



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 11 de Mayo de 2022

C. Francisca Adela Ramírez Sarauz

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Desempeño ambiental y operativo de rellenos sanitarios en el estado de Chiapas.

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Carlos Manuel García Lara

Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar

Mtro. Pedro Vera Toledo

Firmas:

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Ccp. Expediente



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
P.E INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

DESEMPEÑO AMBIENTAL Y
OPERATIVO DE RELLENOS
SANITARIOS EN EL ESTADO DE
CHIAPAS

Que para obtener el título:

INGENIERO AMBIENTAL

Presenta:

Francisca Adela Ramírez Sarauz

Director:

M. en I.M.A. Pedro Vera Toledo

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

2022



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas que me permitió formar parte de ella y en especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental que me dio las herramientas para formarme a nivel académico, y realizar esta investigación.

Agradecimiento infinito a mi director Pedro Vera Toledo, por guiarme en esta investigación, sus conocimientos, ética profesional, compromiso, dedicación al tema, y sobre todos sus consejos y regaños por lo cual lo considero un amigo.

DEDICATORIAS

Más que dedicatoria, es un recordatorio para mí de que todo el proceso no ha sido fácil desde que inicie mi independencia, y que he llegado hasta acá con mi esfuerzo, así que podre con todo lo que me proponga, sigue luchando, iniciaras nuevas aventuras.

Celebra quien eres y no tengas miedo.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	1
DEDICATORIAS.....	2
ÍNDICE DE TABLA.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
Resumen	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Justificación	9
1.2 Antecedentes	11
II. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo general.....	14
1.1 Objetivos específicos	14
1.2 Hipótesis	14
II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Residuos	15
1.1 Residuos Sólidos Urbanos (RSU).....	15
1.2 La problemática de los RSU.....	17
1.3 Gestión de RSU	19
1.4 Disposición final	25
1.5 Rellenos sanitarios (RS)	35
1.5.1 Tipos de RS.....	36
II. METODOLOGÍA	40
III. RESULTADOS.....	42
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
V. CONCLUSIONES.....	56
REFERENCIAS	58

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Resultado de la evaluación del RS Benito Juárez	42
Tabla 2. Resultado de la evaluación del RS de Villa Comaltitlán.....	45
Tabla 3. Resultado de la evaluación del RS de Chiapilla	48
Tabla 4. Resultado de la evaluación del RS Ocozocoautla de Espinosa.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Celda del RS Benito Juárez.	43
Figura 2. Celda del RS de Villa Comaltitlán.....	47
Figura 3. Celda del RS de Chiapilla.	49
Figura 4. Celda del RS de Ocozocoautla de Espinosa.	52

Resumen

El acelerado crecimiento de la población ha incrementado la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Es importante conocer cuál es el destino final de estos residuos. Por ejemplo, en México durante el año 2010 solamente se depositó en Rellenos Sanitarios (RS) el 70 % de los RSU producidos. Los RS constituyen una alternativa técnica y económica para tener un adecuado manejo de los RSU, para así disminuir el daño al medio ambiente y a la salud de la población (Villafuerte et al., 2004). El objetivo de esta investigación es evaluar el desempeño ambiental y operativo de cuatro rellenos sanitarios en el Estado de Chiapas, mediante la construcción de una nueva metodología.

Palabras claves: residuos, disposición final, relleno sanitario, evaluación.

The accelerated of the population has increased the generation of urban solid waste (RSU). It is important to know what the final destination of these waste is. For example, in Mexico during 2010, only 70% of the MSW produced was deposited in landfills. Landfills are a technical and economic alternative to have an adequate management of the RSU, in order to reduce the damage to the environment and the health of the population (Villafuerte et al., 2004). The objective of this research is to evaluate the environmental, operational and economic performance of 6 landfills in the State of Chiapas, through the construction of a new methodology.

Keywords: waste, final disposal, sanitary landfill, evaluation.

I. INTRODUCCIÓN

México enfrenta grandes retos en el manejo integral de sus residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Esto debido, principalmente, al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país, al cambio de hábitos de consumo de la población, la elevación de los niveles de bienestar, y la tendencia a abandonar las zonas rurales para concentrarse en los centros urbanos (Giusti, 2009).

Ante esto, el relleno sanitario (RS) surge como una necesidad de contar con un sitio de disposición final (SDF) seguro para el confinamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU) (Regadío, 2015).

De acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003, el RS es definido como:

Obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales.

En el año 2010 la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN) hace un diagnóstico en el cual emite que cada municipio debe contar con un RS, motivo por el cual los municipios del estado de Chiapas se enfrentan a un sin número de retos en cuanto a la gestión de los residuos sólidos urbanos; actualmente en el estado se han construido 28 RS, (SEMAHN, 2012); por ende las instancias gubernamentales encargadas de esta problemática necesitan invertir fuertes cantidades monetarias para el confinamiento de sus residuos sólidos. Para la construcción y operación de estos sitios de disposición final con apego a la NOM-083-SEMARNAT-2003 donde especifica las condiciones para la construcción y la correcta operación de los mismos.

En el presente trabajo de tesis se realiza una evaluación del desempeño ambiental y operativo de cuatro RS pertenecientes en el Estado de Chiapas, mediante la implementación de una metodología nueva que permita evaluar diversos rubros de acuerdo a la normatividad vigente para RS. De la misma manera se pretende generar información que sirva como antecedente para futuras investigaciones referente a los sitios de disposición final; operatividad y distribución de recursos. .

La falta de continuidad en los trabajos de mantenimiento, la poca o nula inversión que requiere un RS, una vez que se realiza la inversión inicial de construcción, en muchos casos simplemente no se lleva a cabo haciendo que su operatividad y vida útil no se prolonguen por mucho tiempo, llevando a la ruina y a un retroceso evidente en el manejo de los residuos sólidos, Vera et al. (2017).

Es por ello en el presenta investigación, se espera que en cuestión de operatividad los RS, se rijan con lo establecido en la normatividad, en términos ambientales sea sustentable.

1.1 Justificación

Existen muchas formas de contaminar el ambiente, de las cuales en todas participamos de manera directa o indirecta, una manera de contaminar que a todos nos concierne es la generación de residuos sólidos, la cual constituye una enorme problemática de la sociedad, ya que el desarrollo de cualquier actividad económica, como la producción y consumo de bienes y servicios, genera residuos, los cuales pueden tener un impacto negativo en el ambiente y por ende en la salud humana, si no son gestionados adecuadamente, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019). A partir de ello surge una problemática prioritaria que es la disposición final de los residuos generados por la población y el manejo de ellos, con el fin de que sea la adecuada.

La disposición final de residuos de acuerdo con (SEMARNAT, 2004) es la acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos, pero es un hecho de que estos sitios en su mayoría el inadecuado manejo de estos impacta de manera negativa al ambiente.

Uno de los métodos más frecuentes para la disposición final de los residuos ha sido en RS, pero de ahí surge la problemática ya que lamentablemente la mayoría de ellos no están calificados ni operan como un RS en su totalidad, incumpliendo así con las especificaciones que la ley indica para su correcto funcionamiento y manejo, así mismo para la protección del medio ambiente, Vera et al. (2017).

La gestión de los Residuos Sólidos es un reto al que se enfrentan particularmente las administraciones municipales. De acuerdo con la normatividad vigente NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual regula la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, que los sitios destinados a la ubicación de tal infraestructura, así como su diseño, construcción, operación, clausura, monitoreo y obras complementarias; se lleven a cabo de acuerdo a los lineamientos técnicos que garanticen la protección del ambiente, la preservación del equilibrio ecológico y de los recursos naturales, la minimización de los efectos contaminantes provocados por la inadecuada disposición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial y la protección de la salud pública en general.

En este entorno de los municipios que conforman el estado de Chiapas, se enfrentan, al aumento de los residuos sólidos y su gestión, lo cual surge la problemática de la disposición final, por lo cuales en varios municipios se han construido RS con el fin de contrarrestar esta problemática; sin embargo la poca

continuidad, mantenimiento y no cumplir con lo marcado en la ley causa que no logre el total de su operatividad y vida útil, es por ello que en este trabajo se evaluará el desempeño ambiental y operativo de cuatro RS en el estado de Chiapas. Para construir una metodología que nos permita evaluarlos de acuerdo a lo establecido a la normatividad vigente, y puedan lograr un mejor funcionamiento en todos los rubros que le permitan tener una vida más útil y sostenible para el medio ambiente.

1.2 Antecedentes

Como parte del desarrollo en la búsqueda de artículos, informes e información documental que permitan precisar y sustentar los elementos de estudio, se llevó a cabo una revisión para determinar y comparar con algunas investigaciones, que se han efectuado con respecto al tema abordar, tales como residuos, referente a sitios de disposición final y rellenos sanitarios.

Stege y Michelsen (2008), presentaron un Informe sobre la Evaluación del Relleno Sanitario y Estudio de Prefactibilidad, haciendo referencia a la implementación potencial de un proyecto de control, utilización y extracción de biogás en el Relleno Sanitario El Navarro, ubicado en Cali, Colombia. También evaluaron las mejoras necesarias para hacer que el relleno sea más atractivo para la comunidad que desarrolla rellenos sanitarios para la utilización productiva del biogás.

Mena Frau *et al.* (2010), concluyen en su trabajo que la integración de los sistemas de información geográfica (SIG) y la evaluación multicriterio (EMC) constituye una herramienta útil en la ordenación territorial, ya que en conjunto permiten la obtención de modelos y escenarios futuros, útiles para apoyar las labores de toma de decisiones por parte de los planificadores. En el caso puntual de problemas de localización/asignación de un relleno sanitario, la utilización de los SIG y EMC permiten agilizar el proceso de selección de zonas aptas para dicho equipamiento, al acotar las áreas de selección, considerando un número importante de criterios y restricciones.

Por su parte Bernache (2011), realizó un estudio sobre la forma en que funcionan los vertederos de residuos sólidos que dan servicio a ciudades de diversos tamaños en el país. Haciendo mención que los sitios de disposición final son el punto más débil de los procesos de manejo de residuos municipales y esto resulta en vectores de contaminación ambiental que afectan directamente las fuentes de agua, la calidad del aire regional y, en ocasiones, a los asentamientos de población aledaños.

Caballero-Saldívar *et al.* (2011), concluyen en su artículo que los rellenos sanitarios son una buena alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y cuando están bien diseñados y son operados de manera adecuada generan grandes beneficios a la población y al medio ambiente. Existe toda una normativa que sanciona y vigila la ubicación, el diseño, la construcción y operación de los sitios para la disposición final de estos residuos. De acuerdo con la información recabada, no existen suficientes rellenos sanitarios en México para tener un manejo integral de los residuos sólidos urbanos generados.

Colomer Mendoza *et al.* (2013), desarrollaron un trabajo acerca de la Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental. Caso de España. En el cual analizaron, 14 declaraciones de impacto ambiental de proyectos de rellenos sanitarios españoles y se han aclarado los factores ambientales que se consideran para permitir su ejecución. Entre ellos se destaca entre otros el uso del suelo, la hidrología, las emisiones de gases y la proximidad a poblaciones. Realizaron un inventario de los rellenos sanitarios españoles y se ha estudiado el efecto en cada uno de los citados factores ambientales. Así mismo, buscaron correlaciones entre las emisiones de los rellenos sanitarios de cada una de las comunidades autónomas y factores como la geografía, el clima y la densidad de población. Por último, contrarrestaron esta información con las directrices sobre vertederos que marca la normativa de la Unión Europea, la española y la de la EPA (Environmental Protection Agency) de EE.UU. analizando el grado de cumplimiento.

Abate (2017), hace una comparación sobre la legislación, aspectos ambientales, sociales y económicos donde concluye que todas los países sin excepción tienen legislaciones y tienen coincidencias como establecer la sustitución de los vertederos a botaderos a cielo abierto por rellenos sanitarios, pero esta transición menciona no se dio en la medida que exigen el crecimiento poblacional en las grandes ciudades.

De igual manera afirma que el crecimiento población y los avances científicos hacen que también América Latina quede cada vez más atrasada en su legislación pues, hoy la introducción de nuevas visiones tecnológicas orientados hacer más eficientes y menos nocivas la conducción y tratamiento de lixiviados, de gases y los niveles de compactación, son más avanzados y no están en nuestras legislaciones porque esperamos muchos para poner en marcha nuestras leyes.

De acuerdo con la metodología aplicada por Vera *et al.* (2017), al menos dos de tres RS, presentan deficiencias importantes, en el desempeño operativo, lo que los coloca como mal desempeño, que representa estar más cerca a simples tiraderos a cielo abierto.

Algo importante para la investigación es tomar en cuenta el documento que publica la SEMARNAT (2019), titulado VISIÓN NACIONAL HACIA UNA GESTIÓN SUSTENTABLE: Cero residuos, que tiene como objetivo transformar el esquema tradicional del manejo de los residuos en un modelo de economía circular, para el aprovechamiento racional de los recursos naturales y favorecer el desarrollo sustentable en el país.

Las investigaciones anteriores son pertinentes con la investigación que se plantea, ya que se toman en cuenta puntos importantes para la implementación de una nueva metodología que permita la evaluación de los rellenos sanitarios en el Estado de Chiapas, y tomar en cuenta las variables utilizadas, y plantear nuevas, para que sean previstas en el desarrollo de la investigación y poder concluir con resultados satisfactorios.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el desempeño ambiental y operativo de rellenos sanitarios en el Estado de Chiapas, mediante la construcción de una nueva metodología.

1.1 Objetivos específicos

- ✓ Seleccionar rellenos sanitarios en el Estado de Chiapas, de acuerdo a los municipios que permitan su acceso.
- ✓ Construir una metodología para la evaluación de los rellenos sanitarios de acuerdo a la normatividad vigente.
- ✓ Validar la metodología construida para la evaluación de los rellenos sanitarios en el Estado de Chiapas.
- ✓ Aplicar la metodología para la evaluación de los rellenos sanitarios en el Estado de Chiapas.

1.2 Hipótesis

Los rellenos sanitarios del Estado de Chiapas, cumplen con la normatividad vigente en los aspectos de operatividad y ambiental.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Residuos

La intensificación de la industrialización que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo pasado, produjo una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población en aumento y con patrones de consumo cambiantes y cada vez más demandantes. A la par crecieron la generación de residuos de distintos tipos y los problemas asociados para su disposición adecuada, así como las afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas (SEMARNAT, 2012).

Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley. En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

Se entiende por residuo todo material que es destinado al abandono por su productor o poseedor, pudiendo resultar de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza.

1.1 Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Se generan en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (p. e., de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques) o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (LGPGIR, 2003).

Los RSU, conocidos comúnmente por “basuras”, que se producen en los núcleos de población constituyen un problema para el hombre desde el momento en que su generación alcanza importantes volúmenes y, como consecuencia, empiezan a invadir su espacio vital o de esparcimiento (Barradas, 2009).

Se incluyen dentro de estos todos los que se generan en la actividad doméstica, comercial y de servicios, así como los procedentes de la limpieza de calles, parques y jardines. Según la procedencia y la naturaleza de estos residuos se pueden clasificar en:

Los residuos domiciliarios: procedentes de la actividad doméstica, como residuos de la cocina, restos de comida, desperdicios de la calefacción, papeles, vidrios, material de embalaje y demás bienes de consumo, adecuados por su tamaño para ser recogidos por los servicios municipales normales. Se incluyen los residuos de domicilios colectivos, tales como cuarteles, residencias, asilos, etc.

Los residuos voluminosos: de origen doméstico, tales como grandes embalajes, muebles, etc., y que debido a sus dimensiones no son adecuados para su recolección por los servicios municipales normales, pero que pueden ser eliminados junto con los residuos domiciliarios.

Los residuos comerciales y de servicios: generados en las distintas actividades comerciales (tiendas, mercados, almacenes, centros comerciales, etc.) y del sector de servicios (bancos, oficinas, centros de enseñanza, etc.). Por sus características específicas, no están incluidos aquí los residuos procedentes de la actividad sanitaria, ni los generados en los mataderos.

Los residuos de limpieza de vías y áreas públicas: procedentes de las actividades de limpieza de calles y paseos y de arreglo de parques y jardines (hierba cortada, hojarasca, troncos y ramas de hasta un metro de longitud, etc.).

La naturaleza de los residuos sólidos urbanos es enormemente variada y debe estudiarse en cada momento y en cada localidad, ya que, en efecto, los RSU varían:

Según su origen, puesto que pueden ser domésticos, procedentes de industrias o de establecimientos comerciales, de la limpieza de las calles o de los edificios públicos, etcétera.

Según el lugar de procedencia, las zonas urbanas producen más papel, plásticos y residuos de manufactura, enlatados, etc.; las zonas rurales tienen una producción de residuos más orgánica.

Según la variación climática, en verano se suelen consumir más verduras y frutas y en invierno se suelen producir más cenizas. El encrudecimiento de un invierno puede repercutir considerablemente en la producción de los residuos.

Según el nivel de vida, la población con mejor economía suele producir más residuos; en zonas deprimidas se consume menos. El nivel de vida influye también en la cantidad de residuos, siendo más abundante en las zonas residenciales que en los barrios pobres. En estos últimos, además de consumirse menos, se aprovechan los bienes al máximo, usándose los envases después de vaciados, reciclando, en una palabra, la mayor parte de los materiales de desecho, revendiendo el papel y el cartón, etc. Los ciudadanos más adinerados no reutilizan las latas, cartones de embalajes, envases de vidrio, periódicos viejos y objetos variados.

Según las variaciones estacionales, en verano, con las vacaciones, se producen menos RSU en fábricas y comercios, siendo además la composición más variable en los residuos domésticos. Por otra parte, la salida de vacaciones de los ciudadanos tiene como resultado una disminución considerable de los residuos en las ciudades. Este fenómeno se da asimismo los fines de semana, con el traslado de una gran cantidad de población desde sus residencias habituales a las segundas residencias de descanso en el campo: los residuos de los que quedan en las ciudades suelen ser muy distintos a los residuos de los días laborables.

De todas estas variaciones, sin duda alguna, la más importante en la composición de los residuos es el aumento del nivel de vida, siendo también el factor más influyente a largo plazo para la gestión de los RSU. La composición de los residuos puede ir evolucionando en una ciudad de forma considerable en función del cambio de vida de sus habitantes.

1.2 La problemática de los RSU

La generación de RSU tiene una triple repercusión medioambiental: contaminación, desperdicio de recursos y necesidad de espacios para su disposición final (SEMARNAT, 2012).

Antiguamente, los residuos no eran un motivo de preocupación, ya que su eliminación se producía de forma más o menos natural. Incluso hoy en día la eliminación de los residuos sólidos urbanos en algunos municipios no constituye un problema, al realizarse directamente a través de la actividad agrícola y ganadera, o bien en los fogones de las cocinas caseras, aprovechando además las cenizas para el campo, lo que puede considerarse como uno de los procedimientos más primitivos.

Como causas del considerable aumento de la producción de RSU en últimos años cabe mencionar el desarrollo industrial, la actividad manufacturera, las afluencias

en torno a las ciudades e incluso, en algunos casos, el desarrollo desproporcionado de algunos municipios (Barradas, 2009).

Los RSU, al ser acumulados o abandonados de una forma incontrolada, crean una evidente problemática ambiental, ya que al no tomar las medidas preventivas oportunas contaminan los medios receptores (aire, suelos y aguas), afectando de una forma importante al paisaje, con la consiguiente depreciación del terreno y deterioro del entorno (Barradas, 2009).

Los residuos constituyen además un problema social, cuya gestión medioambiental y económica necesita encontrar soluciones urgentes que eviten su incidencia ambiental negativa.

Cabe destacar tres aspectos importantes en esta problemática ambiental de los RSU:

Los riesgos sanitarios, es decir, los posibles riesgos de contraer o transmitir enfermedades o lesiones a través del contacto con los residuos, si no se recogen y eliminan adecuadamente. Los depósitos incontrolados de residuos producen olores desagradables y riesgos para la salud de las personas, debido a la presencia de cantidad de roedores, insectos y otros agentes portadores de enfermedades.

Los depósitos de residuos y los basureros incontrolados producen impactos negativos sobre los cuerpos de agua del entorno, ya que los líquidos lixiviados pueden alcanzar y contaminar fuentes superficiales o subterráneas de agua potable o de riego agrícola, así como cuerpos de agua de interés para la acuicultura y el turismo (Morales,1998).

El deterioro y contaminación del entorno que producen las grandes acumulaciones de residuos dispersos en el territorio de forma incontrolada. Se producen molestias a las personas que viven en las proximidades por la presencia de polvo, papeles y plásticos que se extienden por los alrededores al ser transportados por el viento.

Particularmente, la gran cantidad de plásticos y desechos artificiales no biodegradables constituyen un serio problema, pues producen alteraciones importantes del paisaje en las zonas próximas y a veces distantes de los lugares de descarga de residuos. Incluso estos productos no biodegradables, que no se integran en el medio con el paso del tiempo y que no pueden ser mineralizados por los organismos descomponedores, pueden llegar a perjudicar e impedir totalmente los procesos de autogeneración natural de las cubiertas vegetales.

La falta de un servicio adecuado de recolección de los RSU ocasiona las acumulaciones sin control de basura que aparecen por ciudades, campo, cunetas de las carreteras y zonas de esparcimiento (humedales, lugares de recreo, etc.)

La producción, recolección, transporte y eliminación de las basuras no debería constituir un problema en ningún país, pues existen técnicas adecuadas para resolver cualquier casuística que se plantee en esta materia. Sin embargo, la escasez de recursos económicos en la gran mayoría de los municipios impide adoptar las soluciones más adecuadas.

El tema de la recuperación de materiales y desechos existentes en la basura alcanza cada día mayor auge, debido a la crisis de energía, al encarecimiento de las materias primas y al aumento de precio que algunas de ellas han experimentado en los últimos tiempos. Todo ello ha conducido a considerar seriamente la posibilidad de recuperación de materiales a través del reciclado, una vez que las basuras han sido descargadas en las plantas de tratamiento, e incluso antes, mediante la puesta en marcha de campañas de recuperación previa a través de la colocación de contenedores específicos, como en el caso del vidrio, el papel, cartón, pilas, etc., cuyos productos interesa separar del resto de la basura, bien por el alto valor que alcanzan en el mercado, o para evitar una posible contaminación por la presencia de metales pesados o productos especiales que no deben entrar en contacto con la basura (Barradas, 2009).

1.3 Gestión de RSU

Tradicionalmente el camino recorrido por los residuos, desde su generación hasta su disposición final, se ha mantenido en la mayoría de los países en desarrollo, con marcadas excepciones en aquellos que aprovechan alguno de sus constituyentes. Esto, ya sea por una marcada necesidad de recursos, o en el mejor de los casos por una cultura de equilibrio con la naturaleza, transferida de generación en generación (Rivera, 2013).

El manejo tradicional de los residuos sólidos urbanos, mantenido en la mayoría de las ciudades en desarrollo y de las comunidades rurales, incluye rigurosamente las siguientes etapas:

a) Generación de los residuos y acumulación de los mismos en contenedores improvisados.

- b) Recolección domiciliaria de residuos en camiones con o sin alguna adaptación de apoyo para la carga y descarga de contenedores en cada domicilio. En algunos casos se han empleado vehículos con compresión de residuos y niveles accesibles de carga y descarga.
- c) Transporte de los residuos.
- d) Disposición final de los residuos en basureros a cielo abierto, sitios controlados o rellenos sanitarios.
- e) Recuperación de materiales aprovechables, por parte de personas de muy bajos recursos económicos y en condiciones antihigiénicas.
- f) Combustión de los residuos restantes.

Otras etapas no generalizadas, ya sean por el nivel socioeconómico de la población o por las características del lugar, pueden ser:

- a) Selección, almacenamiento y venta de los materiales aprovechables. Estas actividades se realizan previamente al depósito de los residuos en los recipientes para basura. El tipo y cantidad de materiales recuperados dependen de la oferta y la demanda del mercado en un momento dado.
- b) Combustión de los residuos para calentamiento de agua o para preparación de alimentos. Esta actividad se da mayoritariamente en el área rural y aprovecha principalmente residuos de cultivos, papel y cartón.
- c) Combustión de los residuos de jardinería. Esta etapa se realiza antes de la recolección domiciliaria. En muchas ocasiones, por falta de un buen servicio de recolección, se incorporan también los demás residuos acumulados, preferentemente residuos de papel y cartón u otros residuos combustibles, como plásticos.
- d) Acumulación de los residuos orgánicos comestibles en pequeños recipientes. Se destinan a la alimentación de animales de granja, comúnmente cerdos y aves de corral. También ocurre mayoritariamente en la zona rural y en domicilios con patios reservados para la cría de animales.

Una característica común del manejo tradicional de los residuos sólidos urbanos es el orden indisposición final, con respecto a su gestión integral, de la prioridad otorgada a las distintas etapas y alternativas posibles de valorización de los materiales potencialmente recuperables o aprovechables. La disposición final, en basureros o rellenos sanitarios, resulta ser la primera de las alternativas previstas

para la destrucción o desaparición de los residuos generados. La valorización de los residuos se vuelve una alternativa catalogada como costosa y altamente tecnificada.

En la gestión tradicional de los residuos sólidos urbanos se hace a un lado que la razón principal de la comercialización de los materiales recuperados en los basureros o en los propios domicilios, es la demanda que existe de los mismos. Todas las previsiones que se realicen para reducir su generación o para recuperarlos con buena calidad aseguran su utilidad futura, desde la simple reutilización hasta su aprovechamiento como materia prima en los procesos de transformación industrial.

El reciclaje de vidrio, metal, papel y cartón y el compostaje de la fracción orgánica de los residuos se realizan en escala muy baja. La reducción en la fuente y las actividades educativas tendientes a la minimización de los residuos son muy poco socorridas dentro del marco de la gestión tradicional de los residuos.

Los sistemas de recolección y de transporte generalmente son deficientes y la falta de recursos económicos de los organismos responsables de la gestión impide la aplicación de buenas estrategias de mejoramiento.

Debido a su crítico papel en la protección ambiental y el mejoramiento de la productividad, debería ser una prioridad para las ciudades del tercer mundo la formalización de la gestión efectiva de los residuos sólidos, sin embargo, es un servicio costoso que consume entre 20 y 50 % de los presupuestos operacionales disponibles para los servicios municipales, todavía atendiendo no más que el 70 % de la población. Los no servidos son casi siempre la población creciente de bajos ingresos concentrada en las áreas periurbanas. Es un reto formidable reducir el déficit de servicios y mantener el paso de los requerimientos de la rápida urbanización (Bartone, C. R. y Bernstein, J. D., 1993).

Villegas L., C. A. (1990), señala consideraciones económicas e institucionales para explicar la disminución o el estancamiento en la prestación del servicio de gestión y disposición de los residuos sólidos domésticos e industriales. Estima que la población de América Latina y el Caribe producen diariamente 220,000 toneladas de residuos sólidos, alcanzándose a recolectar el 70 % de la producción urbana y a disponer sanitariamente sólo el 14 %.

La regionalización ha emergido como una herramienta valiosa en la gestión de residuos sólidos municipales. Los recursos limitados para financiar las actividades de gestión y otras restricciones han llevado a muchas comunidades rurales y pequeñas comunidades a perseguir la regionalización como un medio para

implantar la gestión integral de residuos y otros programas de gestión regional. Las ventajas incluyen mayor flexibilidad y economías de escala más grandes, mientras que las limitaciones incluyen metas de gestión posiblemente conflictivas y desigualdad potencial entre comunidades. La US-EPA (1994) ha emitido guías para iniciar planes de regionalización y casos de estudio que ilustran proyectos exitosos basados en la confianza pública, corporaciones públicas no lucrativas, acuerdos intergubernamentales y consejos regionales.

Hueber, D., (1991), analiza la situación de la gestión de los residuos y las opciones tecnológicas, legales y organizativas, para un plan de gestión ambiental en Costa Rica. Señala los siguientes objetivos: organización armónica entre los entes públicos y privados; leyes, reglamentos y normas técnicas que permitan un servicio de gestión de residuos eficiente y económicamente sostenible; propuestas para reducir los residuos ordinarios y peligrosos y mejorar la capacidad para su reciclaje y reuso; diseño de un programa de educación no formal dirigido a la comunidad, para que asuma un papel activo en la solución del mal manejo de los residuos, y presentación de estrategias administrativas y concepciones tecnológicas.

La gestión europea de los residuos sólidos, enmarcada en la política del desarrollo sostenible, ha tenido que tomar en cuenta los principios generales del eco-eficiencia. De ahí que los tomadores de decisiones determinen la mejor estrategia de gestión de acuerdo a los objetivos específicos de la gestión de los residuos, al mérito ambiental y al mérito socioeconómico. Este último considera el impacto en la producción primaria, la aceptabilidad social y la factibilidad de implantación (Lemmes, B. 1998).

La jerarquía de la gestión de residuos propuesta hace una década mantiene aún vigentes los principios generales de prevención, recuperación y disposición final. Los problemas surgen cuando se discute en qué posición queda cierta tecnología. La industria ha salido adelante con los esquemas de reducción de residuos antes que la legislación impusiera su reducción. Obviamente hubo otros factores económicos suficientes para asegurar tal tendencia de minimización de residuos.

Lemmes, B. (1998) concluye en su análisis de la jerarquía de residuos, que la legislación para la gestión de residuos debería ser suficientemente flexible y tomar en cuenta los 20 requerimientos socio-políticos y el estado del arte del desarrollo tecnológico para tratar con las condiciones actuales y los desarrollos tecnológicos futuros.

Desde finales de los 80s en Dinamarca se ha dado alta prioridad a la solución del problema de los residuos. Ello respondiendo al hecho que, por un lado, los residuos pueden aprovecharse como un recurso, y por otro lado, la gestión inapropiada tiene un impacto negativo en el ambiente natural y en el ambiente de trabajo.

(Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J., 1998). La gestión de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe evoluciona paralelamente al crecimiento económico e industrial de la región. Tal gestión ya se ha identificado como un problema desde hace varias décadas, adoptando soluciones parciales que hoy día no acogen a todos los países de la región ni las necesidades de gestión necesarias. Así también se ha convertido en un tema político permanente en el cuál se intentan aplicar nuevos conceptos relacionados con la financiación de los servicios y la mayor participación del sector privado, así como una insistente participación de la población en cada uno de ellos.

Son muchos los diagnósticos que diferentes países realizan al respecto para proporcionar un mayor aporte al sector de los residuos sólidos en la región, intentando acercarse al concepto de desarrollo sostenible promulgado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, CNUMAD 92, en la que se primicia reducir la generación de residuos, el reciclaje, la reutilización, tratamiento de los residuos y la disposición final de los mismos de manera ambientalmente segura.

Castillo B., Héctor (1997) presenta un resumen de la situación actual de los residuos en las principales ciudades mexicanas, de acuerdo a los actores, instituciones y situaciones específicas que tienen que ver directamente con el tema:

En el ámbito de la política pública se ha considerado el problema básicamente desde la perspectiva de la “ingeniería ambiental” creando “rellenos”, “control de lixiviados”, plantas recicladoras o de compostaje, etc. con infinidad de proyectos que han fracasado al tratar de incorporar la variable social.

En el ámbito de la política municipal, se cuenta con legislaciones locales, pero se caracteriza por una gran improvisación. Depende (al nivel de reportes de trabajo) de legislaciones federales que no llegan a cumplir su función. Está inmersa en intereses económicos y sociales de todo tipo y, aunque es independiente, no parece tener un rumbo fijo.

En el ámbito de la recolección de residuos, es pública en general y privada en algunos casos. Es un proceso privatizado en donde los recogedores (camiones, camionetas, triciclos o carretas de burros) son una especie de “microindustrias”

que dan empleo a miles de familias, formalizan la propina, la pre-recuperación y el sistema de “fincas”, por fuera de cualquier tipo de control.

En el ámbito del reciclaje, la recuperación de materiales la realizan tanto los empleados del servicio de limpia como los traperos de los rellenos y las plantas de selección. Genera empleo para miles de familias que sobreviven con muy bajos salarios, genera cuantiosas ganancias a los intermediarios que controlan la compraventa de materiales y beneficia directamente a la gran industria que compra barato y sin factura esta materia prima para sus procesos de producción.

En el ámbito de la disposición final, a pesar que se han anunciado cierres de rellenos a cielo abierto, subsisten aún en el Distrito Federal. En el estado de México, la situación es mucho más grave y proliferan en todos los municipios los rellenos sin control, los traperos, la explotación, los intermediarios y la falta de control por parte de las autoridades, incluso en los llamados rellenos sanitarios (tiraderos).

En el ámbito de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, se formulan leyes, normativas, y se toma como responsabilidad básicamente los desechos peligrosos (que se depositan en gran medida sin control), dejando los residuos municipales a los gobiernos locales, por lo que la eficiencia de la Secretaria en este aspecto es bastante cuestionable.

En el ámbito de los partidos políticos, continúan con las viejas políticas de los gremios sindicalizados y de traperos.

Y faltan muchas áreas más. Hay problemas de distintos tipos: ambientales, técnicos, metropolitanos, locales, federales, legales, de corrupción, de costumbres y tradiciones, de incompetencia, de falta de planeación urbana, etc. Sin embargo, el problema de fondo que permite unirlos a todos es básicamente de tipo social, ligado a la política y la economía. Por ello las propuestas de solución deben contemplar integralmente estos procesos.

A decir de Castillo B., Héctor (1997), respecto a la basura en la ciudad de México, el objetivo central al que debe apuntar cualquier intento viable de modificación y mejoramiento del sistema actual de gestión de basura implica la necesaria formalización sistemática de los aspectos “informales”, “subterráneos”, “alternos”, o simplemente costumbristas que se han generado con el tiempo y son la cara más deforme del problema.

Esto implica un cuidadoso análisis de las relaciones sociales, económicas y políticas que existen en cada uno de los grupos que participan en el proceso de

gestión de basura. Por ejemplo, el medir el peso real (económico, social y político) del sindicato de trabajadores de limpia; el cuantificar los volúmenes de los productos reciclables y su impacto económico en el empleo; exhibir públicamente las prácticas y costumbres nocivas que existen en la gestión actual de los residuos; mostrar a la ciudadanía el nivel de inconsciencia y malos hábitos ciudadanos que existen sobre la basura, etc.

Para lograr esto presenta un esbozo de propuesta dividida en cinco aspectos medulares:

1) Los ciudadanos son la principal fuente de generación de residuos y se debe impulsar un cambio de hábitos, costumbres y toma de consciencia a través de campañas educativas que, sin duda, pueden llegar a modificar el estado actual de las cosas en forma radical.

2) La industria que produce mercancías, que recicla materiales, que genera residuos peligrosos y que requiere un intenso programa de verificación industrial (pagado por la misma industria) a fin de tener una radiografía normativa clara y permanente de su situación operativa.

3) En el ámbito del reciclaje, fortalecer un sistema de centros de acopio que no sólo garanticen el empleo de los trabajadores (recogedores o traperos), sino que mejoren sus condiciones de vida mediante el trabajo colectivo en cooperativas de producción, que modernicen los procesos y eliminen gradualmente la explotación que produce la dominación patrimonial de estos grupos.

4) En el ámbito institucional promover un amplio programa de fortalecimiento institucional a escala federal y municipal que profile las normas, leyes y reglamentos en una perspectiva nacional de largo alcance.

5) En el ámbito técnico y de recursos, prever la infraestructura necesaria a largo plazo, con planes intermunicipales e interestatales que racionalicen el uso de los equipos, las concesiones, la capacitación del personal, la unificación de conceptos y criterios que permitan un verdadero control de los procesos y un uso eficaz de los recursos.

1.4 Disposición final

La disposición final de los residuos se refiere a su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones que permitan evitar su presencia en el

ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas.

En México, las prácticas más comunes para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo son: relleno sanitario (RS), relleno controlado (RC) y tiradero a cielo abierto (TCA).

Un TCA los residuos se vierten directamente y de manera cotidiana al suelo sin cubrirlos con tierra; práctica inadecuada por los problemas sanitarios y ambientales que provoca, pero es la más utilizada en el país por ser la más económica y fácil de operar para los municipios. La mayoría de los TCA son clandestinos y pueden ser familiares o municipales. Por su diversidad e irregularidad no se tiene registro de la mayor parte de estos sitios (Rojas y Sahagún, 2012).

Para implementar los TCA no se acostumbra realizar un estudio preliminar, sólo se crean de manera arbitraria en los diferentes estados de la república mexicana y, para tal propósito, se utiliza barrancas y cauces de ríos, lagos y lagunas, minas abandonadas, zonas pantanosas, terrenos baldíos y áreas geológicamente inestables. Esta inconsciente disposición final de los residuos sólidos ha provocado problemas de contaminación de agua, aire y suelo, así como la proliferación de fauna nociva, por lo que los efectos negativos para la salud pública y el ambiente podrían ser enormes, pero se desconoce la dimensión exacta del problema. Sobre estos residuos sólidos urbanos, el INEGI reportó que, en 2010, se depositaron 10,211.5 toneladas en TCA.

A esto se suma la problemática social entre los grupos de pepenadores, por las condiciones inadecuadas en que viven y realizan sus actividades; no obstante, el temor a perder su única fuente de trabajo provoca que se opongan a cualquier alternativa encaminada a mejorar las técnicas de disposición final y/o clausura y saneamiento de los TCA.

Un RC es un sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en cuanto a obras de infraestructura y operación, pero no cumple con las especificaciones de impermeabilización ni con las condiciones y requerimientos técnicos, de acuerdo con las disposiciones legales y sanitarias vigentes. El Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática reportó 23 sitios de este tipo en 2006, (Rojas y Sahagún, 2012) y no se cuenta con datos más recientes.

Un RS es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura

adicional, los impactos ambientales. Un relleno de este tipo debe cumplir cabalmente con la normatividad señalada en la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Rojas y Sahagún, 2012).

Con relación a los servicios de disposición final, los reportes de INEGI para 2010, enumeran 238 rellenos sanitarios en los que se dispone el 70% de los residuos generados; en tanto que, en 1,643 tiraderos a cielo abierto reportados, se dispone del 25% de los residuos; el resto (5%), es residuo que se recicla o valoriza. No obstante, la operación de rellenos y tiraderos es inadecuada y representa un riesgo a la salud de la población y al medio ambiente. El Sistema Informático de Sitios Contaminados (SISCO) de SEMARNAT, identificó que al menos 277 sitios de disposición final (tiraderos o rellenos) presentan condiciones similares a las de un sitio contaminado. Esta identificación documental requiere ser actualizada y confirmada en campo, para plantear el tipo de saneamiento o remediación que se requiere y mitigar el riesgo que expone a la población de cada localidad (SEMARNAT, 2019).

La disposición final de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe se realiza en su mayoría de forma incontrolada o semicontrolada siendo solamente el 30 % de la basura la que se deposita en rellenos sanitarios, aunque algunos en ocasiones no cumplen con las especificaciones técnicas para ser denominados como tales. Una de las tendencias actuales de la región es el intento de tratar los lixiviados que se producen en los rellenos con el fin de evitar su vertido a las corrientes superficiales o la filtración al subsuelo. Actualmente se puede decir que el tratamiento de los lixiviados es prácticamente nulo en América Latina y el Caribe. Un problema palpable en América Latina y el Caribe es la existencia de segregadores (cachucheros, pepenadores, buzos) en los rellenos e incluso la existencia de núcleos marginales que realizan sus actividades en el mismo relleno, lo cual además de riesgos sanitarios dificulta la operación sanitaria y segura del relleno.

En la actualidad, ha cobrado interés la gestión sustentable de los residuos sólidos porque prevé la disminución de los impactos ambientales, la conservación de los recursos naturales y el aprovechamiento del biogás generado de la descomposición de los residuos como fuente de energía potencial. En este sentido, en México se ha avanzado en la reconversión de tiraderos a cielo abierto a rellenos de tierra controlados y construcción de rellenos sanitarios, cuyas características de operación, tiempo de vertido y la composición de los residuos sólidos, inciden en distintos grados de degradación de éstos y en una producción diferencial de biogás.

¿Cómo es la disposición final de los residuos y el papel que juega los rellenos sanitarios en otros lugares?

A nivel mundial, los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición incorrecta y porque cada día aumentan, asociados al incremento de la población humana, los procesos de transformación industrial, agroalimentarios y a los hábitos de consumo de las personas.

Desde los años 70 se comenzaron a evidenciar los impactos adversos sobre la salud y el medio ambiente que producen los residuos sólidos municipales, si no se realiza un control adecuado. Los problemas planteados por la generación, separación en la fuente, transporte, almacenamiento, tratamiento, eliminación e inadecuada disposición final principalmente debido a la falta de responsabilidad por parte de las instituciones generadoras de residuos, de las autoridades municipales y sus operadores de aseo en los procesos de disposición final y de los ciudadanos que no separan los residuos en la fuente, perdiéndose la oportunidad de darles un valor agregado como reutilización, reciclaje, compostaje, entre otros. El relleno sanitario y la incineración de los residuos sólidos peligrosos se han implementado como solución a esta problemática en la mayoría de los países.

La gestión integral de los residuos sólidos urbanos continúa siendo un tema pendiente para América Latina y el Caribe (ALC). De acuerdo con el Banco Mundial, se proyecta que la generación de RSU en esta área del mundo pasará de las 130 millones de toneladas que se produjeron en el 2012, a 220 millones de toneladas en 2025 (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012).

La gestión integral de los RSU tiene aspectos que aun necesitan de atención prioritaria, pues predomina en el su financiamiento para la disposición final de los RSU; de acuerdo con Hoorweg y Gianelli (2009), la erogación promedio de los municipios para la gestión de los RSU es del 2-8 % del presupuesto de los municipios. Lo anterior se traduce en varios problemas: la carencia de personal capacitado en el manejo de residuos sólidos (sobre todo fuera de las mega ciudades de ALC); la cobertura de recolección de RSU aunque es alta (93 %), la diferencia entre países es extrema, como son los casos de Haití y Guatemala; la tasa de disposición apropiada de RSU, aún es baja, ya que sólo el 54 % de los RSU se depositan en rellenos sanitarios, el 18 % en vertederos controlados y el 25 % en tiraderos a cielo abierto (ONU, 2012). Aunado a lo anterior, el aumento de la población y de las tasas de generación de RSU y una baja educación ambiental de la población, que vierten sus residuos en lugares públicos, vía pública, a cielo abierto, en arroyos, ríos y lagunas, lo cual se traduce en el deterioro de las condiciones sanitarias urbanas con los consiguientes problemas de salud pública y contaminación ambiental. Asuntos como la injerencia del sector privado en la

gestión de los RSU (recolección, y disposición final), la inclusión de los pepenadores (separadores informales en esquemas del manejo integral de residuos) y la influencia de la disposición de los RSU en el contexto del cambio climático; hacen del tópico de la generación de RSU en ALC de una vigencia importante.

Existe una gran disparidad en la construcción de rellenos sanitarios y como variable afín, la nula cobertura o carencia de datos del servicio de recolección en la zona rural de los países del área; no obstante la desigualdad del servicio puede ser extrema, en México la media nacional de disposición apropiada de RSU es de alrededor del 60 % y Chile, el país que reporta la mayor disposición en ALC, es de 80 % (Calvo *et al.* 2007).

En Colombia la problemática de los residuos sólidos es grande porque la disposición final se realiza con poco control en la mayoría de los municipios, ocasionando contaminación ambiental, tal es el ejemplo de Cartagena de Indias, donde no se realiza separación en la fuente, todos los residuos tanto orgánicos como inorgánicos se reciben mezclados en bolsas y son recolectados por dos empresas que transportan en camiones compactadores un promedio de 26000 toneladas mensuales hacia el relleno sanitario “Parque Ambiental Loma de los Cocos”, en el cual el 100 % de los residuos ordinarios son depositados sin ningún tipo de tratamiento o aprovechamiento (SSPC, 2014).

Otro ejemplo es Asunción, Paraguay, en cuanto a la gestión de los RSU, en el año 2002 se registró un 87.8 % de las viviendas con servicio de recolección (pública o privada), un 6 % los quemó, el 2.6 % los depositó en sus patios y el 3.6 % utilizó otras formas de disposición. La generación de RSU en Asunción incrementó un 12 % en el periodo de 1994 y 2009, de los cuales los RSD aumentaron un 19 % para el mismo periodo. Debido a que la población de Asunción decrece con el tiempo, este aumento en la generación de residuos se correlaciona principalmente con el aumento del Índice de Desarrollo Humano (IDH) (Casati, 2010).

En México, la disposición de los residuos sólidos urbanos está sujeta a la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2003), que clasifica a los sitios de disposición final en: Rellenos sanitarios, sitios controlados y sitios no controlados o tiraderos a cielo abierto, de acuerdo a la infraestructura y condiciones de manejo y operación del sitio. El impacto producido por la generación, manejo y disposición de los RSU en los SDF, ha recibido mayor atención en las últimas dos décadas, debido a las posibles enfermedades, el deterioro ambiental y paisajístico, alta afluencia vehicular, ruido, polvo y emisiones de olores relacionados con la operación de SDF. Actualmente, en el 95 % de los municipios y delegaciones de nuestro país, los RSU se recolectan y disponen en

SDF, sin embargo, sólo al 5 % de los residuos se les da algún tratamiento (INEGI 2012). Algunos de estos sitios se encuentran ubicados cerca de las cabeceras municipales; en algunos casos se tiene control sobre ellos, mientras que la mayoría de éstos opera de manera deficiente e insegura. Así mismo, éste sector representa una fuente de trabajo para miles de personas que laboraran en estos sitios de manera formal primordialmente en los RS, como de manera informal en los Sitios No Controlados.

En un estudio realizado por (Bernache, 2011) acerca de Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región centro occidente de México. Analiza la forma en que funcionan los vertederos de residuos sólidos que dan servicio a ciudades de diversos tamaños en el país. Los sitios de disposición final son el punto más débil de los procesos de manejo de residuos municipales y esto resulta en vectores de contaminación ambiental que afectan directamente las fuentes de agua, la calidad del aire regional y, en ocasiones, a los asentamientos de población aledaños.

Así mismo es importante mencionar que él señala que la disposición final de residuos es un proceso complejo y que tiene un costo significativo para las finanzas de un municipio. Por lo anterior, un sitio que opera como relleno sanitario requiere personal directivo profesional con conocimientos y experiencia en este tipo de actividades, trabajadores especialistas (para operación de maquinaria y organización de la disposición) y también requiere de un presupuesto anual de acuerdo con el tamaño del sitio y el tonelaje de residuos que recibe semanalmente. Además de lo anterior, la gestión sustentable de residuos demanda un compromiso ambiental del presidente y su cabildo, el desarrollo de políticas públicas apropiadas y campañas de educación ambiental para involucrar a la población. Tenemos entonces que para operar eficientemente y con una lógica ambiental un sitio de disposición final se requiere de una plantilla de personal adecuada, de infraestructura y presupuesto, de compromiso político y de participación social. Todo esto se refleja en las diferentes etapas de la gestión de los residuos y particularmente en la disposición final que termina siendo el punto más débil en la gestión de los residuos.

En la actualidad, ha cobrado interés la gestión sustentable de los residuos sólidos porque prevé la disminución de los impactos ambientales, la conservación de los recursos naturales y el aprovechamiento del biogás generado de la descomposición de los residuos como fuente de energía potencial. En este sentido, en México se ha avanzado en la reconversión de tiraderos a cielo abierto a rellenos de tierra controlados y construcción de rellenos sanitarios, cuyas características de operación, tiempo de vertido y la composición de los residuos sólidos, inciden en distintos grados de degradación de éstos y en una producción

diferencial de biogás. Tal como la investigación realizada por (Razo y Delgado, 2012) en el relleno de tierra clausurado y el relleno sanitario de Morelia, con los objetivos de analizar la composición de los residuos sólidos y de determinar si existen diferencias estadísticas en los dos sitios y el tiempo de confinamiento. Para ello se tomaron muestras de residuos de ambos sitios a diferentes profundidades y se caracterizaron los componentes; posteriormente se aplicó un análisis de varianza y la prueba de Tukey a los datos del análisis de composición. Los resultados de los análisis de composición y estadísticos muestran diferencia estadística entre los estratos y los sitios, por lo que se concluye que la composición de los residuos sólidos confinados en los dos sitios es diferente. Estos datos son importantes a tomar en cuenta para la estimación del biogás generado en los sitios de disposición de residuos sólidos.

La gestión sustentable de los residuos sólidos es una de las metas que buscan los tomadores de decisiones, ya que además de disminuir impactos ambientales, prevé efectuar un aprovechamiento de la energía potencial del biogás que se produce de la descomposición de los residuos (Hernández y Durán 2006, Scharff y Jacobs 2006). En México, continúan predominando para la disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU), los rellenos de tierra controlados (RTC), que resultan de la reconversión de los tiraderos a cielo abierto, y en menor proporción los rellenos sanitarios (INEGI, 2009); estos últimos que se construyen de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2003).

El incremento explosivo de generación de residuos sólidos municipales (RSM) es un problema para los países en vías de desarrollo, principalmente en las grandes ciudades, donde se encuentra una alta densidad de población urbana con un patrón de consumo creciente y heterogéneo (UN, 2001). En estas ciudades, la gestión de residuos sólidos municipales (GRSM) –entendida como la planificación, organización, dirección, coordinación, control de las diferentes acciones relacionadas con la generación, recolección, transporte y disposición final de los RSM–, enfrenta un doble dilema, por un lado, el gran incremento en la demanda de servicios de gestión de residuos causado por el crecimiento demográfico, y por otra parte, las restricciones de recursos y limitaciones institucionales que presenta el sector público para abordarlo (Buenrostro e Israde 2003, Ahmed y Ali 2006).

Un buen ejemplo de este tipo de ciudades es el Gran Santiago (GS), localizada en la Región Metropolitana de Chile (Vásquez y Alfaro, 2011). Esta ciudad es el área urbana más extensa del país, concentrando el 35.78 % de la población nacional con 5.4 millones de habitantes (INE, 2005).

En Chile, el marco legal que establece las responsabilidades, obligaciones, derechos y penalidades respecto a la GRSM está definido principalmente por 8 instrumentos: 1. Ley 19.300 (Ley General del Medioambiente); 2. Resolución N° 2.444/80 (Normas de operación de los lugares de disposición final); 3. Decreto supremo N°553/90 (Código sanitario); 4. Decreto N°144/61 (Normas de emanaciones o contaminantes atmosféricos por incineración); 5. Decreto Fuerza de Ley Ministerio de Salud (Institucionalidad de salud); 6. Decreto Ley N° 1.289/75 (Estatuto de Ley para la municipalidades); 7. Decreto Ley N° 3.063/79 (Rentas municipales); 8. Ley 20.417 (Institucionalidad medioambiental). Dentro de este marco, se establece al Ministerio del Medioambiente como el órgano del Estado que colabora con el Presidente de la República en el diseño y aplicación de planes y programas en materia ambiental, velando por la diversidad biológica, desarrollo sustentable, política ambiental y regulación normativa; mientras que el municipio es el responsable del sistema de recolección, transporte y disposición final de los RSM de su territorio, siendo este quién además especifica, a través del instrumento legal municipal denominado "Ordenanza", el mecanismo de cobro por este servicio a su población, según criterios de carácter general y objetivo.

Sin embargo, en este marco no se establece cómo las distintas entidades participantes deben coordinarse, jerarquizarse, regularse y controlarse, ni de cómo las políticas de gestión establecidas por el gobierno central, a través del Ministerio de Medioambiente, deben ser alineadas con los aspectos político-económicos propios de la gestión municipal de los RSM. Tampoco introduce formalmente el análisis económico (costo beneficio, costo eficiencia) en los procesos de elaboración de acciones y regulaciones ambientales en el tema de gestión de residuos (Katz *et al.* 2010), ni presenta facilidades impositivas explícitas que propicien la minimización, reutilización y el reciclado de los RSM.

En la actualidad, sólo existe un fondo concursable por parte del Estado, denominado Fondo de Protección Ambiental (FPA), el cual a partir del 2011 fue potenciado y fortalecido, estableciendo cuatro líneas de trabajo donde se destacan "gestión ambiental local" e "investigación e información ambiental", buscando así incentivar iniciativas ambientales de pequeña escala y estudios en estas materias.

La creciente generación de residuos se ha convertido en un problema global de enorme envergadura y su adecuada gestión y tratamiento en un desafío. En el caso de los Residuos Sólidos Urbanos, el problema desborda lo que antes era un problema meramente local y desde distintos organismos internacionales se insta a las autoridades nacionales y locales a adoptar planes integrales de gestión y a implementar soluciones que acaben con los vertederos incontrolados o mal gestionado, origen de impactos altamente negativos sobre el medio ambiente y la

salud humana. En Europa, desde hace más de cien años, se ha practicado la incineración de estos residuos, acumulando experiencia y tecnologías hasta llegar a instalaciones totalmente controladas limpias y seguras. Actualmente, en la Unión Europea, una legislación exigente acompañada de tecnologías avanzadas propicia la recuperación energética de los residuos descartados para el reciclaje potenciando la termovalorización (waste to energy) como una solución sostenible para resolver el problema de los RSU, obteniendo adicionalmente energía térmica y eléctrica. Esta opción, con los patrones de exigencia europeos, está siendo adoptada en muchos países y recomendada como solución para algunos de los problemas de las grandes aglomeraciones.

La expresión “vertedero” también requiere de una precisión terminológica. Según el diccionario de la Lengua Española, significa en su primera acepción “Lugar adonde o por donde se vierte algo” y en su segunda “Lugar donde se vierten basuras o escombros”. Es claro, pues, que el término no discrimina según las condiciones en las que se produce el vertido o depósito. En España se utiliza en este sentido genérico por lo que hay que distinguir si el vertedero es incontrolado, es decir, sin acondicionar previamente el lugar y gestionarlo adecuadamente; o controlado, en cuyo caso se suele hablar de “relleno sanitario”, lo que supone la adopción de una serie de medidas para reducir sus negativos impactos sobre el medio ambiente y la salud de las personas. En conclusión, podemos decir que según el castellano que se habla en España todo relleno sanitario es un vertedero, pero no todo vertedero es un relleno sanitario. En América Latina, en cambio, el término vertedero se usa frecuentemente como sinónimo pleno de “relleno sanitario”, es decir, entendiéndolo como “vertedero controlado” y se utilizan para los incontrolados los términos “tiradero”, o “basural”, no utilizados en España.

En Alemania, desde 1995 ya se había logrado aprovechar 60% de los residuos sólidos generados. Actualmente, tan solo 1% de los residuos sólidos municipales se dispone en rellenos sanitarios y el otro 99% es aprovechado. El establecimiento de metas concretas por parte de los gobiernos es el punto de partida y ha sido el común denominador en los países en donde se han logrado resultados contundentes.

Ahora bien, el planteamiento de estrategias debe focalizarse en aquellos residuos con mayor potencial de aprovechamiento: típicamente, 60% de los residuos sólidos municipales es de tipo orgánico y otro 25% es aprovechable mediante procesos de reciclaje. Esto quiere decir que de cada 10 toneladas que llegan a relleno sanitario, más de ocho podrían ser aprovechadas. En Colombia, solo 3% de los residuos sólidos municipales generados son aprovechados.

En otras palabras, de las 31.000 toneladas que diariamente se generan, solo unas 3.000 toneladas deberían llegar a relleno sanitario. Las otras 28.000 toneladas podrían aprovecharse, lo que equivale -en peso- a desechar todos los días unos 400 tractos mulas completas y cargadas.

Esto sumado al hecho de que casi 40% de los rellenos sanitarios en Colombia tienen menos de tres años de vida útil, envía una señal urgente de abordar la gestión de residuos con una perspectiva de sostenibilidad, para lo cual se requiere acelerar el proceso de materializar resultados. Una visión amplia y de largo plazo podrá convertir lo que hoy es un problema sanitario en este país, en oportunidades de comercio, empleo y desarrollo. Además, la perspectiva de minimizar la disposición final favorece el logro de los objetivos de desarrollo sostenible – ODS con los que el país se ha comprometido.

Con el aprovechamiento de la fracción orgánica se podría reducir en 60% la cantidad de residuos que entran en descomposición y demoran en estabilizarse al menos 40 años en rellenos sanitarios, generando altas cantidades directas e indirectas de CO₂. De esta forma se podría contribuir con el objetivo de adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático. A su vez, mediante procesos de digestión anaerobia se puede obtener energía de biomasa, que es considerada fuente de energía renovable. El aprovechamiento de residuos sólidos tiene el potencial de contribuir con los objetivos de fomentar el crecimiento económico y lograr el desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles.

Los esfuerzos en Colombia en materia de gestión de residuos sólidos han sido significativos, pero siguen lejos de un panorama de sostenibilidad. Es así como el Gobierno debe propiciar los escenarios adecuados para la ejecución de una política integral orientada a minimizar la cantidad de residuos que llegan a sitios de disposición final. Lo anterior se puede lograr mediante el establecimiento de incentivos para los diferentes sectores y actores, programas de sensibilización y educación, esquemas de recolección separada e implantación de tecnologías. Con el fin de garantizar la viabilidad económica de los sistemas de aprovechamiento, es necesario además establecer mecanismos dentro del esquema tarifario para hacer competitivo el aprovechamiento frente a la disposición final, así como establecer el marco regulatorio para la comercialización de estos productos.

1.5 Rellenos sanitarios (RS)

La disposición final de los residuos sólidos lleva varios siglos. Hace 2000 años los griegos enterraban sus residuos, claro esto sin compactarlos. Fue en 1930 que la ciudad de Nueva York y Fresno, California iniciaron con la compactación de los residuos con maquinaria pesada y cubriéndolos con tierra, por lo cual fue de este modo que el termino Relleno Sanitario, fue inventado (Rojas y Sahagún, 2012).

De acuerdo con (Jaramillo, 2002), el relleno sanitario es una técnica de disposición final que se le da a los residuos sólidos, enterrándolos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura.

Esta técnica presenta principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, se toman medidas de seguridad, por los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Esto fue considerado en un principio en una solución pero al crecer la población el incremento de residuos también hizo lo mismo, haciendo obsoleta esta técnica terminando como botaderos a cielo abierto, por lo cual se tuvieron que tomar medidas de seguridad para destinar una zona como relleno sanitario y hacer buen manejo de estos residuos.

En la actualidad, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control (Jaramillo, 2002).

Consiste en la disposición final de los RSU y RME generados en la localidad, de tal forma que no cause perjuicio al ambiente ni peligros a la salud y seguridad pública. Los residuos se colocan en capas compactadas, cubiertas con tierra, utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogeneización y compactación. Antes de la colocación de los residuos, el suelo se prepara para prevenir la infiltración de líquidos lixiviados provenientes de la descomposición de los residuos, utilizando materiales naturales o sintéticos. Al mismo tiempo se construyen obras de control y monitoreo, como pozos de venteo y quemadores para el biogás o colectores para captar los lixiviados. Esta infraestructura se utiliza cuando se prevén ingresos de más de 10 toneladas de residuos al día. La Norma Oficial Mexicana NOM- 083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de

protección ambiental y de manejo especial. De acuerdo a ella, los rellenos sanitarios deben: 1) garantizar la extracción, captación, conducción y control de los biogases generados; 2) garantizar la captación y extracción de los lixiviados; 3) contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo del agua de lluvia; y 4) controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial.

1.5.1 Tipos de RS

En relación con la disposición final de RSU, se podría proponer tres tipos de RS, a saber:

Relleno sanitario mecanizado

El relleno sanitario mecanizado es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento.

Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc.

Relleno sanitario semimecanizado

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de RSM en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno al que podríamos llamar semimecanizado.

En México, después de 18 meses de estudios, pruebas y experimentos, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología estableció: "Adaptando un tractor de 31 HP, en 8 horas de trabajo y con un peón de ayuda, pueden confinar sanitariamente los residuos de poblaciones de hasta 80.000 habitantes, o sea, aproximadamente 40 t/d de basura" (Jaramillo, 2002).

Con base en experiencias previas, se puede afirmar que es necesario el empleo de equipos de movimiento de tierras (tractores de orugas o retroexcavadoras) en forma permanente cuando al relleno sanitario se llevan más de 40 t/día de RSM. En la Región, esto equivale por lo general a poblaciones mayores de 40.000 habitantes.

Por su versatilidad, el tractor agrícola puede servir para prestar o apoyar el servicio de recolección de basura si de preferencia se le engancha un remolque con volteo hidráulico de unos 6 a 8 metros cúbicos de capacidad o bien una caja compactadora, dependiendo de las necesidades y recursos de la localidad. Ocasionalmente, este mismo equipo podrá emplearse en la realización de algunas obras públicas en el municipio, con lo que se aprovecharía al máximo la inversión realizada.

Relleno sanitario manual

Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen –menos de 15 t/día–, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento. El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

En comparación con un botadero incontrolado o semi-controlado, la construcción de un relleno sanitario tiene las ventajas siguientes:

- Mejor protección del medio ambiente (drenaje y tratamiento de las aguas lixiviadas, drenaje de gas por chimeneas, cubierta de los desechos)
- Mejor seguridad para los trabajadores (taludes definidas, compactación de la basura, menos peligro de caída del cuerpo de basura, menos contaminación en el lugar de trabajo)
- Ventajas económicas para el municipio: Con un manejo adecuado del relleno sanitario se puede utilizar al máximo el terreno. La compactación de la basura y la construcción planificada, extienden la vida útil del relleno y permiten un uso más prolongado del terreno.
- Menos molestia y contaminación para los ciudadanos: El manejo adecuado comienza con la selección del terreno para el relleno, que no debe ser cerca de sitios habitados.

La ejecución de RS es actualmente el método más indicado para la DF de RSU en nuestra región. También lo es para países de más recursos: el 72% de los

residuos en EEUU y el 52% en Alemania tienen ese destino. Por otro lado, aún en funcionamiento los RS no impiden la adopción de políticas tendientes a una gestión más integral de los RSU, incluso aquellas destinadas al aprovechamiento de los gases para obtener “bonos de carbono” o producir energía que ayuden a financiar la administración de los RSU.

Como anteriormente se mencionó un RS se puede definir como la disposición final de residuos en depósitos compartimentados, que convenientemente aislados, permiten la degradación controlada de los desechos, una importante disminución de riesgos ambientales, y el control de eventuales focos de enfermedades.

Por los procesos que se producen en su interior, un RS funciona como biorreactor anaeróbico, donde ocurren reacciones físicas, químicas y biológicas entre los residuos sólidos depositados y el agua, sea la contenida en los mismos o los que ingresan a partir de precipitaciones pluviales. Estas reacciones, aceleradas por la presión que tiene origen en la compactación mecánica o por las cargas de residuos, producen gases, líquidos lixiviados y un aumento de la densidad, origen a su vez de asentamientos diferenciales. Un RS atraviesa diversas fases (descomposición aeróbica inicial, descomposición anaeróbica, primero acetogénica y finalmente metanogénica) durante un periodo entre 15 y 30 años, variable según diversas condiciones de operación y tipo de residuos, para finalizar la inertización de residuos y su estabilización.

La elección del sitio donde instalar un RS debe contemplar un variado listado de requerimientos: accesibilidad, condiciones para la ejecución de la infraestructura, mínimo impacto ambiental para su operación, posibilidades de mantenimiento e integración en la postclausura, etcétera. Esto a su vez obliga a considerar las condiciones sociales, geotécnicas, hidrológicas, económicas y legales del propio sitio, su entorno inmediato y de la comunidad a la que debe servir. Si bien algunas localizaciones donde no resulta inicialmente recomendable la instalación de infraestructura especiales, debe evaluarse si su costo inicial o de mantenimiento son económicamente justificables.

La infraestructura de un RS debe incluir el cercado perimetral, facilidades para controlar el acceso y el registro de los residuos, caminos internos transitables durante todo el año y en cualquier condición climática, terraplenes para compartimentar en celdas y cubrir diariamente los RSU depositados, sistemas de aislamiento contruidos con suelo de baja permeabilidad, geosintéticos impermeables, o ambos, que eviten la migración de contaminantes en el suelo y aguas subterráneas, red de drenaje externo para limitar el ingreso de aguas superficiales o pluviales, red de drenaje interno para la recolección y extracción de líquidos lixiviados y gases, así como facilidades para su manejo y tratamiento,

sistemas de monitoreo ambiental, en muchos casos forestación y obras de paisajismo que disminuyan el impacto ambiental del relleno, y finalmente obras complementarias como oficinas, obrador, sanitarios talleres, casetas, iluminación, entre otros.

La operación comprende la distribución de los residuos en forma organizada dentro de las celdas o compartimentos que conforman cada módulo, su compactación y cobertura diaria con una capa de suelo para disminuir la propagación de olores, la posibilidad de incendios, el ingreso de agua de lluvia, insectos y animales y para mejorar la estética del sitio; el control y la gestión de los gases y líquidos lixiviados; el registro de los vehículos y residuos ingresados; la vigilancia y el acceso a toda persona no afectada a las tareas del sitio; la cobertura final con suelo y/o materiales geosintéticos, las obras del paisajismo y estéticas; y todos los trabajos de monitoreo, mantenimiento y limpieza del lugar.

Las tareas postclausura son fundamentales de mantenimiento del sitio, destacándose las de corrección de asentamientos, control de erosiones y reparación de pérdidas de líquido de lixiviado; revegetación, forestación y tareas de paisajismo; control de la red de drenaje pluvial, control de la red de monitoreo ambiental, control de los sistemas de captación y tratamiento de líquidos lixiviados y gases, mantenimiento de caminos y accesos, cercado perimetral, limpieza del predio, entre otros.

II. METODOLOGÍA

La metodología consistió en métodos y técnicas que se aplicaron en la investigación con el fin de llegar a los objetivos propuestos y contestar la pregunta tentativa propuesta en la hipótesis.

Se realizó la investigación primero documental y posteriormente de campo directamente en los rellenos sanitarios objetos de estudio.

Para la evaluación de los Rellenos Sanitarios, se utilizaron dos formas, la primera una a partir de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. La segunda adaptando la propuesta de Vera *et al.* (2017).

1.1 Consultar el listado de los rellenos sanitarios en el Estado de Chiapas, que cuenta la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN).

1.2 Seleccionar los municipios que cuenten con un relleno sanitario, tomando como criterios básicos:

1.2.2. Accesibilidad a instalaciones físicas y a información de operación, e impacto ambiental

1.2.3. El tipo de relleno, con mayor representatividad en términos estadísticos.

1.3 Realizar las gestiones pertinentes en cada municipio seleccionado, para realizar las visitas de campo.

2.1 Revisar la metodología construida por Vera *et al.* 2017, y hacer las adaptaciones que se consideren pertinentes.

2.2 Revisar la normatividad vigente para los rellenos sanitarios

2.2.1 Construir el listado de los rubros obligatorios para su desempeño operativo (Röben, 2002) y ambiental (Cruz y Ojeda, 2013).

2.3 Construir la metodología nueva,

2.3.1 A partir de lo establecido por Vera *et al.* 2017, se recolectan datos.

2.3.2. Establecer unidad de observación, mediante los permisos pertinentes de cada municipio y agendar día de visita.

2.3.3. Plan de análisis, trabajo de campo, diagnóstico, evaluaciones y procedimientos para determinar la validez y la confiabilidad de rigor científico.

1.4 Validar la metodología construida de acuerdo con los criterios que establece Rojas (2002), tomando en cuenta la disponibilidad, de recursos financieros, humanos y materiales que determinaran, en última instancia, los alcances de la investigación.

1.5 Desarrollar indicadores y/o otros elementos que permitan la evaluación sistemática y objetiva del desempeño ambiental y operativo.

Con base en los criterios definidos en la lista de chequeo, se aplicó la propuesta Abate (2017), que se describe a continuación:

- 1) Se diseñó una ficha de evaluación de la situación de sostenibilidad para rellenos sanitarios evaluando su desempeño operativo y ambiental.
- 2) Cada ítem puede valorarse cualitativamente sobre la base de dos niveles de cumplimiento del requisito: cumple (C) y no cumple (NC).
- 3) Una vez valorado cada criterio, todos los ítems que cumplieron, se valoran cuantitativamente de acuerdo al criterio del evaluador, expresado en números enteros, conforme a la siguiente escala arbitraria: B=3, MB=4 y E=5.
- 4) Los rangos propuestos son: de 165 a 143 puntos desempeño operativo y ambiental excelente, de 121 a 142 muy bueno y de 99 a 121 puntos bueno, todo lo debajo de este rango se considera como mal desempeño.

III. RESULTADOS

En el siguiente apartado se describe los resultados que se obtuvieron, con el instrumento de recopilación de datos que se utilizó para este proyecto de investigación. Empezando con el desempeño ambiental y operativo de cuatro Rellenos Sanitarios tipo C, del Estado de Chiapas, fortalecido con las visitas a las instalaciones, para contar con mayor información al momento de aplicar los criterios. Las fichas de evaluación por RS, se presentan a continuación:

Los RS seleccionados cumplen con una modalidad tipo C, de acuerdo a la cantidad de toneladas de residuos sólidos urbanos y de manejo especial que ingresan por día, ubicados en los municipios de Villa Comaltitlán, Chiapilla, Ocozocoautla de Espinosa, para el caso de La Concordia, se proyectó como un tipo D, pero por la cantidad de residuos que recibe y las especificaciones técnicas constructivas se considera tipo C.

6.1 Relleno Sanitario Benito Juárez

Tabla 1. Resultado de la evaluación del RS Benito Juárez

DATOS GENERALES		Valor
	Relleno Sanitario, Benito Juárez, La Concordia	
Nombre del RS	RS Benito Juárez	
Régimen de propiedad	Parcela ejidal	
Residuos depositados Ton./día	6	
Área total del predio ha	2 ha al proyecto, donación de 4 ha en total	
Área para la disposición final	1 celda	
Inicio de operaciones	Mayo 2010	
Vida útil estimada en m ³	6.9 años	
Tipo de residuos que ingresa	RSU y RME	
Tipo de RS	C	
PROYECTO EJECUTIVO Y MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (MIA)		
Existe proyecto ejecutivo	Cumple	4
Existe MIA/ resolutive	Cumple	4
Seguimiento de medidas de Mitigación	Cumple	4
RESTRICCIONES		
Menos de 13 km del centro de pista de aeródromo	Cumple	4
No, Área Natural Protegida	Cumple	4
Distancia a localidades (existentes y contempladas en el plan de desarrollo) mayores de 2,500 hab.	Cumple	4
Zonas (s) de marismas, manglares, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas, cavernas, fracturas o fallas geológicas	Cumple	4
Zonas de inundación c/periodos de retorno de 100 años	Cumple	4
500 m respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas	Cumple	4
Pozos de extracción de agua en operación y abandonados	Cumple	4
SISTEMA CONSTRUCTIVO		
Barrera impermeable	Cumple	4
Sistema de captación de biogás y se realiza su extracción	Cumple	4
Quema biogás permanente o aprovechamiento energético	No cumple	0
Sistema de captación de lixiviados y se realiza su extracción	Cumple	4

Sistema de drenaje- desvío de escurrimientos y desalojo de agua de lluvia	No aplica	4
Área de emergencia	No cumple	0
OBRAS COMPLEMENTARIAS		
Caminos de acceso	Cumple	4
Caminos interiores	Cumple	4
Cerca perimetral	Cumple	4
Caseta de vigilancia y control de acceso	Cumple	4
Franja de amortiguamiento (mínimo 10 m.)	Cumple	4
Vestidores y servicios sanitarios	Cumple	4
OPERACIÓN		
Presencia de pepenadores	No	
Compactación de residuos de acuerdo a NOM-083	Cumple	4
Cobertura según NOM-083	Cumple	4
Medidas de control para materiales ligeros, fauna nociva e infiltración pluvial	Cumple	4
Frente de trabajo definido	Cumple	4
La existencia, tipo y desempeño de maquinaria	No aplica	4
Infraestructura y actividades de segregación	Cumple	
Medidas de para evitar el ingreso de RP	Cumple	4
CONTROL		
Manual de operación conforme a la NOM- 083	Cumple	4
Control de registro conforme a la NOM-083	Cumple	4
Dispositivo de seguridad- plan de contingencia	Cumple	4
Informe de actividades por NOM-083	Cumple	4
Programa de control de impactos ambientales	Cumple	4
TOTAL		120

El RS Benito Juárez, municipio de La Concordia, de acuerdo a la ficha de evaluación aplicada alcanzó un status de Bueno, con una calificación de 120 puntos logrado de los 165 posibles de acuerdo a la metodología.

Se ubica en un predio ejidal que inicialmente contaba con 2 hectáreas, tiempo después donaron 2 hectáreas más. Este RS es tipo C, de acuerdo a las especificaciones de construcción, sin embargo, recibe únicamente 6 ton/día, el inicio de la operaciones data de Mayo del 2010, la vida útil estimada es de 6 años y cuenta con 2 celdas, recibe RSU de 6 ejidos del mismo municipio: Independencia, El Diamante, Juan Sables, El Attillo, Benito Juárez, La Tigrilla, el ámbar y Nueva Libertad (figura 1).



Figura 1. Celda del RS Benito Juárez.

Se conoce que no se puede construir infraestructura de este tipo sin contar con un resolutivo en materia de impacto ambiental. El encargado refirió se contaba con un proyecto ejecutivo y una manifestación de impacto ambiental, sin embargo no se lo poseen en las instalaciones del RS, por lo cual no fue posible revisarlo.

El sistema constructivo del RS Benito Juárez, cuenta con una barrera impermeable que impide el paso de lixiviado. No llega a contar con un sistema de captación de biogás, no se realiza ninguna quema de biogás permanente o aprovechamiento energético, no cuenta con sistema de captación de lixiviados en donde se pueda realizar su extracción, no posee con sistema de drenaje de escurrimiento y desalojo de agua de lluvia y no se consideró tener área de emergencia, debido a que no alcanza el límite de la celda y aun no comienza a operar como tal.

Las obras complementarias se llevan a cabo de acuerdo a los lineamientos técnico que garantice la correcta operación del RS. En este RS cuenta con solo un camino de acceso, dos caminos interiores, posee con una cerca perimetral que cubre las 2 hectáreas del predio, dispone de caseta de vigilancia y control de acceso, vestidores y baños sanitarios los cuales se encuentran a la entrada del RS, debería de contar con una franja de amortiguamiento mínimo de 10 metros y en este RS las franjas de amortiguamiento es 1 metro en el frente y el resto de 10 metros.

En las operaciones del RS, se llega a trabajar con la compactación y cobertura, el control de registro e informe de actividades según la NOM-083-SEMARNAT-2003, todo esto lo que nos comentó el encargo, cumple con las medidas de control para materiales ligeros, fauna nociva e infiltración pluvial, se establece límites de caducidad en el frente de trabajo definido. Se cumple con la infraestructura y actividades de segregación, medidas para el ingreso de R.P, se cuenta con una persona la cual está encargada de esa tarea a la entrada del RS, dispone con un dispositivo de seguridad o plan de contingencia al igual que un programa de control de impactos ambientales. No se encontró presencia de pepenadores.

6.2 Relleno Sanitario Intermunicipal de Villa Comaltitlán

Tabla 2. Resultado de la evaluación del RS de Villa Comaltitlán

DATOS GENERALES		Valor
	Relleno Sanitario Intermunicipal Villa Comaltitlán	
Nombre del RS	Intermunicipal	
Régimen de propiedad	Intermunicipal	
Residuos depositados Ton./día	40	
Área total del predio ha	10	
Área para la disposición final	2 celdas	
Inicio de operaciones	Enero 2010	
Vida útil estimada en m ³	5- 6 años	
Tipo de residuos que ingresa	RSU, RME Y RP	
Tipo de RS	C	
PROYECTO EJECUTIVO Y MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (MIA)		
Existe proyecto ejecutivo	No cumple	0
Existe MIA/ resolutivo	No cumple	0
Seguimiento de medidas de Mitigación	No cumple	0
RESTRICCIONES		
Menos de 13 km del centro de pista de aeródromo	Cumple	5
No, Área Natural Protegida	Cumple	5
Distancia a localidades (existentes y contempladas en el plan de desarrollo) mayores de 2,500 hab.	Cumple	5
Zonas (s) de marismas, manglares, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas, cavernas, fracturas o fallas geológicas	Cumple	5
Zonas de inundación c/periodos de retorno de 100 años	No cumple	0
500 m respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas	Cumple	5
Pozos de extracción de agua en operación y abandonados	Cumple	5
SISTEMA CONSTRUCTIVO		
Barrera impermeable	No cumple	0
Sistema de captación de biogás y se realiza su extracción	No cumple	0
Quema biogás permanente o aprovechamiento energético	No cumple	0
Sistema de captación de lixiviados y se realiza su extracción	No cumple	0
Sistema de drenaje- desvío de escurrimientos y desalojo de agua de lluvia	No cumple	0
Área de emergencia	No cumple	0
OBRAS COMPLEMENTARIAS		
Camino de acceso	Cumple	4
Camino interiores	No cumple	0
Cerca perimetral	No cumple	0
Caseta de vigilancia y control de acceso	Cumple	4
Franja de amortiguamiento (mínimo 10 m.)	No cumple	0
Vestidores y servicios sanitarios	Cumple	4
OPERACIÓN		
Presencia de pepenadores	Si	
Compactación de residuos de acuerdo a NOM-083	No cumple	0
Cobertura según NOM-083	No cumple	0
Medidas de control para materiales ligeros, fauna nociva e infiltración pluvial	No cumple	0
Frente de trabajo definido	No cumple	0
La existencia, tipo y desempeño de maquinaria	No cumple	
Infraestructura y actividades de segregación	No cumple	
Medidas de para evitar el ingreso de RP	No cumple	0
CONTROL		
Manual de operación conforme a la NOM- 083	No cumple	0
Control de registro conforme a la NOM-083	No cumple	0
Dispositivo de seguridad- plan de contingencia	No cumple	0
Informe de actividades por NOM-083	No cumple	0
Programa de control de impactos ambientales	No cumple	0
TOTAL		37

El RS intermunicipal de Villa Comaltitlán, de acuerdo a la ficha de evaluación aplicada alcanzó un status de Mal desempeño con una calificación de 37 puntos logrados de los 165 posibles de acuerdo a la metodología.

El sitio en donde se encuentra el RS es propiedad ejidal donada al municipio de Villa Comaltitlán, sus operaciones iniciaron en Enero de 2010. La cantidad aproximada de residuos que ingresa son 40 Ton/día, estos son RSU, RME y RP.

El RS recibe los residuos de Escuintla, Acapetahua, Acacoyagua y Villa Comaltitlán, aunque también se observó que a este relleno acuden camiones provenientes del municipio de Huixtla, destacando que este municipio no estaba contemplado en el proyecto inicial.

Se observaron 3 unidades: 1 retro excavadora 325R, 1 cargador frontal D7 de Orugas y Cargador Frontal D7, de ellos ninguno operaba, según refiere el vigilante se encuentran en proceso de mantenimiento correctivo sin especificar en qué consistía, se apreció que la maquinaria no se había utilizado por un lapso considerable en virtud de las condiciones en las que se presenta.

Los trabajadores no cuentan con equipo de protección personal (Guantes, botas de hule, impermeables, cubre bocas), solo algunos cuentan con el equipo más básico que son los guantes.

Para la frecuencia de recolección son de Lunes a Sábado, en la cabecera son 2 veces por semana (Lunes y Martes), y los miércoles son en las localidades, en el caso de las comunidades se hacen una vez al mes en las zonas Sierra.

En el RS se encuentran nueve pepenadores, de ellos tres son mujeres, tres hombres, y tres niños, los cuales no tienen equipo de protección y recaudan todo lo plástico para su venta. Con el permiso de la presidencia, el permiso tiene una fecha de vencimiento, lo cual ellos mismos tienen que renovar a la fecha que se le indique. Asimismo sin ningún sueldo y ningún equipo de protección personal. Sin embargo ellos mencionan que hay dos turnos (Matutino y Vespertino).

Los residuos no se compactan (figura 2) solo se disponen al azar en el lugar y no hay ningún encargado que se encargue de supervisar. Existen bancos de materiales pétricos, pero no se utilizan.



Figura 2. Celda del RS de Villa Comaltitlán.

Los residuos se encuentran dispersos en toda la celda, no tiene cobertura de ningún tipo, no se observó evidencias de que en algún momento se realizara dicha actividad, personal en el sitio nos mencionó que los años que lleva laborando ahí no ha observado ningún tipo de cobertura que se le dé a los residuos.

No existe medida alguna para este impacto, se observó residuos dispersos en el área del RS y los terrenos aledaños, los residuos están dispuestos en toda la celda y fuera de ella sin identificar como se dispersan.

6.3 Relleno Sanitario Intermunicipal de Chiapilla

Tabla 3. Resultado de la evaluación del RS de Chiapilla

DATOS GENERALES		Valor
	Relleno Sanitario Intermunicipal de Chiapilla	
Nombre del RS	Intermunicipal	
Régimen de propiedad	Intermunicipal	
Residuos depositados Ton. /día	20	
Área total del predio ha	5 ha	
Área para la disposición final	1 celda	
Inicio de operaciones	2010	
Vida útil estimada en m ³	19 años	
Tipo de residuos que ingresa	RSU, RME	
Tipo de RS	C	
PROYECTO EJECUTIVO Y MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (MIA)		
Existe proyecto ejecutivo	Cumple	5
Existe MIA/ resolutivo	No cumple	0
Seguimiento de medidas de Mitigación	No cumple	0
RESTRICCIONES		
Menos de 13 km del centro de pista de aeródromo	No Cumple	3
No, Área Natural Protegida	Cumple	5
Distancia a localidades (existentes y contempladas en el plan de desarrollo) mayores de 2,500 hab.	Cumple	5
Zonas (s) de marismas, manglares, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas, cavernas, fracturas o fallas geológicas	Cumple	5
Zonas de inundación c/periodos de retorno de 100 años	Cumple	5
500 m respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas	Cumple	5
Pozos de extracción de agua en operación y abandonados	Cumple	5
SISTEMA CONSTRUCTIVO		
Barrera impermeable	No cumple	0
Sistema de captación de biogás y se realiza su extracción	No cumple	0
Quema biogás permanente o aprovechamiento energético	No cumple	0
Sistema de captación de lixiviados y se realiza su extracción	No cumple	0
Sistema de drenaje- desvío de escurrimientos y desalojo de agua de lluvia	No cumple	0
Área de emergencia	No cumple	0
OBRAS COMPLEMENTARIAS		
Caminos de acceso	Cumple	5
Caminos interiores	Cumple	5
Cerca perimetral	No cumple	0
Caseta de vigilancia y control de acceso	Cumple	4
Franja de amortiguamiento (mínimo 10 m.)	No cumple	0
Vestidores y servicios sanitarios	Cumple	4
OPERACIÓN		
Presencia de pepenadores	Cumple	
Compactación de residuos de acuerdo a NOM-083	Cumple	5
Cobertura según NOM-083	Cumple	5
Medidas de control para materiales ligeros, fauna nociva e infiltración pluvial	Cumple	5
Frete de trabajo definido	Cumple	5
La existencia, tipo y desempeño de maquinaria	Cumple	5
Infraestructura y actividades de segregación	Cumple	
Medidas de para evitar el ingreso de RP	Cumple	5
CONTROL		
Manual de operación conforme a la NOM- 083	No cumple	0
Control de registro conforme a la NOM-083	No cumple	0
Dispositivo de seguridad- plan de contingencia	No cumple	0
Informe de actividades por NOM-083	No cumple	0
Programa de control de impactos ambientales	No cumple	0
TOTAL		86

El RS de Chiapilla, de acuerdo a la ficha de evaluación aplicada alcanzó un status de Mal desempeño con una calificación de 86 puntos logrados de los 165 posibles de acuerdo a la metodología.

Se ubica en el municipio de Chiapilla, que da los servicios a los siguientes municipios: Acala, Chiapilla, San Lucas y Totolapa, Chis. Con un área total del predio de 5 hectáreas, iniciando su operación en el año 2010, con una categoría de tipo C (figura 3).

Se conoce que no se puede construir infraestructura de este tipo sin contar con un resolutive en materia de impacto ambiental. El encargado proporciono el proyecto ejecutivo pero refirió que no se cuenta con una manifestación de impacto ambiental, por lo que están trabajando en ello, y contar con las medidas de seguridad ambiental.



Figura 3. Celda del RS de Chiapilla.

El sistema constructivo del RS no cuenta con una barrera impermeable que impide el paso de lixiviado. No llega a contar con un sistema de captación de biogás, no

se realiza ninguna quema de biogás permanente o aprovechamiento energético, no cuenta con sistema de captación de lixiviados en donde se pueda realizar su extracción, no posee con sistema de drenaje de escurrimiento y desalojo de agua de lluvia y no se consideró tener área de emergencia, todo ello representa que dicho RS estaba en abandono, en este año se volvió a realizar las labores para su reapertura y trabajar en su reapertura, para mejora del sistema de operación y manejo de los residuos sólidos.

Mantienen sus caminos de acceso e interiores en buenas condiciones, caseta de vigilancia, vestidores y servicios sanitarios.

En las operaciones del RS, se llega a trabajar con un tractor tipo oruga para la cobertura y compactación según la NOM-083-SEMARNAT-2003, cumple con las medidas de control para materiales ligeros, fauna nociva e infiltración pluvial, se establece límites de caducidad en el frente de trabajo definido, es lo que la encargada nos explicó. Se cumple con la infraestructura y actividades de segregación, medidas para el ingreso de R.P, brindándoles la capacitación a los trabajadores a cargo del sistema de limpia de cada municipio, no se encontró presencia de pepenadores.

6.4 Relleno Sanitario Ocozocoautla de Espinosa

Tabla 4. Resultado de la evaluación del RS Ocozocoautla de Espinosa.

DATOS GENERALES		Valor
	Relleno Sanitario Municipal de Ocozocoautla de Espinosa	
Nombre del RS	RS Ocozocoautla de Espinosa	
Régimen de propiedad	Municipal	
Residuos depositados Ton. /día	10	
Área total del predio ha		
Área para la disposición final	2 celdas	
Inicio de operaciones	2016	
Vida útil estimada en m ³		
Tipo de residuos que ingresa	RSU, RME	
Tipo de RS	C	
PROYECTO EJECUTIVO Y MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (MIA)		
Existe proyecto ejecutivo	No cumple	0
Existe MIA/ resolutivo	No cumple	0
Seguimiento de medidas de Mitigación	No cumple	0
RESTRICCIONES		
Menos de 13 km del centro de pista de aeródromo	Cumple	5
No, Área Natural Protegida		5
Distancia a localidades (existentes y contempladas en el plan de desarrollo) mayores de 2,500 hab.	Cumple	5
Zonas (s) de marismas, manglares, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas, cavernas, fracturas o fallas geológicas	Cumple	5
Zonas de inundación c/periodos de retorno de 100 años	Cumple	5
500 m respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas	Cumple	5
Pozos de extracción de agua en operación y abandonados	Cumple	5
SISTEMA CONSTRUCTIVO		
Barrera impermeable	Cumple	3
Sistema de captación de biogás y se realiza su extracción	No cumple	0
Quema biogás permanente o aprovechamiento energético	No cumple	0
Sistema de captación de lixiviados y se realiza su extracción	No cumple	0
Sistema de drenaje- desvío de escurrimientos y desalojo de agua de lluvia	No cumple	0
Área de emergencia	No cumple	0
OBRAS COMPLEMENTARIAS		
Camino de acceso	Cumple	4
Camino interiores	Cumple	3
Cerca perimetral	No Cumple	0
Caseta de vigilancia y control de acceso	Cumple	5
Franja de amortiguamiento (mínimo 10 m.)	No cumple	0
Vestidores y servicios sanitarios	Cumple	5
OPERACIÓN		
Presencia de pepenadores	No Cumple	
Compactación de residuos de acuerdo a NOM-083	No Cumple	0
Cobertura según NOM-083	No Cumple	0
Medidas de control para materiales ligeros, fauna nociva e infiltración pluvial	No Cumple	0
Frente de trabajo definido	No Cumple	0
La existencia, tipo y desempeño de maquinaria	No Cumple	3
Infraestructura y actividades de segregación	No Cumple	
Medidas de para evitar el ingreso de RP	No Cumple	0
CONTROL		
Manual de operación conforme a la NOM- 083	No cumple	0
Control de registro conforme a la NOM-083	No cumple	0
Dispositivo de seguridad- plan de contingencia	No cumple	0
Informe de actividades por NOM-083	No cumple	3
Programa de control de impactos ambientales	No cumple	0
TOTAL		57

El RS Ocozocoautla de Espinosa, de acuerdo a la ficha de evaluación aplicada alcanzó un status de mal desempeño con una calificación de 57 puntos logrados de los 165 posibles de acuerdo a la metodología.

Se ubica en el municipio de Ocozocoautla de Espinosa, brindando el servicio al municipio en general, iniciando su operación en el año 2016, con una categoría de tipo C.

Los encargados desconocen de la existencia de un proyecto ejecutivo en que descansa el proceso constructivo, pero sobre todo la forma de operar los sistemas ya construidos. En relación a la evaluación del impacto ambiental los encargados refieren ignorar el concepto en sí, de igual forma desconocen de la existencia de la manifestación de impacto ambiental, y por supuesto mucho menos del correspondiente resolutivo en la materia.

Físicamente no se encontraron evidencias de medidas de mitigación, pero cuentan con una guía de manejo de RSU Y RME, de donde se deben seguir las recomendaciones.

En la celda principal, se puede observar la geo membrana desgastada por lo que se infiere el paso continuo de la maquinaria pesada, la falta de cobertura sobre los residuos, por lo cual solo se disponen en la celda únicamente se le da compactación, no se observó evidencias de dicha actividad ya que el encargado comento que estaban escasos de combustible para la maquinaria. En el RS se encuentran dos pepenadores los cuales cuentan con un permiso por parte del municipio para estar en el área. En cuanto al sistema de captación de lixiviados se cuenta con el sistema de mangueras para la laguna y la recirculación que le brindan día a día, según comenta el encargado, logrando observar que hay escurrimiento de la laguna hacia los terrenos colindantes con evidentes infiltración al subsuelo (figura 4).



Figura 4. Celda del RS de Ocozocoautla de Espinosa.

Los trabajadores y el personal encargado del RS desconocen las medidas de control, la clasificación de los residuos, tales como los residuos peligrosos que tienen que evitar el ingreso, y no han recibido capacitación adecuada sobre la operación de RS, manejo de residuos y los impactos ambientales, a pesar que ellos refieren que si se les brinda.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos de esta investigación, es relevante recalcar que los RS del Estado de Chiapas carecen de seguimiento y supervisión para evaluar su desempeño ambiental y operativo, lo cual se ve reflejado en el status de calificación que obtuvieron los RS de los municipios seleccionados.

De acuerdo con la metodología aplicada, al menos tres de cuatro RS, tienden a un mal desempeño, lo que presenta estar más cerca de un sitio controlado o un tiradero a cielo abierto.

Los vectores de contaminación que se originan en los vertederos y rellenos sanitarios han sido descritos en detalle por Robles, quien señala que las causas principales de la contaminación ambiental en sitios de disposición final son el biogás y los lixiviados (Robles 2008). Robles afirma que se ha mejorado el manejo y la disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios que pueden controlar estos dos vectores de contaminación. Sin embargo, la mayoría de sitios de disposición de residuos en zonas urbanas todavía no pueden clasificarse como rellenos sanitarios, persisten los tiraderos y los diversos tipos de vertederos municipales.

Para definir el procedimiento más adecuado para la disposición final de los residuos sólidos en el municipio, se debe realizar un inventario o diagnóstico de la situación actual, considerando los aspectos relativos al tipo, origen, y cantidades de residuos sólidos producidos, tratamientos eventualmente existentes y puntos donde esos residuos sólidos son dispuestos. En estos casos los municipios poseen un área de disposición final clasificada como un RS, los cuales deberían estar cumpliendo todas las especificaciones técnicas que usualmente se exigen para esta operativa, los trabajos deberán continuar, manteniéndose la planificación y la operación ya definidas. Dichas especificaciones están definidas en la NOM-083-SEMARNAT-2003. Evaluando los problemas más importantes causados por la disposición final de los residuos sólidos, se tiene una jerarquización de las medidas necesarias y la clasificación de las condiciones de la disposición, como lo menciona (Abbate, A, 2017).

Los resultados de esta investigación confirman que los procesos de disposición final en los municipios son un punto problemático que es el origen de contaminación local y regional tanto por el manejo del gas metano que se libera a la atmósfera, como por la falta de control de los lixiviados con residuos peligrosos que escapan de los vertederos.

Los escurrimientos de lixiviados fuera del sitio contaminan fuentes de agua y afectan un sector pequeño (pero importante) de la población regional. En la minoría de casos hay afectaciones graves, en otros casos las afectaciones son serias. En cualquier escenario, el punto es que no debería tenerse escape de lixiviados que contaminen el agua y afecten población.

La construcción de RS se ha incrementado conforme el paso de los años, sin embargo, no son los suficientes para tener un manejo adecuado de los residuos generado.

Además, conforme se incremente el número de habitantes, las cantidades de residuos serán mayores, por lo que es importante incentivar a los municipios para que realicen las propuestas necesarias ante el estado o la federación para tener un RS, asegurando que estos cuenten con los apoyos económicos para la implementación del relleno y que cumplan y operen conforme a la normativa aplicable (Caballero-Saldívar et al. 2011).

En lo referente a la tecnología de los tipos de disposición final, es importante determinar cuál es el RS que mejor se adapta a las necesidades del municipio, en función del número de habitantes de la población y del análisis de las posibilidades de una regionalización de diversos municipios.

Previo a la construcción de un RS se deben realizar los estudios necesarios para cumplir con las especificaciones de selección del sitio conforme a la NOM-083-Semarnat-2003, así como conocer las cantidades de residuos que son recolectados, siendo recomendable que se realicen los estudios de generación y composición que marca la norma anteriormente citada.

V. CONCLUSIONES

Mediante el análisis y comparación entre los RS de los municipios, se pudieron establecer criterios para evaluar el grado de sostenibilidad de la infraestructura de RS, teniendo en cuenta los aspectos técnicos, ambientales y sociales, para cada una de las fases del proyecto. Cada criterio además contempló categorías de análisis para su conformación que permiten mejorar la configuración y aplicación del mismo, en función a ello, se concluye lo siguiente:

De los RS del Estado de Chiapas seleccionados para su evaluación, tres de ellos presentan deficiencias importantes, los cuales se colocan como mal desempeño, lo que representa estar más cerca a simples tiraderos a cielo abierto; uno de ellos con un buen desempeño, que a falta de seguimiento y haberlo dejado en abandono por un largo tiempo, las personas a cargo tienen la iniciativa de poder operarlo de manera eficiente, y el último de ellos con un excelente desempeño representa un gran reto, ya que por lo menos está operando dentro de los estándares establecidos, y trabajando en la mejora del mismo.

De acuerdo al concepto de relleno sanitario o centro de disposición final, cuyo alcance varía según las bibliografías y legislaciones, se trata de un lugar especialmente acondicionado y habilitado por la autoridad de aplicación para el tratamiento y la disposición permanente de los RSU por métodos ambientalmente reconocidos y de acuerdo a normas certificadas por organismos competentes.

Se observa que los reglamentos técnicos sobre el funcionamiento de los RS existen pero su aplicación y cumplimiento denota deficiencias. En gran parte de la región se encuentran RS que operan sin responder a las exigencias técnicas en vigor. Son estas exigencias las que aseguran el cumplimiento de los parámetros ambientales, aunque muchas de ellas todavía deben incorporar nuevos conceptos de manejo.

Todos coincidimos en que hoy la clave de una buena gestión de residuos es la prevención (minimización), la reutilización y el reciclaje, con tendencia a la economía circular, pero también existe la consciente realidad que esto llevará mucho tiempo lograrlo y por lo tanto los rellenos sanitarios en la actualidad se han vuelto una solución aceptable y reconocida técnicamente para la erradicación de los basurales o botaderos a cielo abierto tan comunes en la región.

La gestión sustentable de residuos demanda un compromiso ambiental del presidente y el área de ecología y medio ambiente, el desarrollo de políticas públicas apropiadas y campañas de educación ambiental para involucrar a la población.

Tenemos entonces que para operar eficientemente y con una lógica ambiental un sitio de disposición final se requiere de una plantilla de personal adecuada, de infraestructura y presupuesto, de compromiso político y de participación social. Todo esto se refleja en las diferentes etapas de la gestión de los residuos y particularmente en la disposición final que termina siendo el punto más débil en la gestión de los residuos.

La disposición final de residuos es un proceso complejo y que tiene un costo significativo para las finanzas de un municipio. Por lo anterior, un sitio que opera como relleno sanitario requiere personal directivo profesional con conocimientos y experiencia en este tipo de actividades, trabajadores especialistas (para operación de maquinaria y organización de la disposición) y también requiere de un presupuesto anual de acuerdo con el tamaño del sitio y el tonelaje de residuos que recibe semanalmente.

Aproximadamente el 90% de los residuos termina en tiraderos a cielo abierto o RS, que generalmente no cumplen con la normatividad y son mal operados. Los impactos de un tiradero a cielo abierto o relleno mal operado se reflejan en liberación de contaminantes al medio ambiente: al suelo, al aire y a los mantos acuíferos; causando también la proliferación de fauna nociva y creación de focos de enfermedades. La contaminación generada por este tipo de tiraderos puede producir sitios contaminados, haciendo más costoso su tratamiento y atención.

REFERENCIAS

Abbate, A. (2017). Criterios técnicos ambientales para evaluar la sostenibilidad de infraestructuras de rellenos sanitarios en América latina y el Caribe. *Publicaciones KPESIC*. España.

Ahmed S.A y Ali S.M. (2006). People as partners: Facilitating people 's participation in public–private partnerships for solid waste management. *Habitat Int.*, 30, 781–796.

Bartone, C. R. y Bernstein, J. D., 1993. Improving municipal solid waste management in the third world countries. *Resource Conservation Recycling*. VOL. 8, No. 1-2, pp. 43-54.

Barradas Rebolledo, Alejandro (2009). Gestión integral de residuos sólidos municipales: estado del arte. Gytsu, Miantilán, Veracruz, México.

Benton-Short, Lisa y John Rennie Short (2013). *Cities and Nature*, Estados Unidos: Routledge.

Bernache Pérez, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región centro occidente de México. *Publicaciones de la Casa Chata*. CIESAS. México, D.F.97-105.

Buenrostro O. y Israde I. (2003). La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del lago de Cuitzeo, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 19, 161–169.

Caballero-Saldívar, D., & de la Garza-Requena, F., & Andrade-Limas, E., & Briones-Encinia, F. (2011). Los rellenos sanitarios: una alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. *CienciaUAT*, 6 (2), 14-17.

Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J. 1998. SITUACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. *Revista Técnica RESIDUOS* No. 43. Bilbao, España.

Calvo F., Moreno B., Ramos, Á. y Zamorano, M. (2007). Implementation of a new environmental impact assessment for municipal waste landfills as tool for planning and decision-making process. *Renew Sust Energ Rev.*11, 98-115. DOI: 10.1016/j.rser.2004.12.003.

Casati R. (2010). Evolución y tendencia de la cantidad, generación y composición de los residuos sólidos en Asunción. Tesis de Maestría. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Asunción, Paraguay.

Castillo Berthier, Hector. 1997. BASURA, SOCIEDAD Y POLÍTICA. Ecológica – Los retos ambientales de la Ciudad de México. Página electrónica: <http://www.txinfinet.com/mader/ecotravel/mexico/ecología/97/1197df3.html>

Colomer Mendoza, F., & Altabella, J., & García Darás, F., & Herrera Prats, L., & Robles Martínez, F. (2013). Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental. Caso de España. *Ingeniería*, 17 (2), 141-151.

Cruz Sotelo, Samantha Eugenia, & Ojeda Benítez, Sara (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), undefined-undefined. [Fecha de Consulta 03 de Octubre de 2019]. ISSN: 0188-4999. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=370/37029665017>

Giusti, L. (2009) A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management* 29: 2227-2239.

Goyzueía Rivera, Samuel Israel (2013). Modelo de gestión para las empresas familiares con perspectivas de crecimiento y sostenibilidad. *PERSPECTIVAS*, (31),87-132.ISSN: 1994-3733. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4259/425941261003>

Hernández G. y Durán C. (2006). Productividad de biogás en un relleno sanitario clausurado. *Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*. 1, 1-15.

Hoornweg D. y Bhada-Tata P. (2012). What a waste. A global review of solid waste management. Urban development series knowledge papers. The World Bank. Urban Development Series, March 2012, No. 15. [En Línea]. http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf 29/04/2014.

Hoornweg D. y Giannelli N. (2009). Managing municipal solid waste in Latin America and the Caribbean. Integrating the private sector, harnessing incentives. *Gridlines*, 28, 1-4. Washington, DC: World Bank. [En Línea]. <https://openknowledge.worldbank.org/>

bitstream/handle/10986/10639/417030LAC0Muni1_ridlines02801PUBLIC1.pdf; sequence=1 9/08/2014.

Hueber, Dietrich., 1991. PLAN NACIONAL DE MANEJO DE DESECHOS DE COSTA RICA. San José, Costa Rica, Gobierno.

Ibarrarán, María Eugenia, & Islas, Iván, & Mayett, Eréndira (2003). Valoración económica del impacto ambiental del manejo de residuos sólidos municipales: estudio de caso. Gaceta Ecológica, (67), undefined-undefined. [Fecha de Consulta 27 de Octubre de 2019]. ISSN: 1405-2849. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=539/53906706>

INE (2005). Chile: ciudades, pueblos, aldeas y caseríos. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile, 300 pp.

INEGI (2009). Base de datos de disposición de residuos en México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp> 25/08/2010.

INEGI (2012). Residuos Sólidos Urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011 [en línea]. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385> 05/05/2015.

Katz R., González G. y Cienfuegos M.G. (2010). Análisis Costo–Beneficio en la normativa ambiental chilena bajo la Ley 19.300. Estud. Públicos 117, 6–20.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (2003). México.

Lemmes, B., REFLECTIONS OF THE EUROPEAN WASTE MANAGEMENT STRATEGY. Jornadas Internacionales sobre el Aprovechamiento Integral de la Materia Orgánica. Club Español de Residuos y Gobierno de Navarra. Pamplona, España, 1998.

Marmolejo, Luis F., & Torres, Patricia, & Oviedo, Edgar R., & Bedoya, Diego F., & Amezcuita, Claudia P., & Klínger, Rafael, & Albán, Fred, & Díaz, Luis F. (2009). Flujo de residuos: Elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos municipales. Ingeniería y Competitividad, 11(2), undefined-undefined. [Fecha de Consulta 22 de septiembre de 2019]. ISSN: 0123-3033. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2913/291323541009>

Mena Frau, C., & Morales Hernández, Y., & Ormazábal Rojas, Y., & Gajardo Valenzuela, J. (2010). Localización de un relleno sanitario en la comuna de parral, Chile, a través de evaluación multicriterio. *Interciencia*, 35 (9), 684-689.

Morales, O. Ma., 1998. Técnicas de construcción de sitios de disposición final de residuos sólidos. Banobras. Revista Federalismo y Desarrollo. Año II, No. 62.

ONU (Organización de Naciones Unidas). (2012). Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana. Brasil, 196 pp. ISBN: 978-92-1-132469-3.

ONU-Habitat (Organización de las Naciones Unidas, ONU-Habitat) (2012). —Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe, Rumbo a una nueva transición Urbana, Rio de Janeiro: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Disponible en: <http://mirror.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=3380> (Visitada el 09 de febrero de 2014).

Puerta, E. (2004). Municipal Solid Wastes as Soil Conditioners. Revista LASALLISTA de Investigación; Enero - Junio de 2004 Vol.1, No.1. URI: <http://hdl.handle.net/10567/178>

SEMARNAT (2003). Norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. México.

Razo G. y Delgado B. (2012). Composición de residuos sólidos urbanos en dos sitios de disposición final. Morelia, Michoacán, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 28 Sup. (1) 13-18.

Regadío, M., A.I. Ruiz, M. Rodríguez-Rastrero, J. Cuevas.(2015). A containment and attenuating layers: An affordable strategy that preserves soil and water from landfill pollution. *Waste Management* 46: 408-419.

Robles Martínez F. (2008). *Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios*. Segunda Edición. Instituto Politécnico Nacional. Distrito Federal, México. 115 p.

Rojas, R. (2002). *Investigación social, teoría y praxis*. Ed Plaza y Valdés. México, Décima primera edición. 185 páginas.

Rojas, M., y Sahagún, C. (2012). Tiraderos a cielo abierto. Ciencia y Desarrollo. Recuperado de: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/archivo/259/articulos/tiraderos-a-cielo-abierto.html>

Scharff H. y Jacobs J. (2006). Applying guidance for methane emission estimation for landfills. *Waste Manage.* 26, 417-429.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. (2004). Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. (2019). VISIÓN NACIONAL HACIA UNA GESTIÓN SUSTENTABLE: Cero residuos.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2012), "Compendio de Estadísticas Ambientales 2012II Tema Residuos Sólidos Urbanos. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/Compendio_2012/mce_index.html (Visitada el 10 de enero de 2014).

Solid Waste Management, Dic 2005. International Environmental Technology Centre (ITEC – UNEP), UNITED NATIONS PUBLICATION, ISBN: 92-807-2676-5, página 253. Disponible, entre otras publicaciones de NN.UU. sobre residuos, en <http://www.unep.or.jp/letc/SPC/publications.asp>

Stege, A, y Michelsen, J. (2008). Evaluación del Relleno Sanitario y Estudio de Prefactibilidad para la Recuperación y la Utilización del Biogás en el Relleno Sanitario El Navarro Cali, Colombia. *SCS ENGINEERS*. Archivo N° 02205721.00

SSPC (Superintendencia de Servicios Públicos de Colombia) (2014). Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI). Bogotá.

UN (2001). Sustainable human settlements development and environmentally sound management of solid waste. United Nations, 6 pp.

US-EPA, 1994. JOINING FORCES ON SOLID WASTE MANAGEMENT: REGIONALIZATION IS WORKING IN RURAL AND SMALL COMUNITIES. EPA Report 530-K-93-001 (44) Oct. 94. USA.

Vásquez O.C. y Alfaro M.D. (2011). Municipal solid waste management in Gran Santiago, Chile. A glance at the world. *Waste Manage* 31, 1074–1076.

Vera, P., González, R, García, C, Martínez, R, Vázquez, R y Nájera, H. (2017). Evaluación de rellenos sanitarios, en: *Estudios Ambientales y Riesgos Naturales*.

Aportaciones al sureste de México V, coordinado por: Narcía, C. Colección Jaguar UNICACH. México, primera edición: 2015, 15-36.

Villafuerte, S. I., Flores O., D., Guadalupe G., E. y Zea A., M. (2004). "Evaluación ambiental del relleno sanitario para el santuario histórico de Machu Picchu y pueblos aledaños. *Revista del Instituto de Investigación Figmmg*. 7(14): 54-64.

Villegas, L., C. A., 1990. EXPERIENCIA LATINOAMERICANA SOBRE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS. CEPIS, Lima, Perú.

Zhu, Da, P. U. Asnani, Chris Zurbrugg, Sebastian Anapolsky y Shyamala Mani (2008). *Improving Municipal Solid Waste Management in India, A Source Book for Policy Makers and Practitioners*. Washington D.C: World Bank. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6916>