

Sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos urbanos en el distrito de San Pedro Pochutla

Eduardo Juventino Ramírez Chávez^{1*}, Cervando Sánchez Muñoz¹, Luis Antonio López García¹ & María del Rocío Gutiérrez Ortiz¹

Resumen

En el presente trabajo se ubican sitios potenciales para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el distrito de San Pedro Pochutla. La selección de sitios se obtuvo a partir de los criterios establecidos en la sección 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y el uso de un sistema de información geográfico para integrar dichos criterios y representarlos espacialmente en el distrito de San Pedro Pochutla, Oaxaca. Los resultados sugieren que las zonas que cumplen con los criterios de la norma y en los que se puede ubicar un Sitio de Disposición Final (SDF) suman una superficie de 234, 231 hectáreas. La mayor área apta en la que se puede ubicar un SDF se encuentra en el centro del distrito, no obstante, es la zona que presenta mayor pendiente.

Palabras clave: Sitios potenciales, residuos sólidos urbanos, sitio de disposición final.

Recibido: 07 de julio de 2022.

Abstract

The present work, potential sites for the final disposal of Urban Solid Waste (USW) were located in the district of San Pedro Pochutla. This selection sites were determined using the criteria established in the section 6.1 of NOM-083-SEMARNAT-2003 and an information geographic system used to integrate these criteria and represent it spatially in San Pedro Pochutla district, Oaxaca. The results suggest that areas that meet the criteria of the standard and in which a Final Disposal Site (FDS) can be located add up to an area of 234,231 hectares. The largest area in which an FDS can be placed is located at the center of the district; however, this is an area with an important slope, which could limit its use.

Key words: Potential sites, urban solid waste, final disposal site.

Aceptado: 25 de noviembre de 2022.

Introducción

Para la mayoría de los municipios de México, las etapas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos representan grandes retos debido a que operan con limitaciones de personal, recursos financieros, equipo de protección personal e infraestructura (Castañeda & Pérez 2015).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) establece que “un residuo es aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contiene en un recipiente o depósito; puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o

disposición final” (LGPGIR 2003). Los residuos que se producen durante los procesos productivos y en las actividades de la población se pueden clasificar en residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP) (Tabla I).

Los RSU representan un reto en la actualidad, debido a que no solo se debe realizar la gestión de los residuos que se generan en los municipios, también se debe prevenir que estos se generen. Tradicionalmente la gestión de los RSU tiene un enfoque posconsumo, es decir, después de generar los RSU se realiza la gestión de los mismos, este tipo de manejo genera un costo elevado en la administración de los

¹ Instituto de Ecología, Universidad del Mar campus Puerto Ángel. Km 3.5 carretera Puerto Escondido-Sola de Vega, Puerto Escondido 71980, Oaxaca, México.

* Autor de correspondencia: eduardo@angel.umar.mx (EJRC)

Tabla I. Clasificación de los tipos de residuos según LGPGIR 2003.

Tipo de residuo	Descripción
Residuo Sólido Urbano	Residuos generados en casas habitación, establecimientos o vía pública.
Residuo de Manejo Especial	Se generan en una cantidad mayor a 10 toneladas al año.
Residuo Peligroso	Son todos aquellos residuos que poseen alguna de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, agente infeccioso.

municipios responsables de realizar la gestión integral de los RSU. Por otro lado, se tiene el enfoque preconsumo que consiste en prevenir la generación de RSU, esta alternativa puede complementar la forma tradicional y ser una alternativa real para disminuir los costos del manejo de los RSU, uno de los retos que enfrenta la prevención de la generación de RSU es que depende del nivel de consciencia de los consumidores (Rosas & Gómez 2019).

El territorio del Estado de Oaxaca está subdividido en 570 municipios integrados en 30 distritos. Debido a la orografía del estado algunas de las localidades que integran el municipio pueden estar dispersas a varios kilómetros de la cabecera municipal (Ordoñez 2000). Esta estructura administrativa y geográfica, aunado a la problemática social inherente en las regiones, hace que la administración municipal sea compleja, más aún en materia de RSU.

El distrito de San Pedro Pochutla no cuenta con un SDF que cumpla las restricciones de selección de un SDF de RSU de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003. En los últimos años se han reportado diversas investigaciones en las que se realiza la selección de SDF con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG), entre los que se encuentran, la ubicación de SDF de RSU al oeste del valle central en Costa Rica (Badilla *et al.* 2008), en la localidad de Virudhunagar

en la India (Suresh & Sivasankar 2014) y en la ciudad de Mashhad en Irán (Shamshiry *et al.* 2011). Para el caso de México, algunas de las investigaciones realizadas respecto a la ubicación de SDF que consideran las restricciones de la sección 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 son: i) selección primaria de zonas para la construcción de SDF de RSU y Residuos de Manejo Especial (RME) en los municipios del Estado de México (Rodríguez & Rebollar 2006) e ii) identificación de áreas que cumplen con las restricciones de la Norma Oficial Mexicana para ubicar rellenos sanitarios en tres regiones del estado de Oaxaca (Istmo de Tehuantepec, Valles centrales y Cuenca del Papaloapan) (Hernández-Santiago & Priess 2014).

El presente trabajo muestra las zonas potenciales dentro del distrito de San Pedro Pochutla que cumplen los criterios del numeral 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 para ubicar sitios de disposición final en el distrito de San Pedro Pochutla, del Estado de Oaxaca.

Material y métodos

Área de estudio - El presente trabajo comprendió el distrito de San Pedro Pochutla que se ubica en la región Costa del Estado de Oaxaca y está integrado por 14 municipios (Fig. 1).

Al pertenecer a la región Costa, el

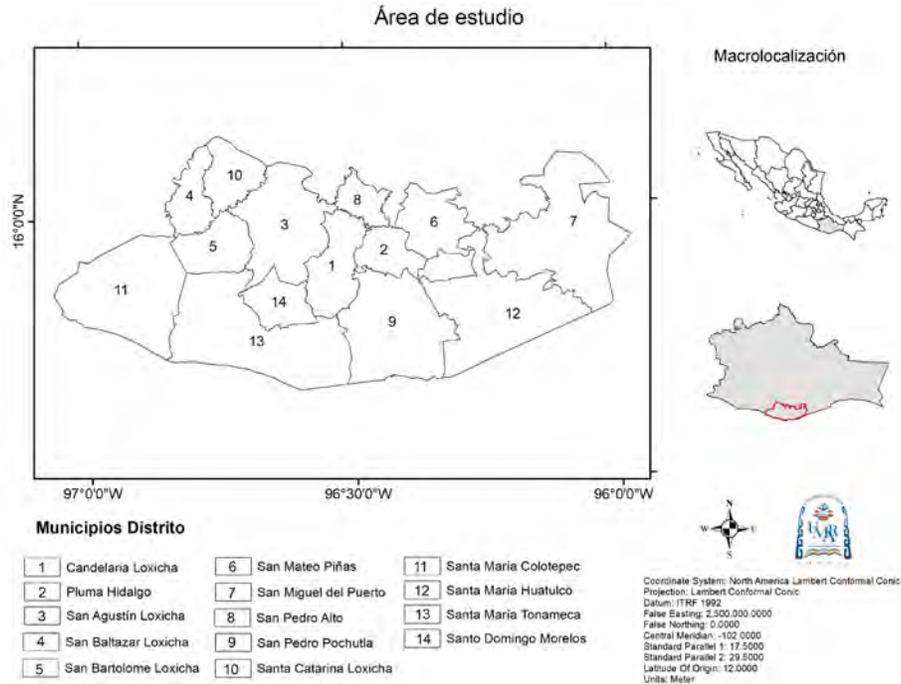


Figura 1. Polígono del Distrito de San Pedro Pochutla, Oaxaca (Fuente: Elaboración propia).

distrito forma parte de la gran provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur; que se extiende a lo largo de la Costa del Pacífico, compartiendo una parte de la Cordillera Neovolcánica (Velázquez & Ordaz 1994).

En cuanto a los climas que presenta, se pueden detectar tres dependiendo de la altitud, donde la mayor precipitación llega a ser de 3000 mm y la menor de 900 mm promedio anual, con temperaturas medias anuales que van desde los 2 °C hasta los 29 °C (Rodarte 1997). Tomando en cuenta que la precipitación y la temperatura son factores importantes para la generación de lixiviados y biogás respectivamente, podemos notar la propensión del distrito para esta generación (Rodarte 1997).

El distrito presenta diversidad en actividades económicas, que son la fuente principal de generación de RSU, hay cinco municipios con costa, con actividades turísticas, y nueve municipios con actividades económicas como la siembra

de café, piñas, jamaica entre otras

Para llevar a cabo la identificación de sitios potenciales para la disposición final de RSU en el distrito de San Pedro Pochutla se utilizó el modelo conceptual que se muestra en la figura 2.

Definición del modelo conceptual

Para poder llevar a cabo la definición de los criterios a variables territoriales medibles, en primera instancia se realizó una búsqueda en las bases de datos nacionales sobre la información disponible, determinando que las siguientes variables se adaptan a cada criterio. Estas variables fueron expresadas en información espacial representadas en formato vectorial a una escala de 1:250,000 acorde a las dimensiones de la zona de estudio y objetivos perseguidos en la presente investigación (Fig. 2). Dicha información se obtuvo del acervo vectorial de INEGI, CONABIO, última actualización en 2020.

Los vectores temáticos que se emplearon fueron los siguientes:

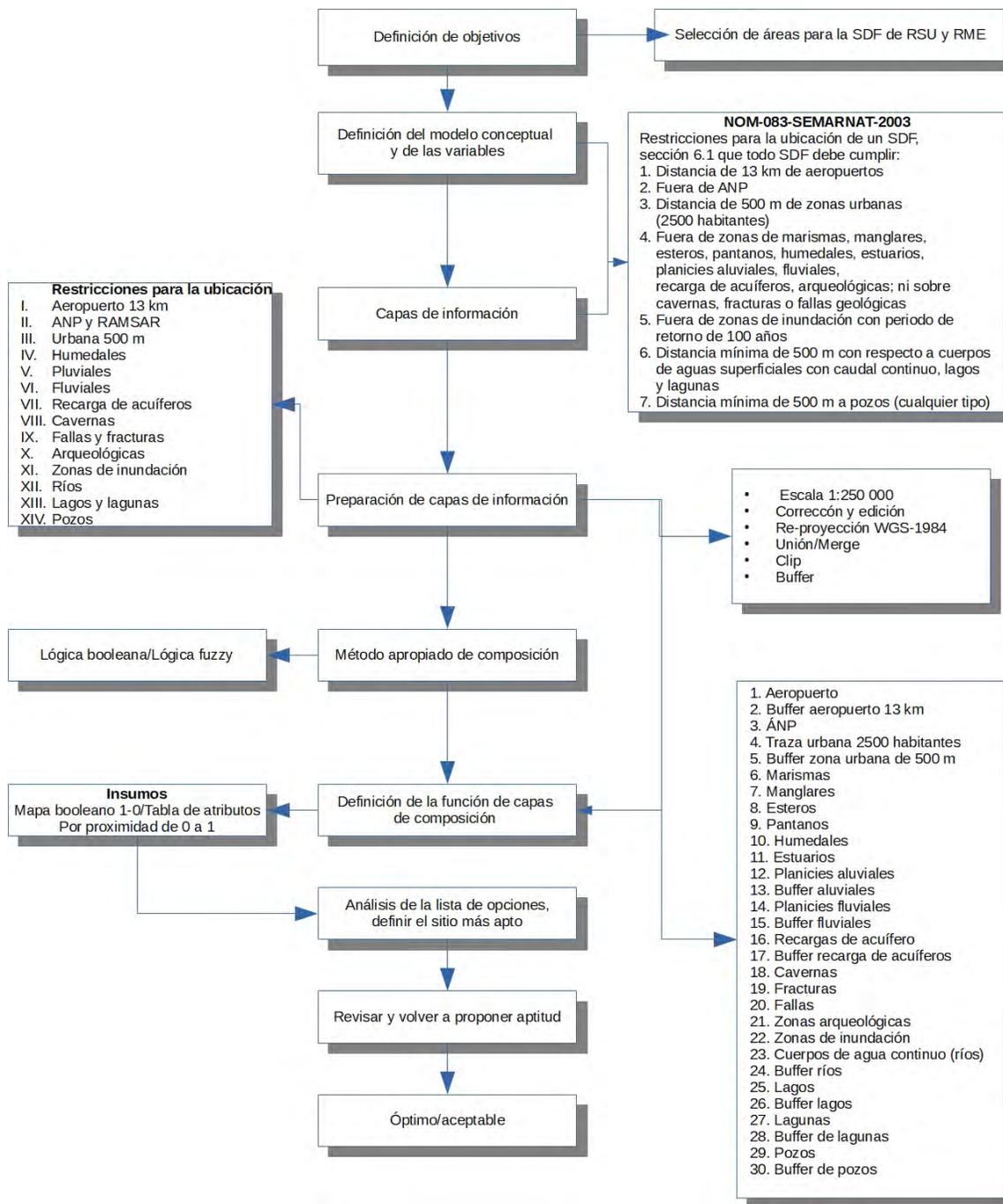


Figura 2. Modelo conceptual aplicado en este estudio. Modificado de Lotfi *et al.* (2007).

- Los municipios del estado de Oaxaca
- Aeropuertos en esta zona
- Áreas Naturales Protegidas
- Zonas Urbanas con más de 2500 habitantes
- Marismas
- Manglares
- Catálogo Nacional de Humedales
- Planicies Aluviales y Fluviales
- Zonas de recargas de Acuíferos
- Zonas Arqueológicas
- Cavernas

- Falla y fracturas geológicas
- Zonas de inundación
- Cuerpos de agua superficial
- Pozos

La información vectorial se delimitó al distrito de San Pedro Pochutla debido a que la información está disponible a nivel nacional. En seguida se realizaron los geoprocesos para unir información (merge), seleccionar información precisa (clip) o zonas de influencia (buffer), según corresponda el criterio de la norma (Fig. 2). A continuación, se detalla por criterio de la norma:

Aeropuertos

La NOM-083-SEMARNAT-2003, en su punto 6.1.1, establece que *“Cuando un sitio de disposición final se pretenda ubicar a una distancia menor de 13 kilómetros del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario”*.

Para llevar a cabo la evaluación de esta variable se localizó el aeropuerto más cercano, el cual es el internacional de Bahías de Huatulco, mediante el establecimiento de un área de influencia de 13 kilómetros.

Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Para el caso de las ANP, se establece en la NOM-083-SEMARNAT-2003, en su punto 6.1.2, que *“No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el Plan de manejo de éstas”*.

Para evaluar esta variable se usó la capa de Áreas Naturales Protegidas, (CONABIO 2020); la cual se sobrepuso sobre la cartografía base (Distrito de San Pedro Pochutla) realizando una operación de intersección, dando como resultado el territorio que comparte ambas capas de

información, al obtener una capa de información nula se determinó que no existen ANP dentro del área de estudio. Cabe mencionar que las dos ANP cercanas son el parque nacional Huatulco, ubicado a poco más de 8 km, y Playa Escobilla, ubicada a poco más de 11 km.

Centros de población

Se establece en la NOM-083-SEMARNAT-2003, en el punto 6.1.3, que *“En localidades mayores a 2500 habitantes, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 m contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano”*.

Para evaluar los centros de población se utilizaron las capas de localidades urbanas geoestadísticas (polígonos) de INEGI (2020), además de la capa de localidades (puntos). Como la información espacial está a nivel nacional, se aplicó un recorte a ambas capas para poder obtener aquellas localidades que pertenecen al distrito. La capa de localidades se utilizó para conocer cuáles son las localidades que tienen una población mayor a los 2500 habitantes, y la capa de localidades urbanas geoestadísticas evidenció como se encuentra la traza urbana de esas localidades. A esta capa vectorial se extrajo los polígonos que pertenecen al distrito, como resultado se obtuvo una nueva capa con las dos localidades unidas.

Con la información obtenida se realizó el cálculo de la distancia desde la traza urbana de las localidades hasta cualquier parte dentro del área de estudio; para determinar zonas o áreas de influencia

Zonas restringidas

La NOM-083-SEMARNAT-2003 establece en el punto 6.1.4, que *“No debe ubicarse en zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales,*

fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas". Para cumplir con esto, se revisó que el sitio a seleccionar no se encuentre dentro de algunas de las siguientes zonas.

a) Humedales

De acuerdo con la convención RAMSAR 2004, la definición de humedales contempla las categorías de marismas, pantanos, lagunas costeras, manglares, lagos asociados a manglares, ciénagas, entre otros. Por lo tanto, para llevar a cabo la evaluación de esta variable se usó la capa de humedales, la cual se descargó de la base de datos de INEGI (2020), además se realizó un complemento de la capa con una edición, añadiendo las pequeñas manchas de manglar y demás cuerpos de agua que entren en las categorías ubicadas en el municipio.

En primer lugar, se realizó un recorte de la capa de humedales con la que se obtuvieron los polígonos de los humedales que se encuentran dentro del área de estudio. Posteriormente, se agregaron mediante la digitalización apoyada en imagen satelital GEOEye 2020, las manchas pequeñas de manglar, lagunas, pantanos y demás categorías que se encuentran dentro del área de estudio y que por efectos de escala no se encontraban incluidas en la capa. Esta información se usó para que estos territorios se designaran no aptos desde el inicio y el modelo final no contemple dichas áreas.

b) Planicies aluviales

Roben (2002), menciona que una planicie aluvial tiene una pendiente entre 3 y 12%, lo que corresponde a un intervalo entre 2° y 7°. Gorshkov & Yakushova (1970), hacen mención que un valle fluvial es un elemento del paisaje que resulta de la erosión de los ríos, y dentro de él existe una zona llamada planicie, la cual se forma por el depósito de sedimentos (aluvión)

en temporada de lluvias, y que durante la temporada de estiaje esta zona se encuentra seca.

Por lo anterior, podemos reconocer que las planicies aluviales deben de cumplir los siguientes criterios:

- Material litológico (aluvión).
- Pendientes entre los 2° y los 7° (3 a 12%).
- Proximidad a un cauce (ríos y acumulación de flujo).

Para poder evaluar el criterio de planicies aluviales como tal, se realizó un análisis multicriterio utilizando cada uno de los criterios que componen a la planicie aluvial. Para esto se comenzó con el criterio del material litológico, para el cual se descargaron los datos de litología de la plataforma GeoInfoMex del Servicio Geológico Mexicano (SGM).

Para la evaluación de tipo de pendiente del distrito se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE), disponible en la base geoespacial de INEGI. Se llevó a cabo un recorte para obtener el MDE del distrito de San Pedro Pochutla. Posteriormente se obtuvieron las pendientes en porcentaje de todo el distrito.

Para el criterio de proximidad a un cauce se tomaron en cuenta dos criterios, acumulación de flujo y ríos. Para la acumulación de flujo se utilizó el MDE para el distrito de San Pedro Pochutla obtenido en el paso anterior, antes de llegar a nuestro criterio se tiene que calcular la dirección de flujo de la zona de estudio, y con este cálculo se obtiene la acumulación de flujo, esto es se calcula cuales pixeles o celdas fluyen dentro de cada celda de pendiente descendiente.

En cuanto al criterio de ríos, fueron utilizados los datos espaciales de las cuencas de Copalita y Tonameca de INEGI, a las cuales se les realizó una extracción de los

ríos que se encuentran dentro del área de estudio. Una vez hecho el recorte, al ser capas individuales, se unieron ambas para así tener una sola capa.

Con los ríos en una sola capa, se llevó a cabo una selección, para eliminar a todos aquellos escurrimientos intermitentes y dejar solo a los perennes o corrientes continuas.

Después de obtener la información de cada uno de los criterios que componen una planicie aluvial, se hizo un análisis multicriterio. Primero se efectuó la asignación del “peso” o “importancia” que tiene cada uno de los criterios (Tabla II), ya que algunos criterios tienen mayor influencia que otros para la formación de una planicie aluvial. Una vez establecida la importancia que debe tener cada criterio (los cuales se encuentran en porcentaje, y sumados deben dar 100%), se usó la herramienta Weighted Overlay para realizar el análisis multicriterio. En la herramienta se colocó la información obtenida (litología, pendiente, acumulación de flujo y ríos), así como los valores de importancia previamente establecidos.

Tabla II. Porcentaje de importancia para cada criterio que compone una planicie aluvial.

Criterio	Importancia
Litología (m)	50%
Pendiente (%)	15%
Acumulación de flujo (%)	10%
Ríos (m)	25%

c) Recarga de acuíferos

La recarga es el proceso mediante el cual se incorpora agua a un acuífero procedente del exterior del perímetro que lo delimita (Custodio 1998). En 2009, Matus et al. desarrollaron una guía para la

identificación de zonas potenciales para la recarga de acuíferos, en la cual se establece que las zonas con potencial para la recarga de acuíferos se pueden identificar evaluando los siguientes elementos:

- Pendiente
- Tipo de suelo
- Tipo de roca
- Cobertura Vegetal
- Uso de suelo

Para el primer criterio se utilizó la información de pendientes creado en el paso anterior. Una vez que tenemos esta información, se reasignaron los valores que contenía la capa por los intervalos de pendiente establecidos por Matus *et al.* (2009), los cuales se encuentran asentados en la tabla III.

Para el segundo criterio (tipo de suelo) se utilizó la capa de edafología de INEGI, a la cual se le extrajo un recorte del tamaño del área de estudio. Matus *et al.* (2009), consideran que a mayor grosor de las partículas del suelo existe una mayor capacidad de infiltración, por lo que se aplicó una selección por atributo al recorte de la capa de edafología para obtener solo los polígonos con textura gruesa.

El tercer criterio para tomar en cuenta fue el tipo de roca, para ello se utilizó la capa de elaboración propia. Matus *et al.* (2009) mencionan que para que exista una mejor capacidad de recarga las rocas deben ser porosas y permeables, por lo que se realizó una selección por atributo para quedarnos con los polígonos que cuenten con rocas sedimentarias, ya que estas se encuentran formadas por partículas de mayor tamaño favoreciendo la recarga.

Ahora bien, Matus *et al.* (2009) mencionan que la cobertura vegetal es el porcentaje de suelo ocupado por comunidades

Tabla III. Intervalos de distancia para los criterios de recarga de acuíferos para cada tipo de emplazamiento.

Ponderación	Tipo de emplazamiento	Pendiente (%)	Tipo de suelo Textura gruesa (m)	Tipo de roca Sedimentaria (m)	Cobertura vegetal (%)	Uso de suelo (m)
5	Óptimo	>65	>400	>400	0 a 30	>400
4	Muy adecuado	45 a 65	300 a 400	300 a 400	30 a 50	300 a 400
3	Adecuado	15 a 45	200 a 300	200 a 300	50 a 70	200 a 300
2	Aceptable	6 a 15	100 a 200	100 a 200	70 a 80	100 a 200
1	Inaceptable	0 a 6	0 a 100	0 a 100	>80	0 a 100

vegetales permanentes. Para poder evaluar este criterio se utilizará el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés), el cual estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, utilizando los datos de reflexión de luz roja e infrarroja por parte de la vegetación (captado a través de satélites). Para la creación del NDVI se utilizaron las imágenes satelitales del Landsat 8, correspondientes a la banda de la región rojo (banda 4, (640-670 nm)) y el infrarrojo cercano (banda 5, (850-880 nm)); así también se utilizó la siguiente ecuación para llevarla a cabo en el componente de algebra de mapas del software de análisis espacial:

$$NDVI = (IRC - R) / (IRC + R)$$

Dónde: IRC corresponderá al infrarrojo cercano y el R será la región del rojo.

Los resultados de la ecuación descrita al ser un cociente van desde -1 a 1, siendo los valores más cercanos a 1 donde se encuentra la vegetación más vigorosa.

Para el último criterio relacionado con el uso de suelo, se utilizó la capa de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI. En dicha capa se buscaron los usos de suelo que favorecen la infiltración, como los sistemas silvopastoriles y agroforestales, bosques con los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacates; la incorporación de materia orgánica, etc. Para hacer esto, se

realizó un recorte de la capa de uso de suelo y vegetación con respecto al área de estudio. Posteriormente se llevó a cabo una selección por atributo, con la cual se seleccionaron los tipos de suelo donde existe una gran cantidad de vegetación, seleccionando los polígonos que contienen pastizal inducido, selva mediana caducifolia y subperennifolia, y vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino.

Después de obtener cada uno de los criterios que intervienen en la recarga de acuíferos, se llevó a cabo el análisis multicriterio a través de la herramienta de superposición ponderada. Matus *et al.* (2009) establecieron en su guía una ecuación con la que se determina el potencial de la recarga hídrica, de la cual se extrajeron los porcentajes de importancia (Tabla IV) que tiene cada uno de los criterios sobre la posibilidad de que se lleve a cabo la recarga de acuíferos. Para llevar a cabo la superposición ponderada se utilizó la herramienta Weighted Overlay.

Tabla IV. Porcentaje de importancia para cada criterio que compone la recarga de acuíferos (Matus *et al.* 2009).

Criterio	Importancia (%)
Pendiente (%)	27
Tipo de suelo (m)	23
Tipo de roca (m)	12
Cobertura vegetal (%)	25
Uso de suelo (m)	13

d) Zonas Arqueológicas

No existen datos espaciales que nos ayuden a evaluar esta variable, por lo que se llevó a cabo una consulta del inventario de zonas arqueológicas disponibles en la red de zonas arqueológicas del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). En dicho inventario pudimos constatar que la zona arqueológica más cercana se encuentra en el municipio de Santa María Huatulco, en la localidad de Copalita, a poco más de 30 km.

e) Cavernas, Fracturas o Fallas Geológicas

Para evaluar esta variable se usaron dos capas diferentes, a las cuales se les aplicó la superposición ponderada, y de esta forma obtener un solo archivo o capa. La primera capa que se utilizó fue la capa de Fallas y Fracturas de INEGI (1:1, 000,000), (aunque esta capa está a mayor escala, se puede usar debido a que las fallas o fracturas al igual que las carreteras su representación es adimensional) a la cual se le aplicó un recorte para obtener solo aquellas que se encuentren dentro de nuestra área de estudio.

Para continuar con la evaluación de esta variable se utilizaron los datos de minas de la plataforma GeoInfoMex del Servicio Geológico Mexicano (SGM) a escala 1:250,000. A partir de dichos datos se creó una nueva capa, utilizando la selección por atributo, dejando así solo las minas que se encuentran dentro de nuestra área de estudio.

Zonas de inundación

En el punto 6.1.5 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 se establece que *“El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad*

de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final”.

Para el criterio de zonas de inundación se utilizó la información de acumulación de flujo obtenido durante la evaluación del criterio de planicie aluvial.

Cuerpos de agua superficiales

También la NOM-083-SEMARNAT-2003 dicta en su punto 6.1.6 que *“La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m como mínimo”*.

Durante la evaluación del criterio de planicies aluviales se obtuvo una capa de escorrentías utilizada para poder evaluar el siguiente criterio, el cual correspondía a los cuerpos de agua superficiales.

Pozos de extracción

No existe una información espacial sobre estos datos.

Criterios adicionales

Pendiente

Se consideró este criterio a pesar de no estar en la Norma Oficial Mexicana (NOM-083-SEMARNAT-2003), ya que además de los criterios de restricción se busca hallar un sitio que contenga una pendiente que favorezca a la construcción del SDF. Para llevar a cabo la evaluación de este criterio adicional se utilizó la información de pendientes, obtenido a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE), en los pasos anteriores.

Vías de Comunicación

Al igual que con el criterio de aeropuertos se usó la información de caminos y carreteras de México, se realizó un recorte para la zona de interés y posterior a ello

se agregó su zona de influencia de no más de 1 km.

Cabe destacar que todos los análisis espaciales se realizaron en ArcMap 10.5 y el orden de análisis fue el que aparece en la NOM-083-SEMARNAT. Al final de los análisis se realizó una intersección de toda la información espacial para lograr obtener los sitios potenciales para un SDF en el Distrito de San Pedro Pochutla. Por último, todos los pasos fueron sistematizados en un algoritmo que se guardó en una caja de herramienta (*arctoolbox*) del propio programa para poder usarlo en diferentes análisis.

Resultados

A continuación, se precisa la evaluación de los criterios utilizados para ubicar SDF.

Aeropuertos

Existen dos aeropuertos que influyen en el área de estudio, el de Huatulco está dentro del distrito y delimita una porción considerable del territorio para no ocuparse como zona viable para un SDF. El otro aeropuerto es el de Puerto Escondido, este aeropuerto no está físicamente dentro del distrito pero la zona de influencia del aeropuerto que determina zonas viables para colocar un SDF si se encuentra dentro del distrito.

Áreas Naturales Protegidas

En el caso de las ANP, la norma establece que los SDF no se deben ubicar dentro de estas, a no ser que estén contempladas en su plan de manejo. Para la evaluación de este criterio, y saber si interviene en la selección de un SDF para el área de estudio, se eliminó el territorio de la zona apta para ubicar un SDF.

Humedales y planicies aluviales

En el presente trabajo se realizó una

metodología para poder identificar estos dos criterios que la norma lo marca de manera ambigua, ocasionando que puedan quedar zonas que sean humedales fuera de la fase de planeación.

Se desarrolló una metodología que contempla todo los criterios físicos que deba cumplir un humedal, planicie pluvial o recarga de acuíferos. Al estar basada en análisis multicriterio, la metodología se vuelve flexible, lo que la hace práctica de utilizar en cualquier ambiente, debido a que si en el lugar donde se piense ubicar sitios potenciales para SDF no se cuenta con algún criterio de lo que es un humedal, planicie pluvias o recarga de acuíferos pueda seleccionar sitios con base en los criterios que si se cumplan en la zona de trabajo planteado.

Pendientes

Las zonas con una aptitud inaceptable para albergar un SDF se encuentran en gran parte del territorio, un 73% de estas áreas tienen una pendiente mayor a los 10 grados, 64% tienen pendientes de 20 o más grados y solo el 9% poseen pendientes de 10 a 15 grados las cuales pudieran ser elegibles bajo un incremento en costo para la preparación del terreno. El que la zona con mayor pendiente ocupe gran parte del área de estudio se debe a que la topografía está compuesta en gran parte por cerros y lomeríos, y existen pocas áreas con superficie plana, las cuales son ocupadas principalmente por agricultura y actividades primarias.

En el distrito de San Pedro Pochutla los principales criterios que determinan la selección de sitios potenciales son las ANP, ya que se contempló no solo las de origen federal, si no también el sistema comunal de ANP de Santa María Huatulco, las pendientes también es otro criterio bastante limitante, sin embargo esta limitante se

puede formar en dos grandes bloques, las zonas que tienen entre 0 y 10 grados de pendiente, que podrían ser el grupo que requiera menos estudios ingenieriles y el grupo de 10 a 15 grados, que requieren más estudios y mayor preparación del sitio una vez seleccionado para la ubicación del SDF.

Finalmente, al compilar toda la información espacial se cuenta con la figura 3. En la cual se indican las zonas disponibles para los sitios de disposición final cuya superficie es de 234,231 hectáreas. Los espacios en blanco corresponden a las superficies eliminadas del territorio distrital que no cumplen con los criterios de la sección 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003, y por lo tanto son zonas donde el SDF no puede ser ubicado. El mapa expresa una división territorial natural de noroeste a noreste, donde la mayor superficie apta

se encuentra al centro del distrito; no obstante esta zona presenta la mayor cantidad de fallas, mientras que la parte más al noroeste se encuentra como una zona con menor pendiente y la zona más al noreste presenta al aeropuerto que aun quitando la zona no apta, esta zona podría presentar mayores posibles conflictos ante una expansión del aeropuerto de Bahías de Huatulco.

Discusión

La ubicación de sitios con potencial para ser desarrollado como un SDF utilizando metodología similar al del presente trabajo data del 2008, (Delgado *et al.* 2008) donde se evaluó la aptitud de la tierra en el estado de Michoacán utilizando una versión anterior de la norma (NOM-083-ECOL-1994) que tiene un conjunto

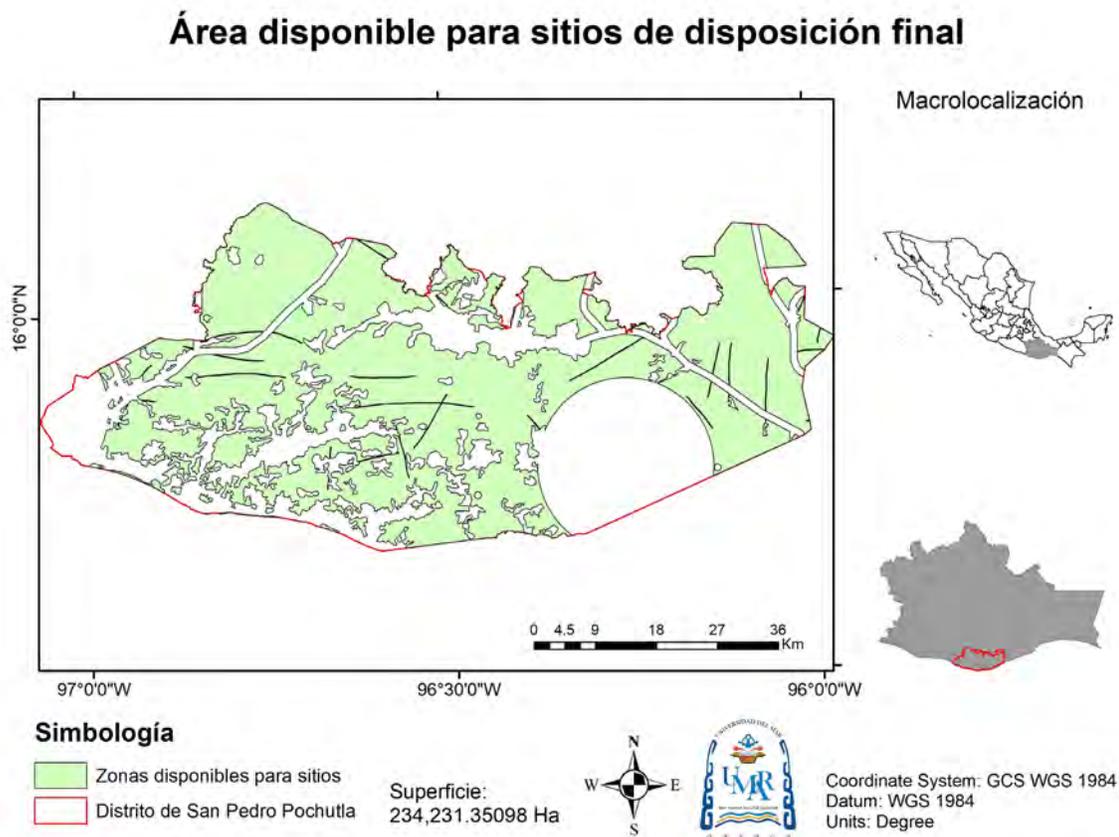


Figura 3. Sitios potenciales para establecer el SDF de residuos sólidos urbanos (Fuente: Elaboración propia)

diferente de restricciones, pero al igual que se demostró aquí, la metodología fue de gran utilidad para disminuir el universo elegible del estado para ubicar a un SDF.

Se han desarrollado diferentes metodologías para la selección preliminar de sitios para un SDF en el territorio mexicano y oaxaqueño (Marin 2012, Hernandez & Volk 2014) enfocadas a la generación de software para cumplir criterios o la incorporación de criterios que no están en la norma, pero considerado necesarios por parte de autoridades de aquel momento. La propuesta de este trabajo se enfocó al cumplimiento de los criterios de la NOM-083-SEMARNAT-2003, a diferencia de los trabajos antes mencionados, se ubicó en el territorio correspondiente al distrito de San Pedro Pochutla introduciendo algunos criterios a nivel territorio para poder hacer la adecuada evaluación del numeral 6.1 de la norma.

Con base en las restricciones que establece la NOM-083-SEMARNAT-2003 en la sección 6.1 restricciones para la ubicación de un SDF y las consideraciones para generar las capas de aeropuertos, ANP, centros de población, zonas restringidas, zonas de inundación, cuerpos de agua superficiales, pozos de extracción, pendientes y vías de comunicación, se identificó la zona en la que se puede ubicar un SDF.

Se puede decir que la superficie de color verde que aparece en la figura 3 cumple las restricciones de la sección 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003, sin embargo, el área identificada no contempla los pozos de extracción debido a que no existe información disponible en la zona, por lo que se considera fundamental realizar un recorrido por la zona, y poder verificar que no exista un pozo de extracción que pueda excluir parte del área identificada.

Al no contar con metodologías sobre planicies aluviales la NOM presenta una subjetividad en la determinación de este criterio en el territorio. En este trabajo se incluyeron los criterios y elementos que mejor representan a la zona de interés; sin embargo, esto no pudo ser aplicable en zonas áridas del norte del país o características de la península de Yucatán.

Conclusiones

La NOM-083-SEMARNAT-2003 contiene ambigüedades conceptuales lo cual dificulta su aplicabilidad, es necesario que la NOM no generalice al territorio nacional, con los criterios tan estrictos y poco margen de maniobra, ya que con estos se corre el riesgo de no encontrar SDF a nivel municipal.

Cabe mencionar que en este trabajo utilizamos datos de alta resolución para minimizar errores espaciales. En nuestro caso, la escala de la mayoría de la información espacial para el análisis está en escala 1:50,000, pero la información sobre uso de la tierra, suelos, geología e hidrogeología solo estaba disponible en 1:250.000 al momento de la consulta.

El análisis espacial es un punto de partida para la selección de SDF de residuos sólidos, ya que facilita el muestreo y análisis de una forma más rápida y precisa. A partir de la investigación realizada, se identificó que existen zonas en el distrito San Pedro Pochutla, de acuerdo con lo establecido en las restricciones de la sección 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y a la interpretación que se le da, que pueden albergar un SDF.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad del Mar por el apoyo financiero a través del

proyecto interno 2IE1601 y permitir utilizar los equipos disponibles en el laboratorio de SIG y PR del campus Puerto Ángel. A dos revisores anónimos que proporcionaron valiosos comentarios que ayudaron a mejorar el documento final.

Referencias

- Badilla, E., W. Rojas & I. Vargas. 2008.** Ubicación de sitios aptos para la disposición de desechos sólidos al oeste del Valle Central, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central* 38: 7-19. DOI: 10.15517/RGAC.V0I38.4213
- Castañeda, G. A., G. A. Delgado & A. A. Pérez E. 2015.** La problemática del manejo de los residuos. *Región y sociedad, XXVII* (62): 97-115.
- CONABIO. 2020.** Sistema nacional de información sobre la biodiversidad. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, SEMARNAT. Consultado en enero 2020:
- Buenrostro-Delgado, O., Mendoza, M. y López-Granados E. 1998.** Análisis comparativo de tres modelos de soporte de decisiones espaciales en la selección de sitios para rellenos sanitarios en la cuenca del lago Cuitzeo, México. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (57): 21-38.
- Gorshkov, G. & A. Yakushova. 1970.** *Geología General* (624 ed.). Mir Editorial, Moscú, Rusia. 629 pp.
- Hernandez-Santiago, C. & J. Priess. 2014.** Landfill Allocation. Providing Alternatives for Decision Makers. International Environmental Modelling and Software Society (iEMs), 7th Intl. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego, CA, USA.
- INEGI. 2020.** Censo de Poblacion y Vivienda 2020. Consultado en enero 2022: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- LGPGIR. 2003.** Diario Oficial de la Federación. Publicada el 8 de octubre de 2003.
- Loffi, S., K. Habibi & M. J. Koohsari. 2007.** Integrating GIS and Fuzzy Logic for Urban Solid Waste Management (A case Study of Sanandaj City, Iran). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(22): 4000-4007. DOI: 10.3923/pjbs.2007.4000.4007
- Matus, O., J. Faustino & F. Jiménez. 2009.** Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Consultado en septiembre 201, Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8339>.
- 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.
- Ordoñez, M. D. J. 2000.** El territorio del estado de Oaxaca: una revisión histórica. *Investigaciones geográficas*, (42): 67-86.
- Roben, E. 2002.** Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. D. Entwicklungsdienst, Ecuador. Consultado en julio 2022: <https://www.accionecologica.org/wp-content/uploads/loja.pdf>
- Rodarte García, R. 1997.** Ecosistemas y Biodiversidad en la Costa Oaxaqueña. *Ciencia y Mar* 1(2): 44-48.
- Rodriguez, S. M. A. & P. M. Rebollar. 2006.** Selección primaria de zonas para la construcción de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial Caso de estudio: Municipios del Estado de México. *Revista ADIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 1(1).
- Rosas, B, M. & A. A. L. Gómez. 2019.** Prevención de la generación de residuos en el marco de una economía ecológica y solidaria: un análisis del manejo de residuos en los municipios de México. *Sociedad y ambiente*, (21): 7-31. DOI: <https://doi.org/10.31840/sya.v0i21.2036>.
- Secretaría de la Convención de Ramsar, 2004. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 3a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Shamshiry, E., B. Nadi, B. MokhtarMazlin, I. Komoo & H. Saadiah Hashim. 2011.** Urban solid waste management based on geoinformatics technology. *Journal of Public Health and Epidemiology*, 3(2): 54-60.
- Suresh, B. & S. Sivasankar. 2014.** Identification of suitable site for urban solid waste disposal using GIS and remote sensing techniques. A case study of Virudhunagar municipality, India. *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES*, 5: 320-331.
- Velázquez & Ordaz. 1994.** Provincias hidrogeológicas de México. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*, (52): 15-32.