



TESIS PROFESIONAL EVALUACIÓN DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MARTÍNEZ DE LA TORRE, VERACRUZ.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



VERACRUZ
GOBIERNO
DEL ESTADO



SEV
Secretaría
de Educación

SEMSys
Subsecretaría de Educación
Media Superior y Superior



DET
Instituto de Educación
Terciaria y Superior
de Veracruz



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



EVALUACIÓN DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MARTÍNEZ DE LA TORRE, VERACRUZ

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MARTÍNEZ DE LA
TORRE

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:
LICENCIADO EN INGENIERIA AMBIENTAL

Presenta:
**JOCELYN MÁRQUEZ
CERVANTES**

Asesores:
**M.C.I.A Miguel Ángel López Ramírez
I.A Mario Rafael Aguilar Rodríguez
Arq. Edwin Daniel Méndez Cruz**

Martínez de la Torre, Veracruz, Julio 2021



Ficha Técnica		
Estudiante		
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)
Márquez	Cervantes	Jocelyn
No. de control: 160i0264		
Carrera: Ingeniería Ambiental		
Correo: 160i0264@tecmartinez.edu.mx		
Asesor(es) y/o colaboradores ITSMT		
MCIA Miguel Ángel López Ramírez		
Datos del lugar donde se desarrolló el proyecto		
Nombre o razón social		
Instituto Tecnológico Superior de Martínez De la Torre		
Dirección (calle, número, colonia, ciudad, código postal)		
Ignacio de la Llave 182, Centro, Martínez de la Torre, Ver., 93600.		
Asesor externo: IA Mario Rafael Aguilar Rodríguez Arq. Edwin Daniel Méndez Cruz		
Departamento: Ingeniería Ambiental		
Cargo: Docentes		
Correo: maguilar@tecmartinez.edu.mx emendez@tecmartinez.edu.mx		
Teléfono y extensión:		



Dedicatoria

Llena de amor y esperanza, dedico este proyecto a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido un pilar importante para seguir adelante.

A mi padre Homero Márquez Estudillo y a mi madre Guadalupe Cervantes Herrera por haberme apoyado cada día incondicionalmente, por haberme ofrecido su cariño y amor, les dedico este gran logro de mi vida, sin ellos nada de esto hubiera sido posible. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final del día me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mis hermanas Ana, Rocío y Guadalupe, gracias a ellas por siempre confiar en mí y apoyarme en cada paso importante de mi vida.

A mis sobrinos Nicolle, Osvaldo, Renata y Regina, porque ellos son la motivación de querer salir adelante cada día para que nunca nada les falte.

Y, por último, pero no menos importante a toda mi familia por confiar en mí, a mis abuelitos, tíos, primos, gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.



Agradecimientos

Principalmente quiero agradecerles a mis padres Homero Márquez Y Guadalupe Cervantes por cuidarme y creer en mí, porque sin su apoyo, cariño y dedicación hacía a mi nada de esto hubiera sido posible.

Al M.C.I.A Miguel Ángel López Ramírez, al I.A Mario Rafael Aguilar Rodríguez y al Arq. Edwin Daniel Cruz Méndez por sus valiosas enseñanzas, por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, por su apoyo y guía en mi formación.

A mi preciada universidad Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Ver.

A todos mis maestros que durante mi carrera ayudaron en mi formación resolviendo mis dudas y ayudándome a crecer como persona.

A mis tres hermanas Ana, Rocío Y Guadalupe por su apoyo, comprensión y cariño porque a pesar de todo siempre estuvieron para mí.

A mis sobrinos Nicole, Osvaldo, Renata y Regina, por ser una motivación y felicidad en mi vida.

A mis apreciables amigos, gracias por tenerme paciencia, por ser parte de la conclusión de este camino y por haber estado presentes en mis malos ratos.

A la Dra. Rocío Márquez por su apoyo económico, amor, sabiduría y cariño brindado durante mi trabajo.

Y en general a toda mi familia que estuvo conmigo en el camino.



Resumen

El uso de rellenos se ha convertido en México en una técnica de eliminación de residuos sólidos que no causa molestia, ni peligro para la salud y seguridad pública, además durante su operación hasta su clausura no daña el ambiente y prevé los problemas que puedan causar los subproductos producidos. En Martínez de la Torre y El Guayabo, Ver., se cuenta con un relleno sanitario el cual en el caso de Martínez de la Torre ha sobrepasado su capacidad, por lo tanto, el presente estudio valoró dichos sitios utilizando la metodología Matriz de Afectación al Ambiente que evalúa microelementos, se analizaron los impactos y se obtuvieron los siguientes resultados: cobertura 0.333 lo cual indica el valor mínimo ya que no se extraerá material de zonas aledañas lo cual disminuye impacto por extracción de suelo, acondicionamiento obtuvo el valor máximo 1.0 ya que los caminos y accesos no están pavimentados, cercanía obtuvo el valor de 0.444 lo cual indica que hay zona agrícola cerca, de acuerdo a incidencia de vientos se reportan 192 días lo cual da un valor de 0.526, en visibilidad el valor es 1.0 ya que se encuentra a la vista, distancia a aguas superficiales se encuentra el río El Kilate lo cual representa un valor de 0.180 y con respecto a pozos se obtuvo un valor de 0.930 cercano a 1.0 lo cual representa un valor de distancia cercano para pozos; respecto a los microelementos los resultados fueron los siguientes: Bienestar 1.545; Ambiente: 0.883; Infraestructura: 0.662; y Salud: 1.204; los factores bienestar y salud los cuales representan un 65% de importancia son los más afectados debido a los impactos por cobertura, acondicionamiento del sitio, cercanía a la zona agrícola y pozos.

PALABRAS CLAVE: Residuos sólidos, Martínez de la Torre, Microelementos, El Guayabo.



Abstrac

The use of landfills in Mexico has become a solid waste disposal technique that does not cause annoyance or danger to public health and safety, in addition, during its operation until its closure, it does not harm the environment and foresees the problems that may be caused by spin-off produced. In Martinez de la Torre and El Guayabo, Ver., there is a landfill which has exceeded its capacity, therefore, the present study evaluated said sites using the Environmental Impact Matrix methodology that evaluates microelements, the impacts were analyzed and the following results were obtained: coverage 0.333 which indicates the minimum value since it is not will extract material from neighboring areas which reduces the impact of soil extraction , conditioning obtained the maximum value 1.0 since the roads and accesses are not paved, proximity obtained the value of 0.433 which indicates that there is an agricultural area nearby, according to the incidence of winds, 192 days are reported which gives a value of 0.526, in visibility the value is 1.0 since it is in sight, distance to surface waters is the El Kilate river which represents a value of 0.180 and with respect to wells a value of 0.930 was obtained close to 1.0 which represents a value of close distance for wells; Regarding microelements, the results were the following: Well-being 1.545; Environment: 0.883; Infrastructure: 0.662; and Health: 1.204; the well-being and health factors, which represent 65% of importance, are the most affected due to the impacts of coverage, conditioning of the site, proximity to the agricultural area and wells.

KEY WORDS: Solid waste, Martinez de la Torre, Microelements, El Guayabo.

CONTENIDO

Ficha Técnica	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	VI
Abstrac	VII
Lista de tablas.....	XIII
Lista de figuras.....	XIII
1. Introducción	1
2. Problema de la Investigación	4
3. Justificación	5
4. Objetivos del Proyecto	6
4.1 Objetivo General	6
4.2 Objetivos Específicos.....	6
5. Hipótesis.....	7
6. Marco Teórico.....	8
6.1 Clasificación de un relleno sanitario	10
6.1.1 Sanitario Manual.....	11
6.1.2 Relleno Sanitario Semi-Mecanizado	11
6.1.3 Relleno Sanitario Mecanizado.....	12
6.1.4 Métodos constructivos en rellenos sanitarios	12
6.1.5 Método de Trinchera o Zanja	12
6.1.6 Método de áreas.....	12
6.2 Descripción General de un Relleno Sanitario	14
6.2.1 Zona de Entrada y Salida.....	14

6.2.2 Diseño	15
6.2.3 Selección del Sitio	16
6.2.4 Equidad en la Selección del Sitio	17
6.2.5 Área de Influencia del Proyecto	17
6.2.6 Área de Influencia Directa.....	17
6.2.7 Área de Influencia Indirecta	17
6.3 Componentes de un Relleno Sanitario	17
6.5 Ventajas y Desventajas de un Relleno Sanitario.....	20
6.5.1 Ventajas	20
6.5.2 Desventajas	21
6.6 Manejo de Rellenos Sanitarios.....	22
6.6.1 Preparación del Sitio	23
6.6.2 Sistema de Aislamiento.....	23
6.6.3 Operación del Relleno Sanitario	25
6.6.4 Clausura del Relleno Sanitario.....	25
6.7 Evaluación de Impacto Ambiental.....	26
6.7.1 Importancia de la Evaluación de Impacto Ambiental	27
6.7.2 Documentos de la Evaluación de Imapcto Ambiental	27
6.7.3 Análisis del Entorno Medio Ambiental.....	30
6.7.4 Selección de Modelos.....	31
6.7.5 Metodología para Elaborar una Evaluación de Impacto Ambiental	32
6.7.6 Tipos de Modelos	33
6.7.6.1 Método Cualitativo	33
6.7.6.2 Método Cuantitativo	34

7. Materiales y Métodos.....	37
8. Resultados	40
8.1 Microelementos de afectación.....	43
8.1.2 Relleno Sanitario de Martinez de la Torre.....	43
8.1.3 Relleno Sanitario el Guayabo	51
9. Conclusiones.....	56
10. Recomendaciones.....	57
11. Referencias Bibliográficas	58

Lista de tablas

Tabla 1 Producción diaria de toneladas de RSU en los principales países de Latinoamérica.	1
Tabla 2 Microelementos y afectaciones	38
Tabla 3 Porcentajes de Afectación de los Microelementos.....	38
Tabla 4 Características y fundamentos de la matriz acciones del hombre/entorno.	39
Tabla 5 Matriz de calificación del Relleno Sanitario de Martínez de la Torre.	47
Tabla 6 Matriz de calificación del Relleno Sanitario de El Guayabo.	55

Lista de figuras

Fig 1 Producción de RSU de la República Mexicana.	2
Fig 2 Ubicación Geográfica del ITSMT.	37
Fig 3 Sitio de estudio Martínez de la Torre.....	37
Fig 4 Sitio de estudio El Guayabo.....	37
Fig 5 Relleno Sanitario El Guayabo.....	40
Fig 6 Relleno Sanitario de Martínez de la Torre, Veracruz.	40
Fig 7 Distancia del relleno sanitario a la carretera Medellín.....	40
Fig 8 Distancia del relleno sanitario al poblado El Guayabo.	41
Fig 9 Distancia del relleno sanitario a la carretera Martínez de la Torre-Misantla.....	41
Fig 10 Distancia del relleno sanitario al Río El Kilate.....	41
Fig 11 Acceso al relleno sanitario de Martínez de la Torre.	42
Fig 12 Acceso al relleno sanitario El Guayabo	42
Fig 13 Distancia del relleno sanitario a la carretera Martínez de la Torre-Misantla.....	45
Fig 14 Distancia del relleno sanitario al poblado El Guayabo.....	53
Fig 15 Distancia al Río El Kilate.	46
Fig 16 Distancia al cuerpo de agua más cercano del Relleno Sanitario El Guayabo.....	54
Fig 17 Distancia al acuífero 303 Martínez de la Torre-Nautla.	47

1. Introducción

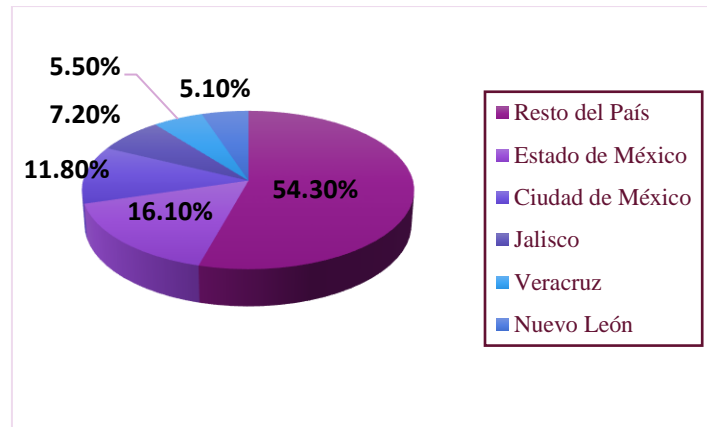
Las actividades antropogénicas siempre han generado Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Sin embargo, en un mundo de consumo como el actual, el volumen generado es inmenso y el término “basura” para muchos es sinónimo de problema. En las grandes ciudades el problema es mayor y es ocasionado por la densidad poblacional; debido a esto se ha estimado que el promedio mundial de producción por persona se encuentra por encima de un kilogramo diario (Muñoz y Bedoya, 2009), cifra elevada teniendo en cuenta que la población mundial es de 7,672 millones de habitantes aproximadamente en el 2020 (US Census Bureau, 2020) y esto mismo ha empeorado la calidad de los residuos, ya sean líquidos, sólidos o gaseosos, porque los productos que tienen mayor incremento como generadores de basura son altamente contaminantes, algunos no recuperables y otros no biodegradables. Tomando como referencia a Noguera y Olivero (2010) que censaron las principales ciudades en Latinoamérica, en el cual México aparece en el lugar número nueve se procedió a actualizar la cifra de generación de los países de acuerdo a lo publicado por su gobierno y en medios de divulgación, en el cual se observa que México ocupa el segundo lugar a nivel Latinoamérica.

Tabla 1 Producción diaria de toneladas de RSU en los principales países de Latinoamérica.

<i>País</i>	<i>Toneladas diarias</i>	<i>No. de Habitantes</i>	<i>Año</i>
<i>Argentina</i>	49,693	43,590,000	2016
<i>Bolivia</i>	6,471	11,353,142	2016
<i>Chile</i>	22,471	18,419,00	2017
<i>Colombia</i>	68,081	48,258,494,	2018
<i>Cuba</i>	3,773	5,631,930	2016
<i>Ecuador</i>	14,710	16,529,000	2016
<i>El Salvador</i>	3,500	6,643,000	2018
<i>Guatemala</i>	779,354	16,582,000	2016
<i>México</i>	102,895	123,518,000	2018
<i>Perú</i>	23,616	31,488,625	2016
<i>Venezuela</i>	33,682	30.081.829	2017

Fuente: López-Ramírez et al., 2020

Además, el estado de Veracruz, en el año 2012 obtuvo una producción del 5.5% del promedio diario nacional, tomando en cuenta del valor de producción del año 2016, el estado generaría 5,145 toneladas diarias (Ver figura 1).



*Fig 1 Producción de RSU de la República Mexicana.
Fuente: Adaptado de SEMARNAT, 2015.*

Debido a lo anterior los rellenos sanitarios municipales en nuestro país surgieron como respuesta a la problemática generada por la producción de RSU, debido a su alto impacto negativo sobre los componentes ambientales y el deterioro de la calidad de vida de las comunidades, que se hace cada vez más preocupante por su aumento acelerado, principalmente en las áreas urbanas (Rodríguez et al., 2005). Sin embargo, en la actualidad estos sitios de disposición de Residuos Sólidos (RS), son considerados fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos como material biológico, gases y otros productos de degradación de desechos orgánicos, constituyendo una importante fuente antropogénica de generación de gases invernadero, representada por el biogás producto de la descomposición biológica de la materia orgánica, que contiene metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV); estos compuestos son potencialmente perjudiciales para la calidad del aire y la salud (Camargo et al., 2009) y su producción varía dependiendo de la antigüedad del sitio de disposición, por el avance de los procesos de estabilización de los residuos, y de las condiciones ambientales en las que se efectúan (Pohland, et al., 1985; Gómez, et al., 2008).

Este trabajo tuvo como objetivo la evaluación de dos sitios de disposición final utilizados para dar confinamientos a los RSU en la zona de Martínez de la Torre y El Guayabo, Veracruz. Mediante la adaptación del método de Leopold utilizado una matriz de interacción “hombre-entorno” para determinar si la ubicación de un relleno sanitario podría causar daños al ambiente, como son en suelos y aguas subterráneas de afectar la salud de la población.

2. Problema de la Investigación

De acuerdo al autor Villa (2016), uno de los inconvenientes al diseñar un relleno sanitario se debe considerar los aspectos socioculturales de la población, especialmente en relación a las dimensiones de las instalaciones, que deben estar en conformidad con los planes maestros de uso del suelo urbano. Los impactos estéticos y sonoros (ruidos de tránsito) deben ser evaluados especialmente en las áreas próximas a urbanizaciones. La migración de gases y polvo (olor y humo) según la dirección prevaleciente de los vientos, el flujo de las aguas subterráneas (que pueden contaminar a los pozos de agua potable) y las características de los cuerpos de aguas superficiales son elementos importantes a ser considerados en los proyectos de residuos sólidos.

Por lo tanto, el presente trabajo es evaluar los microelementos de afectación del relleno sanitario en Martínez de la Torre, Veracruz considerando bienestar, ambiente, salud e infraestructura como factores clave para determinar el impacto generado.

3. Justificación

El incremento de la población a nivel mundial en las últimas décadas, anudado a la concentración de la población, crecimiento económico y desarrollo de la industria, ha propiciado una mayor demanda de los servicios públicos.

La disposición final de los residuos sólidos constituye la última fase del sistema y está directamente ligada con la preservación del ambiente, la salud, infraestructura y bienestar, por lo que se le debe controlar mediante técnicas que minimicen el impacto ambiental negativo en su entorno.

A pesar de la conciencia sobre la necesidad de mantener una adecuada disposición final de los desechos sólidos municipales, prevalece la práctica de utilizar tiraderos a cielo abierto, que consisten en depósitos no controlados de residuos sólidos vertidos directamente en el suelo, provocando la contaminación del aire, suelo y agua. Además de que estos lugares son propicios para el desarrollo de microorganismos.

Entre las alternativas que se encuentran para la disposición y control de los residuos sólidos municipales, se tiene el método de Relleno Sanitario, que consiste en depositar los residuos sólidos sobre el terreno para conformarlos en capas, compactarlos al menor volumen posible mediante maquinaria pesada y finalmente cubrirlos con una capa de material inerte, cuyo espesor dependerá de las características del mismo material.

En el presente trabajo tiene como objetivo mostrar los Rellenos Sanitarios, el de la carretera de Martínez de la Torre-Misantla y El Guayabo, ubicarlos, evaluar los microelementos y determinar los posibles daños ambientales o a la salud producidos por los rellenos sanitarios.

4. Objetivos del Proyecto

4.1 Objetivo General

- Evaluar los microelementos de afectación del relleno sanitario en Martínez de la Torre, Veracruz mediante la Matriz de Afectación al Ambiente.

4.2 Objetivos Específicos

- Determinar de la ubicación del relleno sanitario en los municipios de Martínez de la Torre, y El Guayabo en el estado de Veracruz.
- Analizar los microelementos de afectación de los rellenos sanitarios en Martínez de la Torre y el Guayabo.
- Determinar los posibles daños ambientales o a la salud producidos por el relleno sanitario en Martínez de la Torre, Veracruz.

5. Hipótesis

Los rellenos sanitarios de Martínez de la Torre y El Guayabo serán evaluados por la metodología Matriz de Afectación al Ambiente que evalúa microelementos teniendo como base los impactos por cobertura, acondicionamiento del sitio, cercanía a población o zona agrícola, incidencia de vientos, visibilidad, distancia a cuerpos de agua superficiales y pozos, se analizaron los impactos y se obtuvo información en donde se puede observar que el relleno sanitario de Martínez de la Torre ya está en un límite grave y por el contrario el de El Guayabo aún está en buenas condiciones y tendrá una vida útil larga.

6. Marco Teórico

El mejor procedimiento para la disposición final de los residuos sólidos urbanos es su depósito en los rellenos sanitarios, no siempre puede accederse a confinamientos de este tipo por ser insuficientes los que hay en el país frente al volumen de residuos que produce una población calculada en 118 millones de habitantes (SEMARNAT, 2019).

Las causas que favorecen la ausencia de infraestructura sanitaria adecuada para la disposición de residuos sólidos son diversas, pero la Ley General de Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) plantea construir rellenos sanitarios que constituyen una infraestructura idónea para el confinamiento, tanto por razones de salud pública como ambientales, y de conservación de los recursos naturales. Sin embargo, en México el 87% de los tiraderos de basura son a cielo abierto y sólo 13% son rellenos sanitarios, según datos del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI).

Desde la perspectiva ambiental y de salud pública, la disposición de residuos tiene, una relevancia fundamental. Cuando no se recolectan pueden permanecer en los sitios de generación o diseminarse, con efectos negativos como: obstruir desagües y cursos de agua (con potenciales riesgos de inundaciones), contaminar los cuerpos de agua y los suelos, deteriorar el paisaje o convertirse en fuente de enfermedades potenciales a la población, entre otros (Idem).

Desafortunadamente este tipo de prácticas se ha extendido en todo el territorio nacional y aparecen por doquier los tiraderos a cielo abierto.

Al respecto, la LGPGIR recomienda que en la legislación que expidan los gobiernos estatales sobre la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos urbanos, establezcan para los generadores de residuos sólidos urbanos la prohibición de (LGPGIR, 2003):

- Verter residuos en la vía pública, predios baldíos, barrancas, cañadas, ductos de drenaje y alcantarillado, cableado eléctrico o telefónico, de gas; en cuerpos de agua; cavidades subterráneas; áreas naturales protegidas y zonas de conservación ecológica; zonas rurales y lugares no autorizados por la legislación aplicable.

- Incinerar residuos a cielo abierto.
- Abrir nuevos tiraderos a cielo abierto.

Además, debe prohibirse la disposición final de neumáticos en predios baldíos, barrancas, cañadas, ductos de drenaje y alcantarillado, en cuerpos de agua y cavidades subterráneas. A su vez, los fabricantes, importadores, distribuidores, gestores y generadores de neumáticos deberán quedar obligados a hacerse cargo de la gestión de llantas usadas, así como garantizar su recolección según lo determinado por la Norma Oficial Mexicana correspondiente y sus planes de manejo, de acuerdo con el párrafo adicionado (Idem).

El propósito de un **relleno sanitario** es enterrar la basura de manera que quede aislada de las aguas subterráneas, se mantenga seca y no esté en contacto con el aire. En estas condiciones, la basura no se descompondrá mucho.

Hoy en día, el relleno sanitario es el método principal para eliminar los materiales de desecho en **América del Norte** y otros países desarrollados, aunque se están realizando esfuerzos considerables para encontrar métodos alternativos, como el **reciclaje**, la **incineración** y el **compostaje**. (Jímenez, 2010).

Un relleno sanitario es un hoyo con un fondo protegido donde la basura se entierra en capas y se comprime para que sea más sólida; es una medida de control final de la **eliminación de residuos** en tierra, hay varios tipos de rellenos sanitarios.

El propósito principal del relleno sanitario es garantizar que los residuos sean seguros al reducir el daño de los residuos acumulados y permitir una descomposición segura. Las capas alternativas de la **basura** y el suelo ayudan a acelerar la descomposición; **son relativamente más seguros que otras técnicas de gestión y eliminación de residuos**.

Los rellenos sanitarios ofrecen la solución de destino final más económica, aunque no la mejor en términos de sustentabilidad para disponer de los residuos de una ciudad. Entre sus limitaciones

más importantes, está que los rellenos sanitarios con administraciones deficientes o poco estrictas pueden causar numerosos problemas como (Villa, 2016):

- Daños a la infraestructura de las vías de acceso debido al intenso tránsito de vehículos pesados de carga.
- Contaminación del ambiente local, así como de los mantos acuíferos y del suelo.
- Contaminación de las carreteras o corrientes de agua locales ocasionada por los neumáticos de los camiones cuando salen del relleno. Este efecto puede ser mitigado con un sistema de lavado de llantas.
- Cuando la materia orgánica se descompone en un relleno sanitario, se genera de forma natural una gran cantidad de metano, un potente gas de efecto invernadero que por sí solo puede representar un peligro, ya que es inflamable y potencialmente explosivo. En los rellenos sanitarios que son administrados apropiadamente, este gas es colectado y utilizado, o simplemente quemado.
- Los rellenos sanitarios pobremente operados pueden convertirse en una severa molestia debido a la aparición de vectores como ratas y moscas, que son causa de enfermedades infecciosas. Esto puede ser mitigado si los avances del día se cubren adecuadamente al terminar las labores.
- Otros problemas potenciales incluyen afectaciones a la vida silvestre, polvo, mal olor, contaminación por ruido, y depreciación en los valores de las propiedades cercanas. Además, las aves también contribuyen a extender la contaminación a predios aledaños (Idem).

6.1 Clasificación de un relleno sanitario

El progreso de todo asentamiento urbano trae como consecuencia el aumento en la producción de residuos sólidos, y es muy común que estos desechos no terminen en sitios de disposición final. Esto se manifiesta en la falta de limpieza de sitios públicos, calles y carreteras, la descarga de residuos en ríos, bosques o en botaderos improvisados. Todo ello afecta la salud pública, aumenta la contaminación de recursos naturales y deteriora la calidad de vida de la población. Por esto, surge la necesidad de buscar soluciones adecuadas para el manejo y disposición final de los RSU (Huacuz, et al., 2003).

La explosión demográfica, el cambio de las actividades productivas y el aumento en la demanda de servicio, han sobrepasado la capacidad del medio ambiente para hacer frente a la cantidad de residuos que genera la humanidad; por lo que se emplean sistemas integrales para el manejo de residuos adecuándose a las necesidades de cada localidad. Para regular la disposición final de los residuos sólidos urbanos, se emplean sitios cuya ubicación, diseño, construcción, operación, clausura, monitoreo y obras complementarias, garanticen la protección al medio ambiente, el equilibrio ecológico y los recursos naturales (DOF, 2004).

El relleno sanitario es una de las técnicas que se usan en la actualidad para la disposición final de residuos sólidos urbanos, no perjudica a la salud o seguridad pública y es de bajo impacto medioambiental. Es una técnica que emplea principios de ingeniería, donde diariamente los residuos sólidos se mezclan, se esparcen en capas delgadas, se compactan y sepultan bajo una capa de tierra o espuma plástica. El relleno sanitario es en esencia una excavación en el suelo recubierta con un revestimiento impermeable con plástico o arcilla, que reduce infiltraciones al subsuelo, sobre la cual se colocan y se distribuyen los residuos urbanos (Jaramillo, 2002).

De acuerdo al Reglamento para el Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición Final del Material Orgánico. Los rellenos sanitarios se clasifican en:

6.1.1 Sanitario Manual

El esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realiza mediante el uso de herramientas simples como rastrillos, compactadores manuales, entre otros y la capacidad de operación diaria no excede las 20 toneladas de residuos. Se restringe su operación en horario nocturno (Párraga, 2020).

6.1.2 Relleno Sanitario Semi-Mecanizado

La capacidad máxima de operación diaria no debe exceder las 50 toneladas de residuos y los trabajos de esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realizan con el apoyo de equipo mecánico, siendo posible el empleo de herramientas manuales para complementar los trabajos del confinamiento de residuos.

6.1.3 Relleno Sanitario Mecanizado

La operación se realiza íntegramente con equipos mecánicos del tipo tractor de oruga, como los cargadores frontales y, su capacidad de operación diaria es mayor a las 50 toneladas.

6.1.4 Métodos constructivos en rellenos sanitarios

El método constructivo y la secuencia de operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque también depende de la fuente de material y de la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras distintas para construir un relleno sanitario.

6.1.5 Método de Trinchera o Zanja

Como lo menciona Párraga (2020), este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. Es de anotar que existen experiencias de excavación de trincheras de hasta 7,0 m de profundidad para un relleno sanitario. La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra. Se debe tener cuidado en épocas de lluvia dado que las aguas pueden inundar las zanjas, por lo tanto, se deben construir canales perimetrales para captarlos y desviarlos e incluso proveerlas de drenajes internos. En casos extremos puede requerirse el bombeo de agua acumulada. Las paredes longitudinales de las zanjas tendrán que ser cortadas de acuerdo con el ángulo de reposos del suelo excavado (Idem).

6.1.6 Método de áreas

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el terreno natural, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser recolectado de otros sitios o de ser posible extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad de la masa de residuos a medida que se eleva el relleno.

Los rellenos sanitarios se diseñan para reducir al máximo la contaminación atmosférica, del subsuelo y de los mantos acuíferos. Al depositarse los residuos en los rellenos, éstos comienzan a descomponerse mediante una serie de procesos químicos complejos. Los productos principales de la descomposición son los líquidos lixiviados y los gases. Tanto los líquidos como los gases pueden afectar la salud de la población de los alrededores (Párraga, 2020).

La descomposición natural de la basura, en el interior del relleno, forma líquidos putrefactos y de mal olor, llamados lixiviados o líquidos percolados (líquidos que se forman por arrastre o filtración de los materiales). El agua de lluvias que cae al relleno sanitario al mezclarse con estos líquidos provoca un aumento en el volumen de los lixiviados. De esta manera el agua de lluvia participa formando suspensiones, las cuales pueden contaminar el subsuelo y mantos acuíferos cercanos al relleno sanitario. Esto provoca el deterioro de la calidad del agua, lo que puede representar un riesgo para la salud humana y organismos que entren en contacto con este vital líquido (SEMARNAT, 2008).

Para impedir que el lixiviado se transmita al subsuelo y se mezcle con los mantos freáticos el fondo del relleno está cubierto con una membrana impermeable. Esta membrana impermeable se compone por varias capas de arcilla, plástico grueso y una membrana de asfalto. Los líquidos lixiviados se acumulan en el fondo del relleno, desde donde son bombeados a tanques de almacenamiento y después a plantas tratadoras de agua. Cuando el relleno alcanza su máxima capacidad se cubre con arcilla, arena, grava y mantillo, para evitar entrada directa de lluvia. Por último, se colocan pozos alrededor del relleno para monitorear que no exista filtración de lixiviados (Idem).

La fermentación anaerobia de la materia orgánica de los rellenos sanitarios genera gases que constituyen un problema difícil de resolver. La acción de microorganismos como bacterias degradan los residuos orgánicos mediante procesos biológicos, emitiendo metano, otros gases, y otras sustancias químicas. Los gases contaminan el aire, afectando directamente a la población aledaña, y contribuyen al calentamiento global. Esta producción de gases depende directamente de la cantidad de residuos que participen en la fermentación al igual que el tiempo de emisión a la atmósfera (Valdelamar, 2005).

6.2 Descripción General de un Relleno Sanitario

Tomado de Collazos (2013) Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios, se tiene que un Relleno Sanitario se compone básicamente de:

6.2.1 Zona de Entrada y Salida

Integrada por la Puerta principal del Relleno Sanitario, la Caseta de Registro y Báscula; en esta área el vehículo registra su entrada, se autoriza para que continúe hacia la zona de descarga y se autoriza también su salida. En los Rellenos Sanitarios independientemente, con una báscula para pesar los vehículos, cuando salen de la carga (Collazos, 2013).

- a) **Sistema Vial:** este sistema está compuesto por vías principales, secundarias y temporales (industriales); las primeras tienen especificaciones como vías permanentes durante la vida útil del Relleno Sanitario; las secundarias sirven para periódicos determinados, y las temporales para llegar al Frente de Trabajo. Su nombre de “transitorio” indica que no son permanentes y que pueden incluso desaparecer en la medida que el Relleno Sanitario avance. Se debe tener en cuenta que las vías, tanto principales como secundarias y temporales, están expuestas a un tráfico pesado durante todo el año, en época lluviosa y seca, de día y de noche, en jornadas laborales y no laborales (fiestas, Navidad, Semana Santa, etc.), y por lo tanto deben estar acondicionadas permanentemente.
- b) **Playa Descargue:** Es el área de trabajo donde el carro de basura llega del área de Entrada. Entra de frente a la Playa de Descargue y gira 180 grados para descargar en reversa; deja la basura lo más cerca posible del Frente de Trabajo de la Celda Diaria, se retira nuevamente e informa a la Oficina de Registro correspondiente su salida.
- c) **Celda Diaria:** Es el espacio donde se coloca la basura del día. Tiene un frente, una altura y un fondo; esta celda, tiene un frente con una inclinación aproximada de 30 grados. Después de que el carro de basura deja descarga, un buldócer (o varios según el tamaño del Relleno Sanitario), riega la basura sobre el frente de la Celda Diaria en capas de 30 centímetros, la compacta las veces que sea necesario para alcanzar un peso específico,

mínimo de 0,7 t/m³ y al final la tapa. Últimamente se está experimentando tapar la basura del día con un material plástico.

- d) **La Basura:** La basura queda dentro de la Celda Diaria en el Relleno Sanitario. Aquí empiezan los procesos de descomposición que pueden durar de 15 a 20 años. En un principio la basura se descompone en un proceso aeróbico por el oxígeno que queda tapado, con desprendimiento de Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Azufre (SO₂) y otros gases menores; cuando se agota el oxígeno, el proceso se vuelve anaerobio con desprendimiento de metano, bajas concentraciones de Gas Carbónico, algunos mercaptanos y otros gases en pequeñas concentraciones. Estos gases son captados por un sistema de chimeneas. Con la descomposición de la basura se presenta también los líquidos efluentes o lixiviados o percolados, que, de acuerdo con los diseños, se captan a través de filtros, para drenarlos hacia el sistema de tratamiento correspondiente, para disminuir las concentraciones de los contaminantes que los hacen peligrosos al medio ambiente.

- e) **Otras Obras:** El Relleno Sanitario comprende otras obras complementarias tales como los canales para el control de las aguas de escorrentía, el cubrimiento diario de la basura, las mallas de protección para evitar que plásticos y papeles salgan del área de trabajo, cerramiento, siembra de vegetación y manejo del paisaje edáfico (Idem).

6.2.2 Diseño

Como lo menciona el autor Colazos (2013), antes de iniciar el diseño se debe conocer muy bien la topografía del lugar, la morfología, sus límites, la hidrología, las características del suelo y subsuelo, la meteorología especialmente los promedios mensuales de precipitación, evaporación y evapotranspiración potencial, los promedios diarios de basura que llegarán en los próximos diez años o más de acuerdo con el periodo de diseño que se requiera. Un buen diseñador debe recorrer detenidamente el sitio escogido para el Relleno Sanitario, observando las diferentes alternativas que tiene para operarlo en el futuro, hasta crear en su mente cual será la mejor de las alternativas por donde entrarán los vehículos y por donde saldrán, como sacará los lixiviados, como se ira determinando la morfología del sitio a través del tiempo con la llegada paulatina de basura, como manejará el frente de trabajo, de donde sacará el material de cobertura.

En un terreno se puede plantear un gran número de soluciones para un Relleno Sanitario, el diseñador tiene que escoger la mejor, la más económica, la de mayor vida útil, y la de menor impacto ambiental.

6.2.3 Selección del Sitio

Para elegir el sitio el autor Galindo (2013) menciona que es necesario conocer lo siguiente:

- **Número de habitantes.** Se requiere para determinar la cantidad de basura o desechos que son producidos por día y así determinar si uno o más depósitos sanitarios o de desechos son suficientes para la población resultante de la suma de la cabecera municipal y sus juntas auxiliares.
- **La distancia que existe entre cada una de estas juntas y la cabecera municipal.** Se pide para poder ubicar un lugar que sea idóneo para cada uno de los puntos del municipio y así evitar que se eleven los costos de operación y traslado de los desechos hacia el depósito.
- **La cantidad de residuos generada en un tiempo determinado (día, semana, mes).** Con el fin de determinar las dimensiones del terreno a considerar para la creación del relleno.
- **Los sistemas de recolección que son realizados por parte del municipio.** Para determinar los resultados y la forma en que hasta ahora se ha tratado el problema de los desechos para seguir y mejorar los que se tienen o tomar nuevas alternativas.

Nombrar si se cuenta actualmente con un botadero, de que dimensiones, que tiempo de vida útil tiene y decir cuántos ya han llenado su límite.

- **Elegir por lo menos tres alternativas** tomando en cuenta la lejanía de cada junta auxiliar si hay asentamientos humanos o no y la forma en que se podría afectar. Para determinar la capacidad, la eficacia, la vida útil. Se recomienda que de preferencia los terrenos que sean elegidos para posibles depósitos sanitarios se encuentren rodeados de áreas verdes y que los asentamientos humanos no se hallen demasiado próximos.

6.2.4 Equidad en la Selección del Sitio

En la definición de un sitio para la disposición final de residuos sólidos urbanos, se debe buscar el beneficio para toda la ciudad y en especial de los asentamientos humanos que se encuentran cerca al sitio dispuesto, por lo tanto, se debe actuar con equidad para no afectar a ciertos grupos.

6.2.5 Área de Influencia del Proyecto

Toda obra de desarrollo tiene un espacio geográfico que puede ser influenciado directa o indirectamente por el desarrollo de las diferentes actividades de un proyecto u obra física.

6.2.6 Área de Influencia Directa

Se considera Área de Influencia Directa a la zona o área geográfica susceptible de sufrir modificaciones como consecuencia de los cambios bruscos, repentinos, como respuesta a las acciones tecnológicas del desarrollo del proyecto tanto en la construcción como en la operación del mismo (Idem).

6.2.7 Área de Influencia Indirecta

Es el área que recibe las influencias tanto positivas como negativas como consecuencia de los cambios provocados por las acciones tecnológicas del desarrollo del proyecto tanto en la construcción como en la operación del mismo. El Área de Influencia Indirecta es aquella en la que los procesos generados por la actividad de desarrollo tecnológico que alteran indirectamente a los recursos presentes en la zona (Armas, 2005).

6.3 Componentes de un Relleno Sanitario

En un relleno sanitario se trata de aislar los desechos, y controlar los lixiviados y biogás que se generan y que tienden a fluir fuera del relleno, evitando impactos ambientales adversos. Se llaman lixiviados a los líquidos que se generan a raíz de la degradación de la materia orgánica (de origen bioquímico) y los líquidos que se originan de la infiltración de agua en el relleno (de origen hidrológico). Los gases generados a raíz de la degradación de la materia orgánica se suelen llamar "biogás," gases que cuando se forman en ambientes sin oxígeno contienen principalmente metano

y dióxido de carbono (Vallejo, et al., 2017).

Los rellenos sanitarios son diseñados con los siguientes elementos físicos de aislamiento y de control:

Suelo de soporte: Debe ser lo suficientemente impermeable para evitar que los lixiviados se infiltren hacia cursos de aguas subterráneas y para facilitar su captación. Como medida de protección ambiental es recomendable impermeabilizar el suelo de fondo con material arcilloso técnicamente compactado y /o utilizar geomembranas apropiadas para estos fines.

Cunetas de coronación: Interceptan las aguas lluvias y las desvían antes de que tomen contacto con la masa de basuras, evitando de esta manera que se contaminen y que perjudiquen la estabilidad del relleno, contribuyendo de esta manera a que no se incremente el caudal de los lixiviados.

Drenes de lixiviados: Permiten captar y conducir estos líquidos hacia un tanque de almacenamiento.

Sistema de almacenamiento de lixiviados: Todos los líquidos captados por los drenes de lixiviados, son descargados en un tanque de almacenamiento, para posteriormente ser tratados o recirculados hacia la parte alta del relleno.

Material de cobertura: Sirve para tapar los desechos sólidos con el objeto de neutralizar los malos olores y eliminar la presencia de vectores como moscas y roedores.

Ductos de gases: Posibilitan la salida de los gases, especialmente del biogás, que se origina en el interior del relleno, el cual puede ser aprovechado en el propio relleno o en las comunidades aledañas.

Pozos de monitoreo de aguas subterráneas: Instalados en puntos estratégicos para controlar y validar la gestión de los lixiviados.

Área de terreno: El terreno debe ser lo suficientemente grande como para garantizar una vida útil del relleno de por lo menos 20 años.

Franja de protección vegetal: Sirve para mejorar la estética del relleno y como cortina de aislamiento visual de las operaciones que se ejecutan en el interior del relleno.

Cerramiento perimetral: Sirve para dar seguridad al relleno e impedir el ingreso de personas extrañas o animales domésticos que perjudican el normal desarrollo de las labores de los equipos.

Acceso al sitio: Vías de acceso al relleno sanitario en buen estado y vías internas hacia los frentes de trabajo.

Bascula de pesaje: Permite registrar la cantidad de desechos sólidos que ingresan al relleno y mantener registros y controles adecuados.

Oficinas, guardianía y garajes: Son locales indispensables para lograr una correcta operación del relleno sanitario (Idem).

6.4 Diferencias Entre un Relleno Sanitario y un Vertedero

Una serie de características generales distinguen a un relleno sanitario de un botadero a cielo abierto, pero esas características varían de región en región, de nación en nación, incluso de sitio en sitio. Un botadero a cielo abierto o vertedero, involucra la disposición indiscriminada de los residuos sólidos con pocas medidas de control en sus operaciones, sin control de las emanaciones de gases, ni de las infiltraciones subterráneas de los líquidos percolados. Un botadero controlado, se inspecciona y registra los desperdicios entrantes e incluye una compactación limitada a través de retroexcavadoras. Un relleno controlado, incorpora esfuerzos por minimizar los impactos al ambiente (Cubillo, 2013).

Por otro lado, los rellenos sanitarios son lugares de depósito cuya ubicación ha sido previamente estudiada y que cumplen con todas las normas y reglamentos dictados por las autoridades para evitar la contaminación del suelo, agua y aire. Involucran una serie de medidas completas de control de gases además colecta y trata lixiviados; aplica capas de tierras diariamente sobre los desperdicios e implementa planes para la clausura y cuidados posteriores una vez que se ha cumplido su vida útil (Idem).

6.5 Ventajas y Desventajas de un Relleno Sanitario

6.5.1 Ventajas

El relleno sanitario, es **la alternativa más conveniente** para nuestros países. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento, entre las ventajas que ofrece este tipo de instalación, se pueden mencionar las siguientes (Villa, 2016):

- Inversión inicial de capital inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los métodos de tratamiento: incineración o compostaje.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Ventajas económicas para el municipio, puesto que 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.
- Mejor protección del medio ambiente (drenaje y tratamiento de las aguas lixiviadas, drenaje de gas por chimeneas, cubierta de los desechos). Los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en el compostaje.
- 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, sin embargo, cuando un relleno está bien manejado puede encontrarse cerca al área urbana reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- Mejor seguridad para los trabajadores (taludes definidos, compactación de la basura, menos

peligro de caída del cuerpo de basura, menos contaminación en el lugar de trabajo).

- Permite recuperar gas metano, lo que constituye una fuente alternativa de energía.
- Permite recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc.
- Pude comenzar a funcionar en corto tiempo, como método de eliminación.
- Es flexible ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal (Idem).

6.5.2 Desventajas

La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como (Villa, 2016):

- La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
- Asociarse el término "relleno sanitario" al de un "botadero de basuras a cielo abierto".
- La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.
- El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.

Generación de gases de vertedero y líquidos lixiviados, provocados por el decaimiento biológico de la materia orgánica degradable, la oxidación química, la descomposición y transporte de materiales orgánicos e inorgánicos por acción de agua infiltrada y el percolado existente, movimiento de material por difusión molecular, asentamientos diferenciales, etc.

Si no es bien manejado, las personas que viven en las cercanías del relleno sanitario, sufren las consecuencias de los malos olores, aves de rapiña, líquidos percolados, aumento del tráfico de camiones recolectores, etc.

La implantación del relleno sanitario es altamente conflictiva tanto en la aprobación por parte de la autoridad como a la percepción por parte de la ciudadanía.

Existe un alto riesgo de transformarlo en botadero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales, si se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento .

Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.

Los asentamientos más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno, por lo tanto, se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona.

Interferencias en las tendencias del crecimiento de la población.

Contaminación visual (Idem).

6.6 Manejo de Rellenos Sanitarios

Parte de las deficiencias que se pueden observar en rellenos sanitarios se deben principalmente a la falta de contundencia de la normatividad. La falta de control geotécnico en la construcción de rellenos sanitarios en México se hace evidente. Se obliga una interface débil entre dos materiales lisos, cuyo ángulo de fricción es despreciable. La pendiente de la celda es importante, lo cual favorecería el deslizamiento de los residuos. En otros rellenos sanitarios, se colocan neumático como protección de la geomembrana, que tampoco aseguran un ángulo de fricción adecuado (Piedrahita, et al., 2011).

La realidad es que la mayoría de sitios de disposición son tiraderos a cielo abierto que no obedecen a ningún diseño. Los controles son mínimos y concentrados en la parte operativa de la

administración del relleno. Un relleno sanitario debe ser una instalación de ingeniería diseñada para la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU). Los RSU están confinados con sistemas de aislamiento tanto en el fondo como en la superficie, con el propósito de evitar las filtraciones de agua al interior del relleno y la contaminación de las aguas subterráneas a causa de los lixiviados.

Además debe contar con sistemas de recolección de gases y de lixiviados. Su conformación se diseña de acuerdo a su capacidad y el área disponible. Se pueden construir parcialmente excavados (tipo zanja o trinchera) cuando las condiciones lo permitan. Otra conformación se logra utilizando únicamente el área superficial (tipo área o zona) cuando hay disponibilidad suficiente de terreno. El manejo de rellenos sanitarios debe contemplar algunos lineamientos básicos desde el punto de vista geotécnico como se explica a continuación (Idem):

6.6.1 Preparación del Sitio

Además de la limpieza de la zona y la construcción de vías de acceso y circulación, la ejecución de obras de drenaje superficial es necesaria en el área del relleno sanitario. El estudio hidrológico debe incluir recomendaciones para evitar escurrimientos directamente sobre la celda de disposición. La adecuación de la celda sería el siguiente paso. Si el área del relleno es muy grande se prepara sección por sección, conforme se utilizan durante la operación. Esto con el fin de evitar sitios expuestos a la precipitación (Qian, et al., 2002).

Posteriormente se conforma el sistema de aislamiento. Las pendientes de los taludes se diseñan de acuerdo a estudios de estabilidad tanto de la celda sin residuos como del relleno en su etapa final. En esta etapa se requieren de estudios de respuesta de sitio y análisis de estabilidad pseudoestáticos que garanticen la estabilidad a corto y largo plazo del vertedero y sus instalaciones (Idem).

6.6.2 Sistema de Aislamiento

Los sistemas de aislamiento, pueden ser tan complejos como se quieran, pero es preferible recurrir a soluciones sencillas y efectivas. El mejor sistema de aislamiento es arcilla compactada del lado húmedo. Se puede obtener experimentalmente una zona aceptable donde el contenido de agua y el peso unitario seco estén asociados con la más baja permeabilidad posible para el tipo de suelo. Este rango de humedad aceptable varía con las características del suelo (Qian, et al., 2002).

Al momento de diseñar un sistema de aislamiento, se deben considerar otros aspectos como el esfuerzo cortante y el potencial de contracción.

La resistencia al cortante se determina conformando muestras de acuerdo a los resultados de permeabilidad obtenidos, que luego se ensayan mediante pruebas UU; de esta manera se obtiene un diseño de arcilla compactada con el mejor comportamiento mecánico. Las arcillas compactadas en el lado húmedo pueden presentar problemas de desecación en zonas áridas o en estaciones secas debido a su potencial de contracción. Se puede esperar la aparición de fisuras y grietas que incrementan la permeabilidad de la capa. Para controlar este aspecto, se debe evitar el uso de arcillas de alta plasticidad, es decir con índices de plasticidad mayores a 50%. El curado previo y la compactación en capas menores a 0.15 m con tractores agrícolas pesados, son prácticas que garantizan el buen comportamiento de sistemas de aislamiento con arcilla de alta compresibilidad (Piedrahita, et al., 2011).

También es importante rociar agua periódicamente para evitar que se seque la superficie de la capa y cubrir las áreas ya terminadas hasta la colocación de los residuos. El refuerzo de la capa con geomallas podría mitigar los errores durante la construcción. En caso de no contar con materiales de préstamo adecuados, se justifica recurrir al uso de geomembranas. Los materiales poliméricos más usados en las geomembranas son: el polietileno de alta densidad HDPE, el polietileno de baja densidad LDPE, el cloruro de polivinilo PVC, y el polietileno clorosulfonado CSPE, pero las que tienen un mejor comportamiento para la retención de gases, son las de polietileno de alta densidad HDPE y las de polietileno clorosulfonado CSPE.

Otro aspecto importante en los sistemas de aislamiento con geomembrana es el diseño del anclaje. Este se realiza teniendo en cuenta los esfuerzos de tensión producidos por las fuerzas de fricción movilizadas por deslizamiento. También se consideran los esfuerzos de tensión debidos al fenómeno de subsidencia. La subsidencia es un aspecto a considerar para el diseño la cobertura final del relleno sanitario, en donde los asentamientos por la degradación de la materia orgánica son importantes. Las fuerzas de tensión que se generan dependen del área afectada por el fenómeno, que normalmente es local. Sin embargo, en el caso de rellenos sobre suelos de alta compresibilidad, se presenta subsidencia tanto en la base del relleno como en su cobertura final, con mayor

extensión e incluso acompañado de flotación (Idem).

6.6.3 Operación del Relleno Sanitario

De acuerdo al tipo de relleno hay distintas maneras de disponer los residuos. Lo ideal es hacerlo de acuerdo a un diseño de celda diaria y un frente de trabajo que depende de la cantidad de vehículos y camiones recolectores que estén operando al mismo tiempo. En México lo usual es colocar y compactar los residuos con el método de rampa el cual consiste en seguir la pendiente del talud de la celda. Luego se coloca la cobertura diaria si hay disponibilidad de material de préstamo. Sin embargo durante la colocación de los residuos, si bien se hace una distribución de la basura en el área, se da por hecho que el paso de un tractor de orugas que compacta los residuos, rompe las bolsas plásticas en el proceso. En el caso de que las bolsas tengan residuos orgánicos y no se rompan, los gases productos de la descomposición no tienen salida, lo cual eventualmente podría generar explosiones internas en el relleno trayendo problemas de inestabilidad o incendios que pueden durar semanas (Palma, 2003).

6.6.4 Clausura del Relleno Sanitario

La clausura de un relleno sanitario requiere de un control y monitoreo por periodos que van entre 30 y 50 años (Kanfoud & Kouloughli, 2017). Los sistemas de recolección y tratamiento de gases y lixiviados deben seguir operando hasta que los residuos se estabilicen. Además la cobertura final de relleno sanitario se impermeabiliza para garantizar condiciones óptimas de confinamiento. En la cobertura final del relleno, se emplean también geomembranas. En su diseño se consideran tanto la subsidencia como las fuerzas de tensión. La capa de aislamiento final consta de varias capas con distintas permeabilidades en la que se resaltan una capa de ventilación de gases en la parte inferior y un arreglo conformado por suelo de baja permeabilidad y una geomembrana que asegura la impermeabilidad de la cobertura final. Sobre esto se coloca la capa vegetal (Piedrahita, et al., 2011).

A pesar de las múltiples ventajas que un relleno sanitario posee, existen tres impactos ambientales que se generan a raíz del funcionamiento del mismo. Estos impactos se relacionan entre sí a través de los costos que involucra el controlarlos, cómo son percibidos, y la magnitud ambiental de los mismos (SEMARNAT, 2009).

En México, la mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos urbanos son los rellenos sanitarios. De acuerdo a lo establecido en la LGPGIR, este tipo de infraestructura debe incorporar obras de ingeniería particulares y métodos que permitan el control de la fuga de lixiviados y el adecuado manejo de los biogases generados. En 2016, a nivel nacional la disposición final en rellenos sanitarios y sitios controlados alcanzó poco más del 74% del volumen de RSU generado, lo que representa un incremento de alrededor del 83% con respecto al año 1997, en el cual se disponía cerca del 41% de los residuos. Mientras tanto, de los residuos generados, el 21% se depositó en sitios no controlados y el 5% restante fue reciclado (Idem).

En general, los avances en materia de rellenos sanitarios se han dado principalmente en las grandes ciudades. Cuando se analiza la disposición adecuada de los residuos por tipo de localidad, en 2012 el 90% de las zonas metropolitanas disponían sus residuos en rellenos sanitarios y sitios controlados, mientras que tan solo el 4.5% en las localidades rurales o semiurbanas lo hacía del mismo modo (SEMARNAT, 2016).

6.7 Evaluación de Impacto Ambiental

Es el resultado de la investigación, análisis y evaluación de sistemas de actividades planteadas para el desarrollo sostenible y sano; ejecutado mediante procedimientos científicos que permitan identificar, interpretar y comunicar las consecuencias o efectos producto de las acciones humanas que influyen sobre el medio ambiente, salud pública y ecología. En términos generales, la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta imprescindible para paliar efectos forzados por situaciones que se caracterizan por (Dellavedova, 2011):

- Carencia de sincronización entre el crecimiento de la población y en el crecimiento de la infraestructura y los servicios básicos que a ella han de ser destinados.
- Demanda creciente de espacios y servicios como consecuencia de la movilidad poblacional y el crecimiento del nivel de vida.
- Degradación progresiva del medio natural con incidencia en la contaminación de: recursos atmosféricos, hidráulicos, geológicos y paisajísticos; ruptura en el equilibrio ecológico por

la extinción de especies vegetales y animales; residuos urbanos e industriales; deterioro y mala gestión del patrimonio histórico-cultural; etc.

6.7.1 Importancia de la Evaluación de Impacto Ambiental

- Incorpora el criterio ambiental en la resolución de un problema. Se resaltan los impactos positivos y se mitigan los negativos.
- Reduce los costos, ahorra tiempo y genera un producto superior, como consecuencia de ser una herramienta más de la planificación. Se debe tener en extrema consideración que los costos preventivos son menores que los costos correctivos.
- Facilita y respalda la toma de decisiones fundamentales, ya que es el resultado objetivo de decisiones equilibradas y como consecuencia de ello las alternativas que se evalúan.
- Fomenta la participación de la sociedad. La documentación resultante de la EIA debe ser fácilmente interpretada por la comunidad en todo su conjunto (población, autoridades de aplicación, etc).
- La EIA representa un bien económico, político y por sobre todo un bien ético (Idem).

6.7.2 Documentos de la Evaluación de Imapcto Ambiental

El proceso de evaluación de impacto ambiental tiene varios documentos que van pasando del promotor a los órganos sustantivo y ambiental y al público. Los documentos del procedimiento son (Garmendia, 2005):

La Memoria-Resumen: es el documento que el promotor de un proyecto tiene que entregar al Órgano Ambiental (y una copia al Órgano Sustantivo), para iniciar el Procedimiento Administrativo de Evaluación de Impacto Ambiental. A partir de los datos contenidos en el mismo, el Órgano Ambiental decidirá a quiénes considera público afectado y solicitará la información pertinente para la realización del Estudio de Impacto Ambiental. En este documento se incluye, por tanto, una descripción detallada de las distintas alternativas del proyecto y sus posibles localizaciones. La descripción debe contener todos los datos relevantes desde un punto de vista ambiental: recursos utilizados, origen y cantidad de los mismos, localización, residuos, emisiones

y vertidos que se producirán y la forma de gestionarlos, tanto en la fase de proyecto, establecimiento, funcionamiento y cierre.

El principal beneficiario de que esta Memoria-Resumen sea lo más completa posible es el propio promotor, debido a que el fin último de la misma es poder recopilar el máximo de información relevante para la realización de un correcto Estudio de Impacto Ambiental. Hay que tener en cuenta que si no se consulta previamente a las personas, instituciones y administraciones que puedan verse afectadas por el proyecto, sus observaciones y alegaciones se verán al final del procedimiento, pudiendo llevar al rechazo de todo el Estudio de Impacto Ambiental (Declaración de Impacto Ambiental negativa) y a tener que repetir todo el trabajo incluyendo la información aparecida en las alegaciones. Lógicamente es mejor contar con esta información desde un principio, para focalizar el Estudio de Impacto Ambiental y que las alegaciones no se produzcan al final (Idem).

Las especificaciones para el Estudio de Impacto Ambiental: la Administración con competencias ambientales, cuando recibe la Memoria-Resumen, tiene un plazo de diez días para realizar peticiones de información a las personas, instituciones o administraciones que considere pertinente. En general se debería de solicitar información en todos los casos a:

- Las administraciones que puedan verse afectadas por alguna de las alternativas del proyecto: Ministerio de Medio Ambiente, comunidades autónomas, ayuntamientos y otras administraciones afectadas (excepto la administración consultante).
- Los grupos ecologistas, asociaciones de caza o de otras actividades deportivas que actúen en la zona afectada.
- Comunidades de vecinos, de regantes o de cualquier otro tipo que puedan verse afectadas.
- Expertos en medio ambiente y en la temática del proyecto propuesto (Idem).

El Estudio de Impacto Ambiental: el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) es el documento técnico exigido por la Administración en el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental, con el fin de conocer de forma detallada cómo afectaría un proyecto dado al entorno. Este estudio lo lleva a cabo el Promotor y debe ser redactado preferentemente por un equipo multidisciplinar de técnicos expertos que no dejen lagunas de información y que traten todos sus

puntos correctamente. Así mismo, hay que hacer especial hincapié en que se debe trabajar y exponer los datos de la forma más objetiva posible, pese a la dificultad que ello conlleva.

El Estudio de Impacto Ambiental es una pieza fundamental para la toma de decisiones en el proceso de evaluación, pero no hay que olvidar que solamente es una pieza dentro de este proceso, y que lo realmente importante es la decisión tomada en la Declaración de Impacto Ambiental aunque ésta está basada en cómo se haga el estudio. El lenguaje a utilizar en la redacción debe ser técnico para mantener el rigor, pero también ha de ser claro, conciso y fácil de comprender y leer, evitando grandes listados de datos, que tienen su lugar en los anexos. La claridad es muy importante, dado que va a estar en manos de profesionales de diversa índole dentro del campo del medio ambiente y fuera del mismo y, tras su redacción pasará por el importante proceso de información pública en el que todo tipo de personas podrán aportar su opinión al respecto. Pero para que esto ocurra, debe poderse entender lo que en el informe está expuesto.

La Información Pública y las Alegaciones: una vez entregado el Estudio de Impacto Ambiental, éste tiene que pasar por una fase de información pública de treinta días, publicándose en Boletín Oficial la fecha de inicio y el lugar donde se puede consultar. Entonces cualquier persona del público que quiera consultar el Estudio de Impacto Ambiental y realizar alegaciones, puede hacerlo. Lógicamente, cuanto más amplias hayan sido las consultas previas, menor será el número de alegaciones posteriores.

Es importante que el estudio esté escrito en un lenguaje comprensible para cualquier persona del público y que cuente con todos los datos necesarios, tanto del medio, cómo del proyecto, para poder entender cada paso de la evaluación. Si un Estudio de Impacto Ambiental ha tenido en cuenta todos los factores importantes y ha propuesto medidas correctoras para todos los impactos, las alegaciones podrán ir a detalles concretos, pero no a rechazar el estudio completo. Sin embargo, si el estudio tiene fallos de forma y no cumple la normativa, las alegaciones serán (en general), muchas y consistentes, dando motivos para una declaración negativa.

Todas las alegaciones tienen que ser tenidas en cuenta en la Declaración de Impacto Ambiental, por lo que es muy importante que estén correctamente razonadas y estructuradas,

aportando pruebas o estudios paralelos de lo que se argumenta. Si no se aportan pruebas y no es algo obvio que el Órgano Ambiental pueda descubrir, es difícil que sea tenida en cuenta. Sin embargo, una alegación correctamente razonada, con pruebas de que no se han tenido en cuenta apartados importantes del proyecto o del ambiente y/o con referencias a la normativa y a estudios contrastados, es posible que por sí sola obligue a corregir estas deficiencias, aunque la última palabra la tiene el Órgano Ambiental.

La Declaración de Impacto Ambiental: pasados los treinta días de información pública, y teniendo en cuenta, tanto el Estudio de Impacto Ambiental y el Documento Técnico del Proyecto, cómo las informaciones previas que se aportaron al promotor y las alegaciones producidas, el Órgano Ambiental tiene veinte días para pedir al promotor que corrija partes del Estudio de Impacto Ambiental en un plazo de veinte días, o para realizar la Declaración de Impacto Ambiental. En el caso de que pida correcciones y éstas sean de un carácter notable, puede ser necesaria una segunda fase de información pública (treinta días), en la que pueden producirse nuevas alegaciones. La Declaración de Impacto Ambiental debe ser ante todo una declaración positiva o negativa, es decir, que acepte o rechace el proyecto, por sus características, desde un punto de vista ambiental. No debe en ningún caso ser una declaración neutra, ya que entonces pierde su significado.

6.7.3 Análisis del Entorno Medio Ambiental

Palmariamente se deben identificar las acciones básicas que puedan causar impactos potenciales en las etapas de planificación del sitio, construcción, operación y abandono. En segundo lugar se deben definir las áreas de influencia cuyos límites van a estar dados por grupos sociales y actividades económicas afectadas (Ruberto, 2006).

La información a tener en cuenta para esta etapa es la siguiente:

- Objetivos relacionados con el alcance y esfera de acción del proyecto
- Ubicación del proyecto (localización geográfica y socio-económica)
- Vinculación de normas y disposiciones legales vigentes
- Insumos y recursos (materias primas, recursos naturales, capacidad operativa, efluentes, residuos, etc.)

- Cronograma de actividades
- Vida útil del proyecto (Idem).

Al momento de comenzar una EIA hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- Delimitar las escalas de tiempo y geográfica.
- Observar el ambiente afectado.
- Definir tipo y fuente de información requerida.
- Determinar los actores sociales involucrados.
- Identificar y determinar los puntos más relevantes a tratar relacionados con las acciones a evaluar y desechar las acciones no relevantes.
- Asignar las responsabilidades de los profesionales que intervienen en forma multidisciplinaria, es decir el “Panel de expertos” (Idem).

6.7.4 Selección de Modelos

Una vez tomada la decisión de realizar la EIA de un proyecto o actividad y luego de comprobada su pertinencia con el marco legal-administrativo, se procede a su elaboración y desarrollo. Existen numerosos modelos y procedimientos para realizar una Evaluación de Impacto sobre el Medio Ambiente. Las características más importantes que deben cumplir son las siguientes (Coria, 2008):

- Capacidad de identificar el efecto.
- Capacidad de predecir, medir la magnitud o proceso de cambio.
- Capacidad de comunicar: evaluar los impactos y hacer juicio de valor de ventaja o desventaja.
- Capacidad de replicabilidad: servir de modelo para diferentes estudios.
- Capacidad objetiva: en relación al valor científico.
- Optimo criterio en la elección de la técnica adecuada: en relación a la disponibilidad de recursos técnicos, financieros, tiempo, información, requisitos legales, etc. (Idem).

Si bien las matrices representan un tipo de método ampliamente usado en la elaboración de una EIA, existen otros como por ejemplo: la Superposición Cartográfica de transparencias. Este método es utilizado principalmente para evaluar proyectos de vías de comunicación, tendido de

redes, aeropuertos, canalizaciones de ríos, etc.; y algunos otros enfocados a la localización de usos en el territorio, debido a que considera sus características naturales, identifica y permite un inventariado de los recursos naturales para una mejor integración del proyecto al entorno ambiental. Consiste en un ensamble digital de mapas que despliegan diferentes características ambientales, por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permite describir condiciones existentes y detectar cambios potenciales como resultado de una acción propuesta (Idem).

6.7.5 Metodología para Elaborar una Evaluación de Impacto Ambiental

El método elegido para la elaboración de una EIA debe permitir identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales sobre un proyecto (Dellavedova, 2011).

Se pueden distinguir entre aquellos que identifican esos impactos:

Matrices de interacción: Listas de chequeo o verificación y Diagramas de Flujo, sirven para elaborar un primer diagnóstico ambiental permitiendo la identificación de impactos, organizando la información obtenida, comparando las diferentes alternativas e identificando las relaciones causales directas que pueden ser aditivas o sinérgicas.

Matriz simple de causa-efecto: por medio del cruce de acciones, se puede conocer el alcance y efectos del proyecto. Ayuda a determinar el orden del impacto y las relaciones más complejas. Sirve de base para los modelos de simulación.

Y aquellos métodos que permiten evaluar los impactos:

Matriz de evaluación ponderativa: a través de una matriz de causa-efecto se logra ponderar el impacto de las acciones sobre el medio ambiente y así medir su calidad. Estas mediciones se establecen como parámetros por medio de los cuales se puede manejar e interpretar el impacto o efecto. Deben ser índices cuantificables o valorativos. El ejemplo más conocido es la Matriz de Leopold.

6.7.6 Tipos de Modelos

Para poder medir esos efectos se utilizan Modelos cuantitativo y cualitativo: ambos se complementan. Predicen y valoran los impactos y simulan posibles escenarios. Los primeros dejan de lado los impactos difíciles de cuantificar, mientras que los segundos valoran los impactos permitiendo una simulación más simple en el tiempo (Idem).

6.7.6.1 Método Cualitativo

Matriz de causa-efecto (Matriz de Leopold) El método cualitativo preliminar sirve para valorar las distintas alternativas de un mismo proyecto. El modelo más utilizado es la llamada Matriz de Leopold, que consiste en un cuadro de doble entrada en el que se dispone como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones propuestas que tienen lugar y que pueden causar posibles impactos (Dellavedova, 2011).

Esta matriz de doble entrada tiene como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones que tendrán lugar y que pueden causar impactos. Luego de la depuración de la matriz de identificación (primera etapa) se obtiene la matriz de importancia (segunda etapa). Cada cuadro se divide en diagonal. En la parte superior se coloca la magnitud –M (extensión del impacto)–, precedida del signo “+” o bien “-”, según el impacto sea positivo o negativo respectivamente. La escala empleada incluye valores del 1 al 10, siendo 1 la alteración mínima y 10 la alteración máxima. En el triángulo inferior se coloca la importancia –I (intensidad)–, también en escala del 1 al 10. La ponderación es subjetiva pero debe hacerse con la participación de todo el equipo de especialistas para lograr la mayor objetividad posible. La suma por filas indica las incidencias del conjunto de acciones sobre cada factor, y por lo tanto su grado de fragilidad. La suma por columnas provee la valoración relativa del efecto que cada acción producirá, es decir, su agresividad (Coria, 2008).

En esta metodología, se utilizan dos tipos de matrices en etapas sucesivas de análisis:

Matriz de identificación de impactos ambientales a partir de la relación entre las acciones del proyecto y los factores a ser evaluados. Estos factores se identifican previamente a partir de

listas de chequeo o verificación, extractadas de la bibliografía y discutidas por todos los profesionales que conforman el grupo de trabajo. Pueden realizarse algunos ajustes para su adaptación en proyectos diferentes.

Matriz de importancia como primera valoración cualitativa de los impactos ambientales identificados sobre los diversos factores ambientales. Esta matriz permite valorar tanto la agresividad de las acciones como los factores ambientales que sufrirán en mayor o menor grado las consecuencias de la actividad en cuestión.

La principal ventaja de esta metodología consiste en la consideración de los posibles impactos y su importancia y magnitud respecto a los distintos factores ambientales. Además, permite el desarrollo de una matriz para cada subconjunto en el que pueda dividirse el proyecto. Las desventajas son que el carácter subjetivo de la valoración hace que sea de muy difícil reproducibilidad por parte de distintos equipos de profesionales, y que no tiene en cuenta los efectos sinérgicos entre factores ni la temporalidad de los efectos (Idem).

6.7.6.2 Método Cuantitativo

El otro método de Battelle-Columbus, que también permite medir el impacto ambiental de un determinado proyecto sobre el medio de acuerdo con la información aportada por los indicadores de impacto. El método de Battelle-Columbus es “el primer esfuerzo serio de valoración de impactos que ha servido de base a métodos posteriores”. Este método tiene en consideración cuatro grandes “categorías ambientales” que incluyen diferentes “componentes ambientales”, en un total de dieciocho. Las cuatro grandes categorías y los componentes ambientales que las conforman son los siguientes (Coria, 2008):

- **Ecología:** especies y poblaciones, hábitat y comunidades, ecosistemas.
- **Contaminación:** agua, atmósfera, suelo y ruido.
- **Aspectos estéticos:** suelo, aire, agua, biota, objetos artesanales y composición.
- **Aspectos de interés humano:** valores educacionales y científicos, valores históricos culturales, sensaciones y estilos de vida.

Estos componentes ambientales constan, a su vez, de parámetros. El método consiste en una lista de indicadores de impacto con setenta y ocho parámetros o factores ambientales, que representan un aspecto del ambiente que puede considerarse por separado. La evaluación representa el impacto ambiental derivado de las acciones o proyectos. Los parámetros deben poder expresarse en unidades comparables (conmensurables), y en lo posible deben ser resultados de mediciones reales.

Las características que deben presentar estos parámetros son: representar la calidad del medio ambiente, ser fácilmente medibles sobre el terreno, y responder a las exigencias del proyecto a evaluar. Los parámetros se miden según funciones de utilidad con unidades conmensurables, como se ha dicho, que los llevan a “unidades de impacto ambiental” (UIA). Para transformar parámetros en UIA deben transformarse los datos de parámetro a índice, ponderarse la importancia del parámetro y expresarse el impacto neto como resultado de multiplicar el índice de calidad ambiental por su índice ponderal. El índice de calidad ambiental es un número comprendido entre 0 y 1, representando este último el valor óptimo. Los valores intermedios definen los estados de calidad del parámetro (por ejemplo, COV, DBO, etc.). Las unidades de impacto ambiental se obtienen de operaciones elementales de sumas ponderadas. Se calculan las unidades de impacto ambiental netas de cada parámetro teniendo en cuenta que la unidad de impacto ambiental debida al proyecto es igual a la diferencia entre las unidades de impacto ambiental con el proyecto y sin el proyecto.

La viabilidad del proyecto está basada en el cambio neto total. Si el valor del cambio neto total es positivo, el proyecto es viable. Es importante disponer de un mecanismo según el cual todos los parámetros puedan contemplarse en conjunto para ofrecer una imagen coherente de la situación medioambiental. Hay que poder reflejar la diferencia entre parámetros por su mayor o menor contribución a la situación del medio ambiente. Considerando además que las UIAs evaluadas para cada parámetro son conmensurables, podemos sumarlas y evaluar el impacto global de distintas alternativas de un proyecto para obtener la mejor por comparación.

La principal ventaja de este método consiste en que para cada parámetro los valores pueden medirse en unidades de impacto ambiental, con proyecto y sin proyecto, lo cual permite el cálculo del impacto ambiental del mismo, pudiéndose comparar los impactos de distintas alternativas para la misma obra. La desventaja de este método proviene del hecho de que fue diseñado para proyectos hidráulicos, lo cual provoca que para otros tipos de proyectos deban definirse nuevos índices. Estos índices se asignan de manera subjetiva. Cuando los proyectos no son hidráulicos, no es posible contar con todas las funciones de calidad ambiental, debiendo adaptarse los factores ambientales y las acciones al tipo de proyecto específico (Idem).

7. Materiales y Métodos.

Se determinó la ubicación de los rellenos sanitarios de Martínez de la Torre y El Guayabo en donde se realizó el análisis de factores ambientales del entorno denominado “Impactantes Potenciales de la Instalación” para analizar el sitio de acuerdo con sus características del medio que pueden ser afectadas (Sánchez, 1998) al Relleno Sanitario tanto del Guayabo como el de Martínez de la Torre, que se encuentran ubicados en las coordenadas, Latitud: 18° 53' 30" N, Longitud: 96°08'18" O (Ver figura 4) y Latitud: 20° 1'44.31" N, Longitud: 96°59'54.84" O (Ver figura 3).



Fig 3 Sitio de estudio El Guayabo
Fuente: Google Earth 2020.



Fig 2 Sitio de estudio Martínez de la Torre.
Fuente: Google Earth 2020.

Método

Se efectuó un análisis de factores ambientales del entorno, denominado “Impactantes Potenciales de la Instalación” para evaluar el sitio de acuerdo con sus características del medio que pueden ser afectadas (Sánchez, 1998).

A continuación, se mencionan los diferentes microelementos de afectación que pueden verse perjudicados deben tomarse en cuenta, como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2 *Microelementos y afectaciones.*
Fuente: Propia.

<i>Microelementos</i>	<i>Afectaciones</i>
<i>Ambiente</i>	Emisión de agentes contaminantes, físicos, químicos y biológicos, que pueda llegar a afectar el ambiente en general, en especial aire y suelo.
<i>Salud</i>	Generación de polvos, microorganismos y contaminantes químicos, que inciden directamente al ser humano y animales domésticos, o bien dispersarse sobre elementos del ambiente, así mismo la aparición de fauna nociva.
<i>Bienestar</i>	Generación de polvos, ruidos y olores, dispersión de RS y afectación de la estética del paisaje.
<i>Infraestructura</i>	Facilidad de acceso y deterioro de la infraestructura hidráulica.

Existe una relación de causa-efecto que se puede identificar en un enfoque sistemático, por lo anterior se propone un porcentaje de impacto para cada uno de los microelementos.

Tabla 3 *Porcentajes de Afectación de los Microelementos.*
Fuente: Sánchez, G.J., 1998.

<i>Microelementos</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Bienestar</i>	35%
<i>Ambiente</i>	20%
<i>Infraestructura</i>	15%
<i>Salud</i>	30%
	Total: 100%

A continuación, en la Tabla 3 se relaciona las variables con las acciones del hombre sobre su entorno, evaluando el impacto de cada una de ellas sobre el medio como marcan las ecuaciones 1-7:

Tabla 4 Características y fundamentos de la matriz acciones del hombre/entorno.

<i>Impacto potencial</i>	<i>Fundamentos de los límites</i>	<i>Cálculo</i>
<i>Material de cobertura</i>	Área con material de cobertura. Valores:	
	1.- Menores a 5 Km	$\frac{x}{3}$ (1)
	2.- Entre 5 y 10 Km	
<i>Acondicionamiento del sitio</i>	3.- Mayores a 10 Km	
	Se asignan 2 valores:	
	3.- Acondicionamiento	$\frac{x}{3}$ (2)
<i>Cercanía a población o zona agrícola</i>	0.- Cuando no	
	Distancia mínima 50 m, distancias mayores a 200 m se asigna 0	$\frac{1.33x}{150}$ (3)
<i>Incidencia de vientos</i>	Días que el viento incide desfavorablemente	$\frac{x}{365}$ (4)
<i>Visibilidad del sitio</i>	Se asigna un valor entre 0 a 2, donde el valor mínimo es para sitios ocultos y 2 visibles.	$\frac{x}{2}$ (5)
<i>Distancia a cuerpos de agua superficiales</i>	El Rango varía entre 0 y 1, el valor corresponde a la distancia mínima que de 300 m	$\frac{300}{x}$ (6)
<i>Distancia a pozos de agua potable</i>	Distancia mínima recomendada 360 m	$\frac{360}{x}$ (7)

Fuente: Sánchez, G.J., 1998.

8. Resultados

Los sitios de disposición final se encuentran ubicados dentro de las coordenadas: Latitud: 18° 53' 30" N, Longitud: 96°08'18" W, en el municipio de El Guayabo (Ver figura 5). y Latitud: 20° 1'44.31" N, Longitud: 96°59'54.84" W, en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz (Ver figura 6).



*Fig 4 Relleno Sanitario El guayabo
Fuente: Google Earth 2020.*



*Fig 5 Relleno Sanitario de Martínez de la Torre, Veracruz.
Fuente: Propia 2020.*

Los sitios se encuentran a 1.596 m de la carretera Medellín (figura 7), y a 1.660 m del poblado El Guayabo (figura 8) y a 517.58 m de la carretera Martínez de la Torre – Misantla (figura 9), y a 1813.12 m del río El Kilate (figura 10).



*Fig 6 Distancia del relleno sanitario a la carretera Medellín
Fuente: Google Earth 2020.*



*Fig 7 Distancia del relleno sanitario al poblado El guayabo.
Fuente: Google Earth 2020.*



*Fig 8 Distancia del relleno sanitario a la carretera Martínez de la Torre-Misantla.
Fuente: Google Earth 2020.*



*Fig 9 Distancia del relleno sanitario al Río El Kilate.
Fuente: Google Earth 2020.*

En el caso de Martínez de la Torre, se tiene acceso al relleno sanitario por un camino, el cual, no se encuentra pavimentado como marca la norma NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual 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 RSU y de manejo especial, como se ve en la figura 11.



*Fig 10 Acceso al relleno sanitario de Martínez de la Torre.
Fuente: Propia 2020.*

Y como se puede observar fácilmente en la figura 12 que, en el Relleno Sanitario de El Guayabo, el acceso tampoco cumple con la norma antes mencionada



*Fig 11 Acceso al relleno sanitario El Guayabo.
Fuente: Google Maps 2020.*

La flora y fauna de ambos lugares no presentan inconveniente debido a que ninguna de ellas se encuentra dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo.

Con base a los resultados obtenidos del muestreo e inspección de los sitios de disposición final se obtuvieron los siguientes resultados:

8.1 Microelementos de afectación

8.1.2 Relleno Sanitario de Martinez de la Torre

- **Material de cobertura**

Sitio	Distancia	Valor	Función
Relleno	0 km	1	0.334

$$\text{Ecuación 1} = \frac{x}{3}$$

Donde:

x= Distancia al obtener el material de cobertura

Calculo de la ecuación 1:

$$\frac{x}{3} = \frac{1}{3} = 0.334$$

- **Acondicionamiento del sitio**

Sitio	Requiere acondicionamiento	Función
Relleno	Sí	1.0

$$\text{Ecuación 2} = \frac{x}{3}$$

Donde:

x= Valor que se le asigna al acondicionamiento del sitio

Calculo de la ecuación 3:

$$\frac{x}{3} = \frac{3}{3} = 1.0$$

- **Cercanía de la población o zonas agrícolas y ganaderas**

Sitio	Distancia	Función
Relleno	>50 m	0.444

$$\text{Ecuación 3} = \frac{(1.33)x}{150}$$

Donde:

x= Distancia mínima a la cercanía a población o zona agrícola

Calculo de la ecuación 5:

$$\frac{(1.33)x}{150} = \frac{(1.33)(50)}{150} = 0.444$$

El relleno se encuentra a menos de 50 metros de una zona agrícola, esto debido a que la zona de Martínez de la Torre, está llena de áreas destinadas a la citricultura.

- **Incidencia del Viento**

Sitio	Días Viento desfavorable	Función
Relleno	192	0.526

$$\text{Ecuación 4} = \frac{x}{365}$$

Donde:

x= Días en que el viento incide desfavorablemente

Calculo de la ecuación 7:

$$\frac{x}{365} = \frac{192}{365} = 0.526$$

Se toma en consideración como factor los días de vientos desfavorables presentes el sitio de disposición final no cubre el 100% de los residuos, lo cual genera contaminación.

- **Visibilidad del sitio**

Sitio	Visibilidad	Función
Relleno	Visible	1.0

$$\text{Ecuación 5} = \frac{x}{2}$$

Donde:

x= Valor entre 0 a 2 que se le asigna a sitios ocultos o visibles.

Calculo de la ecuación 9:

$$\frac{x}{2} = \frac{2}{2} = 1.0$$

El sitio se encuentra relativamente visible debido a que se encuentra a 517.58 m de la desviación principal Martínez de la Torre-Misantla, como se observa en la figura 13.



Fig 12 Distancia del relleno sanitario a la carretera Martínez de la Torre-Misantla.
Fuente: Google Earth 2020.

- **Distancia de cuerpos de agua superficiales**

Sitio	Distancia	Función
Relleno	1,660 m	0.180

$$\text{Ecuación 6} = \frac{300}{x}$$

Donde:

x= Distancia de cuerpos de agua superficiales

Calculo de la ecuación 11:

$$\frac{300}{x} = \frac{300}{1660} = 0.180$$

Existen cuerpos de agua superficiales cercanos como es el río El Kilate como se muestra en la figura 15.



Fig 13 Distancia al Río El Kilate.
Fuente: Google Earth 2020.

- **Distancia a pozos de extracción**

Sitio	Distancia	Función
Relleno	387 m	0.930

$$\text{Ecuación 7} = \frac{360}{x}$$

Donde:

x= Distancia a pozos.

Calculo de la ecuación 13:

$$\frac{360}{x} = \frac{360}{387} = 0.930$$

Se encuentra un pozo a 387 m correspondiente al acuífero 3003 (CONAGUA, 2018). como se ve en la figura 17.

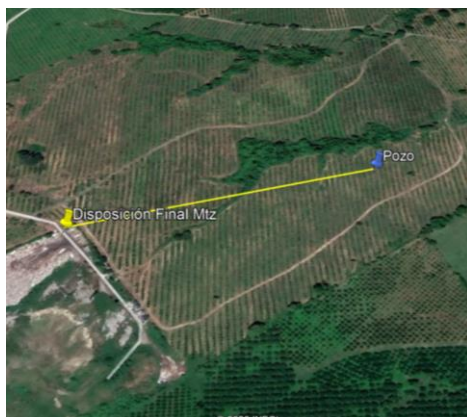


Fig 14 Distancia al acuífero 303 Martínez de la Torre-Nautla.
Fuente: Google Earth 2020.

Una vez obtenido las funciones de sensibilidad se procede a realizar el análisis del Relleno Sanitario de Martínez de la Torre como se muestra en la tabla 4:

Tabla 5 Matriz de calificación del Relleno Sanitario de Martínez de la Torre.
Fuente: Propia.

<i>Factor</i>	<i>Microelementos de afectación</i>				
	Bienestar	Ambiente	Infraestructura	Salud	Σ
<i>Cobertura</i>	0.1169	0.0668	0.0501	0.1002	0.334
<i>Acondicionamiento</i>	0.35	0.20	0.15	0.30	1.0
<i>Cercanía de la población</i>	0.1554	0.0888	0.0666	0.0133	0.444
<i>Incidencia de vientos</i>	0.1841	0.1052	0.0789	0.1578	0.526
<i>Visibilidad del sitio</i>	0.35	0.20	0.15	0.30	1.0
<i>Distancia a cuerpos superficiales</i>	0.063	0.036	0.027	0.054	0.180
<i>Distancia a pozos</i>	0.3255	0.186	0.1395	0.279	0.930
Σ	1.5449	0.8828	0.6621	1.2043	4.414

A continuación se procede a multiplicar el valor obtenido de la sustitución de las ecuaciones 1-7, de acuerdo al porcentaje asignado de microelemento.

Ecuación 1 = $\frac{x}{3}$: Cobertura: área con material de cobertura – valor menor a 5km

Substitución de la ecuación 1 en cada uno de los microelementos:

$$\frac{1}{3} = 0.333 \text{ (0.35 valor en porcentaje del bienestar) } = 0.1169$$

$$\frac{1}{3} = 0.333 \text{ (0.20 valor en porcentaje del ambiente) } = 0.0668$$

$$\frac{1}{3} = 0.333 \text{ (0.15 valor en porcentaje de la infraestructura) } = 0.0501$$

$$\frac{1}{3} = 0.333 \text{ (0.30 valor en porcentaje de salud) } = 0.1002$$

Total: 0.334

Ecuación 2 = $\frac{x}{3}$: Acondicionamiento: se asignan dos valores de 0 a 3 dependiendo si el lugar necesita o no acondicionamiento.

Substitución de la ecuación 2 en cada uno de los microelementos:

$$\frac{3}{3} = 1 \text{ (0.35 valor en porcentaje del bienestar) } = 0.35$$

$$\frac{3}{3} = 1 \text{ (0.20 valor en porcentaje del ambiente) } = 0.20$$

$$\frac{3}{3} = 1 \text{ (0.15 valor en porcentaje de la infraestructura) } = 0.15$$

$$\frac{3}{3} = 1 \text{ (0.30 valor en porcentaje de salud) } = 0.30$$

Total: 1.0

Ecuación 3 = $\frac{1.33x}{150}$: Cercanía de la población: distancia mínima 50 m, distancias mayores a 200 m se asigna 0

Substitución de la ecuación 3 en cada uno de los microelementos:

$$\frac{1.33(50)}{150} = 0.444 \text{ (0.35 valor en porcentaje del bienestar)} = 0.1554$$

$$\frac{1.33(50)}{150} = 0.444 \text{ (0.20 valor en porcentaje del ambiente)} = 0.0888$$

$$\frac{1.33(50)}{150} = 0.444 \text{ (0.15 valor en porcentaje de la infraestructura)} = 0.0666$$

$$\frac{1.33(50)}{150} = 0.444 \text{ (0.30 valor en porcentaje de salud)} = 0.133$$

Total: 0.444

Ecuación 4 = $\frac{x}{365}$: Días que el viento incide desfavorablemente

Substitución de la ecuación 4 en cada uno de los microelementos:

$$\frac{192}{365} = 0.526 \text{ (0.35 valor en porcentaje del bienestar)} = 0.1841$$

$$\frac{192}{365} = 0.526 \text{ (0.20 valor en porcentaje del ambiente)} = 0.1052$$

$$\frac{192}{365} = 0.526 \text{ (0.15 valor en porcentaje de la infraestructura)} = 0.0789$$

$$\frac{192}{365} = 0.526 \text{ (0.30 valor en porcentaje de salud)} = 0.1578$$

Total: 0.526

Ecuación 5 = $\frac{x}{2}$: Visibilidad del sitio: Se asigna un valor entre 0 a 2.

Substitución de la ecuación 5 en cada uno de los microelementos:

$$\frac{2}{2} = 1 \text{ (0.35 valor en porcentaje del bienestar)} = 0.35$$

$$\frac{2}{2} = 1 \text{ (0.20 valor en porcentaje del ambiente)} = 0.20$$

$$\frac{2}{2} = 1 \text{ (0.15 valor en porcentaje de la infraestructura)} = 0.15$$

$$\frac{2}{2} = 1 \text{ (0.30 valor en porcentaje de salud)} = 0.30$$

Total: 1.0

Ecuación 6 = $\frac{300}{x}$: Distancia a cuerpos superficiales: el rango varía entre 0 y 1, la distancia mínima es de 300 m

Substitución de la ecuación 6 en cada uno de los microelementos:

$$\frac{300}{1660} = 0.180 \text{ (0.35 valor en porcentaje del bienestar)} = 0.063$$

$$\frac{300}{1660} = 0.180 \text{ (0.20 valor en porcentaje del ambiente)} = 0.036$$

$$\frac{300}{1660} = 0.180 \text{ (0.15 valor en porcentaje de la infraestructura)} = 0.027$$

$$\frac{300}{1660} = 0.180 \text{ (0.30 valor en porcentaje de salud)} = 0.054$$

Total: 0.180

Ecuación 7 = $\frac{360}{x}$: Distancia a pozos: distancia mínima recomendada 360 m

Substitución de la ecuación 7 en cada uno de los microelementos:

$$\frac{360}{387} = 0.930 \text{ (0.35 valor en porcentaje del bienestar)} = 0.3255$$

$$\frac{360}{387} = 0.930 \text{ (0.20 valor en porcentaje del ambiente)} = 0.186$$

$$\frac{360}{387} = 0.930 \text{ (0.15 valor en porcentaje de la infraestructura)} = 0.1395$$

$$\frac{360}{387} = 0.930 \text{ (0.30 valor en porcentaje de salud)} = 0.279$$

Total: 0.930

Suma total del microelemento de afectación **bienestar** en todos los factores:

$$\text{Bienestar: } \underline{0.1169 + 0.35 + 0.1554 + 0.1841 + 0.35 + 0.063 + 0.3255 = 1.5449}$$

Suma total del microelemento de afectación **ambiente** en todos los factores:

$$\text{Ambiente: } \underline{0.0668 + 0.20 + 0.0888 + 0.1052 + 0.20 + 0.036 + 0.186 = 0.8828}$$

Suma total del microelemento de afectación **infraestructura** en todos los factores:

$$\text{Infraestructura: } \underline{0.0501 + 0.15 + 0.0666 + 0.0789 + 0.15 + 0.027 + 0.1395 = 0.6621}$$

Suma total del microelemento de afectación **salud** en todos los factores:

$$\text{Salud: } \underline{0.1002 + 0.30 + 0.0133 + 0.1578 + 0.30 + 0.054 + 0.279 = 1.2043}$$

Suma total de los microelementos de afectación:

$$\text{Total: } \underline{0.334 + 1.0 + 0.0444 + 0.526 + 1.0 + 0.180 + 0.930 = 4.414}$$

8.1.3 Relleno Sanitario el Guayabo

- **Material de cobertura**

Sitio Relleno	Distancia 0 km	Valor 1	Función 0.334
------------------	-------------------	------------	------------------

$$\text{Ecuación 1} = \frac{x}{3}$$

Donde:

x= Distancia al obtener el material de cobertura

Calculo de la ecuación 2:

$$\frac{x}{3} = \frac{1}{3} = 0.334$$

Los sitios El sitio se encuentra a menos de 5 Km de la zona próxima donde se puede extraer material de cobertura.

- **Acondicionamiento del sitio**

Sitio Relleno	Requiere acondicionamiento Sí	Función 1.0
------------------	-------------------------------------	----------------

$$\text{Ecuación 2} = \frac{x}{3}$$

Donde:

x= Valor que se le asigna al acondicionamiento del sitio

Calculo de la ecuación 4:

$$\frac{x}{3} = \frac{3}{3} = 1.0$$

El relleno sanitario requiere de caminos pavimentados y accesos adecuados.

- **Cercanía a la población o zonas agrícolas y ganaderas**

Sitio	Distancia	Función
Relleno	0	0

$$\text{Ecuación 3} = \frac{(1.33)x}{150}$$

Donde:

x= Distancia mínima a la cercanía a población o zona agrícola

Calculo de la ecuación 6:

$$\frac{(1.33)x}{150} = \frac{(1.33)(0)}{150} = \text{Al no estar cerca de la población el valor es cero.}$$

El relleno se encuentra más de 1,800 m de zonas agrícolas.

- **Incidencia del viento**

Sitio	Días Viento desfavorable	Función
Relleno	108	0.295

$$\text{Ecuación 4} = \frac{x}{365}$$

Donde:

x= Días en que el viento incide desfavorablemente

Calculo de la ecuación 8:

$$\frac{x}{365} = \frac{108}{365} = 0.295$$

Se puede justificar los días de acuerdo al estudio realizado por el autor Urbanizadora Medellín S.A. de C.V.

- **Visibilidad del sitio**

Sitio	Visibilidad	Función
Relleno	No visible	0

Ecuación 5= $\frac{x}{2}$

Donde:

x= Valor entre 0 a 2 que se le asigna a sitios ocultos o visibles

Calculo de la ecuación 10:

$$\frac{x}{2} = \frac{0}{2} = \text{Al no estar visible el sitio el valor es cero.}$$

El sitio no se encuentra a simple vista, porque para ingresar ahí, se necesita tomar una desviación, aparte que se encuentra a 1.66 Km de la carretera como se muestra en la figura 14.



Fig 15 Distancia del relleno sanitario al poblado El guayabo.
Fuente: Google Earth 2020.

- **Distancia de cuerpos de agua superficiales**

Sitio	Distancia	Función
Relleno	7,380 m	0.040

$$\text{Ecuación 6} = \frac{300}{x}$$

Donde:

x= Distancia de cuerpos de agua superficiales

Calculo de la ecuación 12:

$$\frac{300}{x} = \frac{300}{7380} = 0.040$$

Por el contrario, en el caso de El Guayabo existen cuerpos de agua a más de 7,000 m (figura 16), por lo que no causa ningún problema.

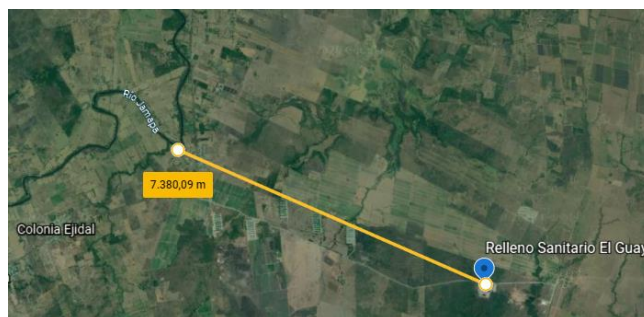


Fig 16 Distancia al cuerpo de agua más cercano del Relleno Sanitario El guayabo.

Fuente: Google Earth 2020.

- **Distancia a pozos de extracción**

Sitio	Distancia	Función
Relleno	- m	0

$$\text{Ecuación 7} = \frac{360}{x}$$

Donde:

x= Distancia a pozos.

Calculo de la ecuación 14:

$$\frac{360}{x} = \frac{360}{0} = \text{Al no tener pozos o aguas superficiales cerca el valor es cero.}$$

No se encuentra pozos de agua, ni mantos acuíferos cerca del relleno sanitario.

Tabla 6 Matriz de calificación del Relleno Sanitario de El Guayabo.

Fuente: Propia.

<i>Factor</i>	<i>Microelementos de afectación</i>				
	Bienestar	Ambiente	Infraestructura	Salud	Σ
<i>Cobertura</i>	0.1169	0.0668	0.0501	0.1002	0.334
<i>Acondicionamiento</i>	0.35	0.20	0.15	0.30	1.0
<i>Cercanía de la población</i>	0	0	0	0	0
<i>Incidencia de vientos</i>	0.1032	0.059	0.0442	0.0885	0.295
<i>Visibilidad</i>	0	0	0	0	0
<i>Distancia a cuerpos superficiales</i>	0.014	0.008	0.006	0.012	0.040
<i>Distancia a pozos</i>	0	0	0	0	0
Σ	0.5841	0.3338	0.2503	0.5007	1.669

Para esta matriz se efectuó el mismo análisis de factores ambientales del entorno, denominado “Impactantes Potenciales de la Instalación” para evaluar el sitio de acuerdo con sus características del medio que pueden ser afectadas, se utilizó el método ya antes mencionado en el procedimiento anterior.

9. Conclusiones.

El sitio de disposición final de Martínez de la Torre presenta fauna nociva, como es la especie *Coragyps atratus*, conocida como zopilote común o zopilote negro.

Martínez de la Torre cumple con la distancia mínima de 300 y 360 metros a cuerpos superficiales y pozos respectivamente, sin embargo, el sitio presenta lagunas superficiales de lixiviados y se desconoce si la geomembrana está en óptimas condiciones, por lo que se recomienda realizar un análisis de migración para observar si el sitio no ha aportado contaminación al río El Kilate o al acuífero 3003. Este es un factor importante para la toma de decisiones pues es posible que el impacto ambiental incremente por la relativa cercanía de cuerpos de agua; El Guayabo cumple con la distancia tanto para cuerpos superficiales como pozos.

En Martínez de la Torre los residuos sólidos no presentan una cobertura total dejando a estos a la intemperie, acelerando el factor de producción de lixiviados y con los vientos se presenta contaminación del aire; en El Guayabo los residuos sólidos presentan la cobertura necesaria para no dejar a la intemperie residuos sólidos y contaminar el aire.

Los factores de mayor impacto en el sitio de disposición final en Martínez de la Torre es el factor bienestar y salud esto debido a que ambos microelementos son afectados por la cobertura, acondicionamiento del sitio, cercanía a la zona agrícola y pozos; por el contrario en el sitio de disposición final de El Guayabo el factor que podría llegar a afectar es el de la salud, ya que a pesar de la distancia que hay entre el relleno sanitario y la comunidad de El Guayabo la incidencia de los vientos puede llevar consigo residuos sólidos.

Por último, se concluye que el Relleno Sanitario de Martínez de la Torre, no cumple con las características establecidas en 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, por lo tanto, es considerado como Basurero a cielo abierto.

10. Recomendaciones

El relleno sanitario de Martínez de la Torre, puede alargar su vida útil si se toman las medidas necesarias, a pesar de que ya está en un límite excesivo. Se puede incrementar si se tiene en cuenta los asentamientos que se producen por la descomposición de los residuos almacenados al pasar los meses, también puede alargar su vida útil si se realizan programas de disminución en la producción de residuos sólidos y campañas de recuperación y separación en la fuente de materiales que sirven como materia prima para otros subproductos.

Se recomienda pavimentar el camino hacia el relleno sanitario de Martínez de la Torre, para así no producir tanta contaminación a la hora de transportar los residuos sólidos urbanos ya que como todo el camino es de polvo y terracería a la hora de transportar los desechos pueden alzar las partículas de polvo.

Como una recomendación extra, se podrían tomar programas para así reducir los residuos sólidos urbanos y la hora de transportarlos al relleno sanitario sean menos y sea más viable la separación de estos para El Guayabo y así llegar a prevenir la contaminación.

11. Referencias Bibliográficas

Agua, M. (04 de Diciembre de 2010). *Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios*. Obtenido de <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/12/GuiaRellenosSanitarios.pdf>

Armas, Y. (2005). *Estudio de la evaluación de impactos ambientales que generará la construcción del relleno sanitario de San Miguel de Ibarra*. Tesis para la obtención del grado de Licenciatura en Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte.

Camargo, Y. y Vélez, A. (2009). Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos.

Comisión Nacional del Agua. (2018). Actualización de la disponibilidad anual de agua en el acuífero Martínez de la Torre, Nautla (3003), Estado de Veracruz. Ciudad de México. 4 de enero 2018.

Collazos, H. (2013). *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios*. Armenia: E. Colombiana de Ingeniería.

Coria, D. (2008). El Estudio de Impacto Ambiental: Características y Metodologías. *Invenio*, 125-135.

Cubillo, P. (2013). *Ubicación del Nuevo Relleno Sanitario en Base de Criterios Ambientales, Socioeconómicos y Técnicos y Propuesta de Plan de Reciclaje en la Ciudad de Quero, Cantón Quero*. Tesis para la obtención de grado de Licenciatura en Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente. Escuela Politécnica del Ejército.

DANE. (2020). Cuenta Ambiental y Económica de Flujo de Materiales. Colombia. Agosto 2020.

Dellavedova, M. (2011). *Guía Metodológica para la Elaboración de una Evaluación de Impacto Ambiental*. La plata: Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Diario Oficial de la Federación de México. (2004). 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. Ciudad de México. 20 de octubre de 2004.

Diario Oficial de la Federación de México. (2009). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Que establece la Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo; en dicha norma se determinan las especies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas y las sujetas a protección especial. Ciudad de México. 26 de noviembre de 2010.

Galindo, Y. (2013). *Mejoramiento del programa de manejo integral de residuos sólidos urbanos*. Tesis para la obtención de Especialización en Gerencia Ambiental. Universidad Libre de Colombia.

Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., y Garmendia, L. (2005). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid: Pearson Educación, S. A.

Gobierno de Argentina. (2010). El sector de residuos sólidos en la Argentina. <https://n9.cl/xzncl>

Google Earth (2020). *Ubicación del Relleno Sanitario El guayabo*.

Google Earth (2020). *Ubicación del Relleno Sanitario de Martínez de la Torre*.

Google Maps. (2020) *Visibilidad del Relleno Sanitario de El Guayabo*.

Gómez, R.S. y Filigrana, P.A. (2008). Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del Botadero de Navarro, Cali, Colombia. *Colombia Médica*, 39(3), 245-252.

Huacuz, V., y Arvizu, J. (2003). Biogás de Rellenos Sanitarios para Producción de Electricidad. *Aplicaciones Tecnológicas Medio Ambientales*, 118-123.

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el Diseño, Construcción Operación y Cierres de Rellenos Sanitarios*. Bolivia: Agencia Catalana de Cooperación al Desarrollo.

Kanfoud, S. &. (2017). Municipal Solid Waste Management in Constantine, Algeria. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 85-93.

López-Ramírez, M. A., Aguilar-Rodríguez, M. R. y Argüelles-López, C. 2020. Evaluación del sitio de disposición final de residuos sólidos en Martínez de la Torre, Veracruz. *RINDERESU*, 5(1): 179-189.

LGPGIR. (8 de Octubre de 2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir/LGPGIR_orig_08oct03.pdf

Muñoz Velásquez, Karen Tatiana y Bedoya Osorio, Anderson de Jesús. (2009). El papel de los residuos sólidos, en la solución de problemas ambientales. *Economía Autónoma edición virtual*, 3, 1-20.

Ministerio del Ambiente. (2016). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024*. Perú.

Noguera, K.M. y Olivero, J.T. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132),347-356.

Pacas, A. (03 de septiembre de 2018). El país genera 3,500 toneladas de basura al día y solo recicla un 5 %. El Salvador. <https://n9.cl/1fqc5>

Párraga, M. (18 de Febrero de 2020). *Propuesta del uso de suelo del relleno sanitarios de la ciudad de Jipijapa*. Tesis para la obtención del grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Estatal del Sur de Manabi.

Pohland, F.G. y Harper, S.R. (1985). Critical review and summary of leachate and gas production from landfills, EPA/600/2-86/073.

Palma, J., Espinace, R., & Valenzuela, P. (2003). *Análisis de la Estabilidad de los Rellenos Sanitarios*.
Obtenido de <https://n9.cl/5ueg>

Piedrahita, N., & Ovando, E. (2011). *Aspectos Geotécnicos de los Rellenos Sanitarios en México*.
Obtenido de <https://n9.cl/mhfwz>

Rodríguez, G.S., Sauri, R.M. y Peniche, A.I. (2005). Aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida, Yucatán. *Ingeniería Revista Académica*, 9(3), 19-29.

Ruberto, R. (2006). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.

Qian, X., Koerner, R., & Gray, D. (2002). *Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction*. New Jersey: Prentice Hall.

Sánchez, G.J. (1996). Estaciones de transferencias de residuos sólidos y peligrosos. Diplomado en Tecnología y Administración Ambiental. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (Campus, Estado de México), Ciudad de México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2017. Residuos Sólidos Urbanos. <https://n9.cl/3gpy>

SEMARNAT. (2008). *Residuos Sólidos Urbanos* . Obtenido de <https://n9.cl/746x9>

SEMARNAT. (2009). *Manual de Especificaciones Técnicas para la Construcción de Rellenos Sanitarios para los Residuos Sólidos Urbanos*. Obtenido de <https://n9.cl/yptp>

SEMARNAT. (23 de 2016). *Residuos Sólidos Urbanos*. Obtenido de <https://n9.cl/1a77>

SEMARNAT. (2019). *Tiraderos a cielo dañan ambiente y salud humana*. Obtenido de <https://n9.cl/2axp>

US Census Bureau. (12 de agosto del 2020). 2009. U.S. & World Population Clocks. <https://www.census.gov/popclock/>

Urbanizadora Medellín S.A. de C.V. (S.F). Cambio de Uso de Suelo para la construcción del Fraccionamiento “Puente Moreno Los Lagos” en el municipio de Medellín, Ver.

Valdelamar, J. (2005). *Rellenos sanitarios y sus características*. Obtenido de <https://n9.cl/piu30>

Vallejo, C., & Diaz, L. (2017). *Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica*. Tesis para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Católica de Colombia.

Villa, J. (2016). Los Rellenos Sanitarios. *La granja, Revista de Ciencias de la Vida*, 14-31.

Villalba-Márquez, L. 2017. Gestión efectiva de los residuos y desechos sólidos ¿Utopía en Venezuela? *Gente, Comunica y Ambiente*. Vitalis.

Vivanco-Font, E. (2019). *Generación y gestión de plástico en Chile*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.