la leña<sup>1</sup>. En el caso específico de la Amazonía peruana, los poblados más aislados tienen un limitado acceso a la electricidad debido a la dificultad y el elevado costo de la prolongación de la red de distribución. Es por eso que los pobladores utilizan leña y/o generadores eléctricos de tipo diesel. Este último combustible es transportado por vía fluvial, lo cual incrementa su costo y las probabilidades de constituirse en fuente contaminante de los ríos. Por otro lado, en las grandes ciudades del país, la contaminación del aire producida por las emisiones vehiculares se ha acentuado en los últimos años, principalmente por el crecimiento del parque automotor alimentado por diesel y por el mal estado de los motores. Así, si en 1990 en Lima Metropolitana y el Callao se consumían 5 190 mil barriles de diesel al año, en 1998 se consumieron 9 177 mil barriles, mientras que el consumo de gasolina permaneció relativamente constante en el mismo periodo (6 563 mil barriles en 1990 a 6 920 mil en 1998). Según estudios realizados en el año 2000 por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) del Ministerio de Salud, el principal contaminante atmosférico en Lima es el material particulado emitido por motores de combustión diesel<sup>2</sup>. El Perú por su lado cuenta desde 2003 con la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, la cual busca promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles y difundir las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso.

En este contexto, se hace necesario investigar mecanismos que permitan obtener fuentes alternativas de energía, que sean de bajo costo y que reduzcan los impactos ambientales negativos de su generación y utilización. El uso sostenible de la biomasa puede contribuir decididamente a avanzar en este sentido. La presente investigación, desarrollada por la UNALM e ITDG, con el apoyo del CONCYTEC, ha estado orientada a la búsqueda de soluciones en este campo mediante el uso de la biomasa como fuente energética, específicamente mediante la producción del biocombustible líquido denominado biodiesel.

#### MARCO TEÓRICO

El biodiesel es un combustible renovable derivado de aceites vegetales o grasas animales que puede ser utilizado como sustituto o aditivo del diesel convencional. La Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) define al biodiesel como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de insumos grasos renovables, como los aceites vegetales o grasas animales. El término *bio* hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diesel tradicional derivado del petróleo; mientras que *diesel* se refiere a su uso en motores de este tipo<sup>3</sup>.

El proceso de producción de biodiesel se basa en la reacción de transesterificación del aceite<sup>4</sup>, <sup>5</sup>. Los aceites están compuestos principalmente por moléculas de triglicéridos compuestas de tres cadenas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol<sup>6</sup>. La transesterificación consiste en reemplazar el glicerol por un alcohol simple, como el metanol o el etanol, de forma que se produzcan ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos. Este proceso permite disminuir la viscosidad del aceite, la cual es principalmente ocasionada por la presencia de glicerina en la molécula<sup>4</sup>. La alta viscosidad del aceite impide su uso directo en motores diesel no modificados, desventaja que se supera mediante este proceso.

Para lograr la reacción se requieren temperaturas entre 40 y 60°C, así como la presencia de un catalizador alcalino<sup>7</sup>. Después de la reacción se separan dos fases en la mezcla: una superior líquida y cristalina, el biodiesel; y otra inferior, de color por lo general más oscuro y alta viscosidad, la glicerina. Luego de la separación del biodiesel y la glicerina, se realiza un postratamiento de purificación al biodiesel

Las propiedades fisicoquímicas del biodiesel son muy similares a las del diesel de petróleo y su uso no requiere mayores cambios en los motores diesel. Así, puede emplearse directamente en el motor, pudiéndose también utilizar como aditivo, mezclado en cualquier proporción con el diesel. Puede ser bombeado, almacenado y manipulado con los mismos equipos, procedimientos e infraestructura que el diesel. El encendido, rendimiento, torque y potencia de los motores no varía significativamente, pero el consumo puede incrementarse hasta en un 5%.

El biodiesel tiene diversas ventajas sobre el diesel convencional, como por ejemplo:

- No contiene sulfuros, disminuyendo las emisiones de SO<sub>2</sub>, y mejorando la lubricidad del combustible.
- Es más seguro de manipular gracias a su punto de inflamación elevado (150°C).
- Se puede producir a partir de insumos locales.
- Es altamente biodegradable en el agua, por lo que es ideal para transporte fluvial.
- Prácticamente no es tóxico en caso de ingestión, tanto en peces como en mamíferos.
- Contribuye a la reducción del calentamiento global, ya que emite menos CO<sub>2</sub> en su ciclo de vida que el fijado mediante fotosíntesis por las plantas usadas para producirlo.
- Al ser un combustible oxigenado, el biodiesel tiene una combustión más completa que el diesel, reduciendo las emisiones de CO, materia particulada e hidrocarburos no quemados

El trabajo desarrollado por la UNALM e ITDG tuvo como objetivo el desarrollo y prueba de modelos tecnológicos para la producción de biodiesel a pequeña escala a partir de especies oleaginosas amazónicas para la producción de una fuente de energía limpia. Los resultados de la presente investigación han sido:

- Una propuesta tecnológica para la producción de biodiesel a nivel familiar en zonas aisladas de la selva.
- Una propuesta tecnológica desarrollada y probada para la producción de biodiesel a pequeña escala con insumos de descarte.

## **METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

Se realizó una revisión bibliográfica que permitió elaborar un inventario de insumos potenciales de la Amazonía peruana para la producción de biodiesel. Las especies fueron priorizadas de acuerdo con la información sobre sus rendimientos, nivel de conocimiento y características de los frutos oleaginosos. A continuación se recolectaron muestras de las oleaginosas seleccionadas y se procedió a extraer el aceite prensado del fruto en una prensa hidráulica manual de fabricación artesanal.

Se realizaron pruebas de transesterificación de los aceites obtenidos a escala de laboratorio. A partir de las pruebas a escala de laboratorio y de la revisión de modelos de pequeñas plantas de producción de biodiesel en otros países, se diseñaron y construyeron dos sistemas:

- · Un reactor para producir biodiesel a escala pequeña a partir del procesamiento de 50 litros de aceite, para ser utilizado en fábricas o zonas urbanas con aceites de descarte.
- · Un reactor de bajo costo para producir biodiesel a partir del procesamiento de 40 litros de aceite en zonas rurales, sin requerimientos de energía eléctrica.

En ambos casos, el reactor va acompañado de un sistema de lavado y filtrado del biodiesel para su purificación. El funcionamiento de estos reactores fue probado en la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado y aceite de palma crudo.

## **RESULTADOS y DISCUSIONES**

### **Propuesta tecnológica para la producción de biodiesel a partir de insumos de descarte**

- Para evaluar la producción de biodiesel a partir de estos insumos de descarte se diseñó un primer modelo tecnológico en base a la evaluación de prototipos existentes, tomando en cuenta los siguientes criterios:
- Facilidad para su construcción, operación y mantenimiento.
- Posibilidad de ser transportado.
- Dimensión adecuada para procesar el aceite de una experiencia piloto de producción real.
- Versatilidad para modificar los parámetros de producción (temperatura, agitación, tiempo, volúmenes de insumos) y para ampliar el equipo o incorporarle componentes anexos.
- Flexibilidad para trabajar con insumos diferentes.
- Durabilidad de los materiales.

El modelo final diseñado y construido para la producción de biodiesel con insumos de descarte consta de un tanque elevado de 15 litros de capacidad para la producción del metóxido, el cual fluye por gravedad hacia el tanque principal (reactor de biodiesel, donde se mezcla con el aceite para producir el biodiesel por transesterificación. Ambos tanques están equipados con agitadores impulsados por motores monofásicos. Este reactor requiere de suministro de energía eléctrica para alimentar los motores y la resistencia eléctrica y de agua como refrigerante para permitir la condensación y recuperación del metanol luego de destilarlo. El uso de estos suministros es factible de emplear tanto en ámbitos urbanos como en industrias productoras de aceite. Dado que este modelo emplea insumos de descarte, es necesario realizar un tratamiento previo del aceite para eliminar los contaminantes que pudiera contener. Esto consiste en:

- Filtrado de sólidos grandes.
- Decantado de sólidos pequeños.
- Determinación de acidez libre.
- Secado.

Para el postratamiento del combustible se construyó un tanque de lavado del biodiesel con agua, que consta de un cilindro de plástico de 150 l de capacidad con dos salidas inferiores con tubería de PVC y llaves de bola: una para el agua y una para el biodiesel. Para permitir una mezcla lenta del agua y el biodiesel se utiliza una bomba de aire de acuario conectada a una piedra aireadora. En la salida para el biodiesel se incorporó además un sistema de filtrado en base a una malla metálica fina y un tamiz de tela. El funcionamiento de este modelo para la producción del biodiesel ha sido probado con aceite de cocina refinado, aceite de cocina usado proveniente del comedor universitario de la UNALM, y aceite de palma crudo. El biodiesel obtenido en estas pruebas cumple con las principales especificaciones técnicas para este tipo de combustible, lo cual nos indica que el modelo tecnológico construido permite realizar un proceso exitoso de transesterificación.

### **Propuesta tecnológica para la producción de biodiesel en comunidades de selva**

Para el diseño del modelo tecnológico para la producción de biodiesel en comunidades de selva se partió de los siguientes supuestos:

- No se cuenta con energía eléctrica.
- Es necesario obtener el aceite a partir de los frutos o semillas.
- Se requiere utilizar materiales baratos y fáciles de conseguir.
- Se usarán aceites crudos que posiblemente necesiten un tratamiento de refinación previo.
- La operación del equipo debe ser sencilla para que los propios pobladores lo puedan manejar.

Por ello, esta propuesta tecnológica ha considerado:

- Un prototipo de prensa hidráulica para la extracción de aceite.
- Un reactor de biodiesel construido en base a un barril de cerveza en desuso y con agitación manual y calentamiento de fuente externa, como por ejemplo por briquetas elaboradas en la misma prensa hidráulica a partir de las tortas o los residuos de los frutos y semillas de donde el aceite se extrajo y de la glicerina restante de la transesterificación.
- Un sistema de lavado del biodiesel similar al del modelo anterior.

Adicionalmente se construyó un modelo de prensa para la extracción de aceites, en base a una gata hidráulica, un armazón de fierro y un filtro hecho en acero inoxidable. La prensa fue utilizada con éxito para extraer aceite de diversas semillas y pulpa seca de frutos, como piñón, tempate, umarí, aguaje y pijuayo. Dado que su funcionamiento por lotes y su tamaño pequeño solo permiten procesar poca cantidad de insumo, ideal para fines de investigación, a partir de este modelo se tendría que diseñar uno de mayor capacidad y que pueda ser utilizado con fines productivos. La prensa se puede observar en la.

El modelo tecnológico para la producción de biodiesel en comunidades de selva construido consta de un barril de acero inoxidable de 50 l de capacidad donde se lleva a cabo la transesterificación del aceite. Está equipado con un agitador manual construido en base a un sistema de manivela con álabes y eje del agitador de acero, un sistema de engranajes para conectar el eje del agitador y el eje exterior y un sistema de engranajes cónicos para conectar el eje exterior y la manivela. La temperatura en el reactor se controla mediante un termómetro de alcohol adosado a la parte inferior del tanque.

### **COMENTARIOS FINALES**

La presente investigación ha avanzado en evaluar la viabilidad técnica de producir biodiesel a pequeña escala a partir de insumos oleaginosos no convencionales en condiciones artesanales y a partir de aceites

comestibles usados. Para el primer caso, aún resta evaluar si socialmente este proceso puede ser adoptado por los pobladores de comunidades rurales de la selva peruana y convertirse así en una fuente alternativa, local y renovable de energía eléctrica. En este escenario, la principal ventaja que presenta el biodiesel es la de facilitar el aprovisionamiento local de una fuente renovable de energía de manera simple y sostenible. Para el segundo caso, se considera que en el corto plazo, en el Perú, es posible emprender un proceso de producción de biodiesel a mediana escala orientado al aprovechamiento de aceites usados provenientes de restaurantes diversos para su uso como aditivo en vehículos diesel. Con esto se puede contribuir a paliar uno de los principales problemas de las grandes ciudades del país: la contaminación atmosférica.