



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
SECRETARÍA GENERAL
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
06 de Septiembre del 2023.

C. Alan Humberto Gurgua Hernández

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Macrolocalización de Áreas Óptimas para Sitios de Disposición Final de los Municipios de
Reforma, Juárez y Pichucalco, Chiapas.

En la modalidad de: Informe Técnico

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. José Manuel Gómez Ramos

Mtro. Pedro Vera Toledo

Dr. Juan Antonio Araiza Aguilar

Firmas:

Ccp. Expediente



Pág. 1 de 1
Revisión 4

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y DE ARTE DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

INFORME TÉCNICO

**MACROLOCALIZACIÓN DE ÁREAS ÓPTIMAS PARA SITIOS
DE DISPOSICIÓN FINAL DE LOS MUNICIPIOS DE
REFORMA, JUÁREZ Y PICHUCALCO, CHIAPAS.**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGINIERO AMBIENTAL

Presenta:

ALAN HUMBERTO GURGUA HERNÁNDEZ

DIRECTOR:

Dr. JUAN ANTONIO ARAIZA AGUILAR

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

03 de octubre de 2023



Agradecimientos

Le agradezco a Dios por permitirme concluir este trabajo, es un logro que anhelé desde pequeño poder estudiar la universidad y terminarla. Estoy agradecido por darme fuerzas para salir adelante a pesar de cada obstáculo nunca me dejó solo y no me queda más que decirle gracias por lo bueno que es siempre conmigo.

Quiero agradecer a la universidad de Ciencias y Artes de Chiapas por formar parte de la carrera de Ingeniería Ambiental una excelente carrera y estoy orgulloso de representarlo.

También agradecer al Dr. Juan Antonio Araiza Aguilar por aceptarme, apoyarme y orientarme para llevar a cabo este informe técnico. Por hacer que este trabajo fuera más fácil con su ayuda en los cursos y su comprensión en cada actividad del proyecto.

Estoy agradecido inmensamente a mis padres Hugo H. Gurgua González y Yuliana de Jesús Hernández Aguilar por su apoyo y jamás dejarme solo para conseguir este objetivo a pesar de las dificultades siempre estuvieron ahí brindándome confianza para seguir adelante, gracias por sus consejos y a enseñarme cual es el mejor camino que debo seguir.

A mis abuelos por su enorme amor que me demuestran cada día, por su sabiduría que me han brindado para ser mejor persona y nunca dejarme solo para llegar a terminar este trabajo.

A mis hermanos por su comprensión y apoyo por ustedes he luchado para ser mejor hermano cada día y demostrarle que si lo proponemos lo lograremos a pesar de las dificultades nuestros padres dan todo para que cumplamos nuestros sueños.

A mis amigos dentro y fuera de la carrera que me apoyaron a concluir este proyecto con su apoyo, consejos y que nunca me dejaron solo cuando los necesitaba gracias por todas las aventuras juntos.

“Este trabajo forma parte del proyecto “Evaluación de sitios de disposición final de residuos sólidos, a través del uso de Tecnologías de la Información Geográfica”. Se agradece al Instituto de Ciencia, Tecnologías e Innovación del Estado de Chiapas por los foros de difusión proveídos.”

Muchas gracias a todos los que creyeron en mí y que me brindaron su mano durante el proceso.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Planteamiento de problema	7
1.2 Justificación	8
1.3 Objetivos	9
2. MARCO TEORICO	9
2.1 Los Residuos Sólidos	9
2.2 Tipos de residuos.....	10
2.3 Los Tiraderos a Cielo Abierto	13
2.4 Relleno sanitario	14
2.5 Ventajas y desventajas del Relleno Sanitario.	15
2.6 Tipos de rellenos sanitarios.....	16
2.7 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	20
2.8 La técnica EMC en el entorno de los SIG.....	22
3 METODOLOGÍA	24
3.1 Delimitación del área de estudio	24
3.2 Análisis espacial.	25
3.3 Evaluación multi-criterio.....	32
3.4 Validación de la modelación espacial	34
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
4.1 Mapa Final.....	38
4.2 Calidad de la cartografía	39
4.3 Variables	41
4.4 Áreas propuestas para el SDF	47
5 CONCLUSIONES	50

Índice de Figuras

Figura 1. Generación de RSU, producto interno bruto (PIB) y gasto del consumo final privado en México, 2003-2015. 11

Figura 2. Generación anual promedio de RME en México, 2006 - 2012..... 12

Figura 3. Método de celda, zanjas o trincheras. 18

Figura 4. Método en zona o de áreas..... 18

Figura 5. Método de vaguada o depresión..... 19

Figura 6. Área de estudio..... 26

Figura 7. Ejemplo del uso de la herramienta “Weighted Sum” 33

Figura 8. Ejemplo de cómo debe de utilizarse la herramienta “Raster Calculator”..... 34

Figura 9. Tipos de muestreos..... 37

Figura 10. Diagrama del método "Evaluación multi-criterio". 38

Figura 11. Variables Criterio Ambiental..... 42

Figura 12. Criterio Socioeconómico. 44

Figura 13. Criterio Técnico. 46

Figura 14. Sitios Propuestos Para SDF..... 48

Índice de Tablas

Tabla 1. Caracterización de sitios de disposición final de acuerdo a la cantidad de toneladas de residuos. 15

Tabla 2. Métodos de análisis multi-criterio..... 23

Tabla 3. Lista de variables. 27

Tabla 4. Comparación en pares (ejemplo 1)..... 29

Tabla 5. Comparación en pares (ejemplo 2)..... 30

Tabla 6.	Comparación en pares (ejemplo final).	30
Tabla 7.	Valores de RI.	31
Tabla 8.	Ejemplo de cómo realizar la fórmula de proporción de consistencia.	32
Tabla 9.	Esquema general de la matriz de confusión.	35
Tabla 10.	Valores y fuerza de concordancia del coeficiente Kappa.	38
Tabla 11.	Calidad de la cartografía.	40

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento de problema

El acelerado crecimiento de la población ha incrementado la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En México la generación de RSU se incrementó notablemente en los últimos años; tan sólo entre 1997 y 2012 creció 43.8%, pasando de cerca de 29.3 a 42.1 millones de toneladas, como resultado principalmente del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, y el cambio en los patrones de consumo (DOF, 2003).

En Chiapas la generación de los RSU ha tenido un crecimiento exponencial del 60% en los últimos 17 años, lo cual se debe al crecimiento de la población y el económico (Ríos, 2017). Así también, el manejo de los residuos en Chiapas se complica por la orografía, la dispersión poblacional y la alta marginación, según las estadísticas y estudios de SEMAHN (2018). Conociendo datos anteriores existe una gran problemática de la generación de RSU en Chiapas, las mayorías de las localidades no cuentan con un buen manejo de los residuos por lo cual optan por depositar los RSU en los Tiradero a Cielo Abierto (TCA), que es un método común para la gestión de los residuos, por lo tanto no están acondicionados para dicha actividad o contar con una infraestructura adecuada para controlar los daños ambientales hacia el agua, el suelo, el aire y la vegetación cercana a la área tomada para disponer los residuos. Nájera *et al.*, (2009) señala que desafortunadamente, la disposición final de los RSU y residuos de manejo especial en nuestro país, se lleva a cabo predominantemente mediante TCA.

De acuerdo a los datos de SEIA (2016) nos dice que hasta la fecha se cuentan con 29 Rellenos sanitarios (RS) y con 54 TCA. Son casos de los municipios de Reforma, Pichucalco y Juárez ellos disponen sus residuos en Reforma lo cual es un TCA. Existe una gran problemática que presenta con los RSU de manera que está afectando a la humanidad, a la flora y fauna de la región. Se transmiten enfermedades pero todo deriva por no cumplir la NOM-083-SEMARNAT-2003.

El TCA presenta un grave riesgo a los habitantes de Reforma, el cual no está construido con edificaciones adecuadas para su operación y con ello los habitantes sufren de forma descontrolada de los malos olores y fauna nociva. Otro problema es de gastar más diésel por parte de los municipios de Pichucalco y Juárez el cual disponen sus RSU en reforma pero ahora tomar un punto intermedio para la construcción de un Rs y evitar ese gasto en diésel y en más personal para con ello ahorrar ese ingreso extra de parte de los municipios. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una

herramienta poderosa y valiosa que ayuda a disminuir tiempo, dinero y esfuerzo para la ubicación de estos sitios para posteriormente evaluarlos y proponer el sitio más eficiente se obtenga. Una de las alternativas más aceptables para tal efecto consiste en la construcción de un RS, el cual se define como la técnica de eliminación final de los residuos sólidos.

1.2 Justificación

Las etapas que constituyen el manejo de residuos sólidos son: generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final.

Con el transcurso del tiempo la salud y el medio ambiente, fueron las mayores preocupaciones relacionadas con la gestión de residuos sólidos, pero hoy se asocian a tres factores más: la conservación de los recursos naturales, los riesgos ambientales, unidos a los tecnosistemas de los residuos sólidos, y la necesidad de cambios de comportamientos y responsabilidad de todos los implicados (Fazenda & Tavares, 2016). Otro de los entornos que afecta el manejo de los RSU, es la relación con el ambiente, la afectación de los residuos sobre la tierra, el agua y el aire (Sáez & Urdaneta, 2014).

En la actualidad es un problema severo el manejo adecuado de los residuos, la misma humanidad al paso que aumenta la población genera más residuos sólidos por lo mismo son orillados a buscar una alternativa rápida como es un lugar donde puedan depositar de ellos.

Lo anterior nos obliga a proponer lugares con las mejores condiciones tanto ambiental, sociales, culturales y sobre todo económicos en un lugar para los tres municipios. Llegando a proponer la construcción de un RS, que cumpla con la normatividad.

Para los municipios se darán las mejores propuestas para construir el SDF, pero operando de una mejor manera como lo marca la normatividad, cumpliendo todo o la mayor cantidad de putos que trae y dejar de acudir a un TCA para que se obtenga desde un buen manejo hasta infraestructura adecuada para no contaminar el medio ambiente.

En la sociedad dicho estudio les ayudará para evitar las enfermedades y los malos olores que se tienen en el TCA presenta actualmente se les brindara las facilidades para tener un lugar adecuado para emplazar un RS y tomar en cuenta los asentamientos humanos deben estar a 500 m lo mínimo pero no se cumple, con ello brindarles trabajo a los ciudadanos de dicho lugar para la etapa de construcción apoyaría a la economía contar con empleos para ellos, para que de esta manera se pase a la etapa de selección del mejor sitio desde los puntos de vista ambiental, de construcción, de operación,

económico y con aceptación social, conforme a los requisitos de la normatividad vigente(Hernández, 2003).

En este trabajo se pretende determinar lugares potenciales idóneos para emplazamiento de un SDF de RSU, en los municipios ya mencionados anteriormente. Se plantean utilizar, Sistemas de Información Geográficas (SIG) y técnicas de Evaluación Multi-Criterio (EMC), para determinar los emplazamientos potenciales con lo que permitiría dar los mejores sitios para llevar a cabo un lugar adecuado para tratar de buena manera los residuos generados en los tres municipios.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Determinar áreas óptimas a través de Sistemas de Información Geográfica, para emplazar Sitios de Disposición Final de residuos en los municipios de Reforma, Juárez y Pichucalco, Chiapas.

Objetivo Específicos

- Construir las variables de emplazamiento con base a la información de las bases de datos de INEGI, CONAPO, CEIEG Y CONABIO.
- Emplear técnicas de Evaluación Multicriterio, para combinar las variables de emplazamiento de Sitios de Disposición Final.
- Validar las áreas y sitios idóneos de emplazamiento de Disposición Final, de acuerdo a la normatividad mexicana, NOM-083-SEMARNAT-2003.

2. MARCO TEORICO

2.1 Los residuos sólidos

Los residuos parten de la conceptualización del término “basura” o “desecho”, lo cual se percibe como algo invalorable y repulsivo que debe ser alejado de la sociedad. Sin embargo, no es posible desvincular la generación de residuos de los núcleos poblacionales.

El término residuo se define en varias formas, ya que mientras la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en su artículo 3, fracción XXXII, lo define

como: “cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó” (*Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, 2015). La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en el artículo 5, fracción XXIX lo define como “material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.

2.2 Tipos de residuos

En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: RSU, residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

2.2.1 Residuos sólidos urbanos

De acuerdo con lo establecido por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2021), los residuos en México se clasifican en: Residuos sólidos urbanos (RSU): “...Son los generados en casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos ...”.

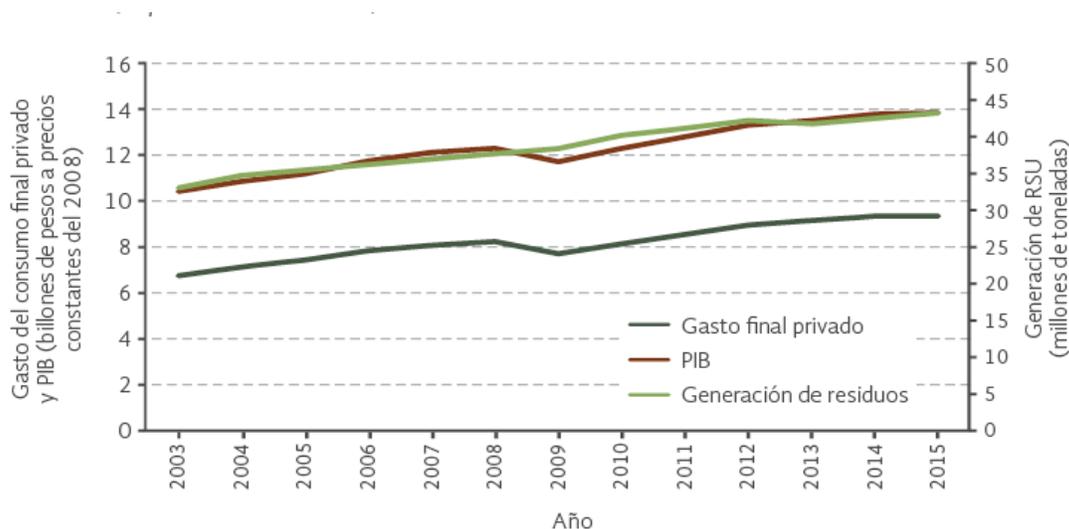
2.2.2 Composición

De acuerdo con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos realizado en México, la composición de los RSU está constituida en un 46.42% por residuos orgánicos que incluyen cuero, fibra dura vegetal, hueso, madera, residuos alimentarios y de jardinería, en 31.55% de residuos susceptibles a aprovechamiento entre los que se tienen el cartón, envases de cartón encerado, fibras sintéticas, hule, lata, material ferroso y no ferroso, papel, PET, plástico rígido y de película, poliestireno expandido, poliuretano y vidrio, y por un 22.03% de otro tipos

de residuos como algodón, loza, cerámica, material de construcción, pañales desechables, residuos finos y trapos (SEMARNAT, 2020).

En México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de RSU alcanzó 53.1 millones de toneladas, lo que presentó un aumento del 61.2% con respecto a 2003 (10.24 millones de toneladas más generadas en ese período; Figura 1). Si se expresa por habitante, alcanzó 1.2 kilogramos en periodo diariamente en el mismo año.

Figura 1. Generación de RSU, producto interno bruto (PIB) y gasto del consumo final privado en México, 2003-2015.



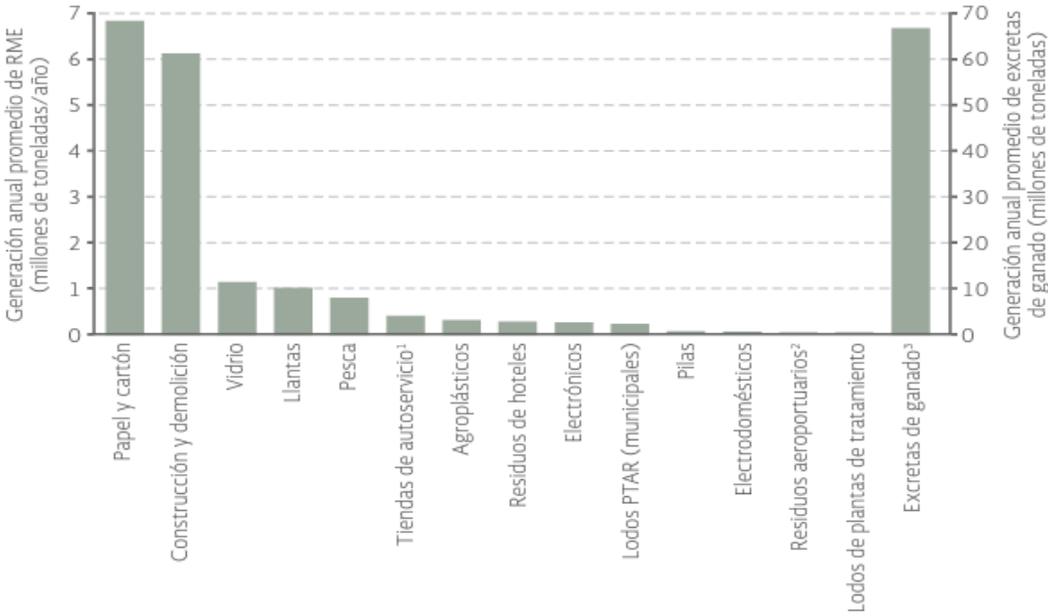
Fuente: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas urbano-marginadas. Sedesol. México. 2013.

2.2.3 Residuos de manejo especial

De acuerdo con lo establecido por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2021), RME: “...Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como RSU, o que son producidos por grandes generadores de RSU...”.

La información sobre la generación y manejo de este tipo de residuos es limitada y se restringe a unos cuantos tipos de estos residuos. Los datos más actualizados sobre la generación y manejo de algunos RME en el país fueron publicados en el 2012 como parte del Diagnóstico Básico para la Gestión de los Residuos. (En la Figura 2 se muestra la generación de RME en nuestro país durante el periodo 2006-2012. Entre esas fechas, los volúmenes más altos de RME correspondieron a las excretas de ganado porcino y bovino lechero (66.71 millones de toneladas), seguido por papel y cartón (6.82 millones), y en tercer lugar los residuos de la construcción y demolición (6.11 millones de toneladas).

Figura 2. Generación anual promedio de RME en México, 2006 - 2012.



Fuente: INECC, Semarnat. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2012. INECC, Semarnat. México. 2012.

2.2.4 Residuos Peligrosos

De acuerdo con lo establecido en el Honorable Congreso de la Unión. (2003). Entre estos desechos se encuentran los RP, definidos como aquellos que poseen alguna de las características CRETIB que les confieren peligrosidad (corrosividad, C; reactividad, R; explosividad, E; toxicidad, T; inflamabilidad, I; o ser biológico-infecciosos, B), así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados.

Pareciera que estos residuos se originan solo en las industrias o talleres, pero la realidad es que en los hogares se consumen comúnmente productos que al ser desechados convierten sus recipientes en residuos peligrosos, tal es el caso del aceite automotriz gastado, los residuos de insecticida, pinturas, barnices, acumuladores de automóvil, entre otros, y se les denomina residuos peligrosos domésticos(Álvarez, 2016).

2.3 Los Tiraderos a Cielo Abierto

Los residuos se vierten directamente y de manera cotidiana al suelo sin cubrirlos con tierras, practica inadecuada por los problemas sanitarios y ambientales que provoca, pero es la más usada en el país por ser más económica y fácil de operar por los municipios(Rojas& Sahagún, 2012).

Método utilizado en países en vías de desarrollo, el cual contamina el ambiente y causa daños a la salud. Entre sus principales características se consideran las siguientes:

- Surgen de forma clandestina.
- Generalmente no tienen control, ni protección ni vigilancia.
- Propician la fauna nociva.
- Generan problemas sociales, ecológicos, de salud y ambientales.
- No se recubren diariamente.
- No se protege el sitio.
- Problemas con la pepena.
- Hábitat adecuado para ratas, moscas, vacas, perros y diferentes vectores mecánicos y biológicos (Rodríguez, 2008).

La mayoría de los estados de la república mexicana sigue utilizando los TCA para la disposición de los residuos sólidos, de modo que, en la actualidad, se ha llegado a identificar aproximadamente 5,000 tiraderos de esta índole y, desafortunadamente, no son todos; además, no se encuentran con la ubicación de una gran parte de ellos, y su número no dejan de crecer.

2.3.1 Riesgos de disponer RSU en TCA

Según Rojas y Sahagun (2012) mencionan que una mala práctica de disposición final de los RSU causa efectos nocivos en el ambiente y la salud, los cuales se enlistan a continuación:

- Eventualidad de incendios, que podrían provocar el deterioro del suelo y la vegetación, así como la contaminación del aire con humo, ceniza y gases tóxicos, además de daño patrimonial en zonas residenciales aledañas.
- Posibles infecciones y epidemias transmitidas por aire, aguas y vectores de fauna nociva, a causa de las condiciones climatológicas del país, como altas temperaturas y precipitaciones.
- Contaminación del suelo y el manto freático, ya que los TCA no cuentan con un subsuelo impermeable y/u obras de ingeniería para evitar infiltraciones de lixiviados.
- Impacto estético negativo en el paisaje alrededor de los TCA, que afecta no sólo a la gente que vive en la zona, sino también la plusvalía socio-económica de la región.

2.4 Relleno sanitario

Un RS es una técnica u obra civil para la disposición final de los RSU o aquellos que no cumplan con características de peligrosidad, que consiste en la colocación de capas de residuos compactados y cubiertos en un área impermeable para controlar su entierro. Las principales ventajas del uso de rellenos sanitarios abarcan la posibilidad de utilizar áreas explotadas por actividades mineras, baja inversión en comparación a otros tratamientos, poco requerimiento técnico y generación de empleo. En caso de operar de manera inadecuada, pueden presentarse efectos negativos sobre la salud de la población circundante, contaminación ambiental y condiciones de inseguridad laboral (Ullca, 2006).

Los RS son obras de infraestructura que involucran métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, a través de un proceso que va desde el tratamiento y la compactación hasta la cubierta final de los residuos y con ello se toma en cuenta la tabla 1 para saber qué tipo de relleno se ajusta para el municipio dependiendo de la cantidad que generan al día en toneladas (Caballero et al., 2011).

En México, los RSU son enviados a rellenos sanitarios que están regulados por la NOM-083SEMARNAT-2003, la cual establece las especificaciones requeridas para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de RSU y RME (DOF, 2003).

El concepto de relleno sanitario surgió en la primera parte del siglo XX en distintas ciudades de Estados Unidos e Inglaterra, con el objetivo de controlar los olores y distintos tipos de vectores producidos por la acumulación de basura a cielo abierto. Una ventaja de su implementación es que permitía concentrar en un solo lugar los residuos de una localidad.

Tabla 1. Caracterización de sitios de disposición final de acuerdo a la cantidad de toneladas de residuos.

Tipo	Tonelaje Recibido Ton/Día
A	Mayor a 100
B	50 hasta a 100
C	10 y menor de 50
D	Menor de 10

Fuente: (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. (Documento en línea disponible en: www.dof.gob.mx)

2.5 Ventajas y desventajas del Relleno Sanitario.

2.5.1 Ventajas.

- La inversión inicial de capital es baja
- Tiene menores costos de operación y mantenimiento que otras tecnologías
- Puede comenzar a funcionar en corto tiempo.
- Su emplazamiento puede estar tan cerca del área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, lo que reduce los costos de transporte y facilita la supervisión por parte de la comunidad

- En los rellenos que reciben más de 500 t RSU/día se puede recuperar el gas metano, que puede constituir una fuente alternativa de energía para algunas ciudades.
- Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal.
- Genera empleo de mano de obra poco calificada.
- Recupera terrenos considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de áreas verdes o recreativas (Torri, 2017).

2.5.2 Desventajas.

- El rápido proceso de urbanización limita y encarece el costo de los terrenos disponibles, que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.
- La adquisición del terreno es complicada debido a la oposición de los vecinos, fenómeno conocido como NIMBY (not in my back yard `no en mi patio trasero')
- Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse.
- En RS de gran tamaño conviene analizar los efectos del tráfico vehicular, sobre todo de los camiones que transportan los residuos por las vías que confluyen al sitio, ya que producen polvo, ruido y material volante.
- Pueden generar impacto negativo en el vecindario por malos olores que pueden emanar del relleno. Uno de los mayores problemas con un relleno sanitario es el peligro ambiental; los materiales dentro de las capas de basura compactada se descomponen, generan gases, incluidos el metano, que son altamente inflamables. Algunos vertederos simplemente ventilan estos gases, mientras que otros crean un método para recuperarlos y utilizarlos como combustible.
- Los vertederos también generan lixiviados, que puedan dañar el medio ambiente si alcanzan la capa freática, por lo que su control es crítico (Torri, 2017).

2.6 Tipos de rellenos sanitarios

2.6.1 Relleno sanitario mecanizado: Es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de

ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento.

2.6.2 Relleno Sanitario Semimecanizado: Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos sólidos en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno al que podríamos llamar semimecanizado.

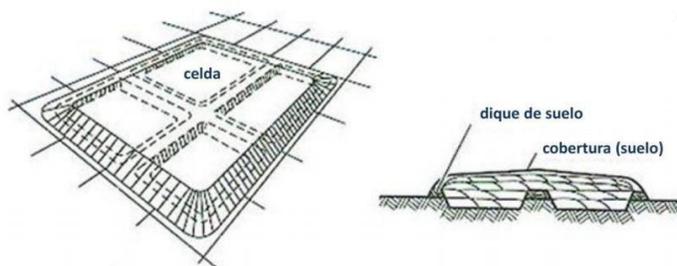
2.6.3 Relleno sanitario manual: Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen -menos de 15 toneladas/día-, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento. El término manual a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser sujetado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas (*Relleno sanitario manual*). Existen distintas formas de construir los rellenos sanitarios

2.5.4 Método de celda, zanjas o trincheras

Esta forma de disposición es apropiada para regiones planas, donde se dispone de una profundidad efectiva adecuada y donde el nivel freático se encuentra lo suficientemente profundo como para evitar la contaminación del acuífero. Los residuos sólidos son depositados en celdas o zanjas – en ocasiones denominadas trincheras previamente excavadas con una retroexcavadora o un tractor de orugas. La profundidad de las celdas se encuentra limitada por la permeabilidad del suelo, pudiendo alcanzar 7 m de profundidad. Dichas celdas se cubren previamente con membrana sintética o con arcilla de baja permeabilidad, o con la combinación de ambas, para limitar la movilidad de los gases y/o lixiviados que pueden generarse como resultado de la descomposición de la basura. Los RSU se depositan y acomodan dentro de la

celda para luego compactarlos. El suelo producto de la excavación es utilizado posteriormente para la cubierta diaria y final.

Figura 3. Método de celda, zanjas o trincheras.

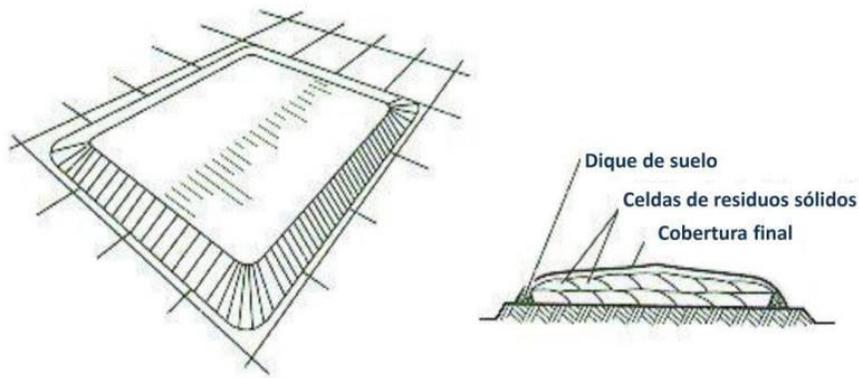


Fuente: Silvana Torri, 2017

2.6.5 Método en zona o de áreas

Este método se utiliza en zonas planas, cuando el terreno es inapropiado para la excavación. Los RSU se depositan sobre el suelo original, previamente elevado e impermeabilizado. Las celdas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno. El material de cobertura se traslada desde los terrenos adyacentes. En algunos sitios se ha implementado, como material para cobertura intermedia, la utilización de compost producido por el compostaje de residuos de jardín y la fracción orgánica de los RSU. Otra opción es la utilización de material de cobertura temporal tales como suelo y geomembranas, las cuales se pueden colocar sobre celdas completas para luego quitar al comenzar con el siguiente nivel. Los RSU se descargan en la base del talud, se extiende, compacta y se recubre diariamente con una capa de suelo.

Figura 4. Método en zona o de áreas.

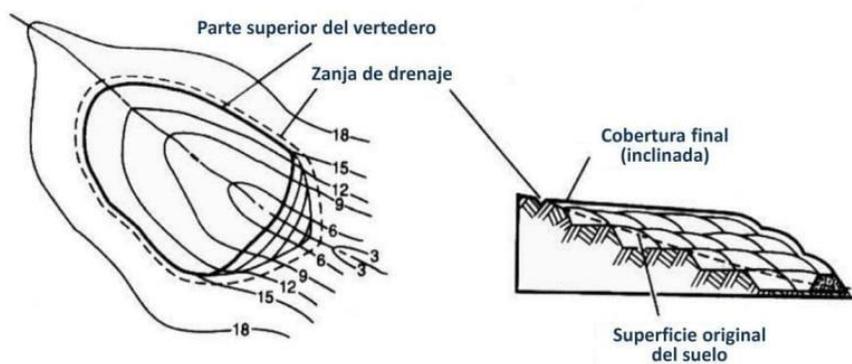


Fuente: Silvana Torri, 2017

2.6.6 Método vaguada o depresión

Este método utiliza vaguadas, barrancos y fosas de relleno suplementario o canteras como zonas de vertido. Las técnicas para colocar y compactar residuos en este tipo de relleno sanitario varía según la geometría del lugar, las características del material de cobertura disponible, la hidrología y la geología del lugar, los tipos de instalaciones de control de gases y lixiviado que van a utilizarse y el acceso al lugar.

Figura 5. Método de vaguada o depresión.



Fuente: Silvana Torri, 2017

2.6.7 Método de terrazas

Este sistema se emplea principalmente cuando los residuos sólidos han sido depositados en cañadas o barrancas. Es también una variante del método de área y consiste primordialmente en dividir el talud original de los residuos en dos o más secciones, dependiendo de la altura y longitud del talud; esta división se marca dejando una superficie horizontal, de manera que entre talud y talud existe un ancho de corona. En este método también es necesario mover, conformar y cubrir los residuos (Sobrino, 2007).

2.6.8 Método de rampa

Este método es una variación del método de área, y se emplea generalmente en terrenos ondulados. Consiste básicamente en mover, conformar y compactar los residuos sobre el talud del terreno, para posteriormente ser cubierto con material inerte (Sobrino, 2007).

2.6.9 Método combinado

En algunos casos cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, se pueden combinar los dos métodos anteriores, por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior. Otra variación del método combinado, consiste en iniciar con un método de área, excavando el material de cubierta de la base de la rampa, formándose una trinchera, la cual servirá también para ser rellena. Los métodos combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio (Rodríguez, 2008).

2.7 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG se han convertido en una importante herramienta para el análisis espacial enfocado a la sustentabilidad para los usos del suelo. Se han realizado estudios sobre residuos sólidos domiciliarios para identificar sitios de disposición final aplicando SIG (Güler y Yomraloğlu, 2017).

Se entiende por "Sistema de Información" al conjunto de información con herramientas informáticas, es decir, con programas informáticos o software. Si el objeto concreto de un sistema de información (información+software) es la obtención de datos relacionados con el

espacio físico, entonces hablamos de un Sistema de Información Geográfica o SIG (GIS en su acrónimo inglés, Geographic Information Systems) (Pérez, 2017).

Este es el caso de los sistemas de información geográfica (SIG) que permiten evaluar de forma simultánea distintas temáticas y variables asociadas a ellas, de una o varias áreas de estudio. La capacidad de los SIG para la combinación de datos espaciales (imágenes de satélite, ortofotos, mapas y fotografías) de forma cuantitativa y cualitativa, hacen de esta técnica una poderosa herramienta casi indispensable actualmente para la relocalización de sitios estratégicos para el establecimiento de rellenos sanitarios (Pérez, 2017).

Así pues, un SIG es un software específico que permite a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio, conectando mapas con bases de datos (Introducción Sistemas de información geográfica, 2016).

Los SIG son una herramienta de hardware, software y procedimientos diseñados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión. El empleo de la tecnología de los SIG, ha sido ampliamente aprovechada en muchas áreas para el manejo de los recursos naturales, pero su implementación en el manejo del arbolado urbano apenas se está iniciando, en especial en los países en desarrollo (Olaya et, al. 2009).

El mundo real es representado espacialmente por los SIG como una superposición de capas temáticas que utilizan, en el formato vector, líneas, polígonos y puntos para representar los diferentes elementos de cada capa presentes en un área definida. Los atributos de los elementos de cada capa temática se almacenan en una base de datos (Molina, 2005).

En cuanto al ingreso de los datos a un SIG, ESRI define tres formas básicas (Molina, 2005):

1. Datos espaciales de tipo vector: componen la cartografía digital, constituida por puntos, líneas o polígonos. Son el tipo principal de datos para un SIG. Usando como ejemplo los ríos de un área dada, cada elemento, es decir, cada río, es una línea definida por pares de coordenadas x e y. Una capa temática está constituida por un número variable de elementos.

2. Datos espaciales de tipo ráster: incluyen imágenes satelitales, fotografías aéreas e información escaneada. Las fotografías aéreas e imágenes satelitales requieren un proceso previo de ortorrectificación y georreferenciación, de manera que puedan ser correctamente incorporadas al sistema. Las imágenes escaneadas sin este proceso se utilizan con frecuencia como referencia

o fondo para los mapas en formato vector, de manera que proporcionan una información visual que puede resultar igualmente valiosa.

3. Datos tabulares: información que describe cada elemento de una capa temática. Para el ejemplo de la capa de ríos, el orden, la longitud y la profundidad del cauce serían, entre otros, los datos que se recogerían en una tabla para cada río. Puede utilizarse en la práctica cualquier base de datos (incluso archivos de MsExcel) para alimentar la información espacial.

2.8 La técnica EMC en el entorno de los SIG

El análisis multicriterio, a diferencia del análisis de costo beneficio, puede incorporar criterios económicos, ambientales, y sociales en el proceso de evaluación; además, estos criterios pueden ser de naturaleza cualitativa o cuantitativa. Es por eso que el análisis multicriterio puede convertirse en una herramienta de gran significación para la toma de decisiones operacionales en el campo de la gestión integrada (Molvatán, 2017).

El desarrollo de una herramienta con estas características requiere de la selección de un método de análisis multicriterial, la consulta a expertos con respecto a los criterios a incluir en la herramienta y su forma de evaluación, además de su validación (Molvatán, 2017).

Constituye una herramienta de apoyo en el proceso de toma de decisiones, especialmente en la planificación, debido a que permite integrar diferentes criterios de acuerdo a la opinión de los participantes, en un solo marco de análisis. Inicialmente este método fue desarrollado en el ámbito de las ciencias económicas y en el de la ingeniería industrial. Fue desarrollado en la década de los 60 y a partir de la segunda mitad de la década de 1970 comenzó a experimentar un importante desarrollo, hasta convertirse en una herramienta científica.

El análisis multicriterio nace como herramienta para analizar fenómenos complejos y no repetibles, que no pueden ser verificables objetivamente en laboratorio. Es un método que permite orientar la toma de decisiones tomando como basamento varios criterios comunes. Se utiliza para emitir juicios comparativos entre proyectos o medidas heterogéneas, y su objetivo es llegar a la solución del problema mediante su simplificación. Es muy empleado en la evaluación (Molvatán, 2017).

2.8.1 Métodos de análisis multi-criterio

Los problemas en los que las alternativas de decisión son finitas se denominan problemas de Decisión Multicriterio Discreta. Algunos de los métodos que se utilizan en estos casos son:

Tabla 2. Métodos de análisis multi-criterio.

Nombre del método	Aplicación
Ponderación Lineal (scoring)	Permite abordar situaciones de incertidumbre o con escaso nivel de información. Se construye una función de valor para cada una de las alternativas. Supone la transitividad de preferencias o la comparabilidad.
Utilidad Multiatributo (MAUT)	Para cada atributo se determina la correspondiente función de utilidad (parcial), y luego se agregan en una función de utilidad multiatributo de forma aditiva o multiplicativa. Al determinarse la utilidad de cada una de las alternativas se consigue una ordenación completa del conjunto finito de alternativas. Utiliza “escalas de intervalo”, y acepta el principio de “preservación de orden” (rank preservation).
Relaciones de Superación	Estos métodos usan como mecanismo básico el de las comparaciones dos a dos de las alternativas, criterio por criterio. De esta forma puede construirse un coeficiente de concordancia C_{ik} asociado con cada par de alternativas (a_i, a_k) . Existen dos métodos de la escuela francesa: ELECTRE y PROMETHEE. El método ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) tiene varias versiones que usan pseudocriterios y la teoría de conjuntos

	<p>difusos. El método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) se ha aplicado, con predicción para problemas de ubicación.</p>
<p>Proceso Analítico Jerárquico (AHP- The Analytic Hierarchy Process)</p>	<p>Fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty en 1980 y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo Jerárquico. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un modelo que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas. Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones por pares entre dichos elementos (criterios-subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Una vez obtenido el resultado final, el AHP permite llevar a cabo el análisis de sensibilidad del modelo (EcuRed, 2020).</p>

3 METODOLOGÍA

3.1 Delimitación del área de estudio

El área de estudio está integrada por los municipios de Reforma, Juárez y Pichucalco, los cuales se aprecia en la figura 6, los tres territorios municipios se encuentra unidos en la parte derecha

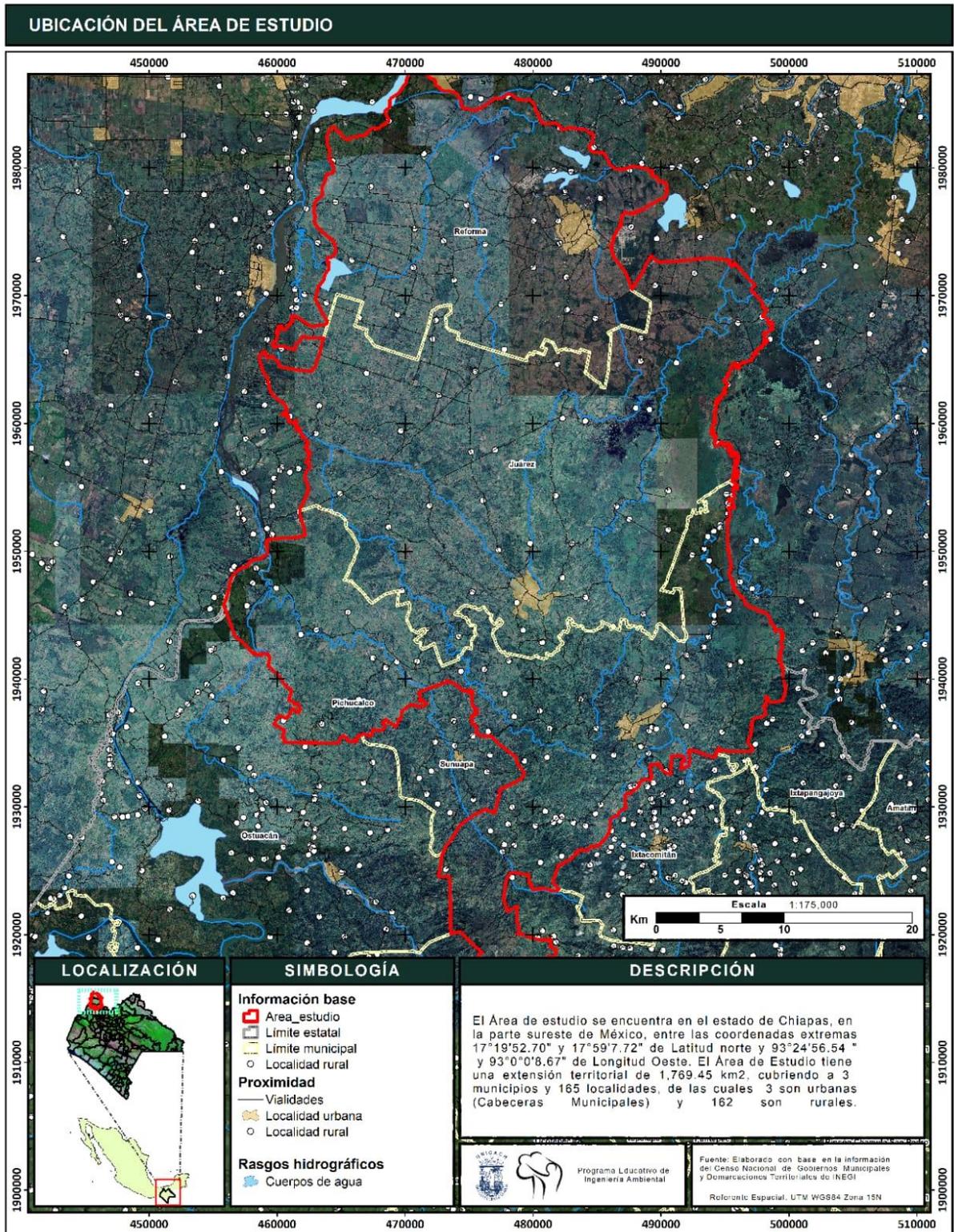
con sus limitaciones las cuales se encuentra en las coordenadas extremas $17^{\circ}19' 52.70''$ y $17^{\circ}59'7.722''$ de latitud norte y $93^{\circ} 24'56.54''$ y $93^{\circ}0'0'8.86''$ de longitud oeste.

Sus colindancias son al norte con los municipios de Cunduacán o Natividad de Cunduacán y Comalcalco; al oeste con el municipio de Huimanguillo y Ostuacán; al este con el municipio de Jalapa y Benito Juárez.

3.2 Análisis espacial

La selección del sitio del vertido se realizó con Arcgis 10.5 y la metodología EMC denominada Proceso Analítico Jerárquico (AHP) El AHP divide los problemas de decisión en partes comprensibles; cada una de estas partes se analiza por separado y se integra de manera lógica. La metodología de selección de vertederos basada en SIG combina las herramientas de análisis espacial para evaluar toda la región, en función de ciertos criterios de evaluación. El modelo de emplazamiento de vertedero se puede dividir en “n” pasos principales según sea su requerimiento (Narcia, 2022).

Figura 6. Área de estudio.



3.2.1 Base de datos, construcción y codificación de variables.

Base de datos:

Para llevar a cabo esta metodología se empezó con el desarrollo de una base de datos espaciales utilizando información de dependencias como el Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del estado de Chiapas (CEIEG), la comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO), consejo nacional de la población (CONAPO), esto para la creación de mapeo de restricciones utilizando áreas de exclusión. Para preparar una base de datos integral, 13 capas de mapas de entrada, que incluyen topografía, asentamientos (centros urbanos y aldeas), carreteras (carreteras principales y carreteras de aldeas), aeropuertos, fallas y fracturas, recicladores, industrias, compatibilidad de uso de suelo, pendiente, permeabilidad de rocas, Áreas Naturales Protegidas, distancia de pozos, distancia a cuerpos y corriente de agua, profundidad de la capa freática se obtuvieron y almacenaron para ser utilizadas en el programa Arcgis las cuales se les presentan en la tabla 3 desde el criterio más importante hasta el criterio menor.

Tabla 3. Lista de variables.

VARIABLES DESDE LAS MÁS IMPORTANTES AL MENOS.
Criterio Ambiental
Distancia a Cuerpo de Agua
Profundidad de la capa Freática
Distancia a Pozos
Permeabilidad de Rocas
Area Natural Protegida
Criterio Socioeconómico
Compatibilidad de uso de suelo
Distancia a Asentamientos Humanos
Distancia a Zona Industrial
Distancia a Recicladores
Criterio Técnico
Distancia a Vialidades Principales
Distancia a Aeropuertos
Pendiente

Construcción de variables:

Para realizar la construcción de variables se consultó el rango de distancias y especificaciones establecidas en la NOM-083-SEMARNAT-2003, obtenido esto se empezó por la construcción de las variables, dicha construcción consistió en la realización de 2 áreas de influencia la primera la otorga la NOM-083-SEMARNAT-2003 y la otra fue consultada en literatura vigente, se procedió a realizar recortes a la cartografía y a las áreas de influencia que excedía el área de estudio y conversión de la referencia espacial a “WGS_1984_UTM_Zone_15N”.

Codificación de variables:

Para la realización de este punto se empezó utilizando la herramienta de Geoproceso llamada “unión” esto con la finalidad de unir las aéreas de influencia de cada variable con el área de estudio teniendo en total 3 capas unidas, teniendo eso se utilizó” Dissolve” que es otra herramienta de Geoproceso que nos ayudara a disolver atributos que contiene la cartografía por defecto, quedándonos solo con las que se necesitan (dependerá del usuario). Realizado lo anterior se procedió a abrir la tabla de atributos de la variable en la cual se añadió un campo nuevo que se llamó “value” y en el tipo de campo se utilizó el entero corto, posteriormente se le agrego valores a las variables que van de 1 a 3, (siendo el 1 el peor lugar y el 3 el mejor), los valores numéricos se agregaron seleccionando la capa y dando clic derecho sobre el campo añadido. Luego seleccionamos “Field Calculator” y en el apartado de nombre “codi =” agregamos uno de los tres valores numéricos antes mencionados (se repite con las demás variables).

3.2.2 Ponderación de variables

La estadística espacial integra el espacio y las relaciones espaciales directamente en sus cálculos matemáticos (por ejemplo, área, distancia, longitud o proximidad). Por lo general, estas relaciones espaciales se definen formalmente a través de valores que se denominan ponderaciones espaciales. Para poder realizar la ponderación de variables se tiene que recurrir primeramente al método de comparación por pares, el sistema de comparación por pares es una poderosa herramienta para inferir la importancia relativa de varias opciones, cuando tal importancia no puede evaluarse mediante una calificación directa (Ramírez, 2004).

Como primer paso se tiene que identificar las opciones que se evaluarán, que en este caso son las variables para posteriormente establecer qué alternativas se someterán al proceso de comparación. Hay que tener en cuenta que, a medida que el número de opciones crece, la dificultad de llevar a cabo el procedimiento es mayor, para continuar se tiene que preparar la tabla en la cual se llevara a cabo la comparación por pares. Para ello, se enumeran todas las alternativas, tanto en la columna izquierda como en la fila superior de la tabla. También se anulan las celdas que supondrían auto comparaciones o comparaciones duplicadas, la siguiente tabla muestra cómo debe quedar la tabla de comparación por pares.

Tabla 4. Comparación en pares (ejemplo 1).

Criterios	Comparación en pares		
	Generales	Socioeconómico	Ambiental
Socioeconómico			
Ambiental			
Técnico			

Cada columna y fila de la matriz se etiquetó con el nombre de uno de los criterios (en el mismo orden en ambos ejes, de izquierda a derecha en las columnas y de arriba abajo en las filas). Le continúa comparar pares y asignar posiciones para esto, en cada celda en blanco, se debe comparar la opción de la fila con la opción de la columna según los criterios establecidos.

Se asigna una **puntuación ponderada para cada comparación**, donde:

1: es la peor posición.

2: es una posición intermedia.

3: es la mejor posición.

“No obstante, puede trabajarse con otra escala de anclajes distintos”.

Entonces, se anota la letra de la opción preferida seguida de la puntuación, según la escala anterior.

Por ejemplo, en la tabla siguiente, la comparación por pares de ambiental – social se anota S/3. Ello significa que la opción A (socioeconómico) se considera bastante superior a la alternativa B (ambiental).

El proceso **se repite hasta que se evalúan todos los pares posibles**.

Tabla 5. Comparación en pares (ejemplo 2).

Criterios Generales	Comparación en pares		
	Socioeconómico	Ambiental	Técnico
Socioeconómico		S/3	S/5
Ambiental			A/2
Técnico			

Sólo se evaluó el triángulo superior derecho. A continuación, se rellenaron las celdas comparando la importancia relativa del criterio de cada fila con relación al criterio de su columna correspondiente, avanzando de columna a columna, de izquierda a derecha.

Para finalizar, se contabilizan los resultados y para esto se suman los valores alcanzados para cada una de las opciones. El resultado se expresa en términos de porcentaje, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Comparación en pares (ejemplo final).

Suma	Peso	% peso
ΣHA	$\Sigma HA / \Sigma SUMA$	peso*100

La comparación permite establecer jerarquías o pesos para los criterios, asignando así a cada uno de ellos un valor relativo de ponderación frente a los demás, basados en una escala de juicios de valor o niveles de importancia establecidos por el mismo procedimiento.

Así, los factores serán combinados por medio de la proporción de consistencia dada por la siguiente fórmula:

$$CI = \frac{\lambda Max - n}{n - 1}$$

Proporción de consistencia: es el resultado de la relación entre el índice de consistencia y el índice aleatorio. El valor de esta proporción de consistencia no debe superar el 10%, para que sea evidencia del juicio informado.

Si ocurriera el caso de que la proporción de consistencia es mayor a 10%, entonces hay que volver a revisar los juicios ingresados en la matriz de comparaciones a pares y solucionar la inconsistencia (buscando consensos entre el o los agentes).

Si $(CR) < 0.10 \implies$ Los juicios son consistentes.

Si $(CR) = 0.10 \implies$ Los juicios deben revisarse.

Índice de consistencia (CI): es una medida de la desviación de la consistencia de la matriz de comparaciones a pares. La forma de obtenerlo es a través del máximo valor propio de la matriz de comparaciones. En casos donde puedan existir inconsistencias en los juicios el valor propio tiende a ser mayor que el rango de la matriz.

Donde:

λ : es el valor máximo de la matriz de comparación por pares.

n: número de criterios.

Índice aleatorio (RI): es el índice de consistencia de una matriz recíproca aleatoria, con recíprocos forzados, del mismo rango de escala de 1 hasta 9. Saaty en 1987 ya definió esta matriz (aunque puede ser calculada por uno mismo) la que sirve para hacer cálculos de la proporción de consistencia.

La Tabla 7 nos da ciertos valores dependiendo de cuantos órdenes jerárquicos tendremos el proyecto y se tienen 3 niveles y en la tabla 8 es la realización de la fórmula de proporción de consistencia y nos debe dar un valor aceptable y el índice aleatorio es el mismo que nos arroja la tabla 7.

Tabla 7. Valores de RI.

Valores de RI										
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random consistency index (R.I)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Tabla 8. Ejemplo de cómo realizar la fórmula de proporción de consistencia.

ÍNDICE DE CONSISTENCIA (CI)	0.003
ÍNDICE ALEATORIO (RI)	0.520
RAZON DE CONSISTENCIA (CR)	0.005 VALOR ACEPTABLE

3.3 Evaluación multi-criterio

La EMC basa su funcionamiento en integrar todos los criterios y variables en una matriz, llamada de decisión o evaluación, donde la columna principal contiene los criterios, las alternativas, y en el interior de la matriz aparecen las puntuaciones obtenidas de los criterios. Dichas puntuaciones representan el valor, nivel de preferencia, grado de atracción o significancia que ha obtenido cada variable para cada criterio (Aceves *et al.*, 2006).

Las ponderaciones utilizadas en este trabajo se obtuvieron de la metodología de comparación por pares la cual nos ayudó a poder obtener la importancia relativa de cada variable utilizada, dicha comparación nos permitió establecer jerarquías o pesos para los criterios, asignando así a cada uno de ellos un valor relativo de ponderación frente a los demás, basados en una escala de juicios de valor o niveles de importancia establecidos por el mismo procedimiento. Para el desarrollo de modelos de emplazamiento de RS que permitan la coexistencia armónica y salud ecológica de los ecosistemas, hace falta que éstos sean en primer lugar definidos, como un determinado tipo genético-funcional, y, en segundo lugar, dimensionados en un espacio geográfico concreto; en otras palabras, tienen que ser clasificados funcionalmente y cartografiados. En este contexto, la aproximación ecosistémica a través de la clasificación jerárquica permite inventariar y cartografiar los ecosistemas de un territorio y, por tanto, indirectamente darle una expresión espacial a los valores instrumentales de los recursos que estos representan.

3.3.1 Integración de variables a criterios

Para integrar las variables a los criterios, se empezó por asignar cada variable a uno de los tres criterios (Ambiental, Social y Técnico) esto en base a su aportación o utilidad de cada variable. En la figura 7 una vez establecida la matriz de evaluación con todos sus componentes, se procedió a realizar los mapas respectivos de cada criterio, esto se hizo con la herramienta de “Weighted Sum” y agregamos las variables correspondientes de cada criterio, ponderamos las variables de cada criterio, las ponderaciones utilizadas fueron los valores obtenidos en el

apartado de peso en las tablas de arriba, a continuación se muestra un ejemplo de cómo debe de quedar (este proceso se repitió con los demás criterios faltantes).

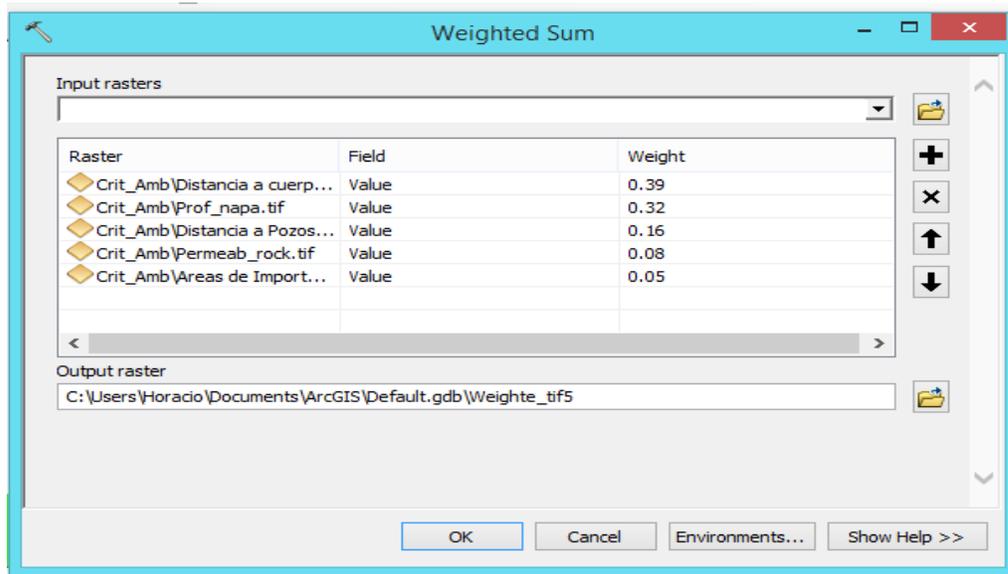


Figura 7. Ejemplo del uso de la herramienta “Weighted Sum”

Creación del mapa final:

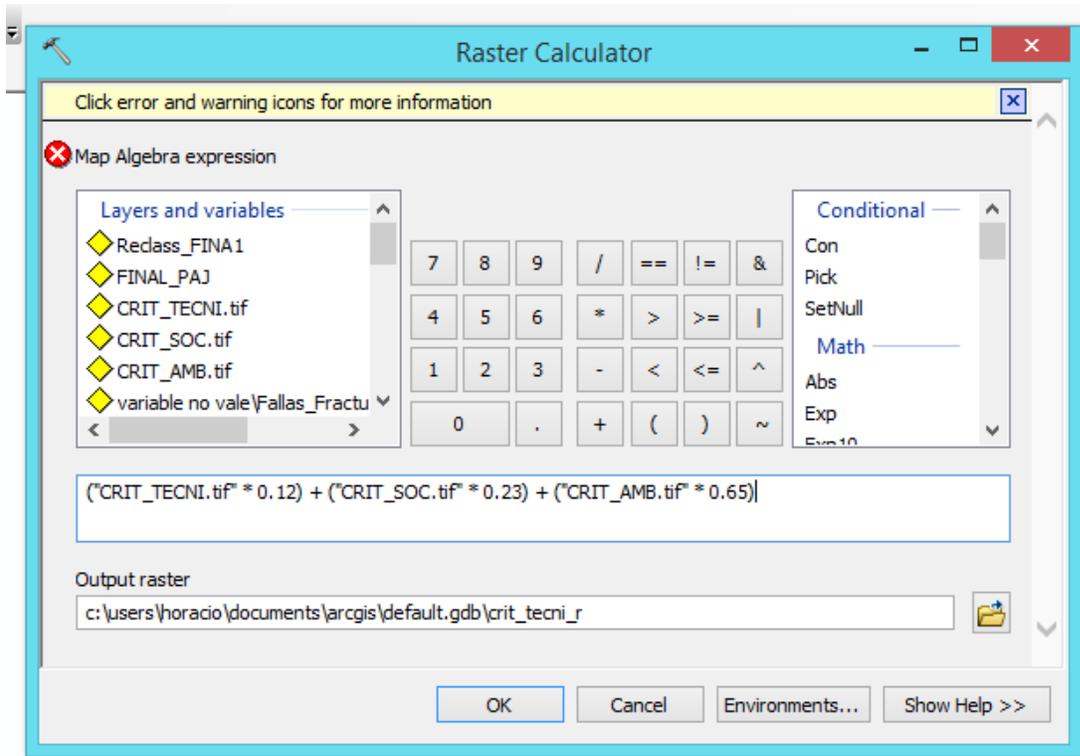
Una vez modelado los mapas de los tres criterios se procede a combinarlos como se aprecia en la figura 8 para obtener el primer nivel jerárquico que será el de áreas idóneas y para eso se utilizó la herramienta “Raster Calculator” en la cual debemos agregar las capas de los mapas de los tres criterios en el recuadro en blanco que se encuentra en la parte de abajo y se multiplicará por el peso de cada criterio general que se obtuvo con anterioridad en la tabla 3, quedando de la siguiente manera “ (“criterio técnico” * peso) + (“Criterio Ambiental” * peso) + (“Criterio Social”

*

peso)

”.

Figura 8. Ejemplo de cómo debe de utilizarse la herramienta “Raster Calculator”.



Tal valoración e interpretación permitió, haciendo uso del SIG, que la información cartográfica y temática de los criterios para cada una de las variables, fuera sometida a una serie de operaciones de clasificación, sobreposición, interpolación, cálculo de distancias o proximidades con el fin de representar las distintas clases o valores de peligros, y que, finalmente, las alternativas fueran reclasificadas en valores de menor a mayor de acuerdo a la escala de puntuación manejada (en este caso de 1 a 3).

3.4 Validación de la modelación espacial

Como método para validación espacial se utilizará la matriz de confusión. La matriz de confusión es una herramienta fundamental a la hora de evaluar el desempeño de un algoritmo de

clasificación, ya que dará una mejor idea de cómo se está clasificado dicho algoritmo, a partir de un conteo de los aciertos y errores de cada una de las clases en clasificación (Muñoz, 2016).

3.4.1 Matriz De Confusión

La matriz de confusión se construye a partir de una imagen de satélite con N celdillas clasificadas en M clases. Sobre las columnas se ordenan las clases reales (verdad-terreno), y sobre las filas las unidades cartográficas (unidades -o clases del mapa). Los elementos que aparecen en la diagonal nos indican el número de clasificaciones realizadas correctamente, y aquellos que aparecen fuera suponen migraciones o fugas (Muñoz, 2016).

Desde el punto de vista de la interpretación de la matriz de confusión, existen dos tipos de errores:

- Errores de omisión (riesgos del usuario): son los elementos que perteneciendo a esa clase no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra (datos por debajo de la diagonal principal de la matriz de confusión).
- Errores de comisión (riesgos del productor): son los elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella (datos por encima de la diagonal principal de la matriz de confusión).

La matriz de confusión facilita la detección de errores y, además:

- Permite el análisis descriptivo.
- Visión general de las asignaciones correctas y de las equivocaciones.
- Permite el análisis analítico.
- Distintos niveles de análisis: global, por tipo de entidad, por casos concretos.

El desempeño de un sistema es usualmente evaluado usando los datos en dicha matriz. La siguiente tabla muestra la matriz de confusión para un clasificador en dos clases:

Tabla 9. Esquema general de la matriz de confusión.

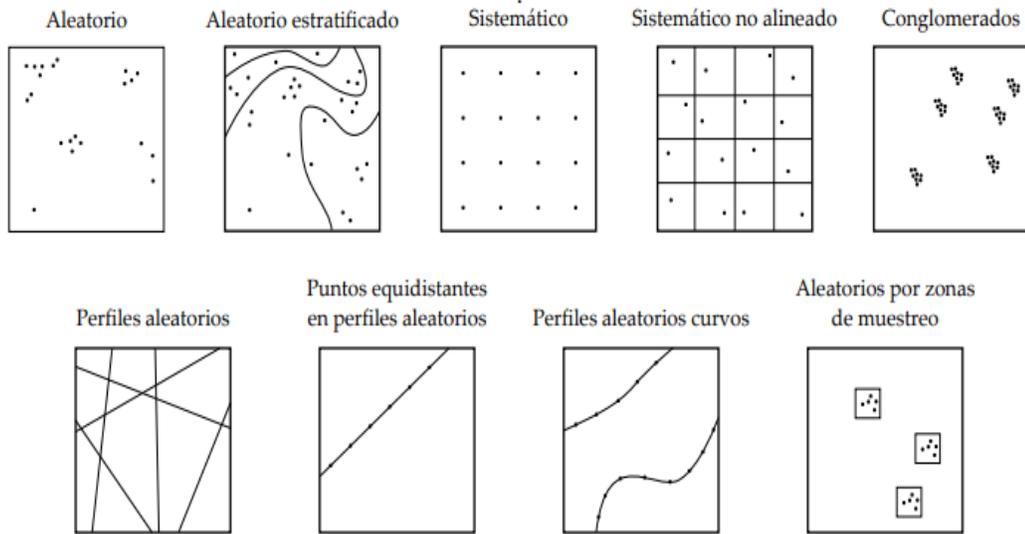
		Clase de cartografía existente o base de datos real						
		A1	A2	...	AM	Total cartografía	Exactitud del usuario	Error por omisión
Clase de cart	A1							

	A2							
	...							
	AM							
	Total real							
	Exactitud del productor							
	Error por omisión							

3.4.2 El muestreo

Con el fin de poder llevar a cabo un análisis de control de calidad temática de la cartografía generada, se ha de llevar a cabo un muestreo sobre el terreno para realizar la comparativa pertinente. En cuanto al tamaño de la muestra, ésta debe de tener cierta significación estadística, para lo cual, como regla general se recomienda tomar al menos 50 muestras por cada clase siempre y cuando el área de estudio sea inferior a 4,000 km² y entre 75 a 100 sitios cuando sea superior a 4,000 km² (Muñoz, 2016). Para este trabajo se utilizó el muestreo aleatorio simple a base de puntos, los cuales fueron 50 puntos para cada categoría que son tres la alta, la media y la baja, el cual consiste en que los sitios de verificación se eligen de tal forma, que todos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. El problema con este tipo de muestreo es que las categorías del mapa que presentan una superficie reducida son muy poco representadas o inclusive ausente de la muestra. Existen varios tipos de muestreos como se especifica en la figura 10.

Figura 9. Tipos de muestreos.



Fuente (Muñoz, 2016).

3.4.3 Índice de kappa

También se calculó la índice kappa el cual permite determinar si los resultados presentados en la matriz de confusión son significativamente mejores que los obtenidos con un clasificador aleatorio, por lo que delimita el grado de ajuste debido solo a la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios. El resultado de realizar un análisis kappa es un estadístico en el que se consideran los errores de omisión y comisión, en tal sentido se puede considerar como un indicador más global de exactitud que la exactitud total.

El índice de kappa está dado por la siguiente fórmula:

$$\frac{N \sum_i^r = 1 - \sum_1^r = 1(x_i + * x_{+1})}{N^2 - \sum_i^r = 1 (x_i + * x_{+1})}$$

Donde:

r = al número de filas en la matriz

x_{ii} = número de observaciones en elemento de la fila i y la columna i

x_{i+} = total de observaciones en la fila i (es el total marginal a la derecha de la matriz)

x_{+i} = total de observaciones en la columna i (es el total marginal al pie de la matriz)

N = número total de observaciones incluidas en la matriz

Por otra parte, existen escalas de valores que permiten determinar el grado de ajuste realidad–mapa o concordancia de acuerdo al valor kappa obtenida. En este trabajo se empleó la escala propuesta por Landis & Koch (1997).

Tabla 10. Valores y fuerza de concordancia del coeficiente Kappa.

Coeficiente Kappa (k)	Fuerza de concordancia
<<0.00	Pobre
0.00 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

Fuente (Landis & Koch, 1977).

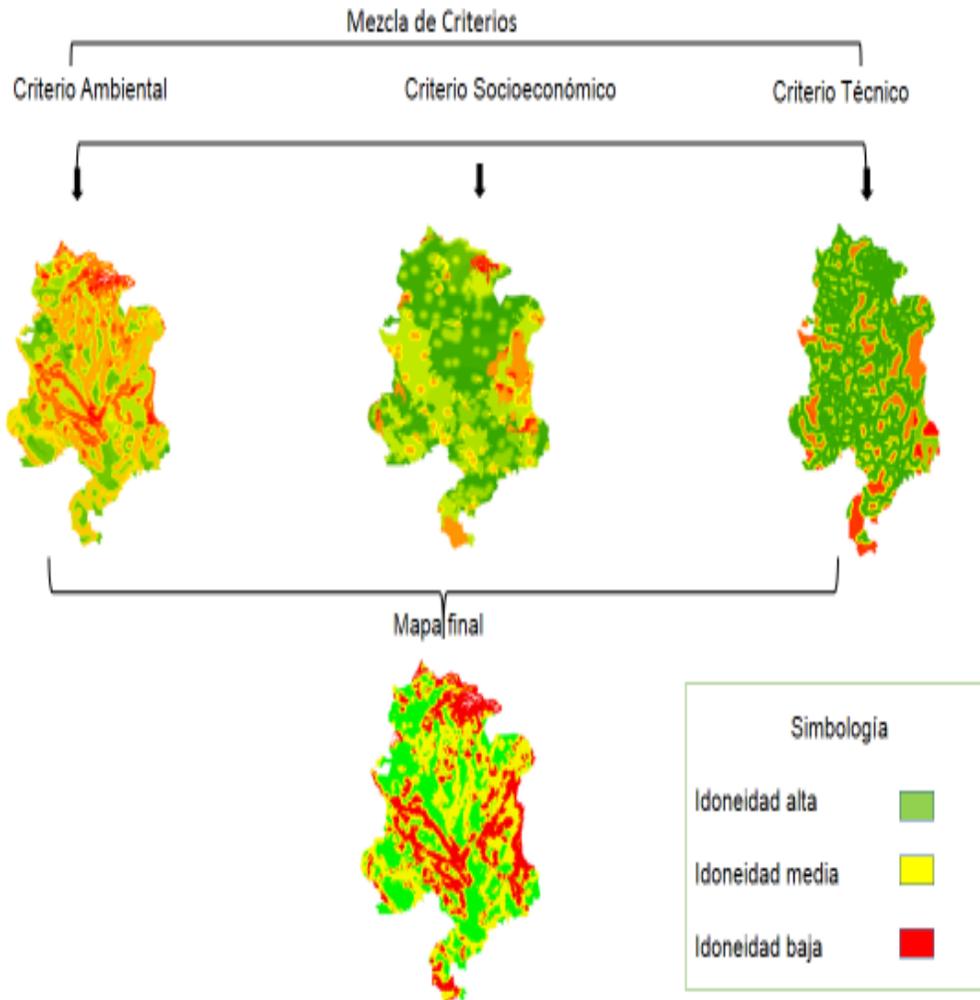
El valor de kappa oscila entre 0 y 1, el cual, mientras más se acerque al valor de 1 la fuerza de concordancia de los datos con la cartografía elaborada será casi perfecta.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Mapa Final

Aquí se ofrece un resumen del AHP como método para la evaluación de la idoneidad del sitio. Primero, el AHP proporciona una estructura jerárquica que le permite a uno organizar la relación de factores en un análisis de idoneidad. En el ejemplo ilustrativo presentado, se utilizó una jerarquía que tenía tres niveles (Ver Figura 11). El nivel 1 estableció el objetivo de una evaluación del sitio problema, sujeto a un conjunto de criterios de idoneidad. Los criterios se especificaron en el segundo nivel, y los sitios alternativos y sus atributos se identificaron en el tercer nivel de esta jerarquía.

Figura 10. Diagrama del método "Evaluación multi-criterio".



La selección de un sitio adecuado para nuevos RS de acuerdo con las regulaciones ambientales y los aspectos económicos y técnicos es uno de los problemas más complicados para los municipios. Para considerar todos los factores y regulaciones, se usó una combinación de SIG y AHP para resolver este desafiante problema. Los criterios principales se eligieron considerando la condición del área de estudio y la normativa. La importancia relativa de cada criterio determinado por AHP mostró que los más importantes fueron los ecosistemas sensibles y las aguas superficiales, mientras que el criterio menos importante fue la pendiente. Después de estudios preliminares, se seleccionaron dos sitios para investigación detallada y visita al sitio.

4.2 Calidad de la cartografía

La validación de las clases temáticas encontradas en la cartografía, fue realizada mediante la matriz de confusión, acompañada de su estadístico “Kappa”.

En la tabla 9 presenta los estadísticos calculados. El valor de Kappa obtenido fue de 0.410 lo cual indica que la cartografía o mapa temático puede ser considerado como moderado, ya que el valor se encuentra entre 0.41 y 0.60.

Tabla 11. Calidad de la cartografía.

CLASES		VERDAD TERRESTRE EN PÍXELES (MAPA VERDAD)			
		BAJA APTTUD	MEDIA APTTUD	ALTA APTTUD	TOTAL
MODELO SDF	BAJA APTTUD	29	12	2	43.00
	MEDIA APTTUD	21	25	11	57.00
	ALTA APTTUD	0	13	37	50.00
	TOTAL	50.00	50.00	50.00	150.00
Error omiso		67.442	43.860	74.000	La exactitud del usuario, también
Error de comisión		58.000	50.000	74.000	
Exactitud Global		60.667			
Kappa		0.410			

conocida como error de comisión o error tipo 1, presentó valores de 58%, 50% y 74% para las clases o niveles de riesgo Bajo, Medio y Alto respectivamente.

En cuanto a la exactitud del productor, error de omisión o tipo 2, se determinaron valores de 67.442%, 43.860% y 74.000% para los niveles de riesgo Bajo, Medio y Alto; siendo la clase o nivel de riesgo Bajo, la que presentó la mayor cantidad de píxeles catalogados incorrectamente.

Por último, la exactitud global fue de 60.667%, lo que quiere decir que, tan solo 100 puntos o píxeles de los 150 analizados, fueron clasificados correctamente.

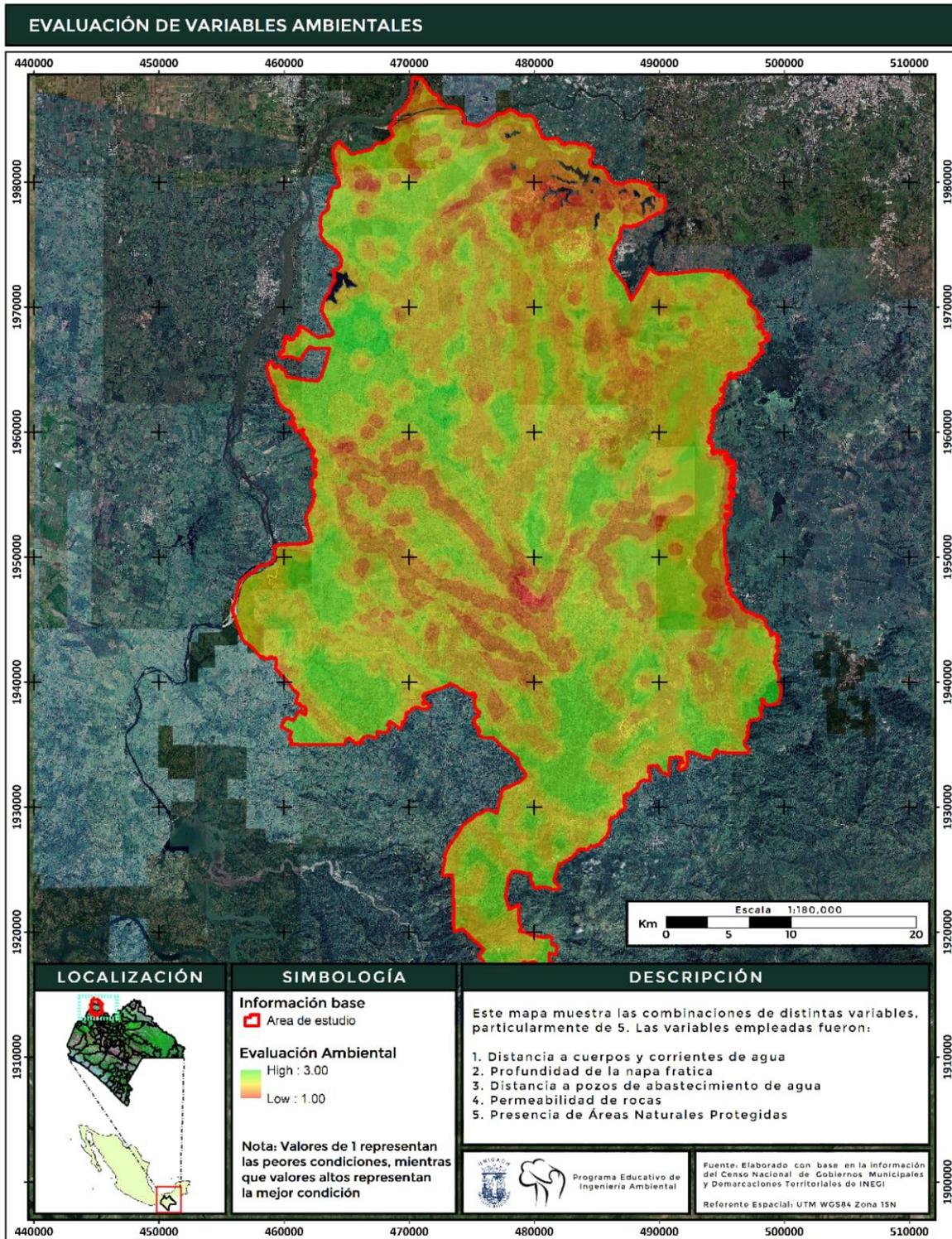
4.3 Variables

Para el desarrollo del trabajo se han recopilado variables espaciales, tomando como referencia la literatura existente sobre la temática, pero principalmente considerando la información disponible del área de estudio, se obtuvieron un total de 17 mapas, de los cuales 13 son variables, 3 de criterio y el último que es el mapa final con los sitios potenciales para la disposición final de RSU, esto con la intención de que nos ayude a planear y planificar nuestras acciones y por consiguiente optimizar la toma de decisiones.

4.3.1 Criterio Ambiental

Derivado del análisis multi- criterio donde se mezclaron las variables de la temática ambiental que son las Distancia a cuerpos y corrientes de agua con mayor influencia se le obtuvo el peso de 0.3851, Profundidad de la capa freática con peso de 0.3184, Distancia de pozos con el peso de 0.1625, Permeabilidad de rocas con su peso de 0.08 y Áreas natural protegidas con el peso de 0.05 con menor valor pero la suma de todos los pesos se obtuvo el peso que de 0.65 la razón es que dentro de la normal tiene mayor influencia dentro de estos estudios para la ubicación de sitios.

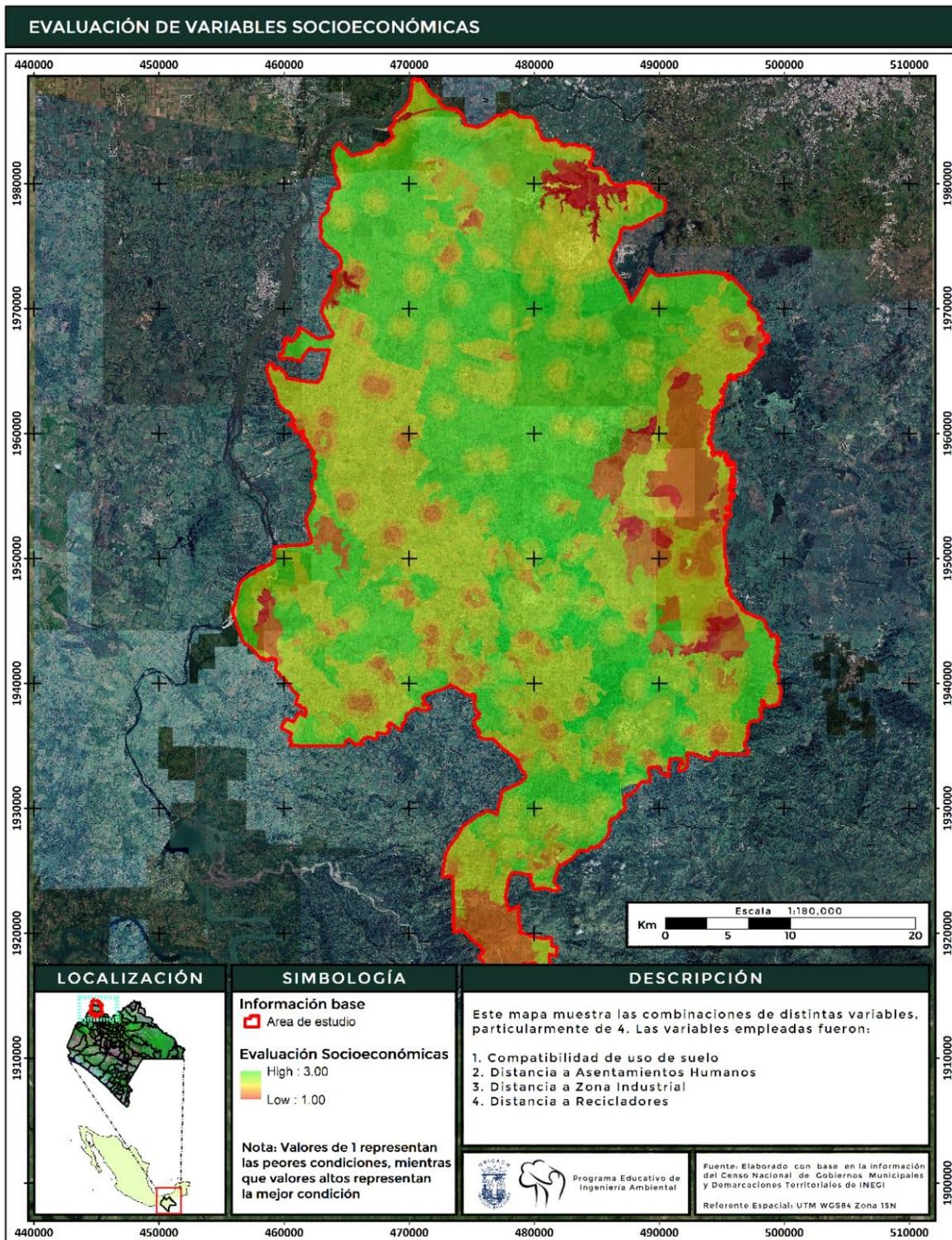
Figura 11. Variables Criterio Ambiental.



4.3.2 Criterio Socioeconómico

De igual forma en la mezcla de las variables de la temática socioeconómicas que son Compatibilidad de uso de suelo y su peso de 0.5724 es el mayor pesos por la importancia dentro de la carta urbana para el emplazamiento , Distancia a asentamientos humanos su peso es de 0.2451, Distancia a zonas industriales con el peso de 0.1192 y Distancia a recicladoras que es el peso menor de 0.06 con el cual se obtuvo un peso total de 0.23 lo cual se debe que el aspecto económico es importante pero no más que la ambiental y si tiene un mayor peso en cuanto al criterio técnico el cual se describe en la figura siguiente.

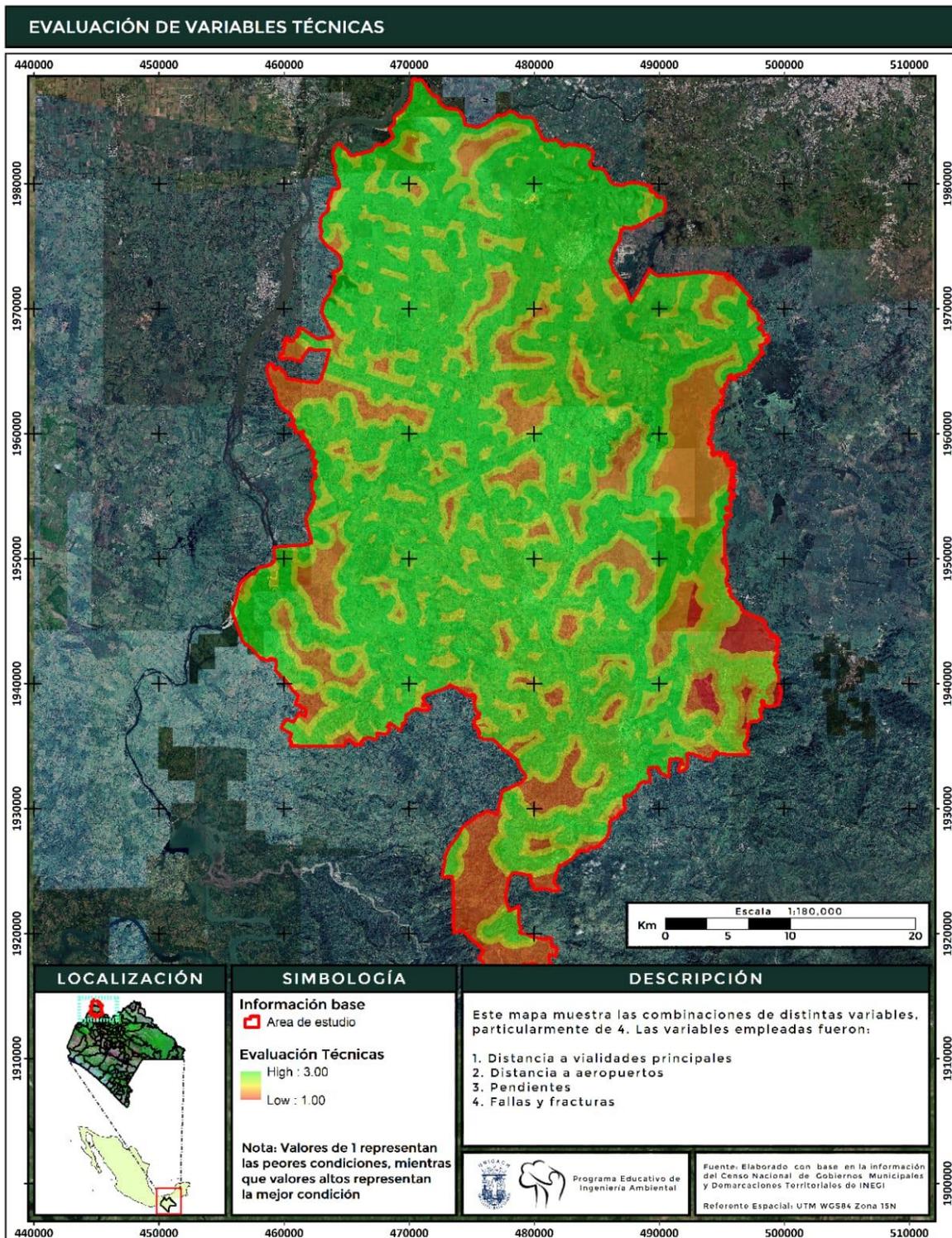
Figura 12. Criterio Socioeconómico.



4.3.3 Criterio Técnico

En el último criterio técnico se mezclaron las variables como las siguientes con los pesos correspondientes: Distancia a vialidades principales con un peso de 0.6644, Distancia a Aeropuertos con su peso de 0.1815, Pendiente con el peso de 0.0981 y Fallas y fracturas con el peso menor de 0.06. La suma de todos los pesos de este criterio da 0.12. El diagrama siguiente muestra las variables para tener el mapa del criterio técnico.

Figura 13. Criterio Técnico.



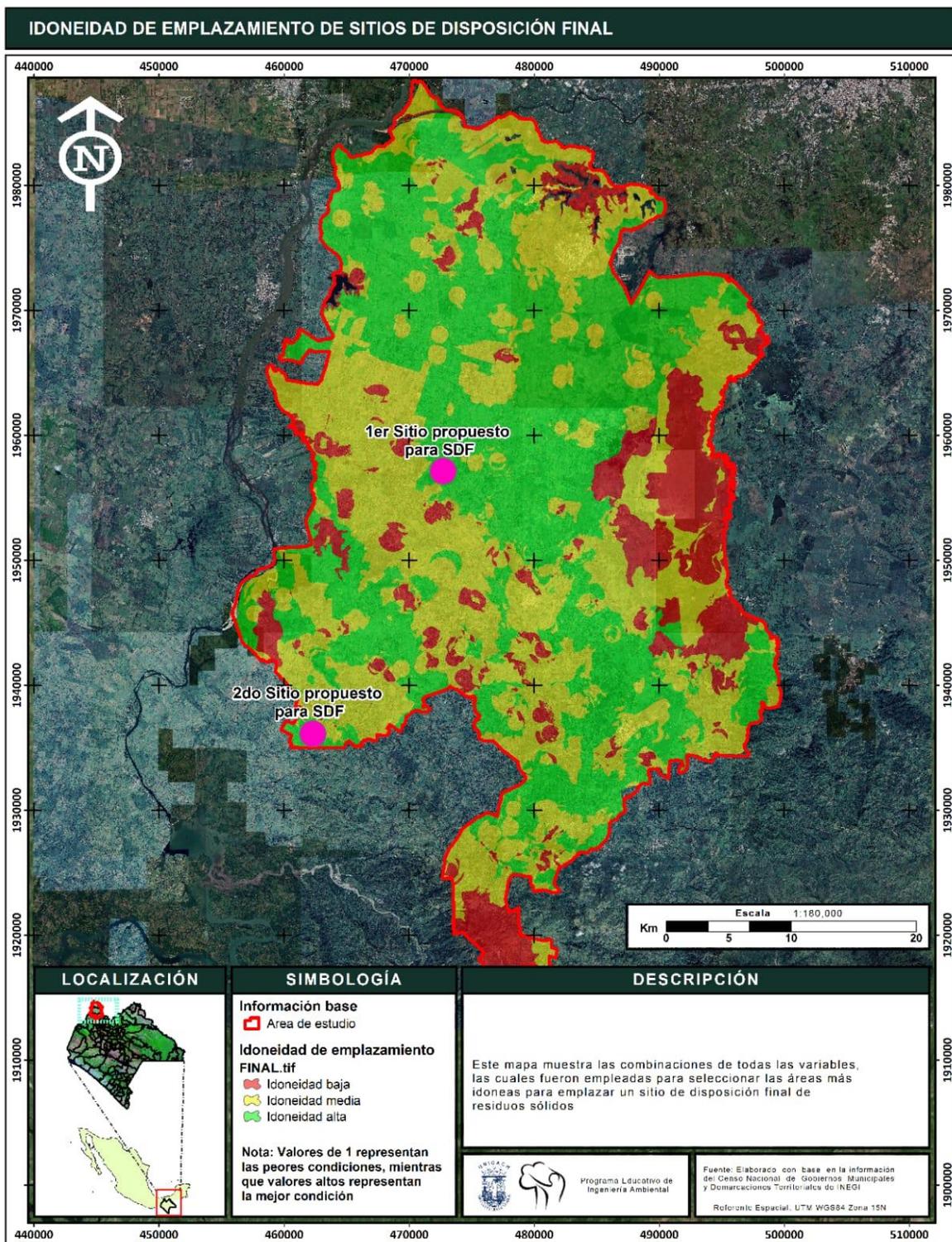
4.4 Áreas propuestas para el SDF

La obtención del resultado surge del proceso del cruce de las variables de la cual se obtiene una imagen que contiene un grupo de píxeles independientes, cada uno con un valor específico dentro de una, posteriormente se reclasificó la imagen en tres rangos (factible, poco factible y no factible) dependiendo del número de píxeles. Los SIG constituyen un sistema de gestión de información que proporciona herramientas de análisis espacial para el almacenamiento, gestión, visualización y modelado de datos espaciales mediante la manipulación de mapas computarizados georreferenciados. Dada su extrema eficiencia en cálculos que involucran combinaciones y exploración estadística de variables espaciales, los SIG se han utilizado en muchas aplicaciones que involucran el análisis de datos espaciales, entre los que se encuentran la identificación, selección, evaluación y optimización de procesos para la ubicación de vertederos.

Como resultado de la metodología empleada en este trabajo que tiene como objetivo fundamental la utilización de estas herramientas como apoyo para la toma de decisiones del ordenamiento territorial, específicamente en la ubicación de sitios potenciales para la disposición final de RSU, se obtuvieron un total de 2 sitios con un nivel de adecuación alto, que son los más representativos en la zona de estudio.

El enfoque de emplazamiento por la técnica EMC, busca que la infraestructura sea permanente y de gran extensión territorial (>10 ha), porque de esta manera, grandes cantidades de RSU pueden ser tratados y dispuestos en un mismo sitio. Las áreas idóneas determinadas por este enfoque de emplazamiento, no pueden estar dentro de la traza urbana, a excepción de pocos lugares que cumplen con las variables propuestas por la NOM-083-SEMARNAT-2003. A continuación, se describe los sitios que se obtuvieron como resultado que arrojó la metodología propuesta para esta investigación, con el fin de orientar a los tomadores de decisiones, asimismo, para la realización de estudios más detallados.

Figura 14. Sitios Propuestos Para SDF.



Este sitio denominado “sitio 1” (ver figura 15) es el primer punto propuesto para la construcción de RS, este lugar se encuentra a 12 km de distancia del centro de la cabecera municipal de Juárez, también este lugar se encuentra a 18 km de distancia del centro de la cabecera municipal de Reforma y a 25 km de la cabecera de Pichucalco lo cual se ve favorecida la parte económica en cuestiones de insumos como reducción de gastos del combustible de los vehículos; tiene un área de 40 ha (aprox.) de las cuales ya se han, el sitio se encuentra fuera de ANP’s, al igual que se encuentra retirado del alguna falla o fractura geológica, cabe mencionar que el sitio se encuentra retirado de una corriente de agua, donde se pretende realizar el RS no presenta algún inconveniente con que se sufra de filtraciones de lixiviado, pero esas precauciones se deben de considerar en el proyecto ejecutivo, el lugar no presenta desniveles por lo que se puede considerar un sitio plano. No obstante, las variadas recomendaciones técnicas y medioambientales proporcionadas por científicos, técnicos y plantas de gestión de residuos en varios países, el vertido de RSU sigue siendo una opción de eliminación ampliamente adoptada. En la actualidad, no se pueden encontrar razones evidentes para hacer previsible una tendencia diferente.

El segundo sitio propuesto fue el denominado “sitio 2” (ver Figura 15), este lugar se encuentra a 18 km de distancia del centro de la cabecera municipal de Reforma, también a 18km de la cabecera de Juárez y a 25 km de la cabecera de Pichucalco, cuenta con un área de 50 ha (aprox.) y un perímetro de 2.96 km, a diferencia del sitio 1, este se encuentra 24,1 km más lejos por lo cual quedara a consideración si se toma este sitio o no por cuestiones económicas repercutiendo en los gastos de combustible de los vehículos recolectores. Este sitio no presenta desniveles el cuál es un punto a favor, debido a que de no ser así se incrementarían los gastos de construcción, al igual se encuentra ubicado fuera de ANP’s y en sus alrededores no hay ninguna falla o fractura geológica, en cuestiones de cuerpos de agua, no se encuentra nada cercano o a distancia. Un desafío importante en este sentido es el problema de la selección del sitio del relleno sanitario, en gran parte debido a la aversión pública fuerte y generalizada; los méritos de los vertederos se debaten a nivel político, técnico y científico. Un modelo basado en AHP es de suma importancia para hacer frente a la complejidad de los problemas de selección de vertederos. El modelo es eficaz para clasificar alternativas y para ayudar a medir el grado de coherencia del conjunto general de opiniones subjetivas.

5 CONCLUSIONES

La selección de un sitio adecuado para nuevos SDF es uno de los principales problemas que sufren los municipios en desarrollo incluido los de Reforma, Juárez y Pichucalco debido a que existen diversas limitantes como las regulaciones ambientales, los problemas económicos y técnicos ya que son factores importantes de regulación a la hora de seleccionar un SDF. Para considerar todos los factores y regulaciones, utilizamos una combinación de SIG y AHP para resolver este complicado problema; este proyecto beneficia al municipio y a los habitantes de estos lugares, debido a que a través de este se da a conocer los lugares y sitios potenciales en los cuales se puede llegar a construir un SDF como una alternativa para la sustitución del sitio que se tiene ahora que no cumple con la normatividad mexicana.

Los SIG se utilizaron para preparar la estadística espacial y procesos de agrupamiento para revelar las zonas más adecuadas para el SDF, ya que nos permitió gestionar y analizar grandes volúmenes de datos con resolución espacial de una variedad de fuentes. Además, tiene la capacidad de manejar y simular las limitaciones económicas, ambientales, sociales, técnicos y políticos necesarios. Por otro lado, el AHP es una herramienta poderosa para resolver problemas complicados que pueden tener interacciones y correlaciones entre múltiples objetivos. Por lo tanto, la integración de los SIG y métodos de AHP proporciona un mecanismo para explorar a fondo los problemas complicados y proporcionar una respuesta inmediata para los decisores.

En este trabajo se concluye que, los criterios principales fueron elegidos considerando la condición del área de estudio y normativa. Las variables más importantes dentro del estudio o de mayor importancia como son: distancia a cuerpos y corriente de aguas, profundidad de la capa freática, distancias a pozos, permeabilidad de suelos y áreas naturales protegidas porque son parte fundamental para realizar estos tipos de estudios el cual es muy poco probable que veamos un RS ubicado dentro de estos criterios solo si por algún caso no se realizó y fue hecho de manera ilegal o que sea un TCA se podrán presentar caso así. También existe el caso de las no tan importantes pero van para avalar dicho estudio como son: distancia a aeropuertos, fallas y fracturas y pendiente como tal no son tan importantes aclarando que si existe algún aeropuerto ahí se da este caso por la distancia que debe alcanzar la autopista y edificaciones pero en los otros criterios no serían tan importantes como son los demás. La importancia relativa de cada criterio determinado por AHP mostró que los más importantes eran los asentamientos urbanos, las áreas de importancia hidrológica y naturales, mientras que el menos importante eran las zonas arqueológicas.

A través de los SIG y de la EMC denominada AHP fue posible determinar los lugares potenciales de emplazamiento del SDF en los municipios teniendo los puntos más altos en la zona oeste del área de estudio a unos 12 km de la cabecera de Reforma dando resultados precisos, teniendo como resultado dos sitios seleccionados, sin embargo, es importante las visitas al sitio para corroborar la idoneidad del lugar e investigar de manera detallada las especificaciones de estos, el resultado de la visita al sitio reveló que este método es una herramienta eficiente para la detección preliminar de un área amplia, sin embargo, se requieren de inspecciones detalladas para involucrar al público en el proceso de selección del SDF.

La validación espacial obtenida se hizo a través del coeficiente kappa obteniendo un resultado de 0.410, el cual al compararlo con la tabla de valores y fuerza de concordancia elaborada por Landis y Koch 1977 lo cual indica que la cartografía o mapa temático puede ser considerado como moderado, ya que el valor se encuentra entre 0.41 y 0.60., lo cual demuestra que la cartografía obtenida para la realización de este trabajo no tuvo errores considerables tanto de omisión como de comisión.

Para futuros trabajos se buscará implementar la mayor cantidad de variables, por ejemplo, con las que se cuentan, pero incluir también la de vegetación y uso de suelo y distancia a zonas de inundación.

6 REFERENCIAS

Aceves-Quesada, F., López-Blanco, J., & Martín del Pozzo, A. L. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 23(2), 113-124.

Álvarez Martínez, R. L. (2016). *Diagnóstico y Propuesta de mejora del tiradero municipal de Villa Victoria, Estado de México*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/58720>

Caballero-Saldívar, D. E., de la Garza-Requena, F. R., del Carmen Andrade-Limas, E., & Briones-Encinia, F. (2011). Los rellenos sanitarios: una alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. *CienciaUAT*, 6(2), 14-17.

DOF. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. DOF. México.

EcuRed. (2020). *Análisis multicriterio* - EcuRed. [http://www.ecured.cu/An%C3%A1lisis multicriterio](http://www.ecured.cu/An%C3%A1lisis_multicriterio)

Fazenda, A. J., & Tavares-Russo, M. A. (2016). Caracterización de residuos sólidos urbanos en Sumbe: herramienta para gestión de residuos. *Ciencias Holguín*, 22(4), 1-15.

Güler D. y Yomraloğlu T. (2017). Alternative suitable landfill site selection using Analytic Hierarchy Process and Geographic Information Systems: A case study in Istanbul. *Environ. Earth. Sci.* 76 (20), 678. DOI: 10.1007/s12665-017-7039-.

Hernández, C. P. (2003). *PROYECTO DE APOYO A LA GESTIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS*. 181.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics*, 33(2), 363. <https://doi.org/10.2307/2529786>

León, G. (2008). Métodos de Localización Factores de Localización. 1–11.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (2015). 114.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2021). Diario Oficial de la Federación: México.

Molina, A. M., López, L. F., & Villegas, G. I. (2005). Los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación municipal. *Revista ELA*, (4), 21-31.

Montalván-Estrada, A., Aguilera-Corrales, Y., Veitia-Rodríguez, E., & Brígido-Flores, O. (2017). Análisis multicriterio para la gestión integrada de aguas residuales industriales. *Ingeniería Industrial*, 38(1), 56-67.

Muñoz, J. M. S. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento matemático*, 6(2), 9-26.

Nájera Aguilar, H. A., Vera Toledo, P., & Rojas-Valencia, M. N. (2012). Investigación del sitio de disposición final de residuos sólidos de la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 5(1), 67-78.

Narcia Cruz, J. A. (2022). Macrolocalización de áreas óptimas para sitios de disposición final en Chiapa de Corzo, Chiapas.

Olaya, V. (2009). Sistemas de información geográfica. *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*, (8), 15.

Panorama sociodemográfico de Chiapas 2020. (2021). 139.

Pérez Polanco, B. (2017). *Geocalización de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos urbanos en la cuenca Nexapa, Puebla* (Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Ramírez, M. (2004). El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del Chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 1-4.

Ríos Valdez A. (2017). La basura en Chiapas. Consultado el 11 de noviembre de 2022. Diario ultimátum. Recuperado de <https://ultimatumchiapas-com.cdn.ampproject.org/>

Rodríguez, D. (2008). Características e importancia de los rellenos sanitarios. *Morelia: División de Educación continua ya Distancia*.

Rojas-Valencia, M. N., & Sahagún, C. (2012). Tiraderos a cielo abierto. *Ciencia y Desarrollo*, (mayo-junio 2012). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/265086599_Tiraderos_a_cielo_abierto.

Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135.

Sánchez Muñoz, J. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento Matemático*, 6(2), 9–26.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. México: Gobierno de México.

Sistema estatal de información ambiental del estado de Chiapas. (2016). Inventario de sitios de disposición final de residuos, rellenos sanitarios, estaciones de transferencia de residuos, plantas de separación y centros de acopio que operan en el Estado. 2020, del sistema estatal de información ambiental del estado de Chiapas Sitio web: <https://sistemaestatalambiental.chiapas.gob.mx/fraccionXIV.html>

Soriano Bonilla, L. (2007). *Relleno sanitario, generador de biogás: fuente de energía alterna* (Doctoral dissertation).

Torri, S. (2017). ¿Qué es un relleno sanitario? *Centro de Estudios y Desarrollo de Políticas Públicas*.

Ullca, J. (2006). Los rellenos sanitarios. *La Granaja: Revista de ciencias de la vida*, 2-17.