



Enfoque UTE

ISSN: 1390-6542

enfoque@ute.edu.ec

Universidad Tecnológica Equinoccial
Ecuador

Susunaga Miranda, Manuel Alberto; Ortiz Muñiz, Benigno; Castañeda Chávez,
María del Refugio; Lango Reynoso, Fabiola; Hernández Berriel, María del Consuelo

Sitios de disposición final de residuos sólidos abandonados en la Región
de Sotavento del estado de Veracruz, México, utilizando herramientas SIG

Enfoque UTE, vol. 13, núm. 4, 2022, Octubre-Diciembre, pp. 11-28

Universidad Tecnológica Equinoccial
Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.853>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572271855002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Sitios de disposición final de residuos sólidos abandonados en la Región de Sotavento del estado de Veracruz, México, utilizando herramientas SIG

Abandoned Solid Waste Final Disposal Sites in the Sotavento Region of the State of Veracruz, Mexico, using GIS tools

Manuel Alberto Susunaga Miranda¹, Benigno Ortiz Muñiz², María del Refugio Castañeda Chávez³, Fabiola Lango Reynoso⁴, María del Consuelo Hernández Berriel⁵

Resumen

En México, cuando los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos son clausurados o cumplen su ciclo de vida, las autoridades municipales los abandonan sin llevar a cabo procesos de remediación. En la Región de Sotavento, estado de Veracruz, México, por medio de los sistemas de información geográfica, entrevistas a los ayuntamientos y visitas de campo, se localizaron 9 basureros abandonados: dos rellenos sanitarios, dos sitios de disposición final controlados denominados tiraderos controlados, y cinco sitios de disposición final no controlados conocidos como tiraderos a cielo abierto. Los resultados utilizando Google Earth, permitieron determinar que estos basureros, en su conjunto, ocupaban un área de 366,852 m², con un volumen de residuos acumulados de 2,015,500m³ y una cantidad estimada de 2,498,571 toneladas de desechos confinados sin control. Tales resultados representan una serie de impactos ambientales que comúnmente no son detectados y cuyo conocimiento puede ser el punto de partida para su clausura de conformidad con la normativa mexicana aplicable.

Palabras clave

Percepción remota, basureros no controlados, contaminación, diagnóstico.

Abstract

In Mexico, when municipal solid waste final disposal sites are closed or complete their life cycle, municipal authorities abandon them without carrying out remediation processes. In the Sotavento Region, state of Veracruz, Mexico, through geographic information systems, interviews with municipalities and field visits, 9 abandoned dumpsites were located: two sanitary landfills, two controlled final disposal sites called controlled dumps, and five uncontrolled final disposal sites known as open-air dumps. The results using Google Earth made it possible to determine that these dumps, as a whole, occupied an area of 366,852 m², with an accumulated volume of waste of 2,015,500m³ and an estimated quantity of 2,498,571 tons of confined waste without control. Such results represent a series of environmental impacts that are commonly not detected and whose knowledge can be the starting point for its closure in accordance with the applicable Mexican regulations.

Keywords

Remote Sensing, Uncontrolled Dumpsites, Pollution, Diagnosis.

- 1 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz, Veracruz, México (manuel.sm@veracruz.tecnm.mx). <https://orcid.org/0000-0002-5595-0914>
- 2 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz, Veracruz, México (benigno.om@veracruz.tecnm.mx). <https://orcid.org/0000-0001-5211-9175>
- 3 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz, México. (mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx) <https://orcid.org/0000-0002-9209-0431>.
- 4 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz, México. (fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx) <https://orcid.org/0000-0001-8359-434X>.
- 5 Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, estado de México, México. (mhernandezb@toluca.tecnm.mx) <https://orcid.org/0000-0002-3532-73167>

1. Introducción

Los residuos sólidos urbanos (RSU), comúnmente conocidos como desechos, se generan en la vida cotidiana y son el resultado de actividades domésticas, así como de algunas comerciales o de la limpieza de calles, parques y jardines. Están compuestos principalmente por envases, embalajes de productos alimenticios, sobras de alimentos, papel, madera, cartón y una fracción de residuos inorgánicos como plástico, vidrio y metales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2021). Dichos RSU son colocados en sitios de disposición final que no cuenta con las medidas y mecanismos de control, por lo tanto, contaminan el suelo, el agua y el aire, pues su descomposición genera un conjunto de gases denominados biogases, compuestos orgánicos volátiles y un líquido altamente tóxico denominado lixiviado (Vian-Pérez et al., 2019).

Los sitios de disposición final en México se caracterizan por tener diferentes grados de control sobre los RSU, desde cero infraestructura hasta complejos procesos tecnológicos de cobertura sanitaria, los cuales se clasifican según su funcionamiento en rellenos sanitarios, sitios de disposición final controlados y sitios de disposición final no controlados (Proyecto de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, 2021). El relleno sanitario es una infraestructura para la disposición final de RSU y especiales (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2003), el cual debe cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 (2004) 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*. Los sitios de disposición final controlados cuentan con al menos algún tipo de infraestructura (control de biogás, extracción de lixiviados, drenaje y material de cobertura, entre otros), los cuales en muchas ocasiones se ubican en lugares restringidos por la normativa nacional. Los sitios de disposición final no controlados denominados tiraderos a cielo abierto son básicamente espacios donde se depositan y acumulan los residuos sólidos municipales sin ningún control técnico, sanitario u operativo, ni de infraestructura para minimizar los impactos negativos en el medio ambiente (Lobo-García et al., 2016, Ferronato & Torreta, 2019).

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas para recopilar, gestionar, analizar, modelar y presentar datos espaciales para una amplia gama de aplicaciones (Ayaim et al., 2019), que permite establecer criterios espaciales, como el uso del suelo, la geología, la elevación y las pendientes que se pueden utilizar para ubicar y georreferenciar instalaciones ambientales como los sitios de disposición final de RSU (Mekuria et al., 2019). Es posible identificar las coberturas terrestres de un área de estudio y analizarlas a partir de imágenes satelitales con Google Earth (Mekuria et al., 2019), herramienta que se utiliza especialmente, en el manejo de residuos sólidos y en las evaluaciones para seleccionar los sitios de disposición final (Ali & Ahmad, 2020) en países en vías de desarrollo como México (Ayaim et al., 2019, Ariza-Aguilar et al., 2018), así como permite clasificar y determinar los cambios que ocurren en los sitios abandonados (Irfan et al., 2019), mediante el uso de técnicas de percepción remota (De Wet, 2016).

En México cuando un sitio de disposición final es abandonado, no suelen ser aislados, rehabilitados o monitoreados, sea por el desinterés político o por los recursos limitados del municipio donde se localiza (Morita, Pelinson, Elis et al., 2020). Dicho sitio se convierte en un pasivo ambiental que causa una serie de impactos a su entorno, debido a que los residuos allí depositados producen lixiviados que contaminan el suelo y las corrientes subterráneas (Fetter et al.,

2018) emiten gases tóxicos, malos olores y general accidentes como incendios y explosiones (Lobo-García et al., 2016), por consiguiente, ocasionan efectos adversos sobre el ambiente y la salud (Morita et al., 2020).

El análisis y la investigación de este estudio están enfocados en la ubicación geográfica real de los sitios de disposición final de RSU abandonados en la Región Sotavento en el estado de Veracruz, México, empleando técnicas de percepción remota mediante SIG, que permitirán identificar y caracterizar los sitios que deben ser clausurados (Proyecto de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, 2021), así como determinar sus posibles impactos ambientales

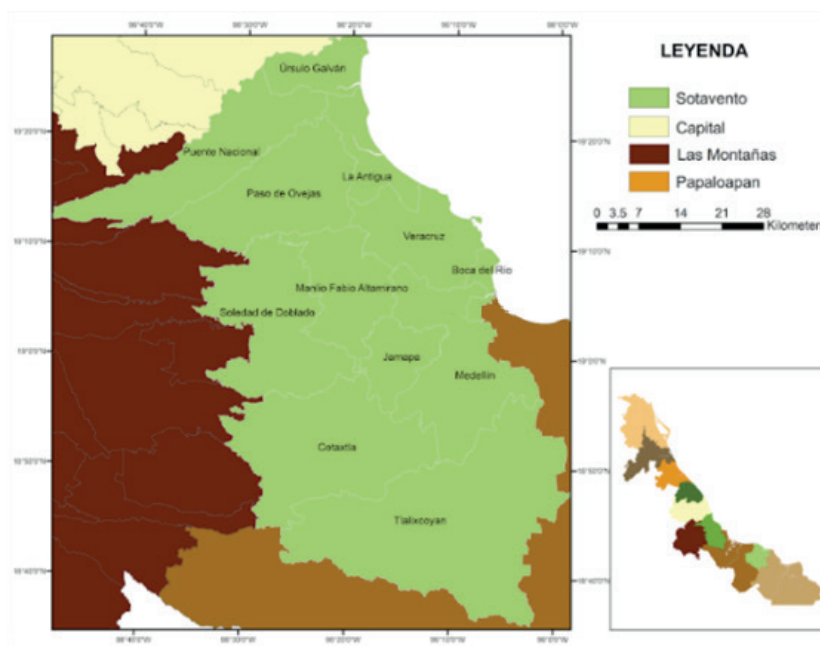
2. Metodología

a. Región de Sotavento en el estado de Veracruz, México

La Región de Sotavento en el estado de Veracruz está compuesta por 12 municipios que en conjunto tienen 3,961 km² de extensión territorial, que corresponde al 5.5% del territorio estatal (Gobierno del Estado de Veracruz & Secretaría de Finanzas y Planeación [Gobierno del Estado de Veracruz & SEFIPLAN], 2011) y una población, registrada hasta el 2020 de 1,085,751 habitantes, lo cual representa el 13.46% del total estatal (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021)

La región limita al norte con la Región Capital, al este con el Golfo de México, al oeste con la Región de las Altas Montañas y al sur con la Región del Papaloapan, (Figura 1), la cual está conformada por los municipios La Antigua, Boca del Río, Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Soledad de Doblado, Tlalixcoyan, Úrsulo Galván y Veracruz (Gobierno del Estado de Veracruz & SEFIPLAN, 2013).

Figura 1. Región de Sotavento en el estado de Veracruz, México



Veracruz, Boca del Río y Medellín forman el área metropolitana más poblada del estado (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población & Instituto Nacional de Estadística y Geografía [SEDATU, CONAPO & INEGI], 2018) que, debido al crecimiento poblacional, la rápida urbanización, el progreso económico y el incremento del nivel de vida, es donde más ha aumentado la generación de residuos (Abdel-Shafy & Mansour, 2018). Jamapa, La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Soledad de Doblado y Úrsulo Galván son los municipios periféricos de la Ciudad de Veracruz (Figura 2), que pueden clasificarse como “municipios dormitorio”, conformados por comunidades mayoritariamente rurales. Los municipios de Cotaxtla, Paso de Ovejas, Puente Nacional y Tlalixcoyan, constituyen el mayor número de comunidades rurales relativamente alejadas del área metropolitana de la Ciudad de Veracruz.

b. Recopilación de la información

Se utilizaron técnicas cualitativas semiestructuradas como entrevistas para recolectar datos, además de las observaciones y la revisión de literatura. Se hicieron visitas técnicas a las autoridades de limpia pública de los municipios, entre ellos directores, regidores, secretarios de ayuntamiento y personal de limpieza, en general, para obtener información sobre la generación y recolección diaria de RSU y la ubicación de los sitios de disposición final, tanto en uso como abandonados.

c. Análisis de los sitios de disposición final abandonados

La ubicación de los sitios de disposición final abandonados, su área de cobertura, se llevó a cabo mediante los SIG y el análisis de imágenes satelitales con Google Earth (Tamrat et al., 2019; Kapilan & Elangoyan, 2018). La información proporcionada por los entrevistados fue analizada y comparada con la información del mapa digital de México V6 del INEGI (2022) y del listado de tiraderos a Cielo Abierto de la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente (PMA, 2022).

La caracterización de los sitios de disposición abandonados de la Región de Sotavento se hizo mediante el uso de técnicas de teledetección (De Wet, 2016) utilizando fotografías satelitales de formato libre de Google Earth (Irfan et al., 2019), para representar los cambios en las capas de vegetación y el grado de perturbación espacial de los sitios seleccionados a partir de imágenes de los años 2005, 2010, 2015 y 2020.

d. Cálculo de las toneladas de residuos acumulados

Para calcular el volumen de residuos acumulados, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de Residuos} = (\text{Área del SDF}) (\text{Altura Promedio de los SDF})$$

Donde:

SDF = sitio de disposición final

El volumen de los sitios de disposición abandonados se determinó multiplicando el área máxima determinada con las fotografías satelitales, utilizando Google Earth, por la altura promedio de dichos sitios, la cual es el resultado del seguimiento de las capas de cobertura con Google Earth.

Para calcular las toneladas acumuladas de residuos, se utilizó el valor medio del peso volumétrico de 500 kg/m³ para residuos no compactados o mal compactados, en el caso de tiraderos a cielo abierto, y de 1,300 kg/m³ para residuos compactados, destinados a Rellenos sanitarios y sitios controlados (Zekkos et al., 2006; Hanson et al., 2010).

3. Resultados

a. Generación de RSU en la Región de Sotavento

De acuerdo con la información documental y la generada en las entrevistas semiestructuradas, las cuales se llevaron a cabo en los municipios de la Región de Sotavento del estado de Veracruz, para 2019, se identificó un total de 1,282,500 toneladas/día de RSU entre los municipios de la Región de Sotavento (Tabla 1).

Tabla 1. Toneladas diarias de RSU en sitios de disposición final de la Región de Sotavento, Veracruz, México

Municipio	Toneladas por día		
	2019	2015	2011
Boca del Río	220.00	141.00	135.06
Cotaxtla	10.00	11.00	12.05
Jamapa	8.50	8.21	7.94
La Antigua	35.00	32.60	21.09
Manlio Fabio Altamirano	17.00	16.40	15.89
Medellín de Bravo	100.00	70.13	47.94
Paso de Ovejas	20.00	21.09	24.93
Puente Nacional	12.00	13.69	15.06
Soledad de Doblado	20.00	19.17	18.08
Tlalixcoyan	20.00	16.43	15.61
Úrsulo Galván	20.00	20.00	20.00
Veracruz	800.00	700.00	600.00

Para 2019, los resultados de la Tabla 1 se obtuvieron de entrevistas hechas a las autoridades municipales en la semana comprendida entre el 6 y el 10 de enero de 2020, mientras que los datos de 2015 y 2011 se recopilaron de la Secretaría de Finanzas y Planeación del Gobierno del Estado de Veracruz (Gobierno del Estado de Veracruz & SEFIPLAN, 2015, 2019)

b. Identificación y ubicación de los sitios de disposición final abandonados

Una vez finalizado el recorrido en la región, y después de las entrevistas a los responsables de la gestión de los RSU y las visitas de campo, y de la revisión de fotografías satelitales de Google Earth se encontró que en el área de estudio para inicio del 2022 un total de 9 sitios de disposición final abandonados (Tabla 2)

Tabla 2. Localización de sitios de disposición final abandonados en la Región Sotavento, Veracruz, México

Municipio	Latitud	Longitud	Localidad
Boca del Río	19°07'15.08"N	96°07'45.27"W	9 de Marzo
La Antigua	19°15'04.91"N	96°18'06.27"W	Loma Iguana
La Antigua	19°20'15.85"N	96°19'15.78"W	Playa Oriente
La Antigua	19°23'28.63"N	96°24'02.97"W	José Cardel
Manlio Fabio Altamirano	19°03'54.16"N	96°22'24.77"W	Plataforma
Medellín de Bravo	18°53'27.80"N	96°07'46.77"W	El Guayabo
Puente Nacional	19°20'42.94"N	96°27'00.85"W	Chichicaxtle
Tlalixcoyan	18°43'27.85"N	96°09'54.55"W	Mata Verde
Veracruz	19°13'56.98"N	96°13'22.11"W	Carr. a Cardel

De los nueve sitios de disposición final abandonados (Figura 2), dos, en su momento, fueron rellenos sanitarios:

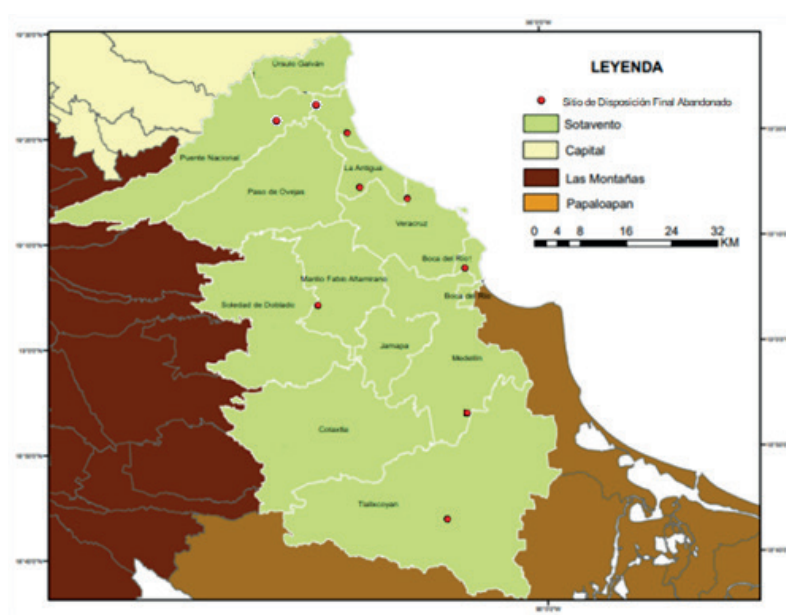
- El de la ciudad de Veracruz fue clausurado en 2019 por la Procuraduría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Veracruz (Madrigal, 2019, agosto 14).
- El de Loma Iguana, en el municipio de La Antigua, fue construido en 2008. Hasta diciembre de 2021 no se ha dado inicio a su operación por no contar con la infraestructura adecuada para el acceso de acceso a la misma (Cortés & Toriz, 2021).

Los municipios de Boca del Río, Manlio Fabio Altamirano, Medellín de Bravo, Puente Nacional y Tlalixcoyan, en ese momento, contaban con sitios de disposición final ubicados en la Colonia 9 de Marzo, y en las comunidades de, La Plataforma, El Guayabo, Chichicaxtle y Mata Verde respectivamente, y el municipio La Antigua con dos sitios en las comunidades de Playa Oriente y José Cardel. Dichos sitios fueron abandonados por diversas razones, sin ninguna rehabilitación, por lo tanto, existe una consecuente amenaza para los ecosistemas (Susunaga-Miranda et al., 2016). En detalle:

- En 2003, el basurero municipal de Boca del Río fue abandonado por estar rodeado por la zona urbana, lo cual representaba un riesgo para el Área Natural Protegida Arroyo Moreno (López-Portillo et al., 2009).
- El tiradero de Manlio Fabio Altamirano, ubicado a la entrada de la congregación La Plataforma, dejó de recibir residuos en 2018, cuando expiró el contrato de arrendamiento con el ayuntamiento.
- El basurero municipal de Medellín de Bravo, situado en la congregación El Guayabo, dejó de utilizarse en 2014 cuando entró en operaciones el relleno sanitario que se construyó a un costado de este.
- El tiradero municipal de Puente Nacional localizado en el ejido Chichicaxtle operó hasta 2015 cuando se traslada la disposición de RSU a la localidad de Rinconada.
- El sitio de disposición final del municipio de Tlalixcoyan, ubicado a un costado de la carretera a Mata Verde, fue abandonado en 2018, debido a las constantes denuncias de los vecinos de la localidad (Barranco, 2017, septiembre 26).
- El basurero del municipio de La Antigua funcionó hasta 2010 en la congregación Playa Oriente; se tomó la decisión de abandonarlo a causa de las inundaciones provocadas por el huracán Karl en ese mismo año cuando fue trasladada la disposición de RSU a José Cardel.

- El tiradero del municipio de La Antigua en José Cardel operó desde 2011 hasta 2015 cuando se traslada el sitio de disposición final municipal a la comunidad de José Ingenieros. Cabe mencionar que este sitio de disposición final geográficamente se localiza en el municipio de Puente Nacional, per el terreno es propiedad del ayuntamiento de La Antigua.

Figura 2. Sitios de disposición final abandonados



c. Características de los sitios de disposición abandonados

Las principales características (Tabla 3) de los sitios de disposición final de residuos sólidos en México están relacionadas con su funcionamiento y el grado de control sobre sus residuos, los cuales se pueden clasificar en relleno sanitario, sitios de disposición final controlados y sitios de disposición final no controlados (Proyecto de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, 2021).).

Tabla 3. Características de los sitios de disposición final abandonados en la Región de Sotavento, Veracruz, México

Municipio	Relleno sanitario	Sitio de disposición final controlado	Sitio de disposición final no controlado
Boca del Río		1	
La Antigua	1		2
Manlio Fabio Altamirano			1
Medellín de Bravo		1	
Puente Nacional			1
Tlalixcoyan			1
Veracruz	1		

Los sitios de disposición final abandonados de Manlio Fabio Altamirano, La Antigua, Tlaxicoyan y Medellín de Bravo, no han tenido ningún proceso de rehabilitación, además de que tienen diferentes grados de desarrollo de la cubierta vegetal sobre ellos y, dadas las condiciones climáticas del área, han sido invadidos por pastos oportunistas (Figura 3) como el pasto (*Paspalum notatum*), estropajo (*Luffa aegyptiaca* P. Miller) y zacate cadillo (*Enneapogon desvauxii* P. Beauv).

Figura 3. Sitio de disposición final abandonado en Mata Verde, Tlaxicoyan



El sitio de disposición final abandonado de Boca del Río tiene un asentamiento humano, que se conoce como Colonia 9 de Marzo (Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente & Gobierno del Estado de Veracruz, 2006). La colonia está conformada por 150 casas residenciales y una estación de policía, solo el 18.75 % del sitio está libre de construcciones. En 2008, su extensión máxima era de 55,600 m², para 2020, restaban 10,425 m² de área libre. La diferencia de altura por la acumulación de los residuos es de 4 m como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Sitio de disposición final abandonado del municipio de Boca del Río, imágenes de Google Earth



La extensión máxima de los sitios de disposición final del municipio de La Antigua en la comunidad de Playa Oriente y José Cardel con base en la imagen satelital de 2005 (Figura 5, Figura 6) era de 7,348 m² y 20,570 m² respectivamente y tenían una altura promedio de 2 m, para 2020, en ambos toda el área se ha desarrollado una cubierta vegetal. Este también es el caso del sitio abandonado de La Plataforma, ubicado en el municipio de Manlio Fabio Altamirano, el cual tenía 14,515 m² de extensión (Figura 7)

Figura 5. Sitio de disposición final abandonado del municipio de La Antigua en la comunidad de Playa Oriente, imágenes de Google Earth



Figura 6. Sitio de disposición final abandonado del municipio La Antigua en la comunidad José Cardel, imágenes de Google Earth



Figura 7. Sitio de disposición final abandonado del municipio Manlio Fabio Altamirano en la comunidad de La Plataforma, imágenes de Google Earth



El sitio de disposición abandonado de El Guayabo en Medellín de Bravo funcionó desde 2010 hasta 2015, cuando se inició el depósito de los residuos de los municipios de Medellín y Boca del Río, en el relleno sanitario que se construyó en un predio anexo; sin embargo, este no ha sido rehabilitado. Dicho sitio, que tiene un área de 68,038 m² y una altura promedio de 2 m, fue desarrollado utilizando el método de áreas (Figura 8).

Figura 8. Sitio de disposición final abandonado del municipio Medellín de Bravo en la comunidad de El Guayabo, imágenes de Google Earth



El sitio de disposición final no controlado que abandonado en la comunidad de Chichicaxtle en Puente Nacional operó de 2010 a 2017, tenía una extensión máxima de 19,917 m² (Figura 9)

Figura 9. Sitio de disposición final abandonado del municipio Puente Nacional en la comunidad de Chichicaxtle, imágenes de Google Earth.



El sitio de disposición final no controlado abandonado Mata Verde en Tlalixcoyan funcionó hasta 2018, cuando se inició el depósito de los residuos en el relleno sanitario El Guayabo. este sitio, que tiene una superficie de 13,636 m² y una altura promedio de 2 m, se desarrolló utilizando el método área (Figura 10).

Figura 10. Sitio de disposición final abandonado del municipio Tlalixcoyan en la comunidad de Mata Verde, imágenes de Google Earth



El relleno sanitario de la ciudad de Veracruz, ubicado en terrenos de la Administración del Sistema Portuario Nacional Veracruz, tiene una superficie de 167,228 m² y un desnivel de hasta 25 m en algunas zonas. (Figura 11), por lo que la altura promedio es de 12.5 m. Dicho relleno está colapsado, hasta el grado de haber cubierto con desechos todas las instalaciones que se construyeron en su momento para evitar la contaminación (Susunaga-Miranda & Estévez-Garrido, 2018). Construido y operado de conformidad con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMAR-NAT-2003 (2004), se dio inicio a su operación en 2000. Se estimó que tendría un tiempo de vida útil de 10 años, sin embargo, continuó operando hasta que toda la infraestructura existente (laguna de lixiviación, pozos de biogás, etc.) quedó cubierta de desechos, los cuales desbordaban su área original y producían constantemente incendios. La Procuraduría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz lo clausuró en diciembre de 2019 (Cortés & Toriz, 2021).

Figura 11. Sitio de disposición final abandonado del municipio Veracruz a un costado de la Autopista Veracruz-Cardel, imágenes de Google Earth.



El relleno sanitario de Loma Iguana en el municipio de La Antigua, si bien fue diseñado y construido de conformidad con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMAR-NAT-2003 (2004), fue abandonado sin operar por problemas legales y la falta de acceso para los camiones recolectores. Se pretendía que fuera un sitio para depositar residuos de toda la zona metropolitana de Veracruz, pero, para 2021 la infraestructura se encontraba en total abandono, con maleza y acumulación de agua de lluvia en la laguna de lixiviados (Figura 12). Su área es de 27,240 m² y tiene una profundidad en la celda de desecho de 5 m. Cabe mencionar que en esta investigación se dejará fuera del cálculo del volumen y la cantidad de residuos ya que nunca se operó.

Figura 12. Sitio de disposición final abandonado del municipio de La Antigua en la congregación de Loma Iguana, imágenes de Google Earth



d. Residuos almacenados en sitios de disposición final abandonados

Para calcular los residuos se puede descartar el relleno sanitario Loma Iguana porque este sitio de disposición final nunca ha operado, es decir, carece residuos sólidos en su infraestructura. Para los sitios restantes de disposición final se consideraron las fechas de apertura y cierre (Tabla 4).

Tabla 4. Apertura y abandono de sitios de disposición final en la Región de Sotavento, estado de Veracruz, México

Municipio	Sitio de disposición final abandonado	Año de apertura	Año de cierre
Boca del Río	Col. 9 de Marzo	1990	2008
La Antigua	Loma Iguana	N/A	N/A
La Antigua	Playa Oriente	2005	2010
La Antigua	José Cardel	2010	2017
Manlio Fabio Altamirano	La Plataforma	2017	2018
Medellín de Bravo	El Guayabo	2010	2015
Puente Nacional	Chichicaxtle	2010	2017
Tlalixcoyan	Mata Verde	2013	2018
Veracruz	Carretera Cardel	2000	2019

Nota: N/A No aplica

La cantidad acumulada de residuos se obtuvo al multiplicar el volumen por el peso volumétrico de 500 kg/m³ para residuos no compactados o mal compactados (La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Puente Nacional y Tlalixcoyan) y 1,300 kg/m³ para residuos compactados

para rellenos sanitarios y rellenos controlados (Boca del Río, Veracruz y Medellín de Bravo). Los resultados tanto del volumen como de las toneladas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Área máxima, volumen calculado y cantidad de residuos acumulados en los sitios de disposición abandonados en la Región de Sotavento, estado de Veracruz, México

Municipio	Sitio de disposición final abandonado	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Volumen acumulado de residuos (Ton)
Boca del Río	Col. 9 de Marzo	55,600	222,400	289,120
La Antigua	Loma Iguana	N/A	N/A	N/A
La Antigua	Playa Oriente	7,348	14,696	7,348
La Antigua	José Cardel	20,570	41,140	20,570
Manlio Fabio Altamirano	La Plataforma	14,515	29,030	14,515
Medellín de Bravo	El Guayabo	68,038	136,076	176,898
Puente Nacional	Chichicastle	19,917	39,834	19,917
Tlalixcoyan	Mata Verde	13,636	27,272	13,636
Veracruz	Carr a Cardel	167,228	1,505,052	1,956,567

4. Discusión

Dado el incremento poblacional de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Medellín de Bravo, que conforman del área metropolitana de la Ciudad de Veracruz (SEDATU & INEGI, 2015), así como la rápida urbanización, el desarrollo económico y un alto nivel de vida (Abdel-Shafy & Mansour, 2018), la generación de RSU se ha acelerado en comparación con los demás municipios de la Región Sotavento. En el caso particular de Tlalixcoyan, el incremento se debe a una mayor eficiencia en el sistema de recolección por parte del servicio de limpia. Jamapa, La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Soledad de Doblado y Úrsulo Galván son municipios periféricos de la Ciudad de Veracruz, que se pueden catalogar como municipios dormitorio. Estos presentan un leve incremento en la disposición de RSU, los cuales tienen recursos financieros insuficientes (Pokhrel & Viraraghavan, 2005), además de sitios de disposición final inadecuados o carecen de mecanismos para limitar la contaminación ambiental. Para los municipios de Paso de Ovejas, Cotaxtla y Puente Nacional, el descenso en la generación de residuos se debe principalmente a los problemas que tienen en sus sistemas de limpia pública, ya que son los municipios con el mayor número de comunidades rurales, y menor planificación en recolección (Hazra & Goel, 2009), además del número insuficiente de vehículos para recolectar y caminos en mal estado (Henry et al., 2006).

Un problema común en los sitios abandonados de la Región de Sotavento es el incendio espontáneo de los RSU, resultado de una combinación de factores como la falta de recursos, de personal, de infraestructura (Bernaché, 2015) o la quema de residuos (metales de llantas y cables eléctricos) para su valorización (Atencio-Pérez et al., 2013). Otro problema recurrente es la presencia pepenadores, quienes recolectan materiales que pueden ser reintegrados a los procesos productivos (Bernaché, 2015).

5. Conclusiones y recomendaciones

La gestión de los RSU en la Región de Sotavento del estado de Veracruz, México, se ha convertido en una prioridad para las autoridades municipales, pues con el aumento de la población, el crecimiento económico y el cambio en los hábitos de consumo ha provocado un incremento en la generación de residuos. Este crecimiento, ha ocasionado una saturación de los sitios de disposición final que, en su mayoría, carecen de instalaciones adecuadas, por consiguiente, constituye una amenaza potencial para la calidad del ambiente por la contaminación del aire y del suelo que los residuos generan.

Se deben considerar mecanismos para la disposición adecuada de los RSU en la zona periférica de la Ciudad de Veracruz, porque existe un solo relleno sanitario. Si bien tiene una buena cantidad de residuos, la mayor parte se deposita en sitios que no disponen de las instalaciones o infraestructuras adecuadas. Además, es importante que los trabajadores de limpieza pública porten equipo de protección personal para salvaguardar su salud e integridad.

Existe una falta de coordinación política entre los tres órganos de gobierno para corregir la falta de sitios de disposición final adecuados; por este motivo, la región solo cuenta con un relleno sanitario en la comunidad de El Guayabo del municipio de Medellín de Bravo, y uno sin uso en Loma Iguana que podría ser una alternativa para la Ciudad de Veracruz, la cual genera la mayor cantidad de residuos sólidos. Por su cercanía, ese servicio podría extenderse hacia los municipios de La Antigua, Úrsulo Galván y Puente Nacional.

Es fundamental que las autoridades municipales, responsables de la disposición final de los RSU, contemplen el cierre de los sitios de disposición final no controlados. Asimismo, deben enfocarse en que los abandonados sean clausurados, empleando técnicas adecuadas que cumplan con la normativa ambiental mexicana y garanticen un mínimo impacto al medio ambiente, con el fin de que estos dejen de ser pasivos ambientales.

Agradecimientos

Agradecemos al programa multisede del Doctorado en Ciencias Ambientales del Tecnológico Nacional de México del Instituto Tecnológico de Boca del Río/Instituto Tecnológico de Veracruz.

Referencias

- Abdel-Shafy H., & Mansour, M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization, *Egyptian Journal of Petroleum*, 27 (4), 1275–1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>.
- Ali, S., & Ahmad, A. (2020). Suitability analysis for municipal landfill site selection using fuzzy analytic hierarchy process and geo-spatial technique. *Environmental Earth Sciences* 79, artículo 227. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08970-z>
- Atencio-Pérez, R., Reyes-López J., & Guevara-García, J. (2013). Evaluación de riesgo ambiental en un tiradero con quema de basura. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 29 (3)107–117. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37029665013>
- Ayaim, M., Fei-Baffoe, B., Sulemana, A., Miezah, K., & Adams, F.(2019). Potential sites for landfill development in a developing country: A case study of Ga South Municipality, Ghana. *Heliyon*, 5(10), e02537. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02537>

- Barranco R. (2017, septiembre 26). Alcaldía de Tlaxicoyan usa predio de comunidad como basurero al aire libre. *Al Calor Político*. <https://www.alcalorpolitico.com/informacion/alcaldia-de-tlaxicoyan-usa-predio-de-comunidad-como-basurero-al-aire-libre-245110.html>
- Bernaché, G. (2015). La gestión de los residuos sólidos: Un reto para los gobiernos locales. *Sociedad y Ambiente*, 1(7), 72–101. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i7.1592>
- Cortés, A., & Toriz, V. (2021) Veolia, empresa que viola el título de Concesión en Veracruz. *La Silla Rota*. Consultado 17 de Julio de 2022 <https://lasillarota.com/especialeslr/veolia-empresa-que-vio-la-titulo-concesion-veracruz>
- De Wet, A. (2016). Discovering and characterizing abandoned waste disposal sites Using LIDAR and aerial photography. *Environmental & Engineering Geoscience*, 22(2), 113–130. <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.22.2.113>
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060 <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/6/1060>
- Fetter, W., Boving, T., & Kreamer, D. (2018). *Contaminant hydrogeology* (3.a ed.). Waveland Press.
- Gobierno del Estado de Veracruz & Secretaría de Finanzas y Planeación. (2011). *Estudios regionales para la planeación: Región Sotavento 2011* <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/wp-content/uploads/sites/2/2020/02/C-Reg-Sotavento-2011publ.pdf>
- Gobierno del Estado de Veracruz & Secretaría de Finanzas y Planeación. (2013). *Programas regionales veracruzanos: Programa Región Sotavento 2013-2016*. <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2014/04/tf07-pr-sotavento.pdf>
- Gobierno del Estado de Veracruz & Secretaría de Finanzas y Planeación. (2015). *Sistema de información municipal: Cuadernillos municipales* <http://ceieg.veracruz.gob.mx/cuadernillos-municipales-2015/>
- Gobierno del Estado de Veracruz & Secretaría de Finanzas y Planeación. (2019). *Cuadernillos Municipales, Edición 2019*. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2019/05/09/cuadernillos-municipales-2019/>
- Hanson, J., Yesiller, N., Stockhausen, S., & Wong, W. (2010). Compaction characteristics of municipal solid waste. *Civil and Environmental Engineering*, 136(8), 1095-1102. <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29GT.1943-5606.0000324>
- Hazra, T., & Goel, S. (2009). Solid waste management in Kolkata, India: Practices and challenges. *Waste Management*, 29(1), 470–478. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.01.023>
- Henry, R., Yongsheng, Z., & Jun, D. (2006). Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. *J. Waste Management*, 26(1), 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.03.007>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Mapa digital de México V6* <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00JE5LjA5MjE1LGxvbjotOTYyNDM1MTYsejo1LGw6YzExMXNlcnZpY2lvc3xjc2Rm>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021) *Censo de Población y Vivienda (2020), Panorama sociodemográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave: Censo de Población y Vivienda 2020* https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825198039.pdf
- Irfan, M., Houdayer, B., Shah, H., Koj, A., & Thomas, H. (2019). GIS-based investigation of historic landfill sites in the coastal zones of Wales (UK). *Euro-Mediterranean Journal of Environmental Integration* 4, 26. <https://doi.org/10.1007/s41207-019-0116-y>
- Kapilan, S., & Elangovan, K. (2018). Potential landfill site selection for solid waste disposal using GIS and multi-criteria decision analysis (MCDA). *Journal of Central South University*, 25, 570–585. <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3762-3>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2003). *Diario Oficial de la Federación*, 8 de octubre https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf

- Lobo-García, A., Szantó, M., & Llamas, S. (2016). Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos: Experiencias en Iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32 (Especial residuos sólidos), 123 –139.
- López-Portillo, J. Gómez, L., Lara-Domínguez, A., Ávila-Ángeles, A., & Vázquez-Lule, A. (2009). Caracterización del sitio de manglar Arroyo Moreno, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F
- Madrigal, J. (2019, agosto 14). PMA clausura de forma definitiva basurero a cielo abierto de la ciudad de Veracruz. Agencia de +Noticias RTV <https://www.masnoticias.mx/pma-clausura-de-forma-definitiva-basurero-a-cielo-abierto-de-la-ciudad-de-veracruz/>
- Morita, A., Pelinson, N., Elis, V., & Wendland, E. (2020). Long-term geophysical monitoring of an abandoned dumpsite area in a Guarani Aquifer recharge zone. *Journal of Contaminant Hydrology*, 230, 103623. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103623>
- Morita, A., Pelinson, N., & Wendland, E. (2020). Persistent impacts of an abandoned non-sanitary landfill in its surroundings. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(7). <https://doi:10.1007/s10661-020-08451-7>
- Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. (2004). Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación, 20 de octubre. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/nom-083.pdf>
- Proyecto de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. (2021). 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. Diario Oficial de la Federación, 10 de mayo. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5617899&fecha=10/05/2021#gsc.tab=0
- Pokhrel, D., & Viraraghavan, T. (2005). Municipal solid waste management in Nepal: Practices and challenges. *Waste Management*, 25(5), 555–562. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.01.020>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015. México https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825006792.pdf
- Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente & Gobierno del Estado de Veracruz (2006) Programa de Manejo del Área Natural Protegida “Arroyo Moreno”. Boca del Río-Medellín de Bravo, Ver. Coordinación General de Medio Ambiente http://repositorio.veracruz.gob.mx/medioambiente/wp-content/uploads/sites/9/2018/12/Programa-de-manejo_Arroyo-Moreno.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021) Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría del Medioambiente y Recursos Naturales, Gobierno de México <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Susunaga-Miranda, M., & Estévez-Garrido, B. (2018). Metales pesados en los lixiviados provenientes del basurero no controlado de la Ciudad de Veracruz. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 5(6), 164–171. <http://reibci.org/publicados/2018/dic/3200111.pdf>
- Tamrat, M., Muralitharan, J., & Yahya, A. (2019). GIS and remote sensing based suitable site selection for solid waste disposal: A case study of Gondar Town, North West Ethiopia. *Journal of Academia and Industrial Research*, 8(2), 38–44 <http://jairjp.com/JULY%202019/03%20TAMRAT%20RESEARCH%20ARTICLE-JAIR%20JULY%20ISSUE.pdf>
- Vian-Pérez, J., Velasco-Pérez, A., García-Herrera, T. (2019) Residuos Sólidos Urbanos: Una problemática ambiental y oportunidad energética. CIENCIAUANL: Revista de Divulgación Científico y Tec-

nológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 22(97), 44-51. <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=9350>

Zekkos, D., Bray, J., Kavazanjian, E., Matasovic, N., Rathje, E., Riemer, M., &Stokoe II, K. (2006). Unit weight of municipal solid waste. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(20), 1250-126. [https://doi:10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:10\(1250\)](https://doi:10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:10(1250))