

DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO «LA VIZCACHA» DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA, LIMA-PERU

R. Erazo - Erazo (*)

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química
Departamento Académico de Análisis y Diseño de Procesos
Av. Venezuela s/n - Lima - Perú

Abstract: This work has the goal of designing a system to treat solid municipal wastes by recycling and final disposition in a sanitary filling field. Studies of handling solid wastes in the northern part of Lima, determine a rate of treatment of 800 TM/day. The filling field will be located near the Pan American high way, around the 38,700 Km in the district of Puente Piedra, taking around 100 hectares of field. Studies on climatological, geophysical, geodynamic and social impacts, determine that the environmental impact on the ecosystem will be minimal. Finally, the useful life of the facility is estimated in 45 year at a total final deposition cost of US\$2,60 /TM.

Key Words: Solid waste, treatment, design.

Resumen: Este trabajo tiene por objeto diseñar un sistema de tratamiento de residuos sólidos municipal, por reciclaje y disposición final en un relleno sanitario. El estudio de manejo de residuos sólidos en el Cono Norte de Lima, determina una capacidad de tratamiento de 800 TM/día. El relleno sanitario estará ubicado cerca de la autopista Panamericana Norte, a la altura del Km. 38.700 en el distrito de Puente Piedra, abarcando alrededor de 100 hectáreas de extensión. Los estudios de impactos climatológico, geofísico, geodinámico y social, determinan que el impacto ambiental en el ecosistema será mínimo. Finalmente, la vida útil de la facilidad es estimado en 45 años a un costo total de disposición final de US\$ 2,60/TM.

Palabras clave: Residuo sólido, tratamiento, diseño.

INTRODUCCION

La actividad industrial transformadora de materiales y energía en productos, bienes y servicios, se da a través de una cadena generativa de residuos de distinta naturaleza, que van desde la obtención de materias primas y fuente de energía, su transformación y procesamiento, el proceso productivo en si mismo y la comercialización de los productos hasta el consumidor final. Esta contaminación antropogénica, generadora de residuos sólidos urbanos e industriales, debe afrontarse con un planteamiento serio de su tratamiento, aplicando el método más apropiado (compostaje, reciclaje, incineración y disposición final).

Mediante el reciclaje se intenta cerrar el ciclo industrial, mientras que la disposición en vertederos, relleno sanitario o incineradores deja abierto este ciclo. Si a esto le agregamos un manejo inadecuado de los residuos sólidos, las consecuencias inmediatas serán un impacto negativo en el ambiente y en la salud de la población.

Por lo tanto, en el presente trabajo desarrollado bajo el patrocinio de la Municipalidad de Puente Piedra, Lima-Perú, se diseña un sistema de tratamiento de residuos sólidos por reciclaje y su disposición final en un relleno sanitario.

MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

El Estudio relacionado al manejo de los residuos sólidos se ha circunscrito al área del Cono Norte de Lima que comprende a los distritos de Ancón, Carabayllo, Comas, Independencia, Los Olivos, Puente Piedra, San Martín de Porres y Santa Rosa. En el concepto ingenieril, esto equivale a realizar un estudio de mercado [1] y que tiene como premisa ubicar el contexto urbano tanto poblacional y urbanístico, así como los aspectos institucionales y legales relacionados a este problema [2].

En la **tabla 1** se indica la proyección de la población por distrito al año 1999 y la generación de residuos sólidos como resultado de la producción per cápita (PPC) promedio.

(*) E-mail : d160025@unmsm.edu.pe

Tabla 1: Generación de residuos sólidos urbanos en distritos del Cono Norte de Lima.

Distrito	Población 1999 (1)	PPC, Kg/hab.día (2)	Generación, TM/día
ANCÓN	29063	0,45	13 078,35
CARABAYLLO	146073	0,38	55 507,74
COMAS	463460	0,48	222 460,80
INDEPENDENCIA	205916	0,44	90 603,04
LOS OLIVOS	334770	0,58	194 166,60
PUENTE PIEDRA	173370	0,45	78 016,50
SAN MARTÍN DEPORRES	396640	0,58	230 051,20
SANTA ROSA	5890	0,38	2 238,20

Fuente: (1) Web INEI 1999

(2) Municipalidad Metropolitana de Lima (SUMSEL) 1999

Como se observa en el cuadro en el Cono Norte de Lima se estima una generación promedio de residuos sólidos de 886 TM/día. Considerando una tasa de crecimiento promedio de generación de residuos sólidos en América Latina y el Caribe equivalente al 1% anual, como parámetro en el diseño, se fijó en 800 TM/día la capacidad de tratamiento de residuos sólidos. El análisis integral del manejo de residuos sólidos [3], tratamiento, tecnologías, aspectos administrativos y financieros involucra tanto a los gobiernos locales, regionales o nacional así como a la población en su totalidad y que incluyen programas de educación ambiental y social – cultural.

Tabla 2. Composición promedio de los residuos sólidos urbanos en Lima.

Componentes	% en peso / peso
PAPEL	17,05
CARTÓN	2,00
VIDRIO	1,75
METAL FERROSO	3,60
METAL NO FERROSO	0,50
PLÁSTICO DURO	2,50
PLÁSTICO SUAVE	1,70
MADERA	0,80
CUERO	0,30
CAUCHO	0,45
TELAS	1,70
RESTOS ALIMENTICIOS	21,50
OTROS: AGREGADOS GRUESOS, FINOS, ETC.	46,15
Total	100,00

Fuente : Municipalidad Metropolitana de Lima, SUMSEL 1999.

COMPOSICION PROMEDIO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

La Municipalidad Metropolitana de Lima, reporta un análisis de composición de los residuos sólidos en el área de su influencia (**tabla 2**)

Como se desprende, esta información es promedio de todo el ámbito de la gran Lima en donde efectivamente hay una diversidad de calidad de residuos sólidos propio de cada distrito limeño. Consecuentemente, la densidad es también variable.

UBICACION Y LOCALIZACION

Ubicación

El área destinada para la planta de tratamiento que incluye zona de reciclaje y disposición final (relleno sanitario) está ubicado en el Km. 38,700 de la Panamericana Norte distrito de Puente Piedra, Lima-Perú y ocupará aproximadamente 100 Has.

Topografía

El área de proyecto está comprendido dentro de la Unidad de "Lomas" que flanquean las estribaciones de la cordillera y su relieve se halla subordinado a las formaciones geológicas.

Las Lomas formadas por calizas son las de mayor elevación y presentan relieves accidentados y un intemperismo blanco.

Climatología

El clima en la región es árido con una precipitación anual aproximado de 21,57 mm. La temperatura mensual promedio es de 17 a 24 C. con una media de 19 C.

Geología y Geomorfología

En la zona de estudio, los promontorios están constituidos por rocas sedimentarias superficialmente bastante meteorizadas y fracturadas y las zonas planas por depósitos inconsolidados. En el estudio se analiza el tipo de rocas, sean estos de tipo sedimentaria o de depósitos recientes. En el caso último son de

tres tipos: Depósitos aluviales, depósitos eólicos y coluviales/aluviales.

Geomorfológicamente la zona en estudio forma parte del flanco andino occidental del Perú y el estudio se basa en los siguiente factores: Actividad pluvio-fluvial del sistema hidrográfico del rio Chillón y sus tributarios, el emplazamiento del batolito de la costa, acción climática, la tectónica del área y la acción erosiva de los flujos de agua.

Hidrología y agua subterránea

En la zona en estudio no se han registrado datos de precipitación ni corriente de agua importante. Tampoco se ha identificado alguna fuente de agua subterránea, ni detectado la presencia de un manto freático, es decir, la zona está constituida por área árida sin ninguna

Tabla 3. Estudio de impacto ambiental relacionados a selección del lugar.

	Aguas superficiales	Suelo y subsuelo	Nivel de ruido	Flora y fauna	Paisaje	Salud y seguridad	Viabilidad y tráfico	Ordenamiento territorio-	Relaciones sociales	Actividades económi-
Propiedad del terreno										
Accesibilidad										
Sismicidad de la zona										
Hidrogeología y geotecnia										
Morfología del área										
Vida útil										
Disponibilidad de material de cobertura										
Condiciones meteorológicas										
Distancia a la población más cercana										
Planeamiento urbano										
Clasificación y estado de las especies										

IMPACTOS

Negativo	Insignificante	Bajo	Moderado	Alto
Positivo				

fuentes superficiales que puedan alimentar a los materiales aluviales que conforman la cubeta, del tipo gravillas y arenas con fragmento grueso en profundidad, los cuales se hallan limitados por rocas sedimentarias tanto en profundidad como lateralmente, rocas que buzan contralud lo que las hace favorable contra cualquier infiltración que se produzca en profundidad.

IMPACTO AMBIENTAL

Los efectos que pueda causar en el ecosistema la implantación del relleno sanitario es mínimo, debido principalmente a los criterios restrictivos de selección de lugar a utilizar [4,5]. Estos son: la población densa más cercana se encuentra asentada a más de 1 Km. del área proyectada; no existen corrientes de aguas superficiales, ni pozos de abastecimiento de agua, ni evidencia alguna que indique la presencia de un manto freático y la inexistencia de vegetación en todo el área seleccionada.

En la **tabla 3** se observa la identificación y evaluación de impactos para la fase correspondiente a la selección del lugar para la implantación de la zona de tratamiento. En la **tabla 4** se muestra la identificación y evaluación de impactos ambientales durante la etapa de habilitación así como los correspondientes a la etapa de operación. La **tabla 5** nos permite también observar la identificación y evaluación de impactos durante la etapa de post clausura. Así, la decisión de implementar la planta de tratamiento de residuos sólidos constituido por un área de reciclaje y otra de relleno sanitario se considera favorable debido a que su ejecución involucra un impacto positivo elevado para el ambiente y la salud de la población, concordante con los dispositivos legales vigentes.

Por lo tanto, el estudio de impacto ambiental nos permite concluir que los elementos de impacto que se manifiestan al implantar el relleno son considerados como inocuos para el entorno o medio que lo circunda.

INGENIERIA DE DISEÑO

El procedimiento de diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos sigue los estándares proporcionado por la literatura de ingeniería de procesos.

En la **Figura 1** se puede apreciar las distintas etapas involucradas en el manejo de los residuos sólidos, la misma que determina precisamente las operaciones a considerar.

El objetivo es el tratamiento de los residuos sólidos, para lo cual optamos por el reciclaje como alternativa de reuso de material valioso tales como: papel, cartón, plásticos diversos, metales diversos, vidrio, cerámico, etc. Es decir, aquellos materiales de origen inorgánicos para los cuales se puede adaptar las diversas tecnologías de recuperación y reuso, las mismas que están ampliamente disponibles en la literatura [6] y los materiales no valiosos de origen orgánicos e inorgánicos disponerlos en un relleno sanitario.

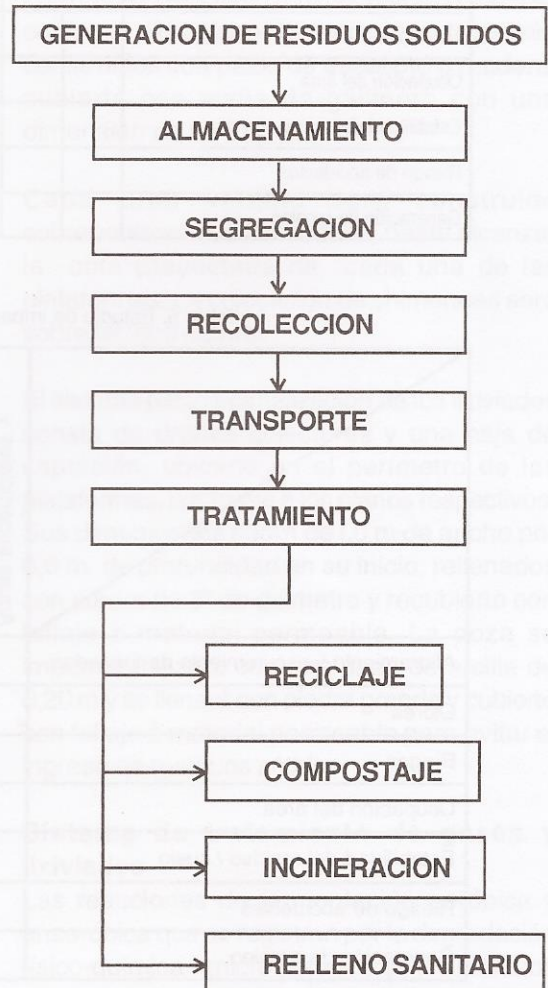


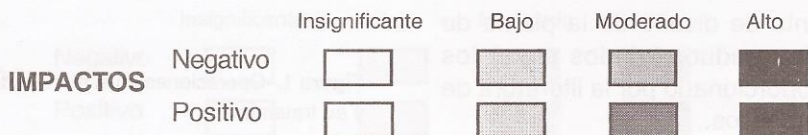
Figura 1. Operaciones en el manejo de residuos sólidos y su tratamiento.

Tabla 4. Estudio de impacto ambiental relacionado a las etapas de habilitación y operación

	Aguas superficiales y subterráneas	Suelo y subsuelo	Calidad del aire	Nivel de ruido	Flora y fauna	Paisaje	Salud y seguridad	Viabilidad y tráfico	Ordenamiento territorial	Relaciones sociales	Actividades económicas
Generación de material particulado											
Dispersión de materiales ligeros											
Emisión de gases											
Ruido											
Olores											
Biogas											
Tráfico de vehículos											
Vectores											
Lixiviados											
Ocupación del área											
Estabilidad del residuo / suelo											
Riesgo de accidentes											
Generación de empleo											

Tabla 5. Estudio de impacto ambiental relacionados a la etapa de pos clausura

	Aguas superficiales y subterráneas	Suelo y subsuelo	Calidad del aire	Flora y fauna	Paisaje	Salud y seguridad	Relaciones sociales	Actividades económicas
Afloramiento y escurrimiento de lixiviados								
Olores								
Biogas								
Ocupación del área								
Estabilidad del residuo / suelo								
Riesgo de accidentes								
Generación de empleo								



Los residuos que deben disponerse en el relleno son: Residencial, comercial, limpieza pública, mercados, hospitales, industriales y especiales (animales muertos y demoliciones).

No se recibirán residuos peligrosos que puedan tener características de explosividad, reactividad, radioactividad, corrosividad o inflamabilidad, fundamentalmente en esta primera etapa que consiste implementar 30 Has. del área total disponible.

El diseño del proyecto se basa en la recepción de aproximadamente 800 TM/día de residuos sólidos urbanos que determina una vida útil de 15 años para los 30 Has.

El relleno se proyecta en tres áreas: la primera corresponde a la parte administrativa, en donde se ubicarán las oficinas de vigilancia, supervisión, pesaje, etc. La segunda está asignada a las vías de acceso tanto principales como secundarios y tercero, el área de relleno de residuos dividido en un número de plataformas y trincheras.

Operaciones Básicas

Las operaciones básicas son: Depósito de los residuos sólidos de una manera planeada y controlada en el frente de trabajo designado, previamente en la planta de transferencia se realiza un reciclaje de materiales de gran tamaño y en el área de relleno se complementa esta actividad por medios mecánicos reciclando todo material valioso [7]. Luego, esparcir los residuos sólidos remanentes constituidos fundamentalmente por residuos orgánicos e inorgánicos no reciclados, sobre el apoyo inclinado (talud) de la celda correspondiente en capas no mayores de 60 cm. de espesor. Compactar estos residuos comprimiendo por medio de equipos mecánicos. Finalmente la operación de cubierta será a base de una tierra compactada de espesor entre 15 y 30 cm.

De acuerdo a la topografía del terreno y la disponibilidad de material de cobertura se plantea el método de trinchera y área [8], es decir elevaciones sobre el terreno natural, definiéndose plataformas de 7 m de altura, con vías de acceso a cada una de ellas. También se tomó en cuenta para la elección del método de relleno, la geodinámica del área.

Construcción de celdas de trabajo diario

El tiempo de relleno de las plataformas está previsto para un tiempo promedio de 7 meses.

Las dimensiones de la celda diaria deben compatibilizarse con el frente de trabajo y una operación eficiente debe considerar arrastre de 35 m y en casos excepcionales hasta 50 m.

Se construirán las zanjas para recolectar el percolado, empalmándose con el sistema general del módulo, los que deben converger a una poza de almacenamiento de líquidos.

Los taludes de corte y relleno para el procesamiento de los residuos será de: 1:3 ó 1:2.

Drenaje de gases y lixiviados

Los drenes verticales o chimeneas se colocarán conforme a los planos de este proyecto y serán construidos con palos de eucalipto o madera, cubierta con malla de gallinero con una dimensión de 60 x 60 cm.

Cada dren vertical será construido sobreponiendo las chimeneas, hasta alcanzar la cota proyectada de cada una de las plataformas. La colocación de chimeneas será sobre terreno natural.

El sistema para la canalización de los lixiviados consta de drenes colectores y una caja de captación, ubicado en el perímetro de las plataformas, conforme a los planos respectivos. Sus dimensiones serán de 1,0 m de ancho por 0,6 m. de profundidad en su inicio, rellenos con piedra de 8" de diámetro y recubierto con follaje o material permeable. La poza se impermeabilizará con una capa de arcilla de 0,20 m y se llenará con piedra grande y cubierto con follaje ó material permeable para evitar el ingreso de residuos sólidos.

Sistema de tratamiento de gases y lixiviados

Las reacciones de fermentación aeróbica y anaeróbica que se registran por la degradación físico-química y microbiológico de los residuos orgánicos producirán gases tales como metano (CH_4), anhídrido carbónico (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptanos ($\text{R-CH}_2\text{-SH}$), entre otros. Estos gases serán evacuados mediante los drenes verticales o

Tabla 6. Costos de habilitación de relleno sanitario (tipo de cambio S/. 3,45 / US\$)

Concepto	Unidad	Costo US\$
ESTUDIOS Y DISEÑO	Unidad	14 043,60
TERRENO	Glb	-----
OBRAS PRELIMINARES	Glb	5 500,00
VÍA DE ACCESO EXTERNA	Glb	5 644,10
VÍA DE ACCESO INTERNO	Glb	1 979,30
AREA ADMINISTRATIVA Y ALMACENAMIENTO	Glb	32 303,90
CASETA DE BALANZA	Glb	2 165,80
CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO	Glb	86 927,50
ADQUISICIÓN DE MAQUINARIA	Glb	217 685,70
	Sub Total	366 249,90

Tabla 7 Costo de operación de relleno sanitario para una vida útil de 15 años (cambio S/. 3,45 / US\$)

Concepto	Unidad	Costo US\$
TRABAJOS PRELIMINARES	Glb	374 191,10
VÍA DE ACCESO INTERNA	Glb	3 976,80
CONFORMACIÓN DE PLATAFORMAS DE RESIDUOS SÓLIDOS	Glb	4 595 954,60
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES	Glb	5 025,80
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS	Glb	120 844,70
CERCOS PERIMETRALES	Glb	26 749,20
ADQUISICIÓN DE HERRAMIENTAS	Glb	880,90
	Sub Total	5 127 623,10

Tabla 8. Costos de clausura de relleno sanitario (cambio S/. 3,45 / US\$)

Concepto	Unidad	Costo US\$
COBERTURA FINAL	Glb	117 791,60
INSTALACIÓN DE QUEMADORES	Glb	4 653,80
VEGETACIÓN	Glb	3 500,90
	Sub Total	157 448,30

chimeneas ya descritos anteriormente. Al ser el relleno sanitario una instalación abierta, estos gases serán dispersados. Al concluir la plataforma se deberá realizar la combustión del metano mediante la instalación de quemadores adecuados.

En cuanto a los lixiviados (líquidos percolados) proveniente de las reacciones de fermentación ya descritos, como de las aguas de lluvias, se construirán al pie de las plataformas de elevación drenes horizontales en piedra, para captar y canalizarlo hasta una poza de almacenamiento y evaporación ubicado en la parte baja del área, de dónde serán reciclados a las plataformas superiores en forma periódica.

Cobertura final

Esta consiste en la colocación de una capa de tierra arcillosa compactada de 80 cm de espesor, sobre la última capa de residuos dispuestos en las plataformas de elevación. Sobre esta capa se procederá a la siembra de plantas de tallo corto para un uso futuro consistente en parque recreacional.

Material de cobertura de los residuos

Mediante la ejecución de la cobertura de los residuos sólidos, se evitará la existencia de olores provenientes de la descomposición anaeróbica de los residuos. La cobertura superior se efectuará en dos etapas, la primera de un espesor de 0,30 m. y la segunda dependerá del tipo de cobertura vegetal elegida o forestación proyectada, para el caso se asume un espesor de 0,60 m.

Equipo

Al aplicar la técnica de relleno sanitario se requiere de un número de equipos propios que garantice las distintas tareas, estos son: Un cargador sobre orugas o trascavito, de características según cálculos de diseño, así como dos tractores de oruga y dos volquetes entre otros.

Sistema de pesaje

Estará constituido por una balanza de 80 TM y una longitud de 18 m instalada y operada conforme al manual del proyecto. La finalidad es para control y evaluación de los parámetros asumidos en el diseño así como para control y facturación del servicio.

ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN

Se analiza sólo los costos de inversión y operación de un relleno, no incluye costos de programas de reciclaje, manejo de residuos industrial peligroso, terreno, etc.

Para calcular la tarifa universal o el costo del servicio a brindar se efectuará en base al análisis de los costos de inversión tanto inicial como de clausura, los mismos que deberán recuperarse durante la vida útil del relleno.

En la **tabla 6** se puede observar un resumen de costos de habilitación estimados en US\$ 366 249,90.

Los costos de operación en la vida útil del relleno sanitario (15 años durante la primera etapa en 30 Has.) se dan en la **tabla 7**, en ella se aprecia que el costo total asciende a:
US\$ 5 127 623,10.

Se ha considerado también los costos de clausura de relleno sanitario, estos se dan en la **tabla 8** observándose que el costo total asciende a:
US\$ 157 448,30.

Para un interés anual bancario de 12%, vida útil del relleno (1era etapa 15 años) y vida útil de equipo y maquinaria (5 años) el costo por tonelada dispuesta en el relleno es US\$ 2,60 que incluye costos administrativo y utilidad.

CONCLUSIONES

- El sistema de tratamiento de residuos sólidos por reciclaje y disposición final en un relleno sanitario, por su bajo costo de inversión y operación, se presenta como una solución parcial al problema del manejo de residuos sólidos en el gran Cono Norte de Lima - Perú. Consecuentemente se ha tomado la decisión de ejecutar el proyecto a nivel de obra, la misma que en la actualidad se encuentra en un 90% de avance.
- Para una capacidad de tratamiento de 800 TM/día, de los cálculos de diseño, se proyecta un tiempo de vida útil para relleno

sanitario de 45 años, la misma que incluye el tiempo de cierre y un costo de disposición final de US\$ 2,60 por tonelada de residuo sólido.

- La instalación de una planta de transferencia y reciclaje, anexo al área de relleno, conforme a la nueva ley de residuos sólidos, permitirá mejorar la eficiencia de tratamiento, así como la posibilidad de un mayor beneficio para la Municipalidad de Puente Piedra.

Agradecimiento : Al Alcalde de la Municipalidad de Puente Piedra, Lima - Perú, CPC Milton Jiménez Salazar, por las facilidades y autorización otorgados al autor para la ejecución y divulgación de este gran proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] KREITH, F. Handbook of Solid Waste Management Ed. Mc. Graw-Hill. N. Y. (1994).
- [2] TCHOBANOGLOUS, G. Gestión Integral de residuos sólidos. Ed. Mc Graw-Hill, N.Y. (1994)
- [3] FREEMAN, H. M. Standard Of Hazardous Waste Treatment and Disposal. Ed. Mc. Graw – Hill . N. Y. (1988).
- [4] JOSEPH, C. Y OTROS Guia ISO 14000, Ed. Mc. Graw – Hill, México. (1997).
- [5] CANTER, H. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Ed.Mc. Graw – Hill Interamericana Editores. Mexico (1998).
- [6] LUND, H. F. Recycling Handbook. Ed. Mc. Graw – Hill N. Y. (1994).
- [7] NEWMAN, A. Recycling And Reducing Environmental Science and Technology. pp 25, 11 (1991).
- [8] TREJO VÁSQUEZ, R. Procesamiento de la basura urbana. Ed. Trillas. México (1994).