Restauración del Barranco Colorado, Tayahua, Zacatecas, un sitio con valor histórico impactado por un tiradero

Vania Ríos-Rivero, Miguel Mauricio Aguilera-Flores*, Verónica Ávila-Vázquez, Uriel Alejandro Villegas-Cuevas

Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Ingeniería Ambiental. Calle Circuito Cerro del Gato No. 202, Col. Ciudad Administrativa, Zacatecas, Ziguraac. C.P. 98160.

Artículo recibido 26 de septiembre del 2024 y aceptado el 30 de mayo del 2025

Restoration of Barranco Colorado, Tayahua, Zacatecas, a site of historical value impacted by a landfill site

Abstract

The town of Tayahua, located in the municipality of Villanueva, Zacatecas, Mexico, began disposing of its urban solid waste and special management waste in 1983 at the Barranco Colorado. This site would serve Tayahua and seven neighboring towns for more than 40 years.
The disposal of waste in the Barranco Colorado causes negative impacts on its natural environs, such as the loss of the landscape, environmental issues, problems derived from the dispersion of waste, as well as uncontrolled biogas and leachates, fines, and problems in the political and economic aspect, negatively impacted the history and culture that characterizes the town of Tayahua and its inhabitants.
The project aimed to design a proposal for the restoration of the final waste disposal site (FWDS), within the Barranco Colorado, located in the town of Tayahua, by following the closure in accordance with the Mexican Official Standard NOM-083-SEMARNAT-2003, rescuing the historical and cultural value.
It began with a visit to the study area where information was collected and a diagnosis of the site in accordance with the provisions of the Mexican Official Standard NOM-083-SEMARNAT-2003. Topographical and geospatial studies were conducted, including the classification of slopes (%), elevation (m.a.s.l.), and the use and type of soil, as well as the identification of the water network. Additionally, perimetric plans were prepared for the total land area and the current waste deposit area. The estimation of the amount of biogas and leachate generated at the site and its projection until the absence of both compounds was also elaborated.
This project was achieved by identifying the landfill specification closure to be met by the site, classifying activities according to the impact category, and establishing a period in which they must be met.
The diagnostic and studies carried out for the site will allow the proposal of an infrastructure for waste containment, control of biogas and leachate, as well as the design of the final use of the site and the restoration of Barranco Colorado.

Key words: Closure Landfill, sustainability, open dumping site.

Resumen

La localidad de Tayahua ubicada en el municipio de Villanueva, Zacatecas, México, comenzó a disponer sus residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial desde 1983 en el Barranco Colorado, sitio que daría servicio durante más de 40 años para Tayahua y siete localidades vecinas.
La disposición de residuos en el Barranco Colorado provoca impactos negativos en su entorno natural, como, la pérdida del paisaje, en temas ambientales, problemas derivados de la dispersión de los residuos, así como el biogás y lixiviados no controlados, multas y problemas en el aspecto político y económico, impactando de forma negativa en la historia y cultura que caracteriza a la localidad de Tayahua y sus habitantes.

*Autor de correspondencia
Email: maguileraf@ipn.mx
ISSN 2594-0384 (Electrónica)

El objetivo del proyecto fue diseñar una propuesta para la restauración del sitio de disposición final de residuos (SDFR), dentro del Barranco Colorado ubicado en la localidad de Tayahua, mediante el seguimiento de clausura de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, rescatando el valor histórico y cultural.
Se inició con una visita a la zona de estudio donde se realizó la recopilación de información y el diagnóstico del sitio, de acuerdo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Se realizaron estudios topográficos y geoespaciales, como la clasificación de las pendientes (%), elevación (m.s.n.m.), uso y tipo de suelo, identificación de red hídrica, así como los planos perimétricos del área total del terreno y área de depósito actual de los residuos. También, se elaboró la estimación de la cantidad de biogás y lixiviados generados en el sitio y su proyección hasta la ausencia de ambos compuestos.
Este proyecto logró identificar las especificaciones de clausura que debe cumplir el sitio, clasificando actividades de acuerdo con la categoría de impacto y estableciendo un periodo de tiempo en el que se deberán cumplir. El diagnóstico y los estudios realizados para el sitio permitirán proponer una infraestructura para la contención de residuos, el control del biogás y lixiviados, así como el diseño del uso final del sitio y lograr la restauración del Barranco Colorado.

Palabras claves: Clausura, sustentabilidad, tiradero a cielo abierto.

Introducción

La generación de los residuos sólidos urbanos forma parte de la triple crisis planetaria abarcando el cambio climático, contaminación y pérdida de biodiversidad (United Nations Environment Programme, 2024). El Banco Mundial realizó una proyección para el año 2050, donde se espera una generación de más de 3.400 millones de toneladas de residuos al año, compuestos en su mayoría por plástico, papel, metal, vidrio y residuos orgánicos (World Bank Group, 2018), provocando impactos negativos al ambiente, al sector económico y temas relacionados con la salud que impactan directamente a la sociedad (Martínez, 2019).
Las especificaciones para controlar un sitio de disposición final de residuos (SDFR), en México, desde la adecuación de la zona hasta la clausura, por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), comenzaron a evaluarse en el año 2003 mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, y anterior a ello, diversos lugares fueron usados como tiraderos clandestinos o tiraderos a cielo abierto, sin identificar los impactos negativos que afectan a las personas, fauna y flora del lugar (SEMARNAT, 2004).
La evaluación de los SDFR consiste en vigilar los impactos negativos causados durante el proceso de descomposición de los residuos sólidos urbanos (RSU), categorizados como orgánicos. Se generan gases principalmente compuestos de metano (CH_4), dióxido y monóxido de carbono (CO_2 y CO), ácido sulfhídrico (H_2S), y compuestos orgánicos volátiles (COV's) (como benceno y acetona), en conjunto conocido como biogás (Martínez, 2019). El biogás debe ser liberado ya que puede provocar explosiones e incendios dentro de la zona al permanecer acumulado.
Los lixiviados también se presentan durante la descomposición y en conjunto con el derrame de líquidos sobrantes que se encuentren en envases o recipientes (SEMARNAT, 2018). La composición puede variar de acuerdo con su origen, en general lo conforman materia orgánica, nutrientes y metales pesados, causando problemas en el suelo, como la erosión, pérdida de las propiedades fisicoquímicas, la contaminación a cuerpos de agua superficiales o subterráneos y su posible infiltración a los mantos acuíferos (SEMARNAT, 2018).
En cuanto a los residuos de manejo especial (RME), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los define como aquellos que, son generados en gran volumen y no reúnen las características para ser considerados como peligrosos (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agentes biológico-infecciosos). Estos últimos, requieren un tratamiento diferente a los RSU y RME, sin embargo, la generación de estos puede darse a nivel domiciliario y comercial, pero en cantidades menores (LGPGIR, 2003).
El caso de estudio es la localidad de Tayahua, ubicada en el municipio de Villanueva en Zacatecas, México. A partir de 1983, al no contar con un lugar para disponer sus residuos y la distancia que implicaba transportarlos hasta la cabecera municipal de Villanueva, la localidad de Tayahua y siete localidades vecinas entre ellas, El Salitre, Los pilares, Francisco Villa (El Caballete),

Zapoqui, San Miguel, El Uncidero (El Refugio) y Las pilas, comenzaron a disponer sus residuos sólidos urbanos (RSU), y residuos de manejo especial (RME), en el Barranco Colorado, lugar que daría servicio como tiradero a cielo abierto por 41 años.

La localidad de nombre "Tayahua o Tlayahua" de origen náhuatl que significa donde tienen bailes o donde danzan (Amador, 1897), se fundó como hacienda en el siglo XVI, antes que el municipio de Villanueva, su actividad principal fue agrícola-ganadera durante tres siglos. La distribución de la hacienda consistía en un espacio amplio que representaba la plaza principal, un templo, la casa grande, las trojes y un pequeño ruedo (plaza de toros). Uno de los elementos más reconocidos que prevalece hasta el día de hoy es el arco que indicaba el acceso a la hacienda y en la actualidad forma parte como indicador de la entrada a la localidad (Gobierno del Estado de Zacatecas 2010-2016, 2010).

Tayahua obtuvo su importancia cultural e histórica durante el siglo XIX al ser adquirida por la familia Aguilar, quienes se encargaron de implementar acciones para la restauración de la hacienda, así como de la electrificación, pavimentación y acondicionamiento de lo que hoy se conoce como la localidad de Tayahua (Gobierno del Estado de Zacatecas 2010-2016, 2010). En la década de los setenta, el Barranco Colorado fue parte de una zona de filmación para las películas protagonizadas por los cantantes y actores Antonio Aguilar y Flor Silvestre. En la actualidad, el legado de la familia Aguilar continúa brindando apoyo a la localidad de Tayahua, logrando el reconocimiento del lugar como "La tierra de Antonio Aguilar y familia" (Instituto Zacatecano de Cultura Ramón López Velarde y H. Ayuntamiento de Villanueva, 2012).

La categoría política de localidad, reconocida en 1995 con el nombre Tayahua (San José de Tayahua), es una de las 117 localidades de Villanueva y pertenece a la segunda localidad más poblada con 2,193 habitantes después de Malpaso (INEGI 2020 – 2022).

El proyecto propone como hipótesis que el SDFR cumplirá con las especificaciones de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004), y a partir de estas características se diseñará la propuesta de clausura y uso final del sitio. El objetivo del proyecto fue diseñar una propuesta para la restauración del sitio de disposición final de residuos (SDFR), dentro del Barranco Colorado ubicado en la localidad de Tayahua, mediante el seguimiento de clausura de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, rescatando el valor histórico y cultural de la localidad.

Materiales y métodos

Visita al sitio de disposición final de residuos (SDFR)

Se recopiló información por parte de gobierno del estado de Zacatecas, en la Secretaría de Agua y Medio Ambiente (SAMA), se obtuvo información del registro y ubicación del SDFR. Por parte de gobierno municipal, se recopilaron datos de los años del servicio del Barranco Colorado y los comisariados de la localidad de Tayahua, proporcionaron información local acerca de la historia del Barranco Colorado.

Se realizó una visita al Barranco Colorado, durante la primera semana de febrero del 2024, ubicado en la localidad de Tayahua (San José de Tayahua), en el municipio de Villanueva, en la zona sur del Estado de Zacatecas, México, con coordenadas geográficas decimales centrales de 22.09209 Latitud Norte y -102.85803 Longitud Oeste (Figura 1). En el sitio, se hizo un recorrido del perímetro del Barranco Colorado por medio de un GPS SOKIA de doble frecuencia, llevando a cabo la toma de coordenadas geográficas, identificando el área total de residuos.

Estimación de volumen de residuos en el SDFR

La estimación del volumen de residuos se realizó a partir del número de habitantes de las 8 localidades que utilizan el Barranco Colorado como SDRF, así como la generación per cápita (G_{pc}) del municipio de Villanueva (INECC, 2022). La tasa anual de población y la generación per cápita de residuos se consideraron de acuerdo con la migración de la región ya que esto influye en el número de habitantes por año y su generación de residuos.

El crecimiento poblacional se determinó desde el año 1983, estableciendo como el número de año cero. La proyección se realizó hasta el año 2024, correspondiendo a 41 años de servicio. Sin embargo, se proyectó hasta el año 2026 en caso de extender el tiempo de la clausura del sitio, siguiendo la Ecuación 1.

$$\mathrm{Pf} = \mathrm{Po}(1 + \mathrm{r}) \ldots \text{Ecuación } 1$$

Donde Pf es la población proyectada, Po la población del año anterior y r la tasa de crecimiento de acuerdo con el reporte del INECC (2022).

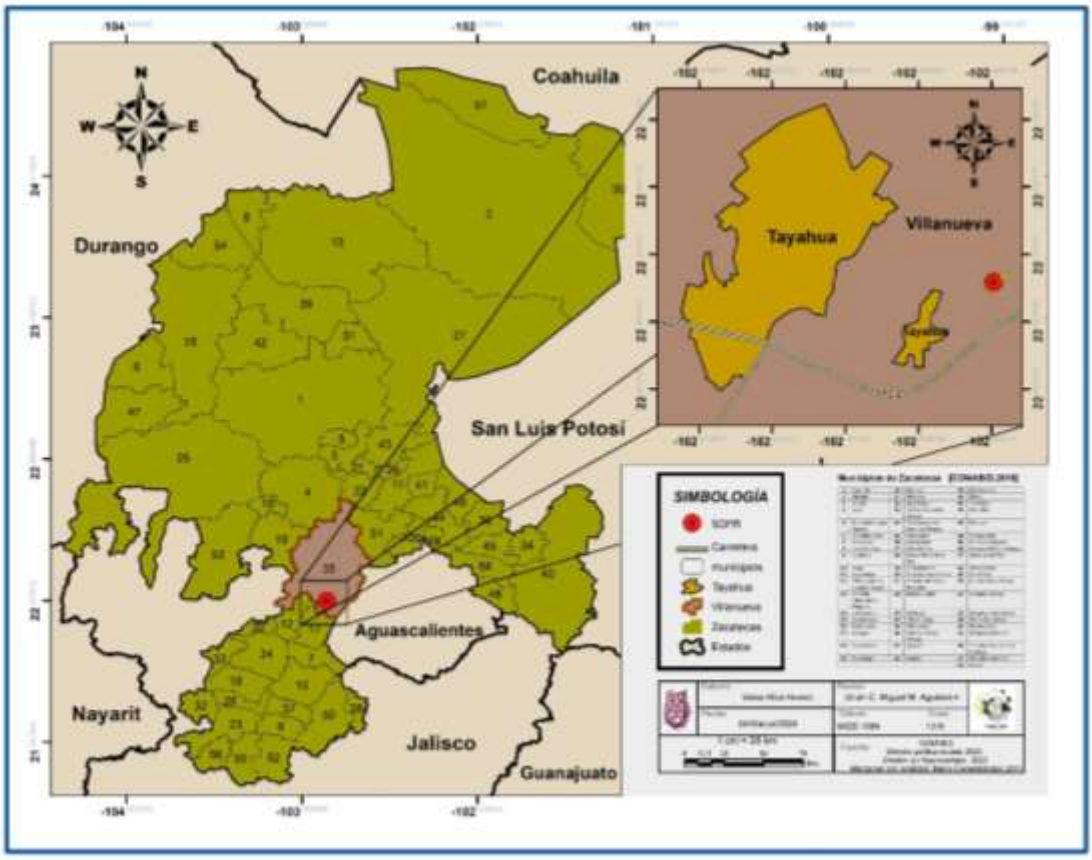


Figura 1. Ubicación del SDFR el Barranco Colorado.

La generación per cápita de residuos de acuerdo con cada año de operación fue calculada con relación a la generación diaria total de residuos de Villanueva (INECC, 2022) y de acuerdo con el número de habitantes de las siete localidades en la Ecuación 2.

$$G_{pc} = \frac{\text{generación diaria de residuos}}{\text{número de habitantes}} \quad \textbf{Ec. 2}$$

Para la estimación de los residuos a disponer (CRD_{RS}), se utilizó la Ecuación 3, determinando en kilogramo por día, tonelada por año y tonelada al día.

$$CRD_{RS} = G_{pc} * Pf \ldots \text{Ecuación 3}$$

De acuerdo con las disposiciones generales que describe la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, donde se establecen las categorías (A, B, C, o D), de los SDFR de acuerdo con las toneladas de residuos que se reciben al día (Tabla 1). Se determinó la categoría a la que pertenece el SDFR y, posteriormente, se evaluaron las especificaciones, estudios y análisis previos, características constructivas y operativas, obras complementarias, y requisitos mínimos del sitio estipulados en la norma.

Estudios topográficos y geoespaciales

Se realizaron los estudios de pendientes (%), elevación (m.s.n.m.), uso y tipo de suelo, red hídrica, así como los planos perimétricos del área total del terreno y área de depósito actual de los residuos, con la finalidad de identificar las características del terreno y evaluar los posibles asentamientos o aspectos naturales que se presenten en el sitio.

La información para los estudios topográficos y geoespaciales se obtuvo de acuerdo con la base de datos de los siguientes portales oficiales, como se muestran en la Tabla 2. Indicando el sitio oficial y las diferentes capas vectoriales que se descargaron en formato ESRI Shapefile (SHP). Los portales oficiales como, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad

Tabla 1. Clasificación de los sitios de disposición final de residuos de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003.

Categorías	Residuos (t/d)
A	Mayor a 100
B	50 a 100
C	10 a 50
D	Menor a 10

t/d = toneladas por día

Tabla 2. Fuentes de información para los estudios topográficos y geoespaciales

INEGI	CONABIO
Red de caminos y carreteras, 2023.	División política estatal, 2023.
Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM), Zacatecas.	División política municipal, 2023.
Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII, 2021.	Mancha urbana y rural, 2015.
	Manzanas por localidad, 2015.
SIATL v4 y CONAGUA	INIFAP
Red Hídrica y dirección de flujo (Escala 1:50 000 Ed. 2.0)	Edafología, 2023

(CONABIO), así como información del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIALT v4), en conjunto con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), y el Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Con esta información, se elaboraron mapas de información con ayuda de la herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ArcMap en su versión 10.8.

Generación de biogás y lixiviados en el SDFR

Biogás

Para la estimación de la generación de biogás se utilizó el modelo mexicano de acuerdo con la Ecuación 4.

$$Q_{CH4} = L_0 * CRD_{RS} * (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad \ldots \text{Ecuación 4}$$

La tasa de generación de biogás (Q_{CH4}), está relacionada con el potencial (L_0), y la constante de la tasa de generación (k), del metano, el tiempo transcurrido del sitio (c, t), y la cantidad de residuos dispuestos (CRD_{RS}) (Aguilar Virgen et al., 2011).

Lixiviados

Se determinó la cantidad de lixiviados dentro del SDFR mediante un balance hídrico, el balance considera como entradas, la humedad en RSU, humedad en material de cubierta y la cantidad de lluvia. Los factores de salida, como la generación de biogás, evaporación anual y la humedad del sitio. Se tomaron en consideración rangos mostrados por Colomer Mendoza (2016). Sin embargo, la información de lluvia, evaporación y humedad, se tomaron de acuerdo con el INEGI y la CONABIO, para la localidad de Tayahua.

La proyección de la cantidad de biogás y lixiviados, se realizó hasta la ausencia de ambos compuestos.

Resultados y discusión

El sitio de disposición final de residuos (SDFR), ubicado en el Barranco Colorado lleva en servicio 41 años, comenzando a operar en 1983. La localidad de Tayahua se encuentra ubicada a un costado de la carretera Federal 54 tramo Villanueva-Tabasco, El Salitre se encuentra a 16 km desde el SDFR, Los pilares a 14 km desde la zona sur, Francisco Villa (El Caballete), ubicado a 13 km de distancia, las localidades como Zapoqui y San Miguel se encuentran a 11 km, El Uncidero (El Refugio), 7 km y finalmente Las pilas con 6.6 km (Figura 2).

El Barranco Colorado tiene 12,899.284 toneladas de residuos, con un promedio de 1.3950 toneladas diarias que son ingresadas al sitio (Tabla 3), la evaluación permitió categorizar al tiradero como tipo D, donde menos de 10 toneladas son ingresadas al día de acuerdo con la SEMARNAT (2004).

Los residuos depositados durante el año 1983 hasta el año 2003, son considerados como “residuos viejos”, derivado de la descomposición completa, por lo que se debe priorizar el manejo del biogás, lixiviados y compactación para los residuos depositados después de los 20 años que lleva operando el sitio (“residuos nuevos”). De acuerdo con el año 2003 hasta el 2026 (la estimación se

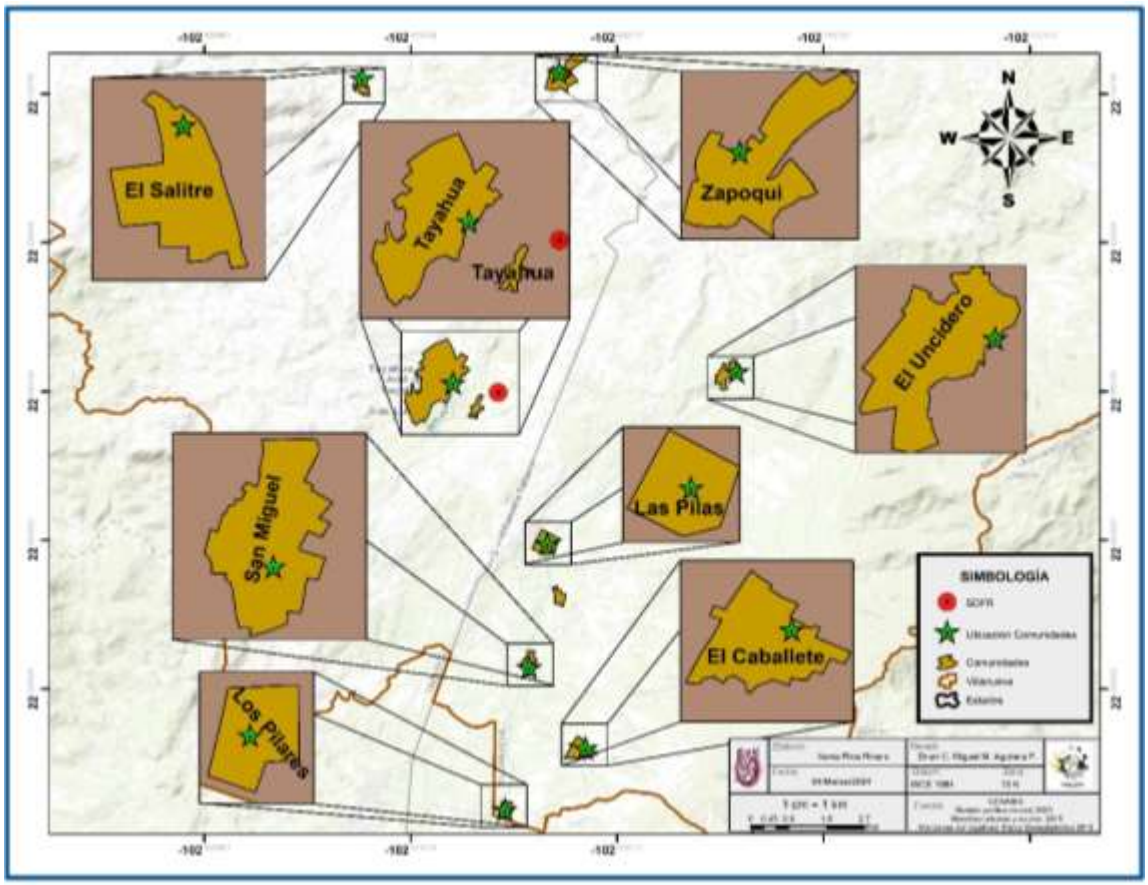


Figura 2. Ubicación de localidades vecinas a Tayahua, Zac.

Tabla 3. Residuos dispuestos durante la operación del sitio de disposición final de residuos El Barranco Colorado.

N°	AÑO	Población (Hab.)	Gpc (kg/hab/d)	Residuos (t/d)	Clasificación NOM
0	1983	3116.0672	0.536	1.3529	TIPO D
5	1988	3123.8651	0.539	1.3626	TIPO D
10	1993	3131.6826	0.541	1.3723	TIPO D
15	1998	3139.5196	0.544	1.3821	TIPO D
20	2003	3147.3763	0.546	1.3920	TIPO D
25	2008	3155.2526	0.549	1.4018	TIPO D
30	2013	3163.1486	0.551	1.4117	TIPO D
35	2018	3171.0644	0.554	1.4217	TIPO D
41	2024	3180.5895	0.557	1.4337	TIPO D
Residuos del año 2002 al 2026 (t/a)					12,899.2847

proyectó para dos años más en caso de posponer la clausura) (SEMARNAT, 2004).

La evaluación de las condiciones del sitio, con base en la normatividad NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004), identificó que la distancia mínima de la traza urbana (carretera) y la presencia de una corriente intermitente no se cumplen como especificaciones generales del sitio.

Sosa Rodríguez (2021), estableció una evaluación ambiental para un sitio de disposición final de residuos tipo D, donde realiza diagramas de interacción con el fin de establecer la relación entre causas (condiciones de la NOM) – problema (agua, suelo, aire, medio biologico) – impacto negativo (alto, medio y bajo) (Novoa, 2017), enfocados en la infraestructura, operación y clausura de los SDFR. Con la finalidad de determinar las consecuencias por incumplimiento de la Norma NOM-083-

SEMARNAT-2003.

Para el caso de estudio en la localidad de Tayahua, se consideró el trabajo realizado por Sosa-Rodríguez (2021), y se complementó, estableciendo, periodos de tiempo con la finalidad de priorizar las acciones correctivas en el sitio.

Se establecieron tres periodos, donde corto plazo, indica que es una medida que se deberá priorizar dentro de todas las actividades a realizar y no sobrepasa más de dos meses, mediano plazo hace referencia a una acción que puede llevarse a cabo no de forma urgente, pero sí se debe cumplir en cuanto las acciones de corto plazo se estén ejecutando, y finalmente a largo plazo, indica que se llevarán a cabo en conjunto con la clausura total del sitio.

En las características constructivas y operativas, el control de biogás y lixiviados pertenecen a una categoría de impacto alto (Sosa-Rodríguez, 2021), y se espera que las acciones correctivas se realicen a corto plazo. Las acciones a mediano plazo y con categoría de impacto medio y alto se establecieron para la barrera geológica, la compactación, dispersión de material ligero y el control de fauna nociva, y, finalmente, a largo plazo la cobertura final con una categoría de impacto medio. Las obras complementarias con las que cumple el sitio son el camino de acceso y la cerca perimetral.

Estudios del Barranco Colorado

Se determinó que el área total del Barranco Colorado es de 1 Ha y un perímetro de 420 m (Figura 3). La superficie cuenta con elevaciones de 1720 m.s.n.m. hasta 1747 m.s.n.m. donde la parte más alta pertenece a la zona donde son depositados los residuos (1743 m.s.n.m. y 1747 m.s.n.m.).

La zona presenta gradientes de pendientes de un suelo escarpado (15 % a 45 %), característico de un Barranco. Se identificó la dirección de flujo de la corriente intermitente con una distancia de 1.3 km hacia el río proveniente de la presa "Julián Adame Alatorre", también conocida como presa "Tayahua II" o el cuerpo de agua "El Salitre de abajo", se encuentra a una distancia de 3 km desde el punto de origen hasta su paso por la localidad de Tayahua. La

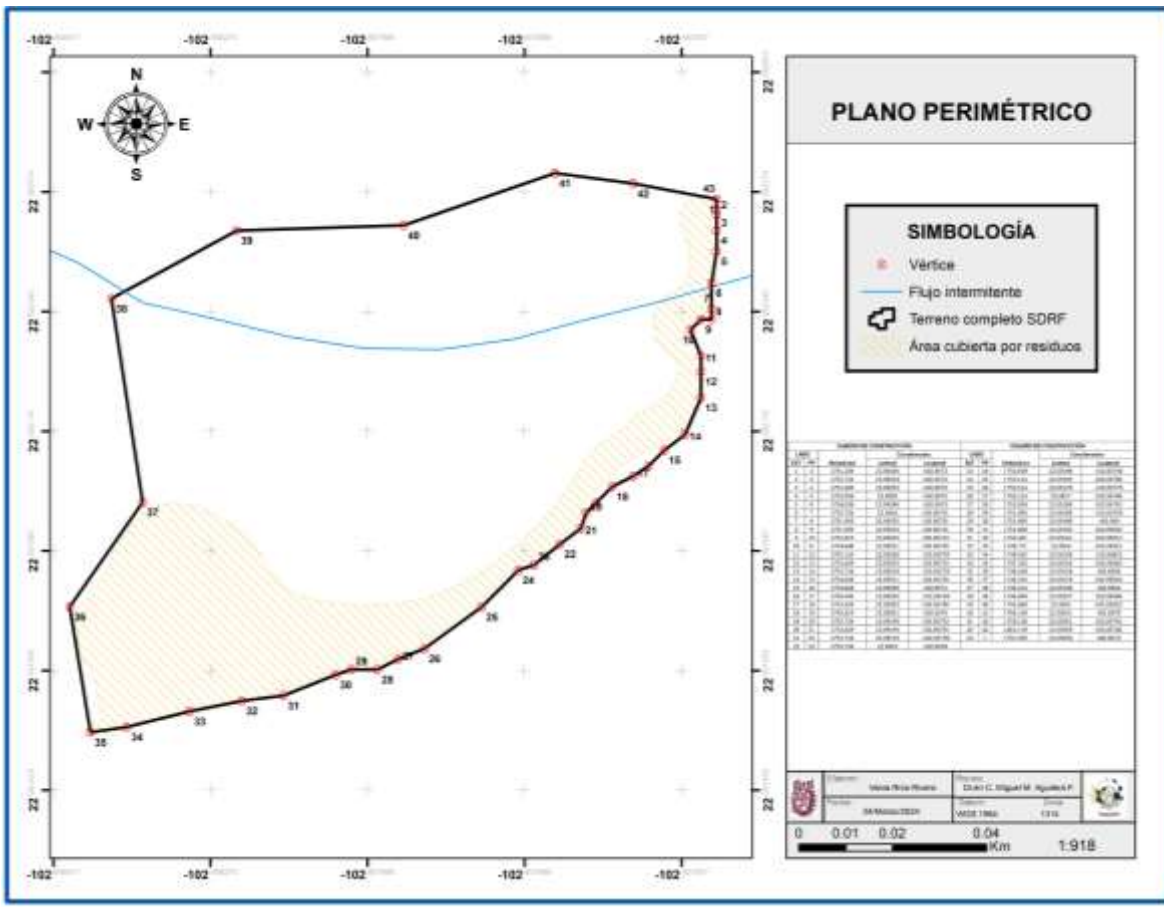


Figura 3. Superficie del sitio de disposición final el Barranco Colorado.

corriente de flujo continuo sigue su paso, recorriendo aproximadamente 15 km hasta llegar al cuerpo de agua "Santiago El Chique" (INEGI, 2011).

El sitio presenta un uso de suelo Matorral Crasicaule característico de vegetación cactácea. La zona de estudio no cuenta con especies enlistadas y bajo protección de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Un tipo de suelo Castañozem Lúvico (Kl), se caracteriza por ser de color castaño o pardo en climas semisecos, tienen vegetación de pastizal o matorral, rica en materia orgánica y nutrientes; con cal, yeso o con acumulación de arcilla en el subsuelo, moderadamente susceptibles a la erosión y baja permeabilidad (INEGI, 1998).

De acuerdo con sus características, la dinámica que presentan los lixiviados en el sitio, es una infiltración y permeabilidad baja, permaneciendo dentro de los horizontes del suelo 0-A, evitando un impacto negativo a mantos acuíferos. Sin embargo, se presenta erosión del suelo, ocasionando la alteración de sus propiedades fisicoquímicas, pérdida de nutrientes y materia orgánica (Figura 4).

Estimación de biogás y lixiviados

El monitoreo para el biogás y los lixiviados se debe realizar para un periodo mínimo de 20 años después de su generación en los sitios de disposición final (SEMARNAT, 2004). El sitio actual se encuentra operando durante 40 años, se despreciaron los años de generación durante 1983 (inicio de operación), hasta 2003, por tratarse de "residuos viejos", considerando una degradación total para los residuos orgánicos.

Se presenta la generación de biogás a partir del año 2003 con una generación inicial de 2,608.0671 m^3/ año y para la estimación de los lixiviados, en el año 2003 se tiene una cantidad inicial de 771 m^3/ año de acuerdo con la Figura 5.

Jaramillo (2002), propone la implementación de chimeneas para la salida del biogás y drenaje para el control de los lixiviados. Para el caso de estudio, se deberá implementar estas recomendaciones ya que, durante el tiempo de operación, el sitio no presento un sistema de extracción para el biogás y lixiviados generados durante 40 años.

Para la selección de la infraestructura se podrá tomar como referencia la generación de 556.0789 m^3/ año de biogás y para la captación de lixiviados de 155 m^3/ año, correspondientes a finales del año 2024. Se considera que después de esta fecha estipulada, se detenga la entrada de residuos al

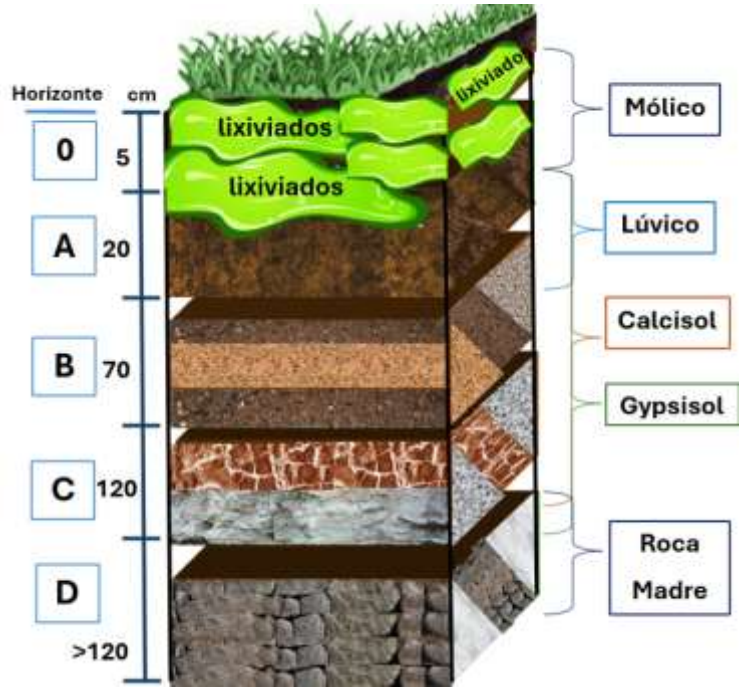


Figura 4. Capacidad de retención de los lixiviados en el suelo.

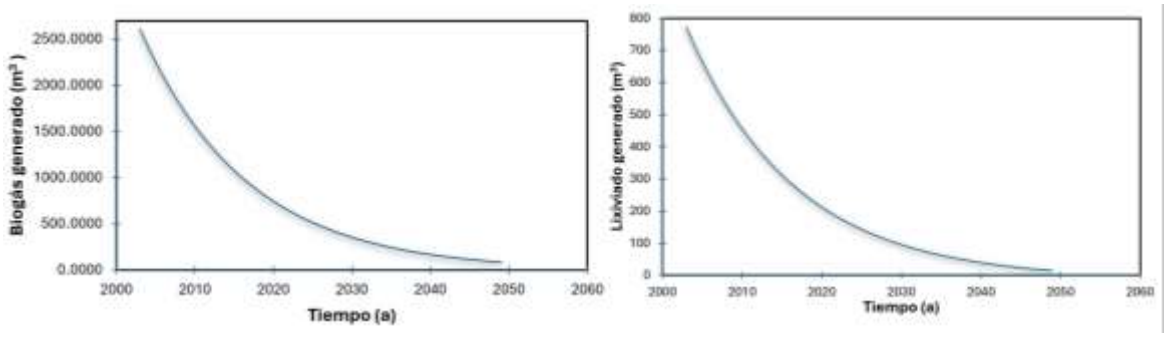


Figura 5. Estimación de biogás y lixiviados en el SDFR Barranco Colorado.

Barranco Colorado y comiencen las actividades de clausura. Se propone que los programas de seguimiento se realicen durante 26 años después de la clausura del SDFR, hasta el año 2050 donde se espera tener ausencia de ambos compuestos.

Conclusiones

El proyecto de investigación cumple con el diagnóstico completo del SDFR, donde especificaciones de clausura se pretenden priorizar mediante acciones correctivas a corto plazo y de alto impacto, como, la generación de biogás y lixiviados, así como el drenaje pluvial, la cobertura final para la contención de los residuos.

Con los estudios topográficos y geoespaciales se determinó que la superficie total cuenta con elevaciones de 1720 m.s.n.m. hasta 1747 m.s.n.m. El sitio presenta gradientes de un suelo escarpado de 15 % a 45 %, también se identificó la dirección de flujo de la corriente intermitente con una distancia de 1.3 km hasta el río más cercano proveniente de la presa "Julián Adame Alatorre".

El SDFR presenta uso de suelo Matorral Crasicaule característico de vegetación cactácea. Un tipo de suelo Castañozem Lúvico (Kl), que de acuerdo con sus características la dinámica que presentan los lixiviados es una infiltración y permeabilidad baja, provocando erosión del suelo ocasionando la alteración de sus propiedades fisicoquímica, pérdida de nutrientes y materia orgánica.

Con ello, se pretende diseñar una propuesta para la contención de los residuos, colocación de chimeneas para la liberación del biogás y un drenaje para la captación de los lixiviados generados, cumpliendo con las especificaciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Así como el diseño para el uso final, el plan de monitoreo y mantenimiento del sitio, durante los próximos 26 años de acuerdo con la proyección del biogás y lixiviados generados. Realizando un impacto positivo social, ambiental y económico para los 3,179 habitantes y con ello lograr la apertura total del nuevo relleno sanitario, una vez que se realice la clausura del SDFR dentro del Barranco Colorado.

Referencias

Aguilar Virgen, Q., Taboada González, P. A., Ojeda Benítez, S. 2011. *Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás*. Ingeniería. Available: <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen15/modelo.pdf >. [Consulted: March 4, 2024].

Amador, E. 1897. *Nombres indígenas todavía en uso en el estado de Zacatecas*. Hospicio de Niños de Guadalupe. Available: <https://memoricamexico.gob.mx/swb/memorica/Cedula?oId=clG4-HoBnXaDv89c6Pb9>. [Consulted: March 4, 2024].

Colomer Mendoza, F.J. 2016. *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. Limusa. Universidad Politécnica de Valencia. México.

Gobierno del Estado de Zacatecas 2010-2016. 2010. *Estudio e Inventario del Patrimonio Turístico. Histórico-Cultural-Natural*. En el municipio de Villanueva., Laboratorio de Estadística y Matemática Aplicada (LELILA).

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2022. Ruiz Suárez LG, Gavilán García A, Mendoza Cantú A, Ramírez Muñóz T, Araiza Aguilar JA., *Atlas Nacional de Residuos Sólidos Urbanos*.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 1998. *Diccionario de datos edafológicos escala [1: 1 000 000] (Vectorial)*. Base de datos geográficos, Available: <https://geoweb2.inegi.org.mx/geografia/espanol/normatividad/diccio/eda_1000.pdf>. [Consulted: August 29, 2024].

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011. *Condensado Estatal Zacatecas [1:700 000]*, Mapa.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2020-2022. *"Zacatecas"*. México. Available: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825198053.pdf>. [Consulted: March 4, 2024].

Instituto Zacatecano de Cultura Ramón López Velarde y H. Ayuntamiento de Villanueva 2010-2013. 2012, 03 febrero. *8° Exposición documental. El archivo Histórico del Estado en tu Municipio, contigo en movimiento*. [Archivo Histórico]

Jaramillo, J. 2002. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Available:

<https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf >.[Consulted: August 29, 2024].

Martínez, J. 2019. *Residuos sólidos urbanos: una problemática ambiental y oportunidad energética – Ciencia UANL*. Available: < https://cienciauanl.uanl.mx/?p=9350 >. [Consulted: August 25, 2024].

Novoa, A. 2017. *Evaluación ambiental de proyectos de inversión en el Departamento del Meta* (tesis de maestría, Universidad Externado de Colombia, Bogotá, Colombia). Available: <https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/402/1/AMA-spa-2017-Evaluaci%C3%B3n_ambiental_de_proyectos_de_inversi%C3%B3n_en_el_departamento_del_Meta.pdf>. [Consulted: August 25, 2024].

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2004. *Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*. no. NOM-083-SEMARNAT-2003, México: Diario Oficial de la Federación, Available:<https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004#gsc.tab=0>. [Consulted: March 4, 2024].

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora u fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. no. NOM-059-SEMARNAT-2010, México: Diario Oficial de la Federación, Available: <https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091>. [Consulted: March 4, 2024].

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. *Consecuencias ambientales y en la salud de la disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos*. Available: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro7_1.html>. [Consulted: March 4, 2024].

Sosa Rodríguez, M. 2021. *Evaluación e impacto ambiental de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en el municipio de Cuauhtémoc, Zacatecas*. Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional IPN.

United Nations Environment Programme. 2024. *Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource*. Nairobi. Web. Available: <https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024>. [Consulted: March 4, 2024].

World Bank Group. 2018. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Group Web. Available: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174>. [Consulted: March 4, 2024].