

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel



Selección de un sitio potencial de disposición final para los Residuos Sólidos Urbanos de Playa Zipolite por medio de análisis espacial

TESIS

Presenta:

María Fernanda Morales Vázquez

Matrícula: 10050012

Director:

M. A. I. A Eduardo J. Ramírez Chávez

Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca

28 de Junio del 2017

Capítulo I

Introducción

Por medio de las interacciones de procesos geológicos y biogeológicos diversos se han desarrollado accidentes geográficos en el territorio tales como montañas, llanuras, ríos, valles, laderas, y costas; y el suelo es la capa de material biogeológico, que los cubre, el cual es un recurso natural importante (Keller 2002).

El suelo satisface muchas de nuestras necesidades entre las que se encuentran: la alimentación, fibras (vestido), espacio para asentamientos, recreación, desarrollo industrial, etc. Sin embargo, otro uso que se le ha dado es la disposición de residuos; dicha decisión es complicada de evaluar debido a la complejidad de esta matriz ambiental (Auerbach *et al.* 1984). Por otro lado, fue hasta el siglo XIX, con la llegada del concepto de “salud pública”, que se comenzó a prestar atención sistemática a los basureros especialmente con el objetivo de minimizar los daños a la población (Auerbach *et al.* 1984).

Actualmente, aunque ya tenemos el conocimiento técnico de las implicaciones que nuestras acciones tienen sobre el suelo, las decisiones del uso del suelo se rigen por los límites de nuestra economía; sin embargo, se deben considerar las necesidades públicas existentes y futuras. Debido a la creciente escasez de territorio, las evaluaciones del posible uso de la tierra concentrándose en su reutilización, han sido y seguirán siendo, herramientas importantes y deben tomar en cuenta las restricciones ambientales propias de cada lugar. Entonces, es necesario re-examinar y mejorar continuamente nuestros mecanismos de disposición de residuos para evitar a toda costa la asignación de los recursos del suelo a un único uso o propósito lo que implicaría que el costo total de dicho uso fuera mayor que los beneficios derivados (National Research Council 1993).

Las tasas de generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)¹ son influenciadas por el desarrollo económico, el grado de industrialización, hábitos públicos y el clima local, entre otros factores. Generalmente, a mayor desarrollo económico y grado de urbanización, mayor es la cantidad de RSU producidos. Los residentes urbanos producen cerca del doble de RSU que sus contrapartes rurales (Hoornweg&Bhada-Tata 2012).

Por tanto, la adaptación al medio implica una verdadera planeación urbana mediante un ordenamiento territorial en donde deben ser consideradas no solo todas las actividades antropogénicas sino también el manejo integral de los RSU resultantes de ellas; el manejo integral es una actividad multidisciplinaria que incluye la generación, separación desde la fuente de generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento y recuperación, y, por último pero no menos importante, la disposición final (Rada *et al* 2013).

¹ Conjunto de residuos generados en casas habitación, parques, jardines, vías públicas, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes inmuebles, demoliciones, construcciones, instalaciones, establecimientos de servicios y en general todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente los peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación (SEMARNAT 2010).

Los métodos más comunes son los que contemplan la disposición de residuos en suelo, en especial el relleno sanitario² (Keller 2002). El relleno sanitario, o en su defecto la disposición de los RSU en suelo, aunque se encuentra en el fondo de la jerarquía del manejo de RSU es un componente integral de la cadena del manejo de RSU y requiere de mayor atención para reducir su impacto ambiental. Es menos costoso que otras formas de tratamiento de RSU pero ha creado, y continua creando, problemas ambientales (Gbanie *et al* 2013).

El problema radica en que una vez que los residuos son dispuestos, eventualmente estos sitios causan problemas como la lixiviación de líquidos tóxicos que contaminan las áreas cercanas (Auerbach *et al* 1984). La lixiviación se agrava al no existir manera alguna de prevenir que cantidades pequeñas de residuos peligrosos (RP)³ se mezclen con los RSU, tales como aceite de motor, sustancias químicas usadas en fotografía, productos de limpieza, plaguicidas y algunos solventes, pinturas, entre otros (National Research Council 1993).

Es particularmente importante el desarrollo de nuevos métodos de manejo de residuos que eviten futuras molestias, dañen la salud pública o que puedan generar “bombas de tiempo” ambientales (Auerbach *et al.* 1984). Pero, por las mismas razones, es igual de importante considerar la situación geológica y ambiental de cada región para seleccionar adecuadamente el lugar donde se planean disponer los residuos. Un programa de disposición de residuos puede no funcionar sin el apropiado y cuidadoso análisis de aptitud del suelo para dicha actividad.

Como se mencionó anteriormente, uno de los más significantes peligros potenciales de un sitio de disposición de residuos es la lixiviación pues su más grande implicación es la contaminación de agua subterránea, superficial y del mismo suelo. Cuando los residuos son enterrados en el suelo, entran en contacto con el agua que se infiltra desde la superficie o con el agua subterránea que se mueve lateralmente a través del lixiviado⁴ producido, contaminando de esta forma los cuerpos subterráneos y/o superficiales de agua, y cuyo tratamiento, en caso de ser factible, es complejo y costoso. La naturaleza y fuerza del lixiviado en un sitio dado, depende de la composición de los residuos, el tiempo de exposición del agua con los residuos, y la cantidad de agua que se infiltre o se mueva a través de ellos (Auerbach *et al.* 1984).

² Definido por la sociedad americana de ingeniería civil como “un método de disposición de residuos que funciona sin crear molestias o daños a la salud y seguridad pública. Los principios de ingeniería son utilizados para confinar los residuos en la menor área posible, reduciéndolos a su menor volumen, y cubriéndolos con una capa de suelo compactada al final de cada día de operación, o con la frecuencia necesaria”. El recubrimiento de los residuos con la capa de suelo compactada es lo que hace a un “relleno sanitario” sanitario (Keller 2002).

³ Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley (LGPGIR, 2014).

⁴ Líquido nocivo, mineralizado que es capaz de transportar diversos contaminantes químicos y biológicos (Auerbach *et al* 1984).

La incorrecta selección de un sitio para la disposición final de RSU puede resultar en costos ambientales, sociales y económicos; por lo que conviene el usar las técnicas adecuadas en la identificación de sitios potenciales para estos fines. Sin embargo, el proceso de selección de un sitio de disposición final es desafiante desde la manipulación y evaluación de grandes cantidades de datos además de tener que tomar en cuenta las reglas, regulaciones, factores y restricciones. La consideración de tan variados parámetros hacen de la selección de un sitio de disposición final un paso crítico en el ciclo del manejo de RSU y por consiguiente suele ser una decisión que debe analizarse detenidamente (Gbanie *et al* 2013).

El incorrecto manejo de los RSU afecta incluso a las comunidades rurales más pequeñas en las que la producción de los mismos puede superar la capacidad de disposición (National Research Council 1993).

En México el principal reto que enfrentan los sistemas de saneamiento públicos es el desarrollo de sitios de disposición final de RSU adecuados, debido a que los municipios no tienen la capacidad de administrar rellenos sanitarios de acuerdo a la legislación mexicana por la falta de medios de financiamiento y de ⁵infraestructura técnica y humana (Buenrostro & Bocco 2003). Por este motivo, a lo largo del territorio nacional existen un sin número de tiraderos a cielo abierto.

En este trabajo se presenta la evaluación de la aptitud que posee el territorio de Playa Zipolite para la disposición final de RSU, la cual se analizó por medio de herramientas de análisis espacial, dejando para un proyecto posterior la verificación en campo del cumplimiento técnico de los requisitos establecidos por la normatividad nacional. Para llegar a este fin, se consideraron principalmente los criterios establecidos en la NOM 083 SEMARNAT-2003.

⁵ Tipo de análisis geográfico el cual busca explicar patrones de comportamiento humanos y sus expresiones en el espacio (Mayhew 2004).

Capítulo II

Marco teórico

1. Manejo integral de RSU

De acuerdo a SEMARNAT (2010), el manejo integral de los RSU se define como todas aquellas actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Como lo menciona la definición el manejo integral de RSU está sujeto a las condiciones y necesidades de cada lugar así como a los objetivos que los actores principales planteen, por tanto no necesariamente se incluyen todas estas actividades dentro de un manejo integral; sin embargo, hay ciertos eslabones de esa cadena que no se pueden eliminar: la generación, recolección y disposición final de los RSU son tres etapas del manejo que siempre están presentes y por tanto son las que mínimo se deben considerar.

1.1. Generación de RSU

La generación global actual de RSU es aproximadamente de 1.3 billones de toneladas al año, y está proyectada a crecer hasta aproximadamente 2.2 billones de toneladas al año para el 2025 (Hoornweg&Bhada-Tata 2012). Esto representa un aumento significativo per cápita de 1.2 a 1.42 Kg/día, en los próximos 15 años (Hoornweg&Bhada-Tata 2012). Sin embargo, los promedios mundiales son aproximaciones muy generales pues las tasas de generación varían considerablemente por región, país, ciudad e incluso dentro de zonas en las mismas ciudades. Los residuos sólidos son considerados un asunto “urbano” pues las tasas de generación de residuos tienden a ser mucho más bajas en las áreas rurales debido a que en promedio los residentes son usualmente más pobres⁶, compran menos artículos empaquetados y tienen niveles más altos de reúso y reciclaje (Hoornweg&Bhada-Tata 2012).

1.1.1. Latinoamérica y el Caribe

La cantidad total de residuos generados por año en esta región es 160 millones de toneladas, con valores per cápita oscilando entre 0.1 y 14 Kg/día y un promedio de 1.1 Kg/día. Similar a los datos altos de generación per cápita en África, éstos provienen de las islas del caribe y su industria turística (Hoornweg&Bhada-Tata 2012).

Se estima que para el año 2025 en esta región haya 466 millones de habitantes en las urbes, y alrededor de 215 millones de habitantes en comunidades rurales, con una producción promedio de residuos per cápita diaria de 1.6 Kg. Si esto

⁶ De acuerdo a la definición del banco mundial

llegara a ser realidad se generarían 728,392 toneladas de residuos diarios (Hoorweg&Bhada-Tata 2012).

1.1.2. México

De acuerdo al Banco Mundial (Hoorweg&Bhada-Tata 2012), México es un país de un ingreso medio-alto dentro de la región de Latinoamérica y el Caribe (LCR) con las características que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de países de ingreso medio-alto según el Banco Mundial. Fuente: Hoorweg&Bhada-Tata 2012. Las cifras de costos son en dólares americanos (USD).

Características de los países de ingreso medio-alto según el Banco Mundial	
Ingreso anual por habitante PIB (USD)	\$ 3,466 a \$10,725
Generación de residuos aproximada (tonelada /hab /año)	0.42
Eficiencia de recolección	85%
Costos de recolección (USD/ tonelada)	\$40 a 90
Costo de rellenos sanitarios (USD/ tonelada)	\$25 a 65
Costo de tiraderos a cielo abierto	NA
Costo de composteo (USD/ tonelada)	\$20 a 75
Costo de incineración de residuos (USD/ tonelada)	\$60 a 150
Costo de digestión anaeróbica (USD/ tonelada)	\$50 a 100

En la tabla anterior podemos observar que en los países como México regularmente cuesta más la recolección que la disposición en rellenos sanitarios y que el costo del compostaje es similar al de la disposición en relleno sanitario.

Por otro lado, si contrastamos con la información aportada por SEMARNAT (2013) podemos observar que coinciden en algunas conclusiones.

SEMARNAT (2013) reporta que en los últimos diez años la generación total de RSU aumentó alrededor del 26% de manera conjunta con el crecimiento del producto interno bruto (PIB)⁷ y al ⁸gasto de la población como se observa en la Figura 1.

⁷ PIB: Valor total de todos los bienes y servicios que se han intercambiado por dinero en un país durante un determinado periodo de tiempo (generalmente un año) (Kishtainy *et al* 2013).

⁸ Gasto en Consumo final: Gasto total en bienes y servicios que realizan las familias para satisfacer sus necesidades de consumo, así como de las instituciones privadas sin fines de lucro que sirven a los hogares, durante un período determinado (Cristóbal-Cristóbal 2010)

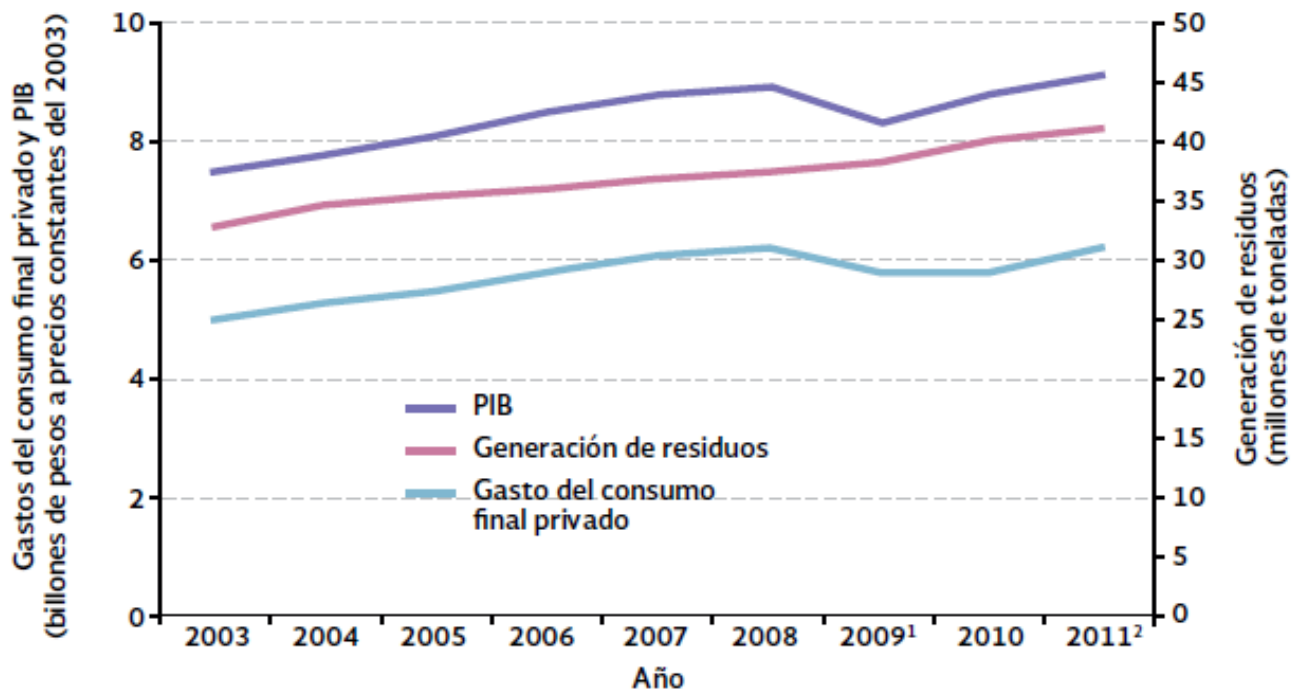


Figura 1. Generación de RSU, producto Interno bruto (PIB) y gasto del consumo final privado, 2003-2011. Tomado de SEMARNAT 2013.

Por lo que corroboramos que existe una relación muy estrecha entre el crecimiento económico de una población y su generación de residuos.

En cuanto a la generación per cápita, SEMARNAT (2013) reporta que creció de 300 gramos en 1950, a casi un kilogramo en 2007, aunque este parámetro muestra diferencias importantes entre regiones y entidades federativas del país, debidas básicamente a la influencia de factores culturales, niveles de ingreso y a la dinámica del movimiento hacia los centros urbanos, entre otros. Entonces en cuanto a la generación per cápita, México está por arriba de la media que establece el Banco mundial (Tabla 1). Esto se enfatiza en áreas urbanas pues, de acuerdo al tamaño de las localidades, en 2007 la generación de residuos en localidades rurales o semiurbanas (población menor a los 15 mil habitantes y que albergan en conjunto 38% de la población del país) representó el 11 % del volumen nacional, mientras que las zonas metropolitanas contribuyeron con 43% de los residuos totales (SEMARNAT 2013).

1.2. Recolección de los RSU y su disposición final

El manejo de RSU incluye diferentes fases que van desde su generación, almacenamiento, transporte y tratamiento, hasta su disposición en diversos sitios. Algunas prácticas asociadas son: reducción en la fuente, recolección, reciclaje, compostaje e incineración. Todas estas actividades se realizan en distintas proporciones según el nivel de desarrollo del país en cuestión, de acuerdo a los datos del Banco Mundial (Hoornweg&Bhada-Tata 2012).

De todas las posibilidades de manejo de RSU solo dos son inevitables: recolección y disposición final. En México se recolecta cerca del 88% de los RSU generados de los cuales el 67% llega a sitios controlados, el 23% a sitios no

controlados y tan solo el 3.3% es reciclado. A nivel urbano el 88% de los RSU recolectados van a sitios con algún tipo de control mientras que en las comunidades esta cifra se reduce al 9.6%; y el panorama cambia por Estado, Ciudad y localidad (SEMARNAT 2013).

A nivel entidad federativa, en 2007 Oaxaca, Hidalgo y Chiapas dispusieron un volumen bajo de RSU en este tipo de instalaciones, con valores menores a 30% del total de residuos producidos (SEMARNAT 2013).

En cuanto al número de rellenos sanitarios en México, se ha logrado un avance significativo en el establecimiento de este tipo de infraestructura en los últimos años. Entre 1995 y 2007 la cifra creció de 30 a 114 sitios, contándose además, para este último año, con 24 sitios controlados. Sólo Oaxaca y Zacatecas no tenían, hasta esa fecha, rellenos sanitarios, pero contaban, respectivamente, con uno y tres sitios controlados (SEMARNAT 2013).

2. Ruta de la costa Oaxaqueña

Consiste en una iniciativa del Gobierno del Estado, a través de la Secretaría de Turismo y Desarrollo Económico (STyDE) que trata de establecer un andamiaje turístico por medio de las localidades de: Huatulco, Puerto Ángel, Zipolite, Mazunte Pueblo mágico, Puerto escondido y Lagunas de Chacahua (STyDE 2015).

En el periodo vacacional de verano del 2015 Zipolite y Puerto Ángel ofrecieron alrededor de 600 cuartos, espacios para camping, cabañas y hamacas. Cabe destacar que en la franja turística de Mazunte, San Agustínillo, Zipolite y Puerto Ángel, no existen datos oficiales sobre la cantidad de cuartos de alquiler, de manera extraoficial se calcula que ofrecen alrededor de dos mil 500 cuartos, siendo Mazunte el mayor ofertante con un aproximado de mil 500 habitaciones, de acuerdo a datos de José María Pacheco, Agente Municipal de Mazunte (García 2015).

Con la implementación de una nueva ruta se espera un incremento considerable de los visitantes en las 6 localidades, incluyendo Playa Zipolite, las cuales se verán beneficiadas grandemente en su economía pero que de igual manera representará un gran reto en materia de manejo de RSU pues la mayor parte de estas localidades no cuentan con la planeación urbana, infraestructura ni recursos humanos ni financieros necesarios para poder controlar los residuos. En otros desarrollos turísticos de América Latina, principalmente en las islas del caribe, la generación de RSU per cápita ha alcanzado niveles tan altos como 14 Kg/día (Hoornweg&Bhada-Tata 2012) la cual es la cifra más alta de esta región. Con esta comparación no se está tratando de inferir que con la iniciativa Oaxaqueña se vayan a alcanzar dichas cifras, sino que usamos el ejemplo de manera ilustrativa para destacar que la actividad turística tiene un potencial muy alto de generación de RSU por lo que al proyectar el crecimiento turístico en la zona, a su vez es prioritario proyectar espacios no solo para la disposición final de RSU sino para su completo manejo integral y conservar el destino turístico como les es grato a los turistas, garantizando durante el mayor tiempo posible

tanto el éxito de la nueva ruta turística así como la salud de los habitantes locales y del ambiente mismo.

3. Selección de sitio de disposición final de RSU

Seleccionar un sitio de disposición final de RSU requiere de un proceso extensivo de evaluación con el objetivo de identificar la mejor ubicación disponible. Esta ubicación debe de cumplir con los requerimientos de las regulaciones gubernamentales y al mismo tiempo de minimizar los costos económicos, ambientales, sociales y de salud. El procedimiento de selección de sitio debe de hacer un uso máximo de toda la información disponible y asegurarse de que el resultado del proceso es aceptable para la mayoría de los actores principales. Adicionalmente, involucra generalmente el procesamiento de gran variedad de datos espaciales. Varios factores importantes y criterios deben ser considerados para obtener el mejor resultado posible como lo son: el pre-existente uso de suelo, la localización de sitios sensibles, infiltración, cuerpos de agua, fuentes de abastecimiento de agua, calidad del agua subterránea, calidad del aire, línea de falla y la geología del lugar son algunos de ellos (Sumathi *et al.* 2007).

3.1. Criterios para la selección de sitios de disposición final de acuerdo a la normatividad mexicana

En México, los criterios mínimos para la selección de un sitio de disposición final de RSU están regulados por la NOM-083 SEMARNAT-2003 en donde se categorizan los sitios de disposición en función de la cantidad de RSU que reciben al día (Tabla 2). De acuerdo al tipo de sitio de disposición que tenga la población, los estudios y análisis requeridos que se deben de cumplir cambian (SEMARNAT 2003).

Tabla 2. Categorías de los sitios de disposición final. Fuente: SEMARNAT 2003.

Tipo	Tonelaje recibido (t/día)
A	$t > 100$
B	$50 \leq t \leq 100$
C	$10 \leq t < 50$
D	$t < 10$

3.1.1. Restricciones para la ubicación

Las siguientes disposiciones deben ser cumplidas por todos los sitios sin importar la cantidad de residuos que reciban:

- 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.

- Se deberán evitar las áreas naturales protegidas (ANP)⁹, excepto si el sitio está contemplado dentro del plan de manejo de la misma.
- En localidades mayores de 2500 habitantes, la distancia mínima entre el límite de la traza urbana y el sitio deberá ser mínimo de 500 m.
- No debe ubicarse en zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales¹⁰, fluviales, recarga de acuíferos¹¹, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.
- Se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodo de retorno mayor a 100 años.
- 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.
- La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 metros adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia del pozo no será menor de 500 m (SEMARNAT 2003).

⁹ Son las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas. Se crean mediante un decreto presidencial y las actividades que pueden llevarse a cabo en ellas se establecen de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, su Reglamento, el programa de manejo y los programas de ordenamiento ecológico. Están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la Ley (CONANP 2016)

¹⁰ Según Roben (2002) una planicie debe tener una pendiente de 3 a 12 %, lo cual equivale a un intervalo entre los 2° y 7°. Por otra parte, de acuerdo a Gorshkov & Yakushova (1970), un valle fluvial es el elemento del paisaje que resulta de la erosión de un río, y dentro de él, en un plano superior al cauce, existe una zona llamada planicie, llanura o llano "aluvial" o "de crecida" la cual se forma por el depósito de sedimentos (aluvión) en temporada de lluvias, cuando el cauce del río se ensancha de manera considerable; durante la temporada de estiaje esta zona se seca pues solo es anegada durante las crecidas.

¹¹ De acuerdo a Londoño (2001) Las características de una zona de recarga de acuífero dependen de su suelo y el agua disponible. El suelo debe ser rico en materia orgánica, textura gruesa y con cobertura vegetal abundante; en cuestión de abundancia de agua es necesario que haya una concentración alta del flujo hidrológico y cuerpos de agua permanentes.

4. Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis de la información para la selección del sitio de disposición de RSU.

La complejidad espacial y ecológica de los distintos ambientes y las complejas relaciones entre lo social y lo económico resultantes de la interacción de los diversos grupos de tomadores de decisiones hacen del manejo y planeación de los ecosistemas una tarea particularmente desafiante (Bello *et al.* 2006).

Para alcanzar un uso y desarrollo sustentable de los recursos se ha identificado una necesidad urgente de incorporar adecuadamente estrategias de planeación y manejo que incluyan los puntos de vista, opiniones y conocimiento de los actores clave, ya sean éstos usuarios, administradores locales o científicos, de tal manera que se incluyan estrategias tanto de índole técnica como científica (Bello *et al.* 2006).

La representación y mapeo de la variabilidad espacial de dichos recursos es un paso fundamental en la formulación de planes de manejo de recursos, entre otros estudios ambientales. Por consecuencia, el desarrollo de modelos de representación es esencial para el trabajo futuro en la evaluación de la aptitud del uso del recurso de cierta área. Los SIG y tecnologías de Percepción Remota (PR)¹² han probado ser herramientas poderosas para alcanzar estos objetivos (Bello *et al.* 2006).

Los SIG son utilizados en la toma de decisiones acerca de uso de suelo, distribución de recursos hídricos, prevención de erosión e inundaciones, administración de recursos naturales, entre múltiples aplicaciones (National Research Council 2002).

En este trabajo definiremos a los SIG como: “herramienta de análisis espacial para resolver problemas por medio de modelos que permiten encontrar patrones y entender cuáles son los eventos que dan origen a los fenómenos que se estudian”, dentro de esta definición debe incluirse que todo modelo es una abstracción de la realidad y que quienes los realizan son los usuarios a partir de la información espacial generada (Quintero Pérez 2009). Consecuentemente, un SIG no solo está compuesto por el software sino también del hardware, datos, recursos humanos y el análisis.

El manejo de los atributos espaciales en forma de mapas e imágenes fomenta la aplicación de la información geográfica a nivel local donde ocurren muchos de los retos en materia de sustentabilidad (National Research Council 2002). Por lo que el uso de SIG es adecuado y pertinente para relacionar las diversas variables georreferenciadas que nos ocupan en la labor de planeación urbana.

¹² La percepción remota (PR) o teledetección es la ciencia y arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo (sensor) que no está en contacto físico con dicho objeto (Martínez-Muñoz 2005)

Afortunadamente muchos de los atributos a evaluar, durante el proceso de selección de sitios para la disposición final de RSU, tienen una representación espacial, lo que ha favorecido la predominancia del enfoque geográfico (Buenrostro *et al.* 2005).

La aplicación de los SIG en la selección de sitios de disposición final permite el abaratamiento económico de la realización de los estudios al disminuir los tiempos y el margen de error en la interpretación de las variables físicas y biológicas (Buenrostro *et al.* 2005).

4.1. Análisis Multicriterio y otras herramientas acopladas a los SIG

De manera conjunta con la proliferación de las tecnologías SIG, desde la década de 1950, los métodos multicriterio de toma de decisiones (MCDM, por sus siglas en inglés) han evolucionado como una principal herramienta para asistir a los tomadores de decisiones resolviendo y analizando problemas de decisión Multicriterio. Los métodos MCDM han sido desarrollados para auxiliar a los tomadores de decisiones ya sea en clasificar un conjunto conocido de alternativas para un problema o para elegir una de esas decisiones considerando conflictos entre criterios. Generalmente, las alternativas se comparan entre ellas con base en cómo se comportan de manera relativa a cada criterio individual. De manera análoga, algunos métodos requieren comparaciones entre criterios para obtener la importancia relativa de cada uno. Después de eso, los métodos MCDM utilizan esta información para asignar categorías a las alternativas (Sumathi *et al.* 2007).

En años recientes, la integración de las técnicas MCDM con los SIG ha representado un avance considerable frente a los enfoques de superposición de mapas para el análisis de aptitud de un sitio. Un método MCDM basado en SIG integra y transforma datos espaciales y no espaciales en una decisión. Esto involucra la utilización de datos geográficos y las preferencias del tomador de decisiones para alcanzar alternativas con valores de una sola dimensión, es decir, llegar a un único resultado (Sumathi *et al.* 2007).

La selección de un nuevo sitio para la disposición de RSU en una matriz urbana dada requiere de una multitud de consideraciones. Consecuentemente, puede considerarse como un proceso de toma de decisiones Multicriterio bastante complejo que involucra a numerosas partes interesadas y grupos de interés público (Sumathi *et al.* 2007).

Existen distintas metodologías para realizar este tipo de análisis desde usar modelos Multicriterio incorporado la teoría de conjuntos difusos (conocidos como fuzzy), así como la combinación de análisis Multicriterio, SIG, análisis espacial y estadística espacial para evaluar la aptitud de un área de estudio con el fin de encontrar un sitio de disposición final óptimo (Sumathi *et al.* 2007).

El software IDRISI Selva es una de las herramientas SIG que ha integrado métodos MCDM dentro de sus haberes para brindar al usuario la alternativa de realizar análisis de aptitud. El módulo MCE (Multi-Criteria Evaluation) es una

herramienta de soporte de decisiones por medio de una Evaluación Multicriterio; entendiendo el concepto de decisión como una elección entre distintas alternativas (acciones, sitios, etc.), y el concepto de criterio como la base para la toma de una decisión. Una Evaluación Multicriterio es hacer combinaciones de un conjunto de criterios para lograr una sola base compuesta para una decisión de acuerdo a un objetivo específico. Los criterios pueden ser de dos tipos: factores y restricciones. Los factores y restricciones pueden combinarse en el módulo MCE usando uno de tres métodos (Eastman 2012).

Los factores indican una aptitud relativa de un área con respecto al objetivo planteado mientras que las restricciones simplemente descartan totalmente un área que cumple o no con dicho objetivo. Esta clasificación depende de la naturaleza de la variable, pues una variable continua no marca límites bien definidos de pertenencia a una clase, por lo que estas variables se consideran factores; mientras que una variable discreta si tiene límites bien definidos de pertenencia por lo cual se considera dentro del grupo de restricciones (Eastman 2012). Además también se cuenta con el módulo fuzzy el cual evalúa la posibilidad de que cada pixel pertenezca a un grupo “borroso” o “difuso”, es decir, difícil de clasificar; esto lo hace mediante la evaluación de una función de pertenencia de conjuntos difusos. Los cuales son conjuntos sin fronteras definidas; esto quiere decir, la transición entre la pertenencia y no pertenencia de los elementos dentro del conjunto es gradual. Un conjunto difuso se caracteriza por un grado de pertenencia difusa (también llamada posibilidad) que usa un intervalo del 0 al 1, indicando un incremento continuo desde la “no pertenencia” hasta la “pertenencia completa” (Olmo-Castillo 2008). En IDRISI se proveen cuatro funciones: Sigmoidal (forma de S), forma de J, lineal y definida por el usuario.

4.2. Evaluación de aptitud territorial

Determinar la aptitud de un área dada para usos específicos es un paso fundamental en la planeación del uso de los recursos. La evaluación de aptitud es un proceso multicriterio, pues la interacción de los distintos interesados con diversidad de antecedentes y perspectivas trae un igualmente amplio número de objetivos y criterios. Esta técnica es usada indistintamente en múltiples situaciones en la planeación y toma de decisiones incluyendo: la planeación del uso de recursos naturales, agricultura, gestión de la disposición final de residuos, infraestructura de recreación, manejo de la zona costera, definición de áreas naturales protegidas (ANP) y el mapeo de zonas de pesca (Bello *et al.* 2006, Bello 2005).

Los estudios para la asignación de los diferentes usos de la tierra están sustentados en criterios científicos que se apoyan tanto en las ciencias de la tierra como en la aplicación de una serie de criterios que establece cada gobierno para definir los usos y dónde emplazarlos con el propósito de evitar conflictos entre los diferentes sectores, así como sus relaciones con otras actividades de acuerdo con la calidad y cantidad de los recursos naturales disponibles, de tal forma que permita una mayor armonía entre las actividades productivas y la

sociedad, para evitar el deterioro, el agotamiento y la contaminación, así como un detrimento en la calidad de vida de la población que irremediablemente será afectada por las malas decisiones sobre los usos de la tierra (Venegas 2007).

La evaluación de la tierra es solamente una parte de la planificación de la tierra, por tanto, ambas constituyen dos actividades concomitantes, secuenciales; hacer primero la evaluación y después planificar. Por ello, la tarea de localización para hacer una decisión razonable es un amplio campo donde diferentes aproximaciones resuelven diferentes problemas (Venegas 2007).

Capítulo III

Antecedentes

La selección de un sitio adecuado para la disposición final de RSU involucra el procesamiento de una cantidad significativa de datos, regulaciones y criterios de aceptación, así como también la eficiente correlación entre ellos. Por tanto, en los años recientes los SIG han emergido como una herramienta muy importante para el análisis de aptitud del territorio (Sumathi *et al.* 2008).

Los SIG pueden reconocer, correlacionar y analizar la relación espacial entre los fenómenos mapeados, brindando la posibilidad a los tomadores de decisiones de: vincular fuentes de información distintas, visualizar tendencias, proyectar resultados y elaborar estrategias para cumplir metas a largo plazo. Sin embargo, el verdadero potencial de los SIG emerge del hecho de que no solo reduce el tiempo y costo del proceso de selección de un sitio sino que también provee una base de datos digital útil para el monitoreo a largo plazo del sitio seleccionado (Sumathi *et al.* 2008).

Para la selección de sitios potenciales los SIG también son útiles para: el proceso de la exclusión de una zona con base en un objetivo y, de acuerdo al conjunto de criterios establecidos, realizar análisis de datos en distintos escenarios, corroborar la importancia de los factores que influyen en la decisión y visualizar los resultados en una representación gráfica y georreferenciada (Sumathi *et al.* 2008).

En la actualidad, las herramientas de análisis SIG auxilian de manera importante en el manejo de los RSU en cualquiera de sus etapas; por ejemplo: para la determinación de los factores que impactan los patrones de generación de RSU se utilizan los SIG para representar visualmente la distribución de las residencias y para georreferenciar los datos de generación de RSU, realizar modelos de predicción de datos de generación de RSU y para analizar los patrones de generación de RSU con respecto a la dependencia espacial de factores socio-económicos, demográficos y climáticos (Themistoklis *et al.* 2005). También han sido útiles en la mejora de los sistemas de recolección de RSU como lo señala Rada *et al.* (2013): una de las mejores ventajas de los SIG es su uso en el desarrollo de modelos de rutas de recolección de RSU optimizadas con una relación costo/ distancia mínima logrando una recolección eficiente y rutas adecuadas para transportar los RSU hacia el sitio de disposición final.

Además la aplicación de los SIG en el manejo de RSU ha alcanzado casi todo el mundo incluso en los países en desarrollo, como lo son: India (Ohri & Prabath 2013, Sumathi *et al.* 2008), Brasil (Leao *et al.* 2001), Grecia (Themistoklis *et al.* 2005), Turquía (Keser *et al.* 2012), Canadá (Eiselt&Marianov 2014), México (Buenrostro *et al.* 2005, Buenrostro & Bocco 2003, Silva *et al.* 2006), Italia (Rada *et al.* 2013) y Sierra Leona (Gbanie *et al.* 2013).

Todas estas investigaciones son orientadas a centros de población grandes (con una densidad de población de al menos 2000 habitantes por Km²), ya sean ciudades y zonas metropolitanas o a un conjunto de municipios, lo cual es justificado por la apremiante necesidad de regulación de los sitios de disposición final de RSU debido a que se generan en mucha mayor cantidad que en los centros pequeños de población como las comunidades rurales.

Sin embargo, se está perdiendo de vista que generalmente en las comunidades donde la densidad de población es baja es donde se llevan a cabo las actividades económicas primarias (agricultura, ganadería, pesca) que abastecen los supermercados de los centros urbanos. Es también en comunidades pequeñas donde se encuentran grandes fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas de las cuales, una vez más, se sirven también las grandes ciudades.

Las comunidades rurales son ricas en materias primas vitales para todas nuestras actividades desde las domésticas hasta las industriales y, en este sentido, es también igualmente importante realizar en ellas análisis espaciales especializados pues, si las mapeamos y administramos adecuadamente, estaremos asegurando una mayor calidad y cantidad de las tan preciadas materias primas que sostienen la economía.

En Honduras se tiene este tipo de experiencias, como el trabajo realizado en el municipio de San Antonio Oriente (Pavón & Ruíz 2009) en el cual se evaluaron tres sitios preseleccionados por la autoridad y además por medio del uso de SIG se encontró uno adicional. Los parámetros que evaluaron fueron: vida útil, vías de acceso, distancia a zonas habitables, dirección del viento, tenencia de tierra, material de cobertura, distancia a fuentes de agua, profundidad del nivel freático, distancia de los pozos, distancia a fallas geológicas, distancia a zonas de inundación, uso actual y futuro del terreno y riesgo a pepenadores.

Por otro lado, en Chile se han realizado trabajos parecidos a este en las localidades de San Felipe y Valparaíso (CMS Asesores Consultores Limitada 2009). En este estudio se localizaron puntos estratégicos para vertederos y centros de transferencia; puesto que la legislación Chilena es aún menos restrictiva que la nuestra únicamente se ocuparon criterios referentes a seguridad (evitar zonas de deslinde, suelos saturados o inundables, fallas geológicas activas o suelos sin capacidad de soporte, exposición a remociones en masa, vías de ingreso y circulación adecuados) , distancia de fuentes de agua, profundidad mínima de mantos freáticos, conductividad hidráulica, disponibilidad de material de cobertura, permeabilidad, cercanía de pozos de abastecimiento, entre otros.

Ahora fue nuestro turno de comprobar la aplicabilidad de los SIG para el análisis de aptitud del territorio de una comunidad rural para la disposición de los RSU de acuerdo a los criterios establecidos por la normatividad mexicana (NOM-083 SEMARNAT 2003). Este trabajo será aplicado en la localidad rural Playa Zipolite que de acuerdo al censo en 2010 cuenta con únicamente 1059 habitantes (INEGI 2010). La selección informada de sitios de disposición de RSU en estas comunidades no es tan ampliamente aplicada como en los centros urbanos, aun así, encontramos algunas experiencias en poblaciones de mediano tamaño.

Capítulo IV

Justificación

Los RSU son un producto inevitable de las actividades humanas y del desarrollo económico, al menos dentro de los parámetros del modelo capitalista y estilo de vida contemporáneo que rige en la mayor parte de las naciones. Consecuentemente, es apremiante desarrollar y aplicar métodos para mitigar los efectos de los RSU en el ambiente, considerando todo su manejo (recolección, reciclaje, compostaje, incineración, disposición) (Hoornweg&Bhada-Tata 2012).

Como se mencionó en el marco teórico, la generación de RSU está estrechamente relacionada con los indicadores de desarrollo económico de acuerdo a fuentes oficiales como el Banco Mundial (Hoornweg&Bhada-Tata 2012) y SEMARNAT (2013). En la actualidad la mayoría de los centros de población, rurales o urbanos, buscan una aceleración de su economía lo que implica un mayor poder adquisitivo de los habitantes, mejoras en la calidad de vida y cada vez más RSU.

Por tanto, es de vital importancia atender el manejo de RSU para que el crecimiento económico siga yendo de la mano con el bienestar de la población, para afectar en la menor medida posible los entornos y recursos que, al final, son las materias primas que hacen posible el crecimiento mismo.

Todas las etapas de manejo de RSU deben ser tratadas pero la disposición, al ser el destino final, es el corazón de la mitigación de los impactos ambientales de los RSU pues es ahí donde yacen después de su vida útil, donde contaminan durante años y donde constituyen un gran problema permanente (Auerbach *et al* 1984) y que muchos tomadores de decisiones han ignorado

Con las cifras de generación, recolección y disposición final de los RSU establecidas en el marco teórico (SEMARNAT 2013), podemos reconocer lo necesario que es para México y, particularmente, para el estado de Oaxaca establecer sitios de disposición final que verdaderamente disminuyan los impactos ambientales, sociales y económicos de los RSU. Y el primer parámetro que determina si un sitio es adecuado o no para la disposición final de RSU es su ubicación. El lugar donde se ubique es crucial para el éxito o fracaso del sitio de disposición ya sea por el ámbito ambiental o social.

Ahora, en cuanto a la correcta selección de sitios de disposición final en comunidades rurales la relevancia se encuentra en las materias primas. Las materias primas son la base de las actividades primarias que, a su vez, sostienen a las secundarias, las cuales sostienen a las actividades terciarias. Por la mala selección de un sitio de disposición de RSU se puede afectar la calidad y la cantidad de los recursos naturales lo cual a largo plazo representa una amenaza para el desarrollo económico.

Por último, el hecho de que nuestra área de estudio (Playa Zipolite) sea una comunidad rural oaxaqueña con vocación turística solo enfatiza la necesidad de una correcta selección de sitio de disposición final de manera local. El turismo es una de las actividades productivas que más residuos generan por lo que debe tenerse especial control de los RSU y de los sitios de disposición en lugares con vocación turística pues en ellos la economía se ve influida tanto por la calidad de los recursos naturales usados para dar el servicio como por el valor estético de los mismos.

Por todo lo anterior, y tomando en cuenta que Playa Zipolite lleva más de un año sin un sitio de disposición final propio y que es parte de la iniciativa turística "Ruta de la Costa Oaxaqueña" (STyDE 2015), el presente trabajo es justificable por su relevancia no solo académica sino por su potencial de aplicación real dentro de la comunidad citada donde tendría un impacto positivo en lo ambiental, social y económico, además de su potencial de replicación en otras comunidades similares.

Capítulo V

Hipótesis y objetivos

5.1. Hipótesis

Dentro del territorio de la comunidad “Playa Zipolite” existe al menos un sitio potencial para la disposición de RSU de acuerdo a los criterios de selección establecidos en la NOM-083 SEMARNAT-2003.

5.2. Objetivo General

Identificar áreas potencialmente aptas para la disposición final de RSU dentro del terreno de Playa Zipolite de acuerdo a los criterios establecidos en NOM-083 SEMARNAT-2003 por medio de un análisis espacial.

5.3. Objetivos particulares

- Evaluar los criterios de selección de sitios de disposición final establecidos en la NOM-083 SEMARNAT-2003
- Desarrollar un modelo teórico de aptitud del territorio con enfoque espacial con base en los criterios evaluados
- Clasificar el territorio de acuerdo al modelo teórico espacial de aptitud.

Capítulo VI

Métodos

6.1. Elaboración de la evaluación de los criterios de selección establecidos en la NOM-083 SEMARNAT-2003.

Las actividades principales en esta primera etapa de evaluación de los criterios fueron: la definición de cada criterio en variables territoriales medibles y la búsqueda de coincidencias entre las variables establecidas en cada criterio.

6.1.1. Definición de los criterios en variables territoriales.

Para la definición de los criterios en variables territoriales se analizó cada uno de ellos y se identificó de la información disponible en las bases de datos nacionales la que podría ser de utilidad para aproximarnos a evaluar cada criterio por medio de un análisis espacial, es decir, seleccionamos cuales capas usar. En la Tabla 3 podemos observar Las variables correspondientes a cada criterio, las cuales nos permitieron evaluar cada uno de ellos.

Tabla 3. Definición de criterios de acuerdo a variables territoriales. Elaboración propia.

Criterio	Variables
Distancia a aeropuertos	Ubicación de aeropuertos Ubicación de área de estudio
ANP	Ubicación de ANP Ubicación de área de estudio
Distancia de localidad con población mayor a 2500 habitantes	Ubicación de localidad con población mayor a 2500 habitantes Ubicación de área de estudio
Cavernas o fracturas	Ubicación de cavernas y fracturas
Planicies aluviales	Litología Pendientes Cercanía a ríos
Zonas de inundación	Acumulación de flujo
Humedales	Ubicación humedales Ubicación de área de estudio
Zonas de recarga de acuífero	Vegetación Acumulación de flujo

Una vez hecho esto se descargó las capas y posteriormente se evaluaron si había coincidencias entre las variables por medio de la superposición de capas que se detalla a continuación. Es relevante decir que no se encontraron capas para todas las variables, por lo que posteriormente se generaron aproximaciones¹³.

¹³ Denominadas proxys

6.1.2. Búsqueda de coincidencias entre las variables establecidas en cada criterio.

Distancia a aeropuertos.

La norma¹⁴, 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 pista de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario"*.

Entonces, se realizó un mapa para su localización donde se utilizó la capa de INEGI de infraestructura y se efectuó el geoproceso buffer para generar polígonos circulares con un radio de 13 Km tomando como centro cada aeropuerto; también se ocupó la capa de municipios de INEGI la cual se recortó (herramienta clip, ArcMap 10.2.1) para obtener el polígono del municipio de San Pedro Pochutla; también se empleó el Polígono de la localidad de Playa Zipolite. Por último, se superpusieron las capas mencionadas para descartar la existencia de aeropuertos a menos de 13 Km de Playa Zipolite.

Evitar ANP

En cuanto a las ANP, en el punto 6.1.2 de la norma se dicta 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 estar seguros de no utilizar sitios previamente designados como ANP, se utilizaron las capas de: ANP federales de la CONANP, ANP voluntarias y el polígono de la localidad de Zipolite. Se superpusieron dichas capas para identificar las ANP dentro del área de estudio.

Distancia de localidades con más de 2500 habitantes.

En el punto 6.1.3 de la norma se menciona que *"En localidades mayores de 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"*. Playa Zipolite es una localidad de apenas 1059 habitantes (INEGI 2010); sin embargo, para realizar el estudio de manera sistemática y procurando disminuir cualquier sesgo, se contempló identificar los 500 m a partir de la localidad más cercana con más de 2500 habitantes, la cual resultó ser la ciudad de San Pedro Pochutla. Para esto, se utilizó la capa de localidades del estado de Oaxaca generada a partir de un recorte de la capa de localidades de INEGI; posteriormente, a las localidades del estado de Oaxaca se les seleccionó por atributo a aquellas con más de 2500 habitantes y se creó una nueva capa con esta selección. Posteriormente, se utilizó la capa de localidades urbanas geoestadísticas 2010 de INEGI para conocer la traza urbana de la ciudad de San Pedro Pochutla. De igual forma se le realizó un recorte del estado de Oaxaca y se identificó el municipio de San Pedro Pochutla; se realizó una superposición de la capa "localidades de Oaxaca con más de 2500 habitantes" y de la capa "localidades geoestadísticas" para

¹⁴ La norma hace referencia a la NOM-083-SEMARNAT-2003

identificar el polígono de la ciudad de San Pedro Pochutla. A partir del polígono de la ciudad se obtuvo el límite de la traza urbana y a dicho límite se le aplicó un buffer lineal de 500 m de tal manera que se generó un polígono del área a descartar de acuerdo a este criterio.

Adicionalmente con la capa de ordenamiento ecológico de Playa Zipolite (Fernández-Castellanos 2014) se identificó el área donde se encuentran los asentamientos humanos y se creó un polígono que posteriormente fue utilizado como restricción.

Evitar zonas de: humedales, planicies aluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.

a. Humedales

En el punto 6.1.3 de la norma dice 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"*. De acuerdo a la definición de **humedal**¹⁵ (RAMSAR 2014) entran en esta categoría: **marismas, manglares, esteros, pantanos, estuarios**, entre otros; por tanto, para contemplar todos los ecosistemas mencionados en la norma se ocupó una sola capa de información del inventario nacional de humedales (escala 1:250000, en constante actualización) y se complementó con la capa de ordenamiento ecológico local de Playa Zipolite donde se localizaron manchones de manglar más pequeños.

b. Planicies Aluviales

En cuanto a las planicies aluviales, la norma no especifica una definición para poder llevar a cabo la identificación por lo cual se procedió a consultar fuentes bibliográficas. Por tanto, de acuerdo a lo establecido en el marco teórico, podemos reconocer las planicies aluviales de manera aproximada de acuerdo a los siguientes criterios:

- Material litológico (aluvión), para lo cual se generó el insumo de capa ráster¹⁶ de litología
- Valores de pendientes: de 3 a 12 % o entre los 2º y 7º, para lo cual se generó el insumo capa ráster de pendientes
- Su proximidad al cauce, para lo cual se generó el insumo de acumulación de flujo

¹⁵ La Convención RAMSAR aplica una definición amplia de los humedales, que abarca todos los lagos y ríos, acuíferos subterráneos, pantanos y marismas, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, manglares y otras zonas costeras, arrecifes coralinos, y sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, reservorios y salinas.

¹⁶ En el modelo ráster, la zona de estudio se divide de forma sistemática en una serie de unidades mínimas (denominadas habitualmente celdas o en su defecto píxeles), y para cada una de estas se recoge la información pertinente que la describe (Olaya 2014).

Para generar la capa ráster de litología primero se generó un shape¹⁷ file en el cual se digitalizaron los polígonos de los distintos materiales reportados para Playa Zipolite en la plataforma GeoInfoMex del Servicio Geológico Mexicano (SGM) en donde se muestran los datos geológicos a escala 1:250000, es importante resaltar que se procedió a la digitalización debido a que el servicio de descarga de información resultó ser disfuncional; una vez hecha la capa se procedió a convertirla a formato ráster en el software IDRISI Selva donde fue necesario generar un archivo ráster vacío y le incorporamos la información temática con las herramientas “initial” y “rastervector”.

La herramienta initial crea una nueva imagen ráster conservando los valores definidos por el usuario a partir de una imagen previa o bien definiéndolos de manera individualmente (Eastman 2012). En esta investigación se hizo a partir de imágenes previas.

Por otro lado, la herramienta rastervector convierte archivos de tipo vector a imágenes ráster y viceversa. Todos los tipos de primitivas geométricas (punto, línea y polígono) son permitidas (Eastman 2012).

Los insumos de acumulación de flujo y pendientes se generaron a partir del MDE¹⁸ (resolución aproximada de 15 m) de INEGI. En primer lugar nos cercioramos que el archivo estuviera en un sistema de coordenadas proyectado, es decir, que las unidades que representa la resolución espacial fuera distancia lineal (metros). Una vez hecho esto, en ArcMap 10.2.1, procedimos a introducir el MDE en la herramienta “slope” para generar el archivo de pendientes (en grados), dicha herramienta identifica la pendiente (gradiente, o intervalo de máxima variación en el valor de la altura en Z) de cada celda de una superficie ráster calculando el máximo cambio en la elevación entre la distancia que hay entre una celda y sus 8 vecinos; los datos de salida pueden ser en grados o en porcentaje (ESRI 2013).

También introdujimos el MDE en la herramienta “flow direction” la cual crea un ráster de dirección de flujo de cada celda hacia su vecino con la pendiente descendente más inclinada; dicho ráster, a su vez sirvió de insumo para la herramienta “flow accumulation” la cual calcula el flujo acumulado de todas las celdas fluyendo dentro de cada celda de pendiente descendente en el correspondiente ráster de salida. El archivo final nos sirvió para tener un aproximado de la red hidrológica en formato ráster.

c. Zonas de recarga de acuíferos

De igual manera que en las planicies aluviales, al no tener una directriz clara en la norma para identificar las zonas de recarga de acuíferos procedimos a consultar la bibliografía, información añadida en el marco teórico.

¹⁷ Modelo shape o modelo vectorial modeliza el espacio geográfico mediante una serie de primitivas geométricas que contienen los elementos más destacados de dicho espacio. Estas primitivas son de tres tipos: puntos, líneas y polígonos (Olaya 2014).

¹⁸ Modelo Digital de Elevación (MDE): Es el equivalente informatizado de la cartografía clásica de elevaciones tradicionalmente representada mediante curvas de nivel (Olaya 2014).

Tomando estas características en consideración, incluimos como criterio la cobertura vegetal abundante la cual se aproximó por medio de un NDVI¹⁹; de igual forma, tomamos como segundo criterio para la evaluación la concentración alta del flujo hidrológico, la cual se aproximó por medio de la capa ráster de acumulación de flujo.

Para la creación de la imagen NDVI primeramente se eligieron las imágenes satelitales landsat 8, las bandas correspondientes a la región del rojo (banda 4, 640-670 nm) y del infrarrojo cercano (banda 5, 850-880 nm); además se ocupó también la imagen pancromática (banda 8, 500-680 nm) para la mejora de la resolución espacial²⁰ de las otras dos bandas. Para la mejora de la resolución espacial accedimos a la herramienta “pansharpen”, herramienta que se encarga de usar una imagen pancromática de alta resolución para incrementar la resolución espacial de imágenes multiespectrales de baja resolución. En el módulo pansharpen se proveen tres técnicas: transformación de color espacial, transformación por componente principal y la transformación por regresión local (Eastman 2012); De tal manera que el intervalo elegido en esta herramienta incluyó tanto los valores de la banda a transformar como los valores de la banda pancromática. Después de esta transformación las bandas 4 y 5 que inicialmente tenían una resolución de 30 m, se redimensionaron a una resolución espacial de 15 m, heredada de la banda 8.

Posteriormente, con las bandas 4 y 5, con resolución espacial de 15 m, se creó el NDVI para usarlo como insumo aproximado de áreas con vegetación abundante. Para llevarlo a cabo, usamos el software IDRISI selva con la herramienta “VegIndex” y seleccionamos la opción de NDVI donde ingresamos las dos bandas mencionadas.

d. Zonas arqueológicas

En este caso de no se encontraron capas con esta información; sin embargo se consultó un inventario de zonas arqueológicas disponible (aunque no en forma georreferenciada) en la red de zonas arqueológicas del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Dicho inventario registra que la zona arqueológica más cercana a nuestra área de estudio es la localizada en la localidad de Copalita, la cual se encuentra a más de 40 Km de distancia de Playa Zipolite.

e. Cavernas, fracturas o fallas geológicas

¹⁹El NDVI (Índice de Vegetación Normalizado) utiliza los datos de reflexión de luz roja e infrarroja por parte de la vegetación, captados por satélites, para indicar de manera aproximada la cantidad de vegetación y/o la salud de la misma; esto lo hace por medio de la combinación matricial de las bandas correspondientes a las secciones roja e infrarroja del espectro electromagnético (Weier & Herring 2000).

²⁰ Describe la capacidad del sistema para distinguir objetos en función de su tamaño. Dicho de otro modo, la resolución espacial suele interpretarse como el tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen: tamaño de la celda en archivos ráster y escala en archivos vectoriales (Muñoz-Nieto 2006).

Por último, sobre **cavernas, fracturas o fallas geológicas** ocupamos la capa de información de INEGI (1:1000000) pues este tipo de formaciones ocupa grandes extensiones de territorio.

6.1.1. Zonas de inundación y distancia a cuerpos de agua

En el punto 6.1.5 de la norma 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”*. Una forma de aproximar esta información es usando la acumulación de flujo; previamente ya conocimos las áreas donde ocurre la mayor acumulación de agua y, por lo tanto, las más propensas a inundarse.

También la norma dicta 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”*. Para corroborar el cumplimiento de este punto se realizó en primera instancia un mapa para identificar los escurrimientos perennes de los escurrimientos intermitentes con la capa de red hidrológica de INEGI.

Con el fin de incluir estos dos criterios dentro de nuestro análisis creamos un buffer de 200 m a partir de las áreas de mayor acumulación de flujo. Esto se realizó en el software IDRISI selva mediante su herramienta “distance”; para lo cual fue necesario pasar a vector (shapefile) el archivo de acumulación de flujo.

6.1.2. Distancia a Pozos de agua

No existe información disponible de la distribución de pozos de agua en la localidad por lo que, una vez determinada la aptitud y delimitada un área potencial, será más fácil para quien decida continuar este trabajo buscar los pozos cercanos al área más apta.

6.1.3. Criterios adicionales

En la norma no se mencionan, pero se consideró importante utilizar como restricciones para nuestro modelo los asentamientos humanos a nivel localidad (obtenidos a partir de la propuesta de ordenamiento ecológico local hecha en 2014), el área previamente utilizada como basurero en la localidad, así como evaluar las pendientes de todo el terreno para considerar los sitios planos como sitios con mejor aptitud y facilitar así la etapa de construcción.

Además se realizó un buffer de 200 m a partir de las zonas de acumulación de flujo, esto se considera adicional puesto que la norma solo contempla un área de amortiguamiento de escurrimientos perennes y en nuestra zona de estudio solo tenemos escurrimientos intermitentes; aun así, se consideró un espacio de 200 m para evitar cualquier posible inundación en temporada de avenidas.

En la Tabla 4 podemos observar los insumos o capas iniciales con las que se evaluó cada criterio y el tratamiento que se le dio a cada una de ellas por medio de un SIG.

Tabla 4. Resumen de la etapa de Evaluación de los criterios establecidos en la NOM-083 SEMARNAT-2003. Elaboración propia.

Criterio	Capa inicial	Tratamiento en SIG
1. Distancia a aeropuertos	Infraestructura (INEGI) Municipios (INEGI) Polígono de Playa Zipolite (Fernández-Castellanos 2014)	Recorte (clip, ArcMap 10.2.1) Buffer circular Superposición de capas
2. Evitar ANP	Recorte municipio Pochutla ANP federales de la CONANP, ANP voluntarias Polígono de Playa Zipolite	Superposición de capas
3. Distancia de localidades con más de 2500 habitantes	Localidades (INEGI) Localidades urbanas geoestadísticas 2010 (INEGI) Ordenamiento ecológico local de Playa Zipolite (Fernández-Castellanos 2014)	Selección por atributo Recorte Buffer lineal Superposición de capas
4. Evitar humedales	Inventario nacional de humedales (escala 1:250000) Ordenamiento ecológico local de Playa Zipolite (Fernández-Castellanos 2014)	Recorte Superposición de capas
5. Evitar planicies aluviales	Capas de litología de Zipolite (Digitalizado de GeoInfoMex) MDE (INEGI)	Digitalización Conversión shape-raster Flow direction Flow accumulation Slope Buffer Copy raster Resample
6. Evitar zonas de recarga de acuífero	Bandas 4,8 y 5 (landsat 8)	Pansharpen NDVI Copy raster Resample Reclassify
7. Evitar cavernas, fracturas o fallas geológicas	Fallas geológicas INEGI (1:1000000) Recorte municipio Pochutla Polígono de Playa Zipolite	Recorte Superposición
8. Evitar Zonas de inundación y	Red hidrológica de INEGI	Selección por atributo Buffer Conversión shape-raster

escurrimiento superficiales perennes		
9. Basurero anterior	Polígono basurero anterior (elaboración propia)	Realización de polígono con base en coordenadas tomadas en campo
10. Asentamientos humanos locales	Propuesta de Ordenamiento Ecológico Local (Fernández-Castellanos 2014)	Recorte

6.2. Desarrollo del modelo de aptitud del territorio con enfoque espacial de acuerdo a los criterios establecidos en la NOM-083 SEMARNAT-2013 y criterios adicionales.

6.2.1. Discriminación de criterios

A partir de lo obtenido en la evaluación de los criterios de la norma, nos fue posible discriminar algunos criterios puesto que no se cumplen para nuestra área de estudio; de tal manera que pudimos desarrollar un modelo de aptitud territorial con menos variables pues solo consideramos aquellas que se combinan entre sí a lo largo del territorio como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Discriminación de los criterios a incluir en nuestro modelo de aptitud. Elaboración propia.

Criterios totales	Criterios dentro del modelo
Distancia a aeropuertos	Humedales (locales)
ANP	Planicies aluviales
Distancia localidad con más de 2500 habitantes	Zona de Recarga de acuífero
Humedales	
Cavernas, fracturas y fallas geológicas	
Planicies aluviales	
Zonas de Recarga de acuífero	
Zonas de inundación	

6.2.2. Clasificación de criterios

También se clasificaron los criterios de acuerdo a las definiciones establecidas en el módulo de evaluación Multicriterio (MCE en IDRISI Selva) y que se encuentran descritas en el marco teórico. La clasificación de los criterios se llevó a cabo con el fin de posteriormente poder obtener el grado de aptitud de los criterios que lo requirieron.

Por tanto de los criterios discriminados, los clasificamos de acuerdo a estos conceptos. Como podemos observar en la Tabla 6 solo se consideraron como factores las variables de pendientes y NDVI, que corresponden a los criterios de Planicies aluviales y Zonas de recarga de acuíferos, respectivamente; mientras que todos los demás criterios se consideraron restricciones por la naturaleza de las variables.

Tabla 6. Clasificación de los criterios en restricciones y factores.

Restricciones	Factores
Asentamientos humanos locales	Pendientes
Manglares localidad	NDVI
Litología aluvial	Acumulación de flujo (buffer)
Basurero anterior	
Mar	

6.2.3. Homogenización de resoluciones en insumos ráster.

También dentro de esta etapa se trataron las capas de interés de tal manera que pudieran ser compatibles unas con otras en la etapa posterior. Es importante recordar que las imágenes son matrices, y para poder realizar operaciones entre ellas es siempre necesario que todas sus dimensiones sean compatibles:

- Mismo tamaño de pixel
- Mismo número de pixeles
- Mismo número de bits (8 bits para trabajarlas en IDRISI)
- Mismo sistema de coordenadas proyectado (Unidades distancia lineal)

Por este motivo, antes de comenzar a trabajar con los insumos ráster fue necesario asegurarse de que todas estas características fueran iguales para todos los archivos; este procedimiento se realizó tanto para los insumos destinados al análisis de planicies aluviales, así como para los insumos del análisis de zona de recarga de acuífero y posteriormente, en la etapa de clasificación del territorio, para los insumos del análisis multicriterio.

Como se mencionó con anterioridad, utilizamos imágenes landsat 8 para generar una imagen NDVI para el análisis de zona de recarga de acuífero y decidimos usar esta imagen como base de formato para las demás. Las propiedades del NDVI son las siguientes:

- Resolución espacial: 15 m
- Resolución radiométrica²¹: 8 bits
- Sistema de coordenadas: UTM 14 N

Antes de usar la imagen NDVI como base, la cortamos (herramienta “window” en IDRISI selva) de tal manera que dentro del recorte se encontrara el área de estudio, determinando así el número de pixeles a tratar.

²¹ Indica la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia. La energía electromagnética recibida por el sensor, cuando se convierte a nivel digital, necesita un formato binario para codificarse. A mayor número de bits reservados para almacenar el valor de la reflectividad de un pixel, mayor resolución radiométrica; por ejemplo, una imagen que tiene una resolución radiométrica de 8 bits puede registrar valores equivalentes a un rango de 0 a 255 (Muñoz-Nieto 2006).

En el caso particular de los ráster de pendientes y de acumulación de flujo, al ser obtenidos del MDE de INEGI que tiene una resolución aproximada de 15 m (15.31 m), remuestrearon sus propiedades por lo que ambos tienen una resolución espacial de 15.31 m y resolución radiométrica de 32 bits, las cuales hay que homogeneizar con las características del NDVI. Para establecer la resolución radiométrica usamos la herramienta “copy raster” en ArcMap10.1.

Para modificar la resolución espacial usamos la herramienta “resample” en donde ingresamos el archivo ráster a modificar e indicamos el valor en “x” y en “y”, que en nuestro caso es 15 m. Es importante recalcar que aun cuando el tamaño de pixel original es muy cercano a 15 m no es funcional si no es exactamente 15 m, puesto que entonces ambas matrices estarían desfasadas provocando un error en el análisis debido a que el software evalúa los criterios pixel a pixel por lo que es indispensable la homogenización de las resoluciones.

En el caso del ráster de acumulación de flujo, el cual nos indica un dato crudo del número de corrientes que desembocan en cada pixel, necesitamos “reclasificar” sus datos de tal manera que nos digan la cantidad de escurrimiento sin ocupar tanto espacio (recordemos que hemos reducido nuestra capacidad de almacenamiento de 32 a 8 bits); entonces ocupamos la herramienta “reclassify²²” (ArcMap 10.2.1) en donde una vez ingresada la capa, establecimos el número de clases y los intervalos en los cuales fueron agrupados los valores. Primero checamos los valores máximos y mínimos de la zona de estudio y en base a ellos asignamos los valores para cada uno de los cuatro grupos que decidimos crear.

Al ráster de acumulación de flujo ya reclasificado le realizamos los procesos antes descritos para asignarle las resoluciones deseadas.

Por último, antes de empezar a trabajar en IDRISI nos aseguramos que todos nuestros archivos ráster se encontraran en un formato sin compresión (.tif), de lo contrario no nos hubiera sido posible importarlos.

6.2.4. Procesamiento de las restricciones

Una vez clasificados los criterios y homogeneizadas las escalas, se procedió a preparar los insumos para su utilización en el análisis Multicriterio.

En el caso de los polígonos del basurero anterior, asentamientos humanos locales y manglares dentro de la localidad, se combinaron todos en una sola capa estableciendo clases para posteriormente hacer una reclasificación donde se elaboró un ráster donde dichos polígonos se marcaron con valor de 0 y el resto del territorio como valor de 1; de tal manera que cuando se realizan las operaciones matriciales los polígonos con valor de 0 quedan automáticamente

²² Reclasifica o cambia los valores en un ráster. La herramienta está diseñada para permitir al usuario cambiar fácilmente muchos valores en un ráster de entrada por nuevos valores deseados, especificados o alternos. La reclasificación se realiza principalmente por tres motivos: Reemplazar valores basados en nueva información, Agrupar valores, Re-escalar los valores de una serie de archivos ráster a una escala común (ESRI 2013).

fuera de consideración. Lo mismo se hizo con la capa de litología aluvial y el mar, aunque estas dos se hicieron por conveniencia en capas diferentes.

6.2.5. Procesamiento de los factores

Hasta el momento, cada capa contenía valores de acuerdo al tema que trataba por lo que fue necesario ponerlas en función de la aptitud hacia nuestra actividad. Esto lo logramos con la herramienta “fuzzy” en IDRISI selva.

Este geoproceto nos permitió definir las aptitudes relativas de nuestros criterios factores (pendientes, NDVI, acumulación de flujo) los cuales son los más relevantes para nuestro modelo puesto que son los que al final determinarán durante el MCE la aptitud general del territorio.

a. Pendientes.

Para el ráster de pendientes elegimos una función J shaped y una escala en el intervalo del 0 al 1 donde 0 corresponde a la superficie no apta y 1 a superficies muy aptas.

Seleccionamos como “membership function shape” la forma “monotonically decreasing” e indicamos el intervalo de valores que cumplen con la condición deseada, en el caso de “identificación de planicies aluviales” las pendientes de 0 a 10 son consideradas planicies y las áreas con “pendientes > 10” son consideradas con menor aptitud (control point a: 0, control point b:10). Con esto generamos una capa donde se clasifica el área de estudio de acuerdo al grado de cumplimiento del criterio especificado (en este caso, terrenos con valores de pendiente de 0 a 10).

Esta capa nos sirvió también para incluir un criterio adicional: descartar pendientes pronunciadas, ya que en general para construcción es mucho más deseable tener un terreno plano y, por supuesto, esté alejado de los cauces principales. A esta capa se le llamó “Slope”.

b. NDVI

Nuevamente aplicamos la herramienta “fuzzy” esta vez para poner los valores del NDVI en función de la aptitud para nuestra actividad. Elegimos una función Sigmoidal y una escala en el intervalo del 0 al 1 donde 0 corresponde a la superficie no apta y 1 a superficies muy aptas; seleccionamos como “membership function shape” la forma “monotonically increasing” e indicamos el intervalo de valores que cumplen con la condición deseada, en este caso el valor máximo del NDVI es 0.5 y se consideró como “zonas de vegetación más abundante” aquellas con valores de NDVI que oscilen entre 0.34 a 0.5 (control point a: 0.34, control point b:0.5).

Por la manera en como el programa arroja los resultados, fue necesario invertir los valores de tal manera que las zonas de recarga de acuífero tuvieran los valores bajos de aptitud y los demás valores de aptitud van incrementando monótonamente conforme se alejan de dichas zonas. A esta capa se le llamó “NDVI reversa”.

En la Tabla 7 podemos observar más claramente los valores de aptitud que se establecieron, siendo una mala aptitud las pendientes mayores a 10° (lo cual supone que ya no se trata de una planicie) y siendo para el NDVI una mala aptitud los valores menores a 0.34.

Tabla 7. Definición de grado de aptitud de los factores (fuzzy). Elaboración propia.

Variables factores	Grados de aptitud	
	Buena	Mala
Pendientes	0-10	>10
NDVI	0.34-0.5	<0.34
Acumulación de flujo	>200	<200

c. Acumulación de flujo.

Es importante mencionar que para que podamos usar la herramienta fuzzy nuestros datos deben ser continuos, de lo contrario ya no habría necesidad de realizar este procedimiento pues ya tendríamos clases bien definidas que cumplen o no cumplen con los parámetros, como lo que sucedió con el ráster de litología.

De igual manera para el ráster de acumulación de flujo hay dos clases: las zonas con acumulación y sin acumulación. Por esto procedimos a crear un ráster donde las zonas de acumulación correspondan a una clase y todo el demás territorio corresponda a otra por medio de la herramienta reclass.

Una vez hecho esto, se realizó un análisis fuzzy al ráster de zonas de acumulación donde la variable a considerar fue la distancia a las zonas de acumulación, puesto que nuestro criterio no es solo evitar dichas zonas, sino también el área circundante. Para esto especificamos en el software que la función es de tipo lineal y de la forma monótonamente creciente, puesto que la aptitud del terreno siempre incrementará conforme nos alejemos de las zonas de acumulación. Como puntos de control se determinaron 0 y 200, pues se consideró suficiente dejar una zona de amortiguamiento de 200 m (Tabla 7). A esta capa se le llamó "Suit Rio".

Por último, en la Tabla 8 observamos que al final, en nuestro modelo solo 3 criterios de los 9 iniciales fueron relevantes para la localidad, vemos las capas que se usaron para cada criterio y su tratamiento en un entorno SIG.

Tabla 8. Resumen de la etapa de Desarrollo del modelo de aptitud del territorio con enfoque espacial de acuerdo a los criterios de la NOM-083 SEMARNAT-2003. Elaboración propia

Criterio Norma	Capa inicial	Tratamiento en SIG
1. Evitar planicies aluviales	Pendientes Litología Acumulación de flujo	<ul style="list-style-type: none"> • Fuzzy (establecimiento de aptitud) • Window (recorte) • Copy ráster (Resolución radiométrica) • Resample (Resolución espacial) • Reclassify (Resolución radiométrica) • Reclass (creación de mapas de restricción) • Overlay (combinación de dos capas)
2. Evitar zonas de recarga de acuífero	NDVI Acumulación de flujo (buffer)	
3. Evitar Zonas de inundación y escurrimiento superficiales perennes	Acumulación de flujo (buffer)	

6.3. Clasificación del territorio de acuerdo al modelo espacial de aptitud.

Para la clasificación del territorio, procedimos a concentrarnos en los criterios establecidos en el modelo de aptitud y los analizamos de tal manera que fuera posible identificar áreas que cumplieran con todos o la mayor parte de ellos para lo que ocupamos la herramienta de Evaluación Multicriterio (MCE, por sus siglas en inglés) de IDRISI Selva.

En nuestro caso las restricciones utilizadas fueron: los asentamientos humanos dentro de la localidad, manglares a nivel localidad, litología aluvial, el basurero anterior y el mar. Estos archivos deben ser “mapas booleanos²³” con valores de “0” en las áreas que serán excluidas y valores de “1” en el resto del territorio.

Por otro lado, los factores que utilizamos en esta herramienta para evaluar la aptitud del territorio fueron las capas “slope”, “NDVI reversa” y “Suit rio” (Tabla 9). Hay que recordar que estos archivos fueron previamente tratados en la herramienta “fuzzy” para que todos estuvieran en la misma escala de 0 a 1 con respecto al grado de aptitud para nuestra actividad. Por último, es posible establecer una ponderación a cada criterio lo que nos abre la posibilidad de plantear distintos escenarios en los que podemos: (1) dar igual importancia a todos los criterios y (2) dar diferentes grados de importancia a los criterios. Dependiendo del número de criterios es el número de escenarios posibles, tomando en cuenta todas las posibles combinaciones. En nuestro caso decidimos darle igual ponderación a todos los criterios.

²³ Que solo muestran las áreas que cumplen con una condición (1= verdadero) y las que no la cumplen (0= falso). Son también llamadas condiciones lógicas pues solo muestran relaciones de “verdadero y falso” (Eastman 2012).

Tabla 9. Resumen de Criterios utilizados en el Análisis Multicriterio. Elaboración propia.

Restricciones	Factores
Asentamientos humanos locales	Capa Slope
Manglares localidad	Capa NDVI reversa
Litología aluvial	Capa Suit Rio
Basurero anterior	
Mar	

Capítulo VII

Resultados y discusiones

7.1. Evaluación de los criterios de selección establecidos en la NOM-083 SEMARNAT-2003

7.1.1. Descripción del área de estudio

De acuerdo a Fernández-Castellanos (2014), a falta de información cartográfica de fuentes oficiales, el polígono de la localidad lo determinó por medio de entrevistas y recorridos en campo donde los pobladores identificaron como puntos clave de delimitación geográfica: el cerro frente a la pequeña bahía de Playa Camarón, la cima del Cerro Zipolite, la ranchería El Carnero y el camino contiguo que va hacia Puerto Ángel hasta que se encuentra a la altura de la desviación de la carretera 200. Al tomar en cuenta estos puntos resulta un polígono de 3.9 km², que colinda al Oeste con la comunidad de Arroyo tres (municipio de Santa María Tonameca), al Norte con la ranchería El Carnero (municipios Santa María Tonameca y San Pedro Pochutla), al Este con Puerto Ángel, y al Sur con el Océano Pacífico (Figura 2). Los montes con pendientes mayores al 35% están cubiertos por selva mediana caducifolia. Existen zonas con material aluvial donde no hay vegetación arbórea permitiendo el desarrollo

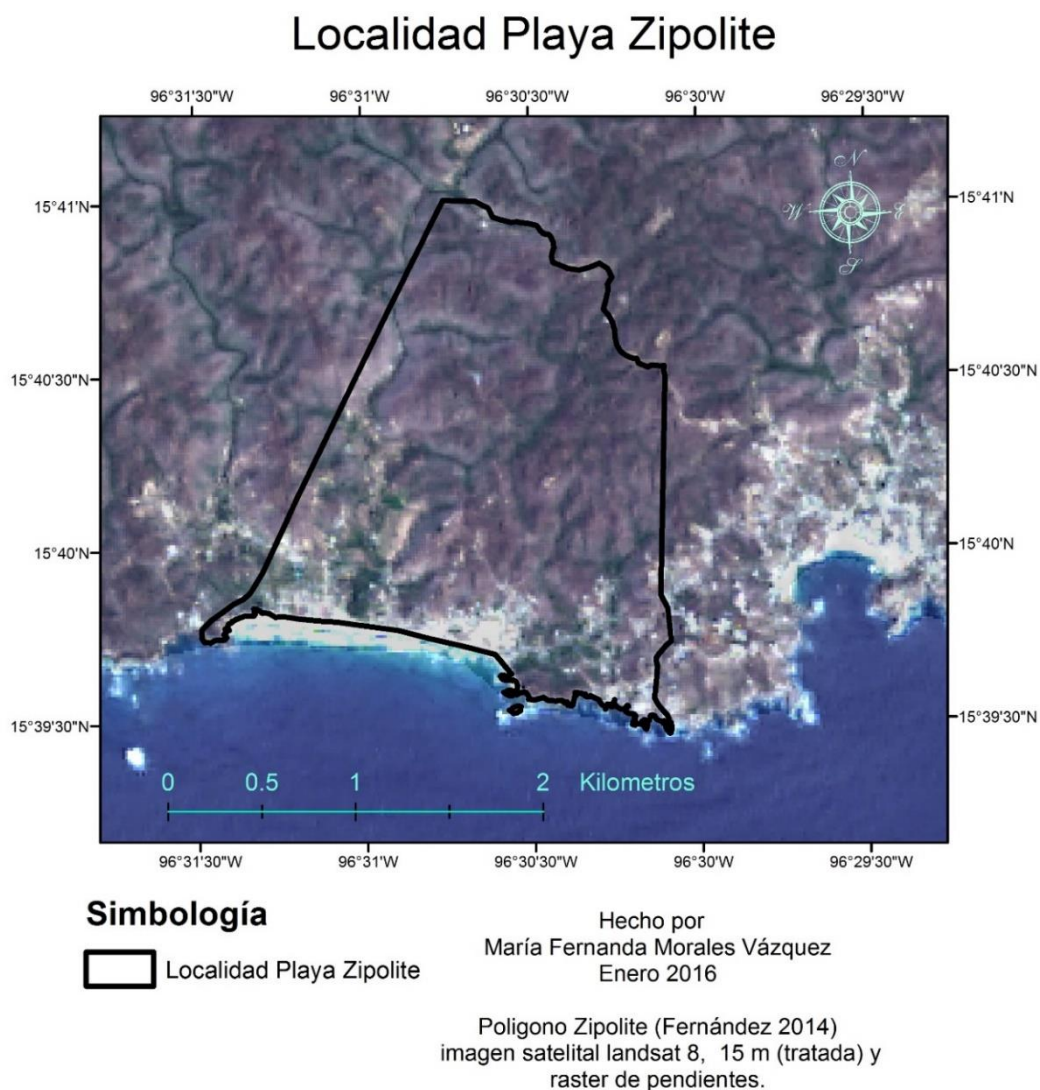


Figura 2. Ubicación del área de estudio

de especies arbustivas y florales. Frente a la playa central se encuentran dos planicies entre montañas donde el suelo cuenta con una capa superficial arenosa pero es rico en limo y arcilla en sus intersticios. Por tanto, es apto para el desarrollo de pastos, lirios, bejucos, matorrales, palmeras, y árboles de baja estatura. Es aquí donde se encuentran los asentamientos humanos (Fernández-Castellanos 2014).

El territorio de Playa Zipolite también cuenta con esteros donde el escurrimiento pluvial se concentra y rompe con cierta periodicidad el cordón de arena que lo separa del mar. Se caracterizan por una pendiente muy suave y mantienen una vegetación hidrófila y halófila como: mangle blanco, mangle rojo, bejucos y matorrales (Fernández-Castellanos 2014).

En la localidad hay dos playas: Playa Zipolite y Playa del amor. Playa Zipolite mide 1.54 km de largo, con un ancho variable debido al fuerte oleaje y al consecuente movimiento de arenas de grano mediano en ciertas temporadas del año. Playa del amor es una pequeña playa de aproximadamente 2.3 Km² que se ubica al sureste de la localidad; encerrada entre rocas que le permiten una salida al mar de 44 m de longitud con orientación al Oeste, y otra pequeña de apenas 4 m con orientación al Sur (Fernández-Castellanos 2014).

7.1.2. Evaluación de los criterios establecidos en la norma.

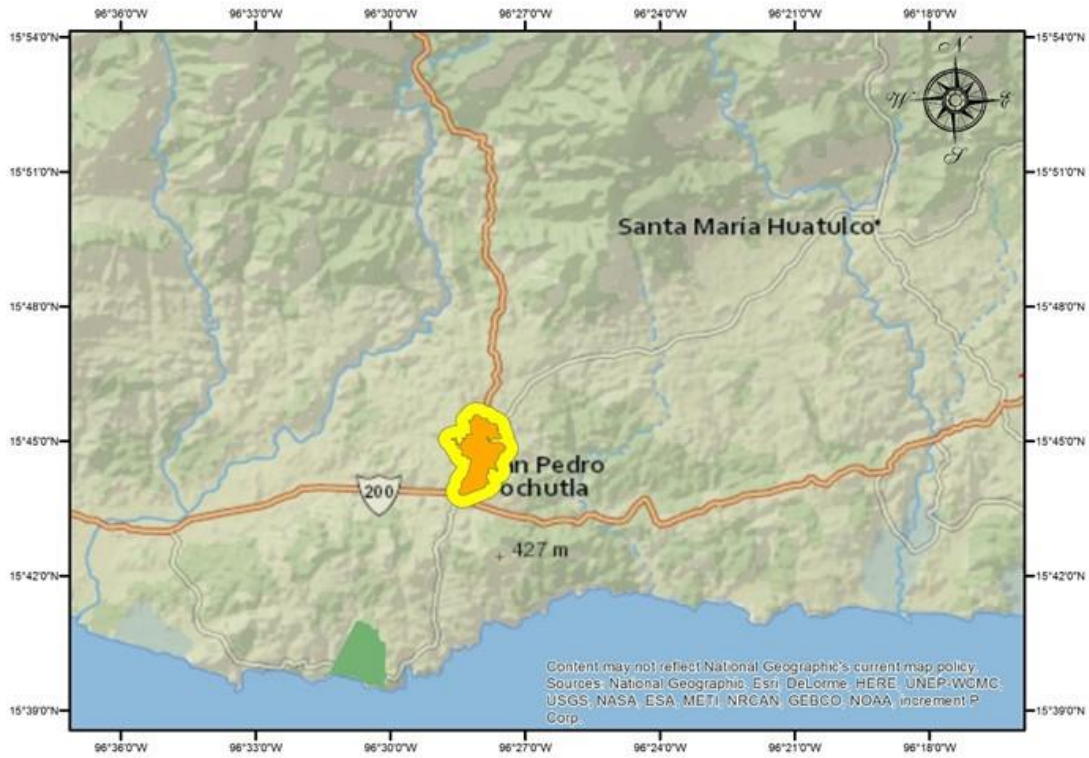
De la totalidad de criterios que incluye la norma, no todos aplican a nuestra área de estudio; este resultado fue obtenido a partir de la evaluación visual de la superposición de varias de las capas de información sin tratar, donde se evidencia cuales criterios influyen en la localidad y cuáles no.

Distancia a aeropuertos

Aun cuando se conoce que los aeropuertos más cercanos se encuentran en las ciudades de Puerto Escondido y Bahías de Huatulco (a una distancia de 73.4 Km y 41.5 Km respectivamente) se realizó la Figura 3.

En este mapa podemos observar a los aeropuertos de Puerto escondido y Huatulco, rodeados cada uno por una circunferencia azul la cual delimita los 13 Km determinados por la norma como límite (aunque es posible establecer un sitio de disposición final dentro de esos 13 Km siempre y cuando se realice el estudio de riesgo aviario que determinará la distancia adecuada); en contorno amarillo observamos el municipio de San Pedro Pochutla, y dentro de este polígono observamos uno más pequeño de color verde el cual representa, nuestra área de estudio, Playa Zipolite. Por tanto, en el mapa es claro que Playa Zipolite está mucho más lejos de ambos aeropuertos que lo que la norma establece como límite, por tanto dicho criterio quedó descartado.

Distancia mínima de Población de más de 2500 habitantes



0 3.5 7 14 Kilómetros

Simbología

- Localidad Playa Zipolite
 - Buffer 500m
 - Localidad San Pedro Pochutla
- NatGeo_World_Map

Hecho por:
María Fernanda Morales Vázquez
Noviembre del 2015
con mapa base de National Geographic
para ESRI
y con capas de polígonos de localidades
geoestadísticas y división política de INEGI

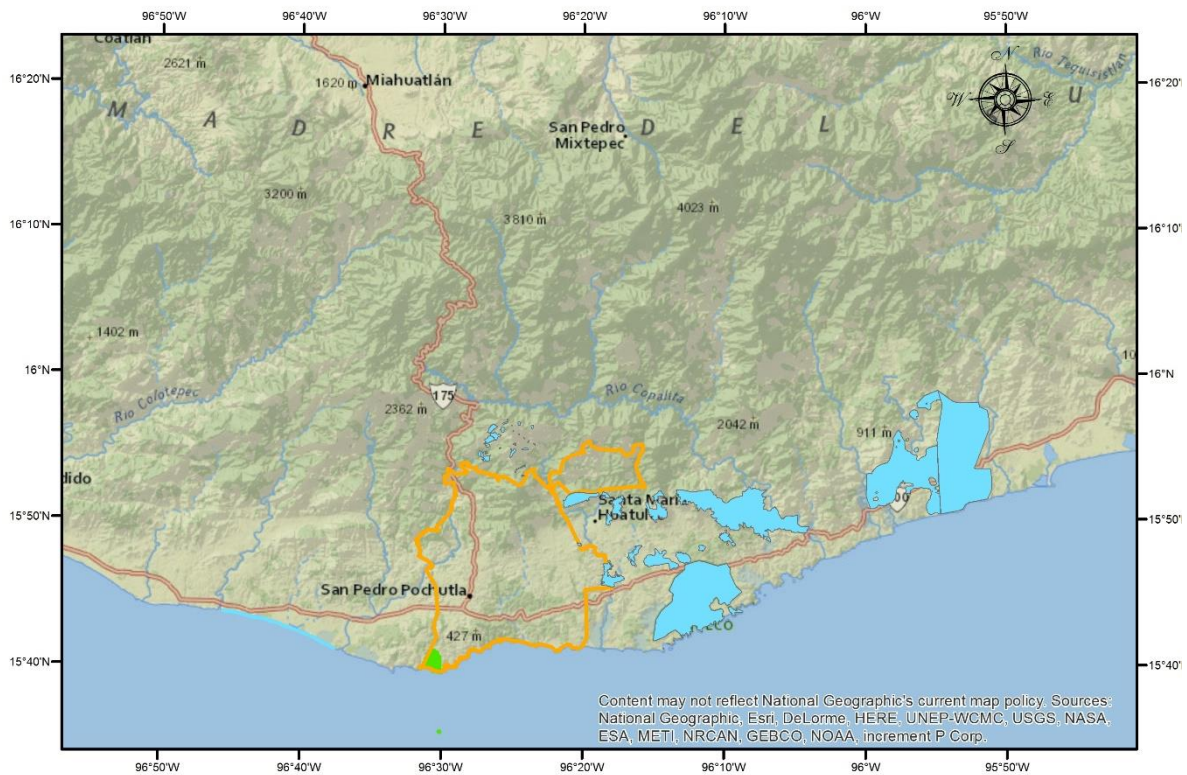
GCS WGS 1984
Datum WGS

Figura 3. Mapa del criterio "distancia a aeropuertos". Elaboración propia

Áreas Naturales Protegidas

En cuanto a las ANP en la Figura 4 las podemos observar en los polígonos de color azul y, como es notorio, ninguna poligonal se superpone con el polígono de nuestra localidad, por lo que este criterio quedó descartado.

Playa Zipolite y ANP cercanas



0 10 20 40 Kilómetros

Simbología

- ANP federales
 - PolígonoMunPochutla
 - PolígonoZipolite
- NatGeo_World_Map

Hecho por:
María Fernanda Morales Vázquez
Noviembre 2015
Con mapa base National Geographic
para ESRI
y capas de división política, ANP federales y
ANP voluntarias de INEGI

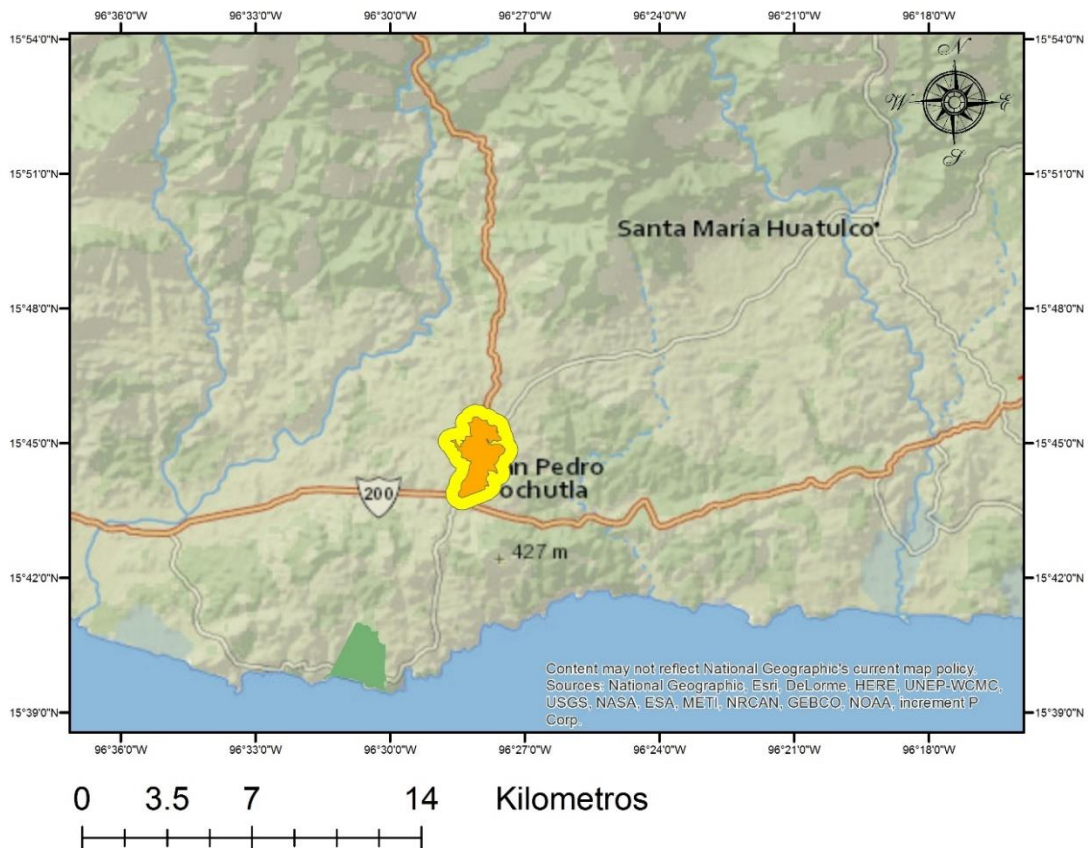
North America Lambert Conformal Conica
North American 1983

Figura 4. Mapa del criterio "evitar ANP". Elaboración propia.

Localidades con más de 2500 habitantes

En la Figura 5 observamos la poligonal de la ciudad de Pochutla de color naranja, y alrededor el polígono que delimita los 500 m que la norma indica como límite para poder establecer un sitio de disposición final; el polígono de Playa Zipolite (color verde) está fuera de este límite, por lo cual el criterio quedó descartado.

Distancia mínima de Población de más de 2500 habitantes



Simbología

- Localidad Playa Zipolite
 - Buffer 500m
 - Localidad San Pedro Pochutla
- NatGeo_World_Map

Hecho por:
María Fernanda Morales Vázquez
Noviembre del 2015
con mapa base de National Geographic
para ESRI
y con capas de polígonos de localidades
geoestadísticas y división política de INEGI

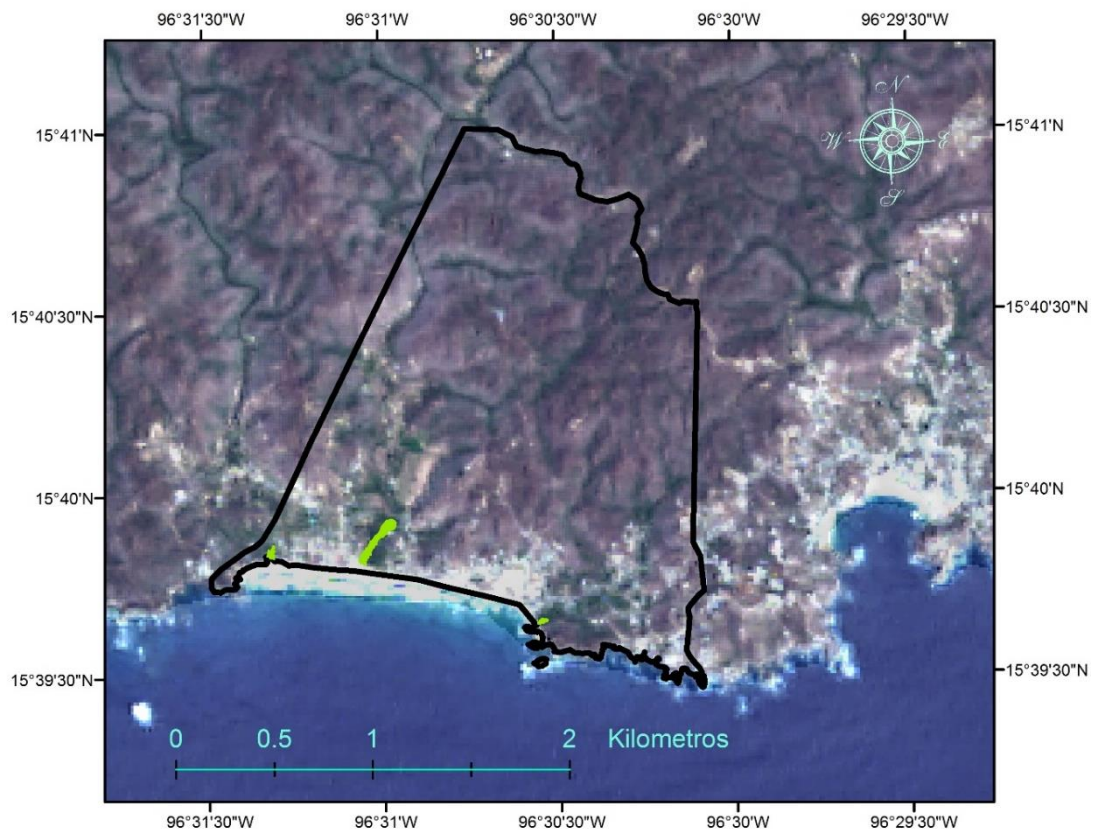
GCS WGS 1984
Datum WGS

Figura 5. Mapa del criterio "Distancia de la traza urbana de localidad de más de 2500 habitantes". Elaboración propia.

Humedales

En la Figura 6 observamos en el plano más grande, a escala de la localidad, que si existen algunos manchones de humedales dentro de la localidad, por lo cual este criterio no fue como tal descartado sino que en la etapa de clasificación del territorio se tomó como una restricción. Además de manera complementaria se incluyó en el mapa el resto de los humedales cercanos a Playa Zipolite.

Humedales

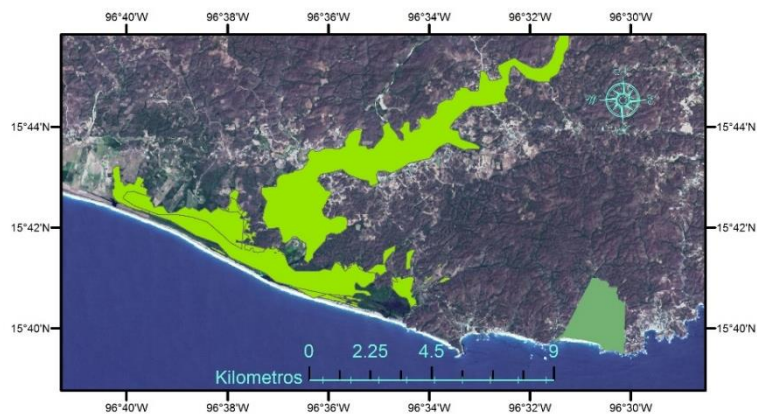


Simbología

 Humedales

Hecho por
María Fernanda
Morales Vázquez
Enero 2016

Inventario Nacional
de Humedales (INEGI)
Manglar en Zipolite
(Fernández 2014)
imagen satelital landsat 8,
15 m (tratada) y
raster de pendientes.



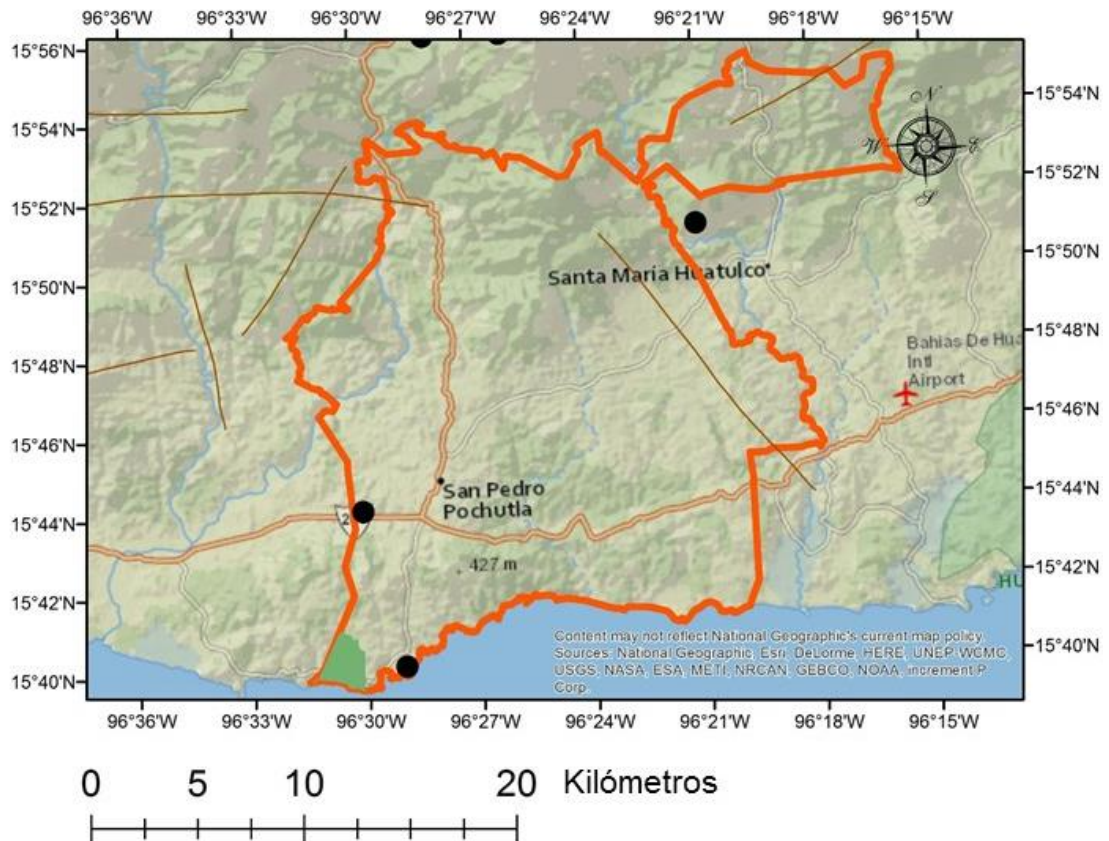
WGS 1984 UTM zone 14N

Figura 6. Mapa del criterio: "Evitar humedales". Elaboración propia.

Cavernas, Fracturas y fallas geológicas

En la Figura 7 observamos las fallas y minas cercanas a Playa Zipolite, pero como se puede ver no hay ninguna dentro del polígono de la localidad, por lo que el criterio fue descartado y no fue considerado en el modelo desarrollado en la siguiente fase.

Fallas, fracturas y minas en Playa Zipolite



Simbología

- MinasOax
- FallasOax
- PoligonoZipolite
- ▭ PoligonoMunPochutla
- NatGeo_World_Map

Elaborado por
María Fernanda Morales Vázquez
Noviembre 2015
Municipios de Oaxaca:
recorte San Pedro Pochutla
Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos.
Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000
INEGI

Figura 7. Mapa aproximado del criterio "Evitar Cavernas, fallas, fracturas geológicas". Elaboración propia

Escurrimientos superficiales

En la Figura 8 observamos la red hidrológica para Playa Zipolite donde podemos observar que todos los escurrimientos dentro del área de estudio son escurrimientos superficiales intermitentes, y en la norma marca “*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*”, por lo que no es necesario considerar esta distancia desde los escurrimientos intermitentes. Sin embargo, se consideró dentro de los criterios una zona de amortiguación de 200 m a partir de dichos escurrimientos; no se consideraron los 500 m por el tamaño del territorio, pues esto reduciría mucho el terreno elegible.

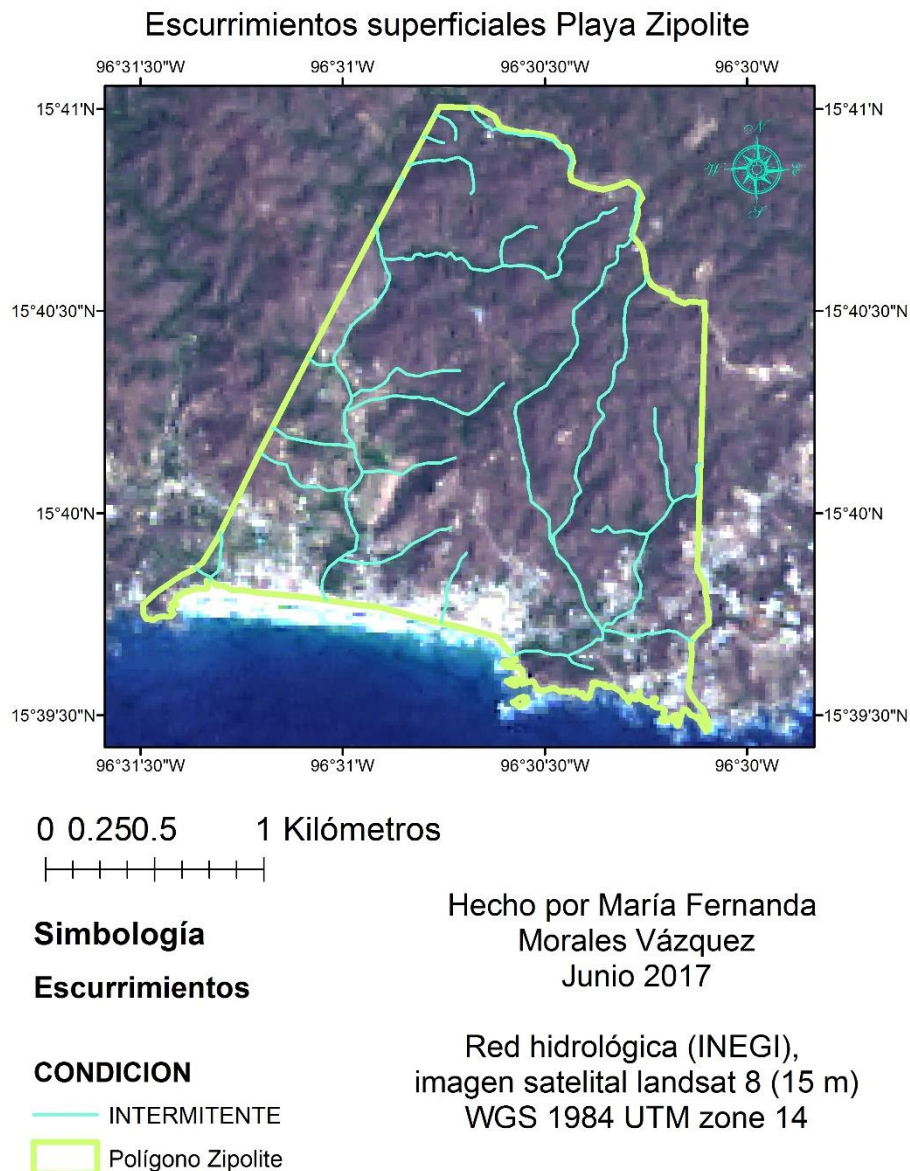


Figura 8. Cuerpos de agua superficiales (escurrimientos) en Playa Zipolite. Elaboración propia.

Resultados parciales de la evaluación de los criterios establecidos por la norma

Para los criterios de planicies aluviales, zonas de recarga de acuífero y zonas de inundación no se obtuvieron resultados finales en esta etapa, pues lo que la evaluación nos reveló acerca de ellos es que es conveniente usarlos como base de nuestro modelo de aptitud territorial al ser nuestro territorio susceptible a las variables de litología, pendientes, acumulación de flujo y NDVI las cuales, hasta el momento en su mayoría eran continuas, por lo que fue necesario darles un tratamiento posterior. Sin embargo de esta etapa se obtuvieron las capas base a ser utilizadas en la siguiente etapa las cuales se mencionan en la Tabla 10 como resultados parciales.

De acuerdo a Sumathi *et al.* (2007) el procedimiento de selección de sitio debe de hacer un uso máximo de toda la información disponible y asegurarse de que el resultado del proceso es aceptable para la mayoría de los actores principales.

En nuestro caso, usamos el máximo de información que se pudo obtener de las bases de metadatos nacionales e incluso internacionales (imágenes satelitales landsat 8) para considerar los criterios de la NOM-083 SEMARNAT-2003, al ser la única que contempla la selección de sitios para la disposición final de RSU y al tratar de definir dichos criterios en función a las capas geográficas y geoprocesos disponibles pudimos observar que contiene ambigüedades conceptuales lo cual dificulta su aplicabilidad ya que, al dejar libre a la interpretación la definición de los criterios más complejos, se fomenta que no haya una uniformidad metodológica y que cada usuario defina los criterios según su conveniencia.

Tabla 10. Resumen de resultados de la evaluación de los criterios establecidos en la norma. Elaboración propia

Resultados finales	Resultados parciales
Mapa de localización del área de estudio	Capa de pendientes
Mapa aeropuertos	Capa de litología
Mapas ANP	Capa de acumulación de flujo
Mapa localidades con hab>2500	Capa NDVI
Mapa de humedales	
Mapa de cavernas, fracturas y fallas	

7.2. Desarrollo del modelo de aptitud del territorio con enfoque espacial de acuerdo a los criterios establecidos en la NOM-083 SEMARNAT-2003.

A pesar de que no contamos con los insumos geográficos ideales para nuestra área de estudio, ya que nuestra área es una localidad de tamaño reducido y los insumos disponibles están enfocados en el análisis de espacios territoriales más amplios, el uso de éstos en un entorno SIG nos brindó la posibilidad de considerar grandes cantidades de información de manera conjunta dándonos la oportunidad de poder observar el panorama completo lo que representó una gran ventaja para poder discriminar algunos criterios y añadir otros con la finalidad de elaborar un análisis de aptitud lo más específico posible para el área de estudio.

De la totalidad de criterios que contempla la norma, los descartados en el modelo de aptitud de territorio fueron: distancia mínima a aeropuertos, ANP, distancia mínima a la población más próxima con más de 2500 habitantes, zonas arqueológicas, cavernas, fracturas y fallas, y distancia mínima a cuerpos de agua permanente.

Mientras que los criterios determinantes dentro de nuestro modelo fueron: planicies aluviales, zonas de recarga de acuífero y zonas de inundación.

Por medio del desarrollo del modelo de aptitud del territorio se obtuvieron resultados parciales que fueron la base para el análisis MCE.

Uno de los geoprocursos centrales de esta etapa del trabajo fue “fuzzy”: herramienta que proporciona distintas funciones mediante las cuales podemos evaluar cada criterio en cada punto del territorio. La idea es que concibe a la aptitud como una variable continua, es decir, con un amplio espectro de valores entre 0 (completamente no apto) y 1 (completamente apto) que es como realmente están distribuidas las variables espaciales naturalmente. Lo primero que nos ayuda a definir el grado de aptitud del territorio respecto a una variable específica son las cifras de corte, las cuales se tomaron de acuerdo a la literatura disponible, como ya se indicó en su momento oportuno en la metodología. El siguiente factor es la función a elegir, y para esto no hay algo escrito sino que con base en otras investigaciones similares, en conocimiento experto o por prueba y error, se elige una función que posteriormente debe ser corroborada por los datos de muestreo en campo.

De acuerdo a Bello (2006) El comportamiento de los modelos usados puede ser solamente tan bueno como los datos que se les ingresan. La disponibilidad de datos con una mayor resolución y detalle y a mayor escala, junto con el desarrollo de estudios experimentales futuros pueden mejorar el conocimiento y la decisión en los factores más limitantes y qué valores límite serían los más apropiados en la determinación de la aptitud. Nosotros usamos el método de prueba y error, aunque como lo describe Bello (2006) lo que es verdaderamente importante en el comportamiento de un modelo es la calidad de los insumos usados.

Por tanto, este trabajo representa una primera aproximación de la evaluación de aptitud del territorio. Sin embargo, es lo suficientemente sistemática y flexible para incorporar nuevos datos que puedan contribuir a mejorar los modelos de aptitud de acuerdo a diferentes opiniones expertas y datos obtenidos de la verificación en campo. Por lo que el área señalada como más apta debe evaluarse de manera física antes de ser usada para la disposición de los RSU.

Resultados parciales del desarrollo de modelo de aptitud del territorio

Pendientes

En la Figura 9 observamos la capa denominada “slope” la cual es el resultado del análisis fuzzy de pendientes que se realizó con cifras de corte de 0 a 10° como aptitud buena, por lo que en la Figura 9 observamos una escala de valores de 0 a 1 donde, 1 significa que es muy apto y 0 poco apto. Esta capa se utilizó

como factor para aumentar la probabilidad de que nuestro sitio sea lo más plano posible.

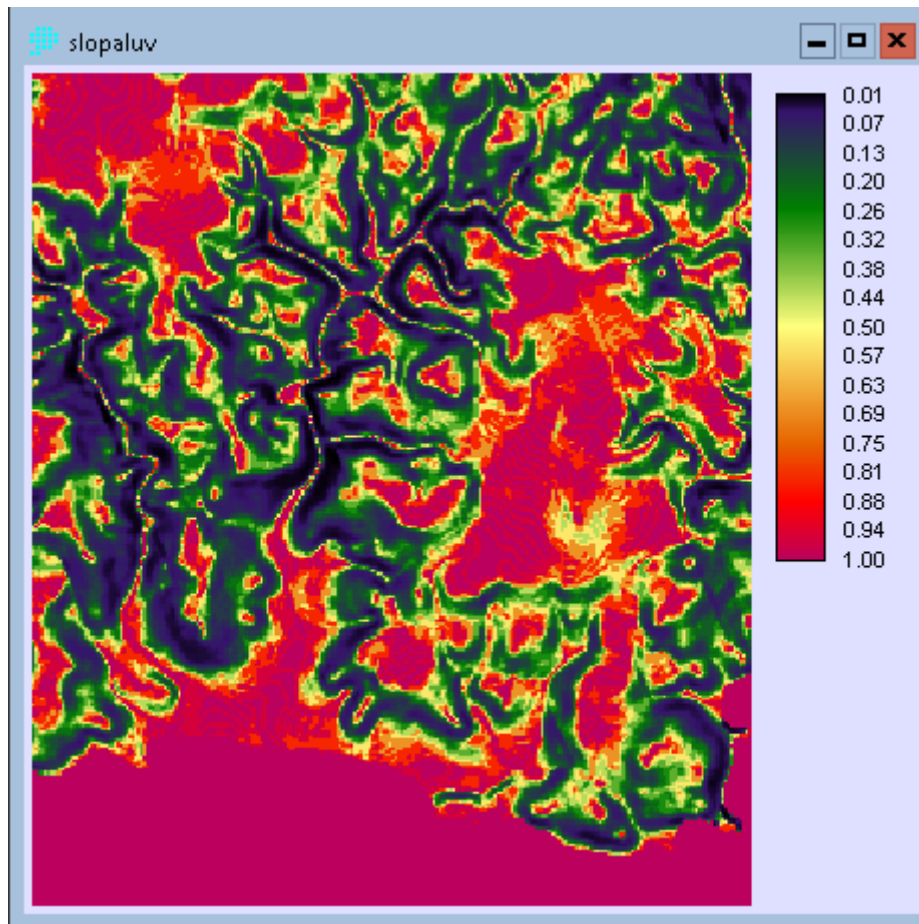


Figura 9. Capa "slope" resultado de análisis fuzzy de pendientes. Elaboración propia.

NDVI

En la Figura 10, podemos observar la imagen NDVI con sus valores regulares y vemos que oscilan entre -0.26 a 0.53, posteriormente por medio del análisis fuzzy estos valores se pusieron en función de la aptitud del territorio donde se eligió como buena aptitud (para zona de recarga de acuífero) los valores de NDVI más altos. Sin embargo, en realidad lo que es apto para una zona de recarga de acuífero, no es apto para la disposición de RSU por lo que se invirtieron los valores de aptitud como vemos en la Figura 11 donde las zonas que tenían los valores altos de NDVI, ahora corresponden aptitudes bajas.

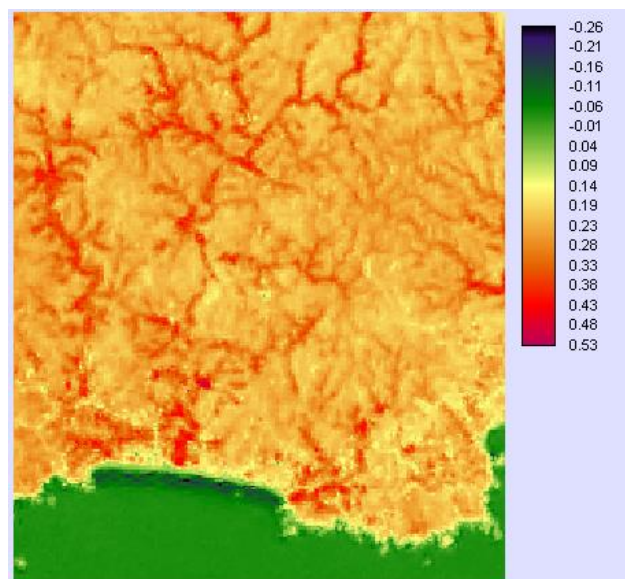


Figura 10. Valores de NDVI regulares. Elaboración propia

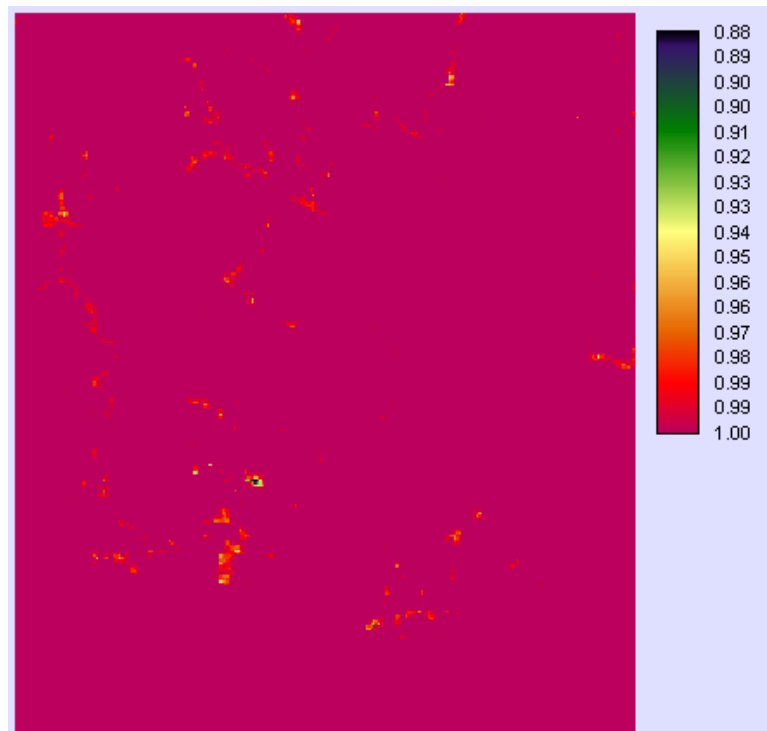


Figura 11. NDVI con valores inversos. Elaboración propia.

Acumulación de flujo

Un factor importante para determinar la aptitud del territorio para la disposición de los RSU es la distancia existente entre un sitio y las principales zonas de acumulación de flujo; como se mencionó en la metodología, la norma no nos exige considerar un espacio de amortiguamiento si los cauces no son perennes, sin embargo se consideró un espacio de 200 m a partir de los cauces principales resultando la capa "Suit Rio" que se muestra en la Figura 12; en dicha figura podemos observar la zona de amortiguamiento de 200 m a partir de los cauces en color negro y con valor de aptitud "0", es decir marcadas como no aptas, y observamos como gradualmente van creciendo los valores de aptitud. Esta capa fue el tercer factor utilizado para el MCE.

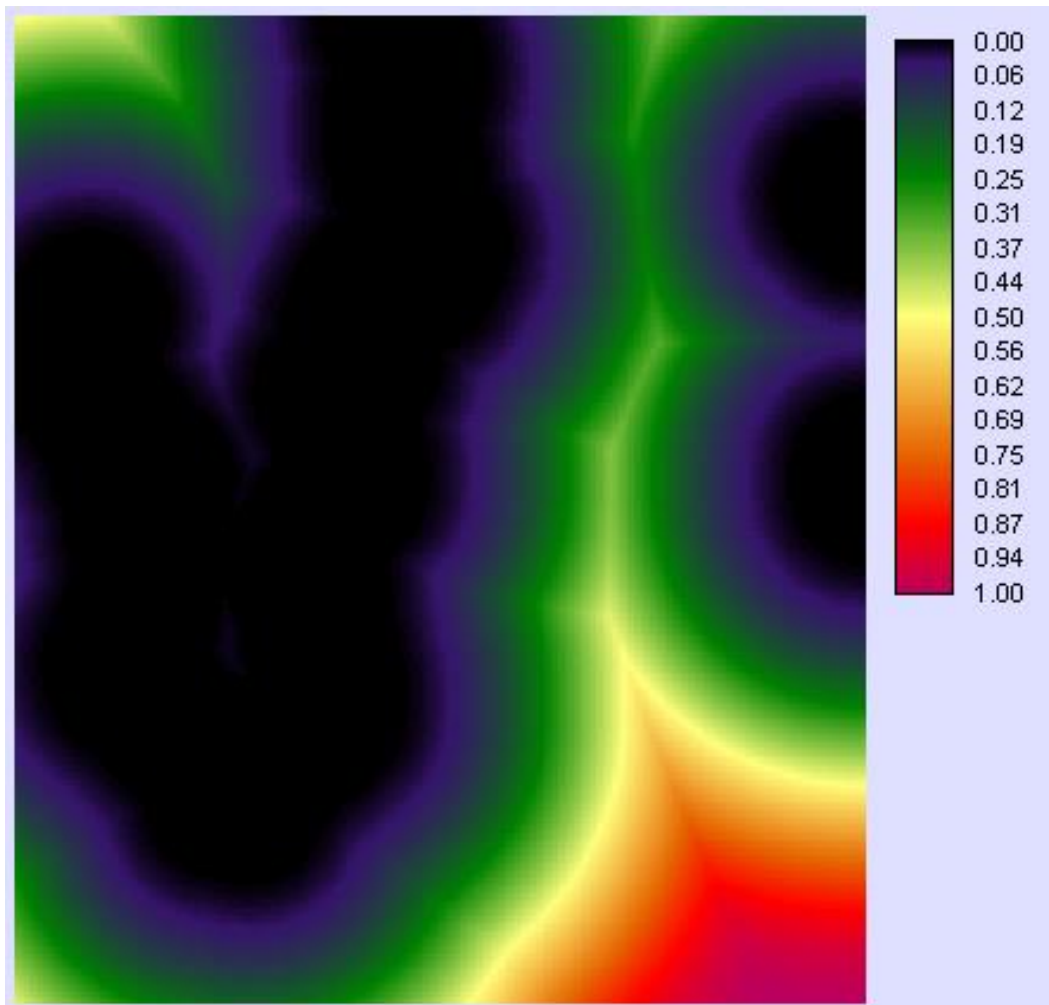


Figura 12. Capa "Suit rio" resultado de un análisis fuzzy de distancia desde zonas de acumulación de flujo. Elaboración propia.

7.3. Clasificación del territorio de acuerdo al modelo espacial de aptitud.

La clasificación del territorio se llevó a cabo mediante el análisis MCE que, una vez determinada la aptitud por cada criterio de manera individual, combina los criterios para darnos una sola base para la toma de decisión que toma en cuenta todas las restricciones y factores determinantes para tener un panorama completo. El uso del MCE del software IDRISI selva nos brindó las capacidades de análisis para integrar y transformar estos datos en un solo resultado; lo que confirma lo enunciado por Sumathi *et al.* (2007): "un método MCDM basado en SIG integra y transforma datos espaciales y no espaciales en una decisión".

La evaluación multicriterio fue posible mediante combinaciones del conjunto de criterios seleccionados para lograr una sola base compuesta para una decisión de acuerdo a un objetivo específico: la disposición final de RSU. Y de esta manera poder obtener la clasificación del territorio con respecto a la aptitud para dicho objetivo, este resultado es el que en un momento dado los tomadores de decisiones utilizarían como guía para tener identificada el área con mayor potencial que se tiene que analizar en campo para poder tomar la decisión. Y después de todo, no dejar de lado lo que dice Venegas (2007): recordar que la evaluación de la tierra es solamente una parte de la planificación de la tierra, por

tanto, ambas constituyen dos actividades concomitantes, secuenciales; hacer primero la evaluación y después planificar.

Observamos en la Figura 13 la clasificación del territorio de acuerdo a la aptitud que tiene para la disposición final de RSU, que alcanza valores de 0 a 0.92 lo que indica el grado de aptitud del territorio para la disposición final de RSU, siendo 0 el valor más bajo y 0.92 el valor más alto.

En color gris (con valor de aptitud cero) se observan las restricciones definidas las cuales fueron: asentamientos humanos dentro de la localidad, manglares, litología aluvial, el basurero anterior y el mar.

Los valores más altos de aptitud, que van de 0.6 a 0.92 (tonos azul índigo y azul rey), se encuentran al Noreste de la localidad (donde colinda con Puerto Ángel y el carnero), así como en el área cercana al faro.

El área cercana al faro debe de analizarse con más detalle pues ahí hay asentamientos humanos más dispersos (no considerados debido a la resolución usada), y no es tan conveniente por su cercanía con el litoral ya que podría suscitarse un deslave de los residuos hacia el mar; además de que la confiabilidad de los Modelos Digitales de Elevación (MDE) tiende a disminuir conforme se acerca a la línea de costa. Entonces estas áreas, aunque tienen valores de aptitud aceptables (0.6 a 0.7), deben de tratarse con recelo y para ser consideradas es deseable realizar estudios más específicos para conocer la litología del lugar y así evitar la infiltración de los lixiviados.

Por otro lado, los valores de aptitud más bajos, de 0 a 0.4, son las partes del territorio que coinciden con la red hidrológica lo que puede ser interpretado como un indicador indirecto de erosión durante la temporada de lluvias, por lo que las planicies localizadas entre estos surcos es posible que contengan material aluvial aunque no esté reportado por el SGM, pues hay que recordar que la resolución del proxy utilizado no es el más conveniente para trabajar a nivel localidad.

Por tanto se considera que el área potencialmente más apta para la disposición de RSU es la que se encuentra al Noreste de la localidad, sin dejar de tomar en cuenta las limitaciones de la información disponible al momento de realizar este trabajo. Debido no solamente a sus altos valores de aptitud sino también a que se encuentra fuera de los surcos atribuidos al drenaje de las avenidas y es la zona más grande en donde se observa una mayor continuidad y consistencia de los valores de aptitud. Dicha zona cuenta con 304550 m² continuos con valores de aptitud entre 0.7-0.92 (el intervalo más apto y deseable).

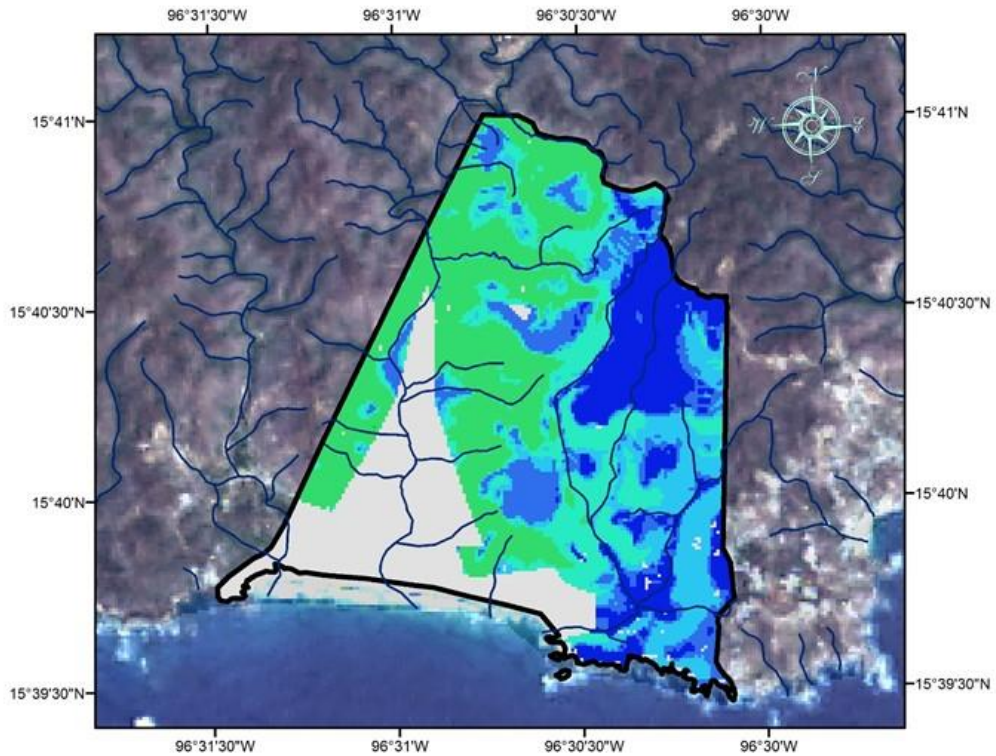
La continuidad de los valores de aptitud es un muy buen indicador de confiabilidad basándonos en la primera ley de la geografía que establece que en el territorio “todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes” (Tobler 1989) lo cual quiere decir que hay cierta correlación espacial de las variables, por lo que si nuestros datos van cambiando de manera gradual esto puede interpretarse como una señal de que existe un patrón en esa zona; por tanto,

mientras más píxeles sigan esa tendencia, más seguridad podemos tener que la aptitud territorial alta que ahí se presenta es constante y hay menor probabilidad de que nos encontremos con lotes (menores a 225 m², debido a la resolución) que no correspondan a la aptitud deseada.

Es importante recalcar que en este análisis no se ha considerado la cercanía a las vías de comunicación, sobre todo porque los caminos principales son terracerías que aún no se encuentran georreferenciados; sin embargo, la zona Noreste de Playa Zipolite gracias a su cercanía con el radar de Puerto Ángel cuenta con dichos caminos, factor que le confiere mayor atractivo.

Otra ventaja de la cercanía con Puerto Ángel es que, si se llevaran a cabo las negociaciones correspondientes, podría hacerse un solo basurero para ambas localidades lo que reduciría en gran manera los costos de construcción y mantenimiento, además de que evitaría la necesidad de hacer una evaluación de aptitud como ésta para dicha localidad.

Análisis Multicriterio



Simbología



Aptitud para disposición final de RSU



Hecho por María Fernanda Morales Vázquez
Enero 2016

Raster de análisis multicriterio (propio)
complementado por:
Red hidrológica INEGI,
Polígono Zipolite (Fernández 2014)
imagen satelital landsat 8, 15 m (tratada) y
raster de pendientes.

WGS 1984 UTM zone 14N

Figura 13. Mapa de Análisis Multicriterio para la Evaluación de la aptitud territorial para la disposición final de RSU. Elaboración propia

Capítulo VIII

Conclusiones

- La NOM-083 SEMARNAT-2003 contiene ambigüedades conceptuales lo cual dificulta su aplicabilidad.
- Para un estudio de aptitud del territorio para la disposición final de RSU el enfoque geográfico es apropiado pues la mayoría de las variables a considerar son georreferenciables.
- La precisión de la evaluación de criterios a nivel localidad está limitada por la disponibilidad de insumos de resolución espacial fina.
- El análisis espacial a escala localidad es solo un punto de partida que facilita las labores de muestreo y análisis en campo.
- La evaluación de los criterios de la norma es necesaria para facilitar la discriminación de los mismos durante el desarrollo del modelo conceptual de aptitud.
- Esta metodología es aplicable para cualquier tipo de sitio de disposición final sin importar su tamaño pues la NOM-083 SEMARNAT-2003 marca que todo sitio de disposición final debe cumplir estas disposiciones.
- El desarrollo de un modelo de aptitud territorial es necesario para evitar un exceso de variables y una innecesaria complejidad de procesamiento.
- Es importante establecer uniformidad de resoluciones de los insumos para evitar errores y contratiempos.
- Si existe una zona potencialmente apta para la disposición final de RSU dentro de la localidad Playa Zipolite, la cual se encuentra al Noreste.
- Pueden tomarse de referencia los lugares de aptitud bajos que coinciden con la red hidrológica como proxy de zonas con aluvión y complementar la información litológica actual.

Capítulo IX

Referencias

- Auerbach S.I., C. Andrews, D. Eyman, D.D. Huff, P.A. Palmer, W.R Uhte. 1984. (3) Report of the Panel on Land Disposal. Pp: 73-100 *In*: National Research Council (ed.), Disposal of Industrial and Domestic Wastes. Land and sea alternatives, The National Academies Press, Washington D.C.
- Bello-Pineda J. 2005. Participatory coral reef resources planning based on multi-criteria evaluation and geographic information systems spatial modelling techniques. Tesis doctoral. Trent university. Peterborough, Ontario, Canada.
- Bello-Pineda J., R. Ponce-Hernández, A. Liceaga-Correa. 2006. Incorporating GIS and MCE for suitability assessment modelling of Coral reef resources. Environmental monitoring and assessment. DOI: 10.1007/1510661-006-4628-y
- Buenrostro-Delgado O., M. Mendoza, E. López-Granados. 2005. 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.
- CONANP 2016. Áreas Naturales Protegidas. Tomado de la Web en Mayo 2017 de <http://www.conanp.gob.mx/regionales/>
- Cristóbal-Cristóbal A. 2010. El gasto en consumo final en las cuentas nacionales. Revista índice N° 38, 6-8.
- Eastman J.R., 2012. IDRISI Selva Manual versión 17. Clark Laboratories. 321 pp.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI).2013. ArcGIS 10.2 Help library
- Fernández-Castellanos, O. 2014. Propuesta de Ordenamiento Ecológico Comunitario Playa Zipolite: La playa de los muertos. Tesis de Licenciatura, Universidad del Mar, Puerto Ángel, México.
- García A. 2015. Se proyecta la ruta de la costa, publicado en el Imparcial, Tomado de la web el 15 de agosto del 2016, 6 pm. <http://imparcialoaxaca.mx/la-capital/4S0/se-proyecta-la-ruta-de-la-costa>
- Gorshkov G., A. Yakushova. 1970. Geología General. Editorial MIR, Moscú, 618 pp.
- Hoornweg D., P. Bhada-Tata. 2012. What a waste: A global Review of solid waste management, Urban development series, World Bank, Washington, DC, 111 pp.
- Keller A. 2002. Introduction to environmental geology. 2a ed., Pearson hall, New Jersey, 219 pp.
- Kishtainy N., G. Abbot, J. Farndon, F. Kenney, J. Meadway, C. Wallace, M. Weeks. 2013. El libro de la economía. Santillana.

- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR). 2014. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México.
- Londoño-Arango C.H, 2001.Universidad del Tolima. <http://bit.ly/2aye4ep>. Consultado Agosto 2016.
- Martínez-Muñoz J. 2005. PERCEPCIÓN REMOTA: Fundamentos de Teledetección espacial. Tomado de la web en Mayo del 2017 de <http://sig.cna.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledetecion%20de%20espacial.PDF>
- Mayhew S. 2004. Dictionary of Geography: Spatial Analysis. Tomado de la web en Junio del 2017 de <http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199231805.001.0001/acref-9780199231805-e-2891?rsk=y=VVar5w&result=2352>
- Muñoz-Nieto A.L. 2006. Teledetección: nociones y aplicaciones. Universidad de Salamanca, 356 pp.
- National Research Council .1993. (5) Hazards, Land use, and Environmental Change. Pp: 185-232 *In: Solid Earth sciences and society*, The National Academies Press, Washington D.C.
- National Research Council. 2002. Down to Earth: Geographical Information for Sustainable Development in Africa, The National Academies Press, Washington D.C, 153 pp.
- Olaya V. 2014. Sistemas de Información Geográfica. Consultado el 15 de junio del 2016: <http://volaya.es/writing>.
- Olmo-Castillo M.A. 2008. Lógica borrosa. Tomado de la Web en Octubre 2016 de http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/introduccion.html
- Quintero-Pérez, J.A. 2009. (4) Definición y origen de los sistemas de información geográfica. Pp: 115-148 *In: Quintero Pérez, J.A (coord), Conceptos de Geomática y estudios de caso en México, Geografía para el siglo XXI*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Roben E. 2002. Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. DED (Deutscher Entwicklungsdienst), Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica en Ecuador. Consultado de la web en Octubre del 2016 en <http://bit.ly/2fISI32>. Servicio Alemán de Cooperación Social- Técnica
- Secretaría de Turismo y Desarrollo Económico. Septiembre 2015. Tomado de la web el 15 de agosto del 2016 a las 6 pm. <http://bit.ly/1MBZLQU>
- SEMARNAT.2010. Compendio de Estadísticas Ambientales. Tomado de la web en Mayo del 2017 de http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet5c54.html
- SEMARNAT. 2003. NOM-083 SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de

disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, Diario Oficial, Ciudad de México, 15 pp.

- SEMARNAT.2013. (7) Residuos. Pp. 319-352 *In*: Informe de la situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2012. México.
- Venegas R. 2007. Aptitud territorial: una aproximación hacia la planeación y el ordenamiento del territorio. UABC.