

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y  
ARTES DE CHIAPAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**INFORME TÉCNICO**

**MACROLOCALIZACIÓN DE ÁREAS ÓPTIMAS PARA  
SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EN CHIAPA DE CORZO,  
CHIAPAS.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA:  
JORGE ALBERTO NARCIA CRUZ**

**DIRECTOR:  
DR. JUAN ANTONIO ARAIZA AGUILAR**

**CO-DIRECTOR  
DR. HUGO ALEJANDRO NÁJERA AGUILAR**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS**

**FEBRERO 2022**





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

Lugar: Tuxtla GTZ. Chiapas

Fecha: Enero del 2022

C. Jorge Alberto Narcia Cruz.

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 en Chiapa de Corzo, 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. Juan Antonio Araiza Aguilar.

Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar.

MTRO. Roberto Moreno Ceballo.

**Firmas:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ccp. Expediente

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero a Dios por darme esa fortaleza para levantarme cada día y no renunciar en todos estos años que duró mi formación profesional, por mantenerme con salud y brindarme fortaleza para concluir este proyecto de graduación.

Mis más sinceros agradecimientos a mi madre la Sra. Gloria Cruz Pérez, porque a pesar de las dificultades que presenta la vida siempre ha sabido enseñarme a salir adelante y a no rendirme. Sin su apoyo incondicional en todos los ámbitos no hubiera podido llegar a donde estoy, a ella que ha sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quien estuvo siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre ha sido mi mejor guía de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, le dedico a ella este logro, como una meta más conquistada.

“Gracias por ser quien eres y por creer en mí”

Gracias a mis tíos el Sr. Eduardo Galecio Narcia Rodríguez y a la Sra. Ariana Lizeth Narcia Rodríguez, por ser parte de mi familia y de mi vida. Por demostrarme afecto y apoyarme económicamente en mi carrera universitaria, porque son lo más sagrado que tengo en la vida, por ser siempre mis principales motivadores y los formadores de lo que ahora soy como persona, sin ustedes y sus consejos, su amor y su cariño yo no habría llegado hasta donde estoy.

Gracias a la Lic. Sandra Gómez, por brindarme su apoyo incondicional durante todo el desarrollo de la carrera universitaria y formar parte no solo de este proyecto si no de mi vida y empezar juntos a construir un camino que nos permita estar siempre unidos y felices.

A mis Abuelitas, que con la sabiduría de Dios me han enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por su paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por sus consejos, por el amor que me han dado y por su apoyo incondicional en mi vida, por estar siempre en los momentos importantes de mi vida.

"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, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas por los foros de difusión proveídos."

Jorge Alberto Narcia Cruz

## Índice

---

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Justificación .....	3
1.3 Preguntas de investigación .....	4
1.4 Objetivos.....	5
II. MARCO TEÓRICO.....	6
II.1 ¿Qué son los residuos? .....	7
II.2 Tipos de residuos.....	7
II.3 ¿Qué es un tiradero a cielo abierto?.....	10
II.4 Los Sitios de Disposición Final.....	12
II.5 Ventajas y desventajas del Relleno Sanitario.....	14
II.6 Tipos de Rellenos Sanitarios.....	16
II.7 Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	20
II.8 La técnica EMC en el entorno de los SIG.....	22
II.9 Métodos de análisis multi-criterio .....	24
II.10 Aplicaciones de la EMC en el campo de residuos.....	25
III. METODOLOGÍA .....	27
III.1 Delimitación del área de estudio .....	28
III.2 Análisis espacial .....	29
III.3 Evaluación multi-criterio.....	34
III.4 Validación de la modelación espacial .....	36
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	40
IV.1 Mapa Final.....	41

---

IV.2 Variables .....	44
IV.3 Detalles generales de las variables.....	54
IV.4 Áreas propuestas para el RS.....	56
V. CONCLUSIÓN.....	62
VI. REFERENCIAS.....	64

## Índice De Figuras

---

Figura 1. Generación de RSU por región del año 2011.....	8
Figura 2. Generación anual promedio de RME en México, 2006 – 2012.....	9
Figura 3. Generación de RP reportada por los principales tipos de industrias generadoras.....	10
Figura 4. Diagrama de un RS.....	13
Figura 5. Método de celda, zanjas o trincheras .....	16
Figura 6. Método en zona o de áreas.....	17
Figura 7. Método de vaguada o depresión.....	17
Figura 8. Método de terrazas .....	18
Figura 9. Método de rampa.....	19
Figura 10. Método combinado .....	20
Figura 11. Área de estudio: Chiapa de Corzo.....	28
Figura 12. TCA de Chiapa de Corzo .....	29
Figura 13. Ejemplo del uso de la herramienta “Weighted Sum”.....	35
Figura 14. Ejemplo de cómo debe de utilizarse la herramienta “Raster Calculator” .....	35
Figura 15. Tipos De Muestreo .....	38
Figura 16. Diagrama del método "Evaluación multi-criterio".....	41
Figura 17. Gráfica de porcentaje ocupado por cada rango presente dentro del municipio de Chiapa de Corzo.....	42
Figura 18. Variable Aeropuerto.....	44
Figura 19. variable Áreas de importancia Hidrológica.....	45
Figura 20. variable Áreas de importancia natural .....	46
Figura 21. Variable vías de comunicación .....	47
Figura 22. variable Compradores potenciales .....	48
Figura 23. variable Edafología.....	49
Figura 24. variable Fallas y Fracturas geológicas .....	50
Figura 25. Variable Localidades > 1,000 hab. ....	51
Figura 26. variable Uso potencial de suelo .....	52
Figura 27. variable Zona Arqueológica .....	53
Figura 28. variable Pendientes.....	54

---

Figura 29. Primer Sitio Propuesto Para RS ..... 58

Figura 30. Vista Satelital Del Primer Sitio Propuesto Para El RS ..... 59

Figura 31. Segundo Sitio Propuesto Para RS ..... 60

Figura 32. Vista Satelital Del Segundo Sitio Propuesto Para El RS..... 61

## Índice De Tablas

---

Tabla 1. Comparación por pares (ejemplo 1).....	31
Tabla 2. Comparación por pares (ejemplo 2).....	32
Tabla 3. Comparación por pares (ejemplo final) .....	32
Tabla 4. Ejemplo de cómo realizar la fórmula de proporción de consistencia .....	33
Tabla 5. Esquema general de la matriz de confusión.....	37
Tabla 6 Valores y fuerza de concordancia del coeficiente Kappa.....	39
Tabla 7. Detalles generales de las variables.....	55

---

## Listado de abreviaturas

---

- **AHP:** Proceso Analítico Jerárquico
  - **EMC:** Evaluación Multi-Criterio
  - **LGPGIR:** Ley General De Prevención y Gestión Integral De Los Residuos
  - **RME:** Residuos De Manejo Especial
  - **RP:** Residuos Peligrosos
  - **RSU:** Residuos Sólidos Urbanos
  - **RS:** Relleno Sanitario
  - **SDF:** Sitio de Disposición Final
  - **SIG:** Sistemas de Información Geográfica
  - **TCA:** Tiradero a Cielo Abierto
  - **MAUT:** Utilidad Multi-Atributo
  - **SADE:** Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial
  - **CEIEG:** Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del estado de Chiapas
-

## Glosario

---

- **Aprovechamiento de los residuos:** Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.
  - **Áreas Naturales Protegidas:** Zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del hombre, y que han quedado sujetas al régimen de protección.
  - **Emplazamiento:** A la ubicación o el establecimiento geográfico o físico de algo.
  - **Macrolocalización:** Es el estadio de localización que tiene como propósito encontrar la ubicación más ventajosa para el proyecto. Determinando sus características físicas e indicadores socioeconómicos más relevantes.
  - **NOM-083-SERMANAT-2003:** Indica las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
  - **Ponderación:** Es el peso o la relevancia que tiene algo.
  - **Residuos Sólidos Urbanos:** Es aquel que es sólido y que se genera en los núcleos urbanos o en sus zonas de influencia: domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios.
  - **Residuos:** Describe al material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servido para realizar un determinado trabajo.
  - **Tiraderos:** Lugar o sitio en donde se arroja la basura.
  - **Variable:** es una palabra que representa a aquello que varía o que está sujeto a algún tipo de cambio.
-

---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

## **1.1 Planteamiento del problema**

---

El acelerado crecimiento de la población ha incrementado la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En el periodo 2000-2010 la población en México creció de 30 millones a 112.337 millones de habitantes además la generación de RSU aumentó de 3 millones de toneladas en la década de los cincuenta a 40 millones de toneladas [1]; [2].

Sabiendo lo anterior, es notable que se tiene la problemática de generación de residuos en el país, esto significa que se están generando más residuos de los que se pueden disponer en sitios autorizados para su colocación permanente. Es por eso que los gobiernos municipales y estatales se ven en la necesidad de buscar nuevas alternativas que ayuden a minimizar el problema de gestión.

De acuerdo al sistema estatal de información ambiental del estado de Chiapas [3], actualmente existen 29 Rellenos Sanitarios (RS) y 54 Tiraderos a Cielo Abierto (TCA); los TCA son un foco de contaminación ambiental porque afectan directamente el agua, aire, suelo, y producen riesgo a la salud humana por la proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades. Los problemas ambientales que producen los TCA son debido a que este tipo de obras no cumplen con la normatividad mexicana.

En la actualidad los TCA se han descrito como un problema debido al inadecuado funcionamiento y manejo, por ello éstos son considerados como un foco de infección y un factor importante para el deterioro ambiental. Hoy en día los recursos naturales en México han sufrido impactos negativos que dañan a los ecosistemas y que disminuyen la calidad y cantidad de los recursos naturales en nuestro país. Un factor importante que contribuye de manera significativa a dichos cambios ambientales es la construcción y operación de TCA, ya que éstos son obras que se utilizan para la disposición de RSU que tienen como propósito disminuir los impactos negativos al ambiente; sin embargo la inadecuada construcción y funcionamiento de dichos lugares de disposición es una de las causas principales de afectación a la salud de los seres humanos, así como la contaminación de agua, suelo, aire y vegetación que mediante los gases y olores que desprenden hacia la atmósfera por la descomposición de residuos sólidos crean problemas, esto a su vez, puede contaminar los mantos freáticos subterráneos, así como los cuerpos de agua por medio de la filtración y el escurrimiento de los lixiviados.

Es importante mencionar que las autoridades, organizaciones no gubernamentales y la población en general, deben conocer la importancia de contar con SDF ambientalmente seguros, como el RS, ya que

la inversión inicial de este tipo de obras es inferior a la requerida por otras tecnologías como incineración o pirolisis.

La Ley General De Prevención y Gestión Integral De Los Residuos (LGPGIR) [4], permite construir RS en los diversos municipios del país, porque constituyen una infraestructura idónea para el confinamiento, tanto por razones de salud pública, ambientales, económicas y de conservación de los recursos naturales.

## **1.2 Justificación**

---

Actualmente la basura (residuos sólidos) es un problema que crece a pasos agigantados. El hombre, a lo largo de la historia, ha buscado la manera más eficiente de disponer de estos residuos la cual ha ido desde el entierro y la disposición en lugares como terrenos baldíos. Lo anterior ha llevado a buscar lugares óptimos para la disposición de dichos desechos y el constante avance tecnológico y ambiental para que estos residuos dañen de menor manera al ambiente, llegando a varias conclusiones. Una de ellas son los RS, que se reduce a realizar socavones en la tierra con determinadas características para el vertido de los mismos, de manera controlada y monitoreada, pero la mayoría de los municipios solo recurren a TCA como es el caso del municipio de Chiapa de corzo que ha depositado desde los inicios sus residuos en un TCA.

El Programa Estatal Para La Prevención y Gestión Integral de los RSU y de Manejo Especial en el Estado de Chiapas [5], menciona que la entidad genera aproximadamente 4,000 toneladas diarias de RSU, de las cuales el 38% provienen de 7 municipios (Tuxtla Gutiérrez, Tapachula, San Cristóbal de las Casas, Ocosingo, Comitán de Domínguez, Chilón y Palenque). Adicionalmente, se estima que existen 12 municipios que generan entre 50 y 100 toneladas al día, que significan el 20% de la generación de RSU en la entidad, mientras que 60 municipios con rango de generación de entre 10 y 50 toneladas al día concentran el 37% de la generación. Finalmente, existen en la entidad 38 municipios con generación menor a 10 toneladas al día, los cuales representan el 5 % de la generación estatal.

El RS es un método completo y definitivo para la eliminación de todo tipo de desechos sólidos. Comúnmente tiene bajos costos de operación, mantenimiento y puede emplazarse relativamente cerca de la mancha urbana, lo cual reduce los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad, llegando a generar empleo para mano de obra no calificada y evitando los problemas de cenizas y de materiales que no se descomponen.

En México se tienen diversos tipos de sitios para la disposición final, pero eso no significa que todos sean los adecuados. Según la NOM-083-SEMARNAT-2003 [6], los sitios deben de cumplir una serie de especificaciones para que el impacto al ambiente sea el menor posible. A éstos se les denomina “sitios controlados”. Su principal característica es que cuentan con la infraestructura y obras de ingeniería necesarias capaces de minimizar el impacto al medio ambiente. Los RS son la mejor solución que se puede dar a la disposición final de residuos debido a que las obras que deben tener son básicamente dos: la geomembrana, que sirve para contener y dar tratamiento a los lixiviados, y los quemadores, que su función es dar una solución a los gases de efecto invernadero producidos por la descomposición de los residuos orgánicos

En este trabajo se pretende determinar lugares potenciales idóneos para emplazamiento de un SDF de RSU, en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Se plantean utilizar, Sistemas de Información Geográficas (SIG) y técnicas de Evaluación Multi-Criterio (EMC), para determinar los emplazamientos potenciales. Chiapa de Corzo, en el año 2010 producía 29,000 kg de RSU como promedio diario, para el año 2016 esta cantidad tuvo un incremento del 106.9% llegando a producir 60,000 kg de RSU por día [7].

### **I.3 Preguntas de investigación**

---

- ¿Sería posible que a través del uso de tecnologías de la información geográfica y de EMC, poder determinar lugares potenciales de emplazamiento de sitios de disposición final?
- ¿Cuáles serán aquellas variables más importantes para el desarrollo de este trabajo?
- ¿Qué tan válido sería el modelo espacial desarrollado en este trabajo?

## I.4 Objetivos

---

### 1.4.1 Objetivo General.

- Determinar lugares potenciales de emplazamiento para un SDF de RSU, en el Municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

### 1.4.2 Objetivos Específicos.

- Emplear SIG y técnicas de EMC, como herramientas para emplazar potenciales SDF de residuos.
- Identificar y construir las variables espaciales, que serán empleadas como insumos para emplazar los SDF.
- Evaluar las áreas y sitios potenciales de emplazamiento de disposición final, con base a la normatividad mexicana, NOM-083-SEMARNAT- 2003.

---

## **II. MARCO TEÓRICO**

---

## **11.1 ¿Qué son los residuos?**

---

Los residuos son aquellos materiales de desecho y que se encuentran en estado sólido, semisólido, líquido o gaseosos contenidos en recipientes y que pueden ser susceptibles de recibir tratamiento o disposición final [8].

Los residuos son todos los desechos que producimos en nuestras actividades diarias, y de los que nos tenemos que desprender porque han perdido su valor o su utilidad [9].

Los residuos se definen en la LGPGIR, como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley [4].

## **11.2 Tipos de residuos**

---

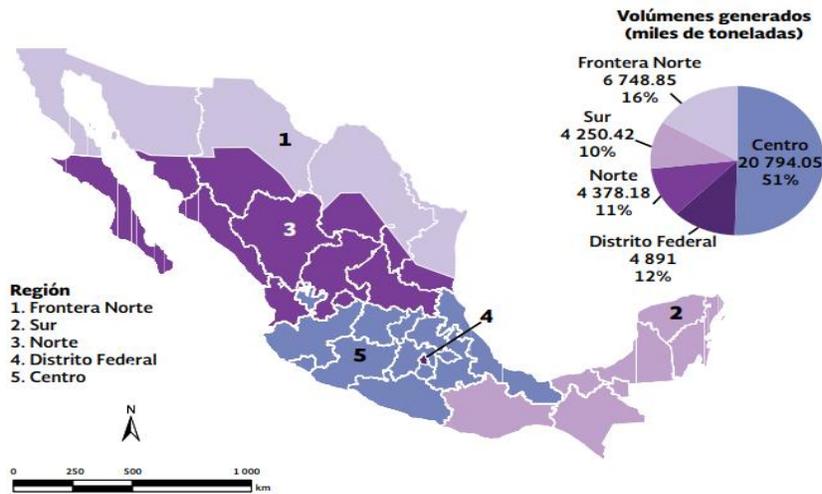
En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: RSU, residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

### **11.2.1. Residuos sólidos urbanos**

Los RSU son los que se generan en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (p. e., de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques) o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole [4].

La región del país que más RSU genera en toneladas por año es conformado por 10 estados de la República (ver Figura 1) con un total de 20,794.05 ton/año siendo esto más del 50% de los RSU totales, mientras que la región sur es la que menor porcentaje tiene con 4,250.42 ton/año.

**Figura 1.** Generación de RSU por región del año 2011



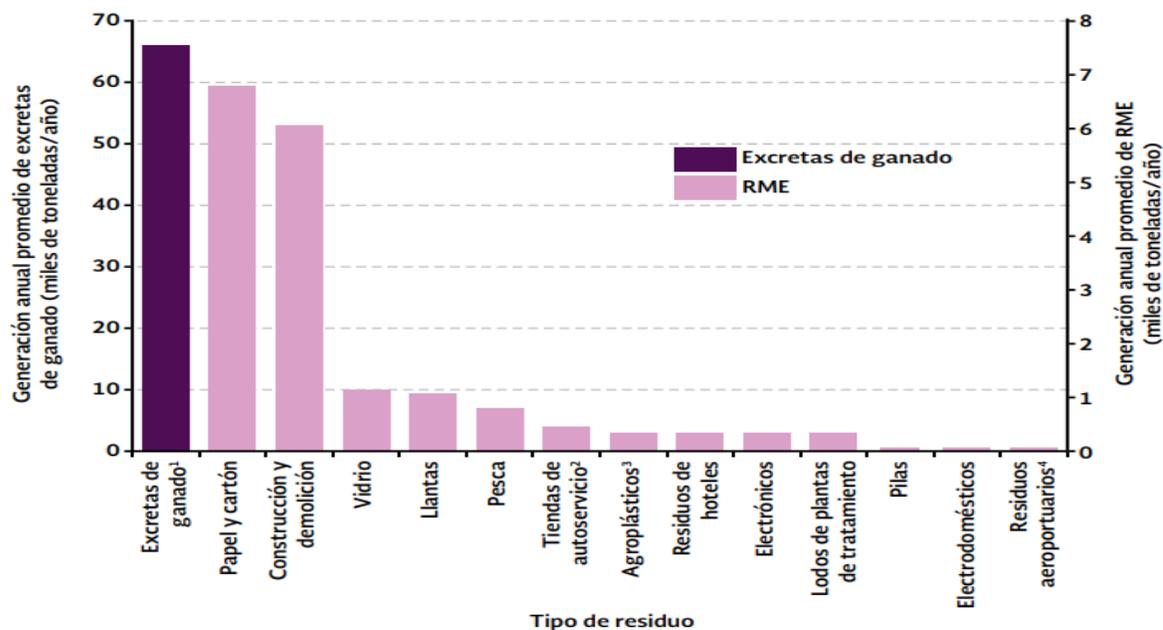
Fuente: Sedesol, [2].

### 11.2.2 Residuos de manejo especial

Los RME están definidos en la LGPGIR como aquéllos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados RSU o RP, o que son producidos por grandes generadores de RSU [4].

En México la principal fuente de RME son las excretas de ganado, debido a que se tiene una alta demanda de animales bovinos en el país (ver Figura 2) llegando a producir entre 60 y 70 (miles de toneladas/año) siguiéndole el papel y cartón con un total de 60 (miles de toneladas/año) y los residuos de construcción y demolición que va entre 50 y 60 (miles de toneladas/año), siendo estos tres los que mayor presencia presentan en el país.

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

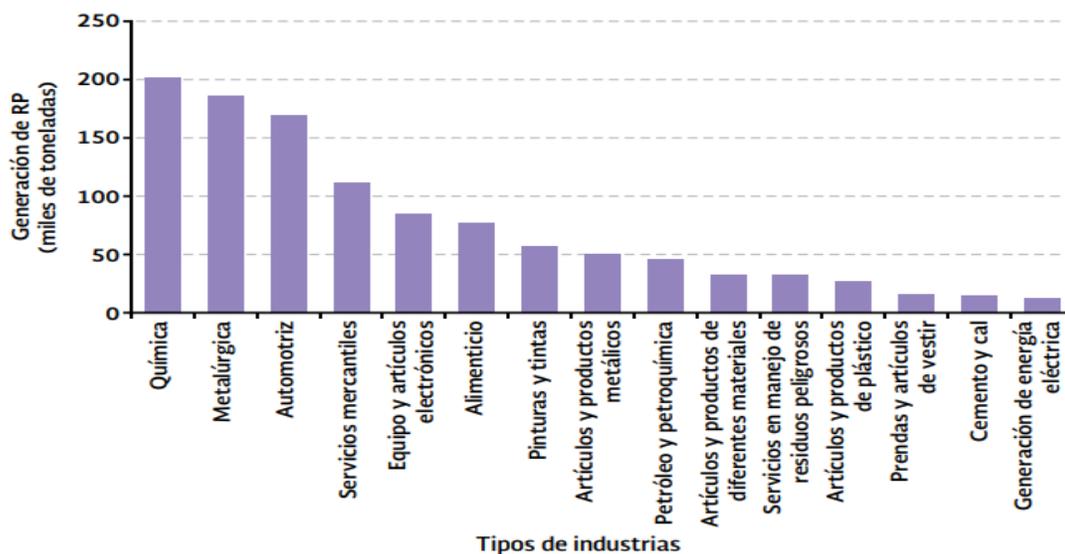


Fuente: Sedesol, [2].

### II.2.3 Residuos peligrosos

La gran diversidad de sustancias químicas que existe en la actualidad, si bien es cierto que ha servido para mejorar significativamente el nivel de vida de la población, también ha ejercido una presión importante sobre el medio ambiente y la salud humana. Una vez finalizada la vida útil de muchos de los productos que se fabrican a partir de estas sustancias o que las contienen, se convierten en desechos que ponen en riesgo la salud de las personas o pueden causar daños al medio ambiente. La industria química y metalúrgica son las que mayor presencia presentan en México debido a su alta generación de RP, mientras que la industria de generación de energía eléctrica es la que menor RP genera (Ver Figura 3). 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, [4].

**Figura 3.** Generación de RP reportada por los principales tipos de industrias generadoras 2011



Fuente: Sedesol, [2].

### 1.3 ¿Qué es un tiradero a cielo abierto?

En la actualidad los TCA se han descrito como un problema debido al inadecuado funcionamiento y manejo, por ello éstos son considerados como un foco de infección y un factor importante para el deterioro ambiental, razón por la cual los habitantes no aceptan la construcción de un RS y mucho menos un TCA, ya que estos últimos lugares no cuentan con las condiciones sanitarias necesarias para evitar daños ambientales y de salud a la población [10].

En un TCA los residuos se vierten directamente y de manera cotidiana al suelo sin cubrirlos con tierra y sin impermeabilización alguna en el suelo, práctica inadecuada por los problemas sanitarios y ambientales que provoca, pero es la más utilizada en el país por ser la más económica y fácil de operar para los municipios. La mayoría de los TCA son clandestinos y pueden ser familiares o municipales. Por su diversidad e irregularidad no se tiene registro de la mayor parte de estos sitios. Para implementar los TCA no se acostumbra a realizar un estudio preliminar, sólo se crean de manera arbitraria en los diferentes estados de la república mexicana y, para tal propósito, se utiliza barrancas y cauces de ríos, lagos y lagunas, minas abandonadas, zonas pantanosas, terrenos baldíos y áreas geológicamente inestables [11]. Esta inconsciente disposición final de los residuos sólidos ha provocado problemas de contaminación de agua, aire y suelo, así como la proliferación de fauna nociva, por lo que los efectos negativos para la salud pública y el ambiente podrían ser enormes, pero se desconoce la dimensión

exacta del problema. Sobre estos RSU, el INEGI reportó que, en 2010, se depositaron 10,211.5 toneladas en TCA. A esto se suma la problemática social entre los grupos de pepenadores, por las condiciones inadecuadas en que viven y realizan sus actividades; no obstante, el temor a perder su única fuente de trabajo provoca que se opongan a cualquier alternativa encaminada a mejorar las técnicas de disposición final y/o clausura y saneamiento de los TCA [12].

### **II.3.1 Riesgos de disponer RSU en TCA**

Según Rojas y Aragón [11], 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:

- I. 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.
- II. 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.
- III. 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.
- IV. 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.
- V. El polvo y residuos ligeros levantados por el viento, así como los materiales arrastrados por posibles escorrentías superficiales, pueden llegar a los terrenos de cultivo y caminos cercanos, afectando así la actividad agrícola y el tránsito vehicular.

## **11.4 Los Sitios de Disposición Final.**

---

Los SDF de los residuos sólidos municipales son un eslabón clave en la gestión sustentable de los desechos que se producen en las ciudades. Sin embargo, en la actualidad son un eslabón débil, que sufre de muchos problemas en su operación cotidiana.

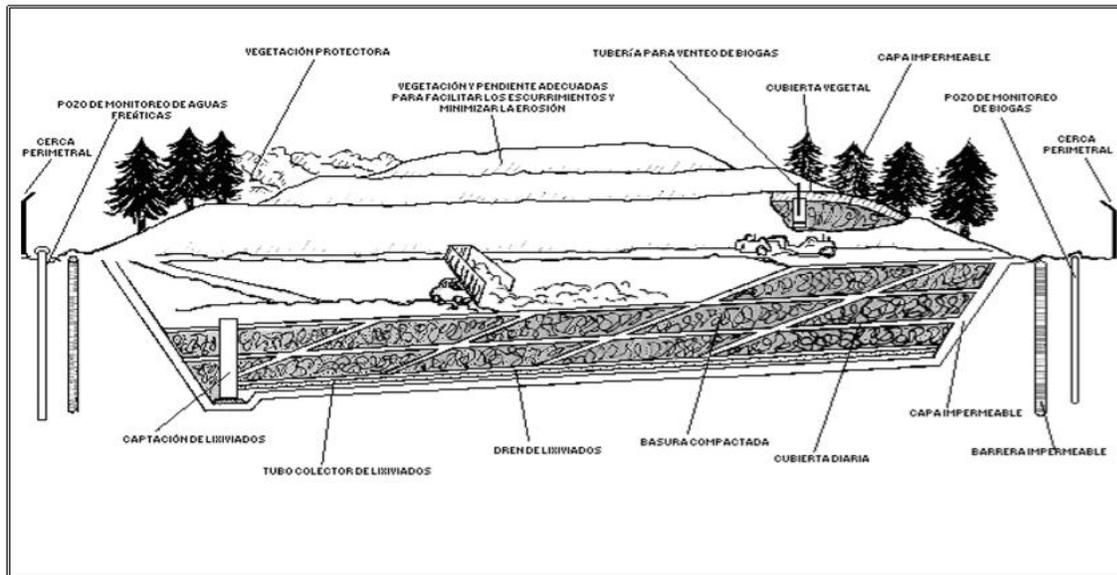
El RS es un espacio destinado para la disposición final de los residuos sólidos. Son instalaciones especialmente diseñadas para no causar riesgo para la salud o la seguridad pública, ni perjudicar el ambiente durante su operación o después de su clausura. Podría definirse como una tecnología donde se confina la basura en un área lo más estrecha posible, compactándola para reducir su volumen y cubriéndola con capas de suelo en forma diaria. El concepto de RS 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. Se denominó sanitario porque el propósito era cuidar la salud pública, ya que la basura dispersa y acumulada en las calles, usualmente en sitios inapropiados por su cercanía a las viviendas, eran fuente de enfermedades [13].

Uno de los servicios que se ve seriamente afectado por el crecimiento urbano es el servicio de aseo urbano o limpia pública, el cual, de acuerdo con las especificaciones emitidas por la Secretaría de Desarrollo Social, está integrado por la recolección, barrido, transferencia, tratamiento y disposición final de los RSU. Con referencia en la etapa final del proceso en el manejo de los residuos sólidos, se tiene que el manejo de los mismos adquiere una relevancia aún mayor, dada su incidencia directa en la salud de la población y en los diferentes elementos del ambiente (aire, agua y suelo), incluyendo los problemas de queja pública y del deterioro de la imagen, cuando no se cumple con los requerimientos que permitan controlarlos sanitariamente; motivo por el cual dicha etapa del sistema de aseo urbano se debe tratar y controlar mediante un sistema adecuado que minimice los impactos negativos hacia el entorno ecológico [14].

La NOM-083-SEMARNAT-2003 [6], establece los parámetros para el diseño, operación y clausura de SDF. En términos generales, un sitio debe contar con una infraestructura básica para controlar los vectores que podrían causar un impacto ambiental, además de estar 500 metros alejado de asentamientos humanos y de fuentes de agua. Esta norma determina que para su operación un SDF debe controlar el ingreso de residuos, disponerlos de manera sistemática de acuerdo con un plan,

compactarlos y cubrirlos de manera cotidiana, así como el control de la generación de biogás y el manejo de los lixiviados para mantenerlos dentro del sitio.

**Figura 4.** Diagrama de un RS



**Fuente:** Çeliker et al., [16].

Los vertederos y RS han sido descritos en detalle por Robles [15], quién señala que las causas principales de la contaminación ambiental en SDF son el biogás y los lixiviados. Este autor afirma que se ha mejorado el manejo y la disposición de residuos sólidos en RS que pueden controlar estos dos vectores de contaminación. Sin embargo, la mayoría de sitios de disposición de residuos en zonas urbanas de México todavía no pueden clasificarse como RS, persisten los tiraderos y los diversos tipos de vertederos municipales.

Históricamente, a nivel mundial, el RS ha sido el método más aceptado desde un punto de vista económico para la disposición a largo plazo de los residuos sólidos generados por las comunidades humanas. Aún con la implementación de los sistemas de prevención de la generación de residuos, el reciclaje o los sistemas de procesamiento, ha permanecido el RS como un componente imprescindible de los Sistemas de Manejo de RSU [16].

## 11.5 Ventajas y desventajas del Relleno Sanitario.

---

### 11.5.1 Ventajas.

- El RS como uno de los métodos de disposición final de los RSU, es la alternativa más económica; sin embargo, no hay que olvidar que es necesario asignar recursos financieros y técnicos suficientes para la planeación, diseño, construcción y operación.
- La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para la implementación de un sistema de tratamiento tal como la separación, composteo o incineración.
- Cuando se dispone de material para la cobertura de los residuos sólidos en el mismo sitio, esta condición es generalmente la más económica de las diferentes opciones para la disposición final.
- El RS es un método final para la disposición de los residuos sólidos, que no requiere de operaciones adicionales, tal como el caso de la incineración o el composteo, los cuales requieren un sitio y de operaciones adicionales para la disposición de los productos finales.
- Se recuperan terrenos antes considerados como improductivos o marginales, transformándolos en áreas útiles para la creación de parques, zonas recreativas y de esparcimiento, o simplemente áreas verdes.
- Es un método flexible, dado que en caso de incrementar la cantidad de residuos por disponerse requiere únicamente de muy poco equipo y personal.
- El gas metano generado por la descomposición de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, puede ser atractivo para su aprovechamiento como fuente de energía no convencional, dependiendo de las características del sitio.

### **11.5.2 Desventajas.**

- La construcción de un RS, por la oposición de la población debido a dos aspectos fundamentales: la falta de conocimiento sobre el método de relleno sanitario y la desconfianza en los servidores públicos de la localidad.
- Se requiere de una supervisión permanente para mantener un alto nivel de las operaciones y asegurar que no habrá fallas a futuro.
- Cuando no existen terrenos cercanos a las fuentes de generación de residuos sólidos, debido al crecimiento urbano, el costo de transporte se verá fuertemente afectado.
- La relativa cercanía de los rellenos a las áreas urbanas puede provocar serios problemas de queja pública.
- Existe un alto riesgo, sobre todo en los países del tercer mundo, que, por la carencia de recursos económicos para la operación y mantenimiento, se convierta el relleno sanitario en TCA.
- Puede presentarse eventualmente la contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, así como la generación de olores desagradables y gases, si no se toman las debidas medidas de control y de seguridad.
- Los asentamientos diferenciales que sufren los RS con respecto al tiempo, impide que estos sean utilizados una vez que se han concluido las operaciones [11].

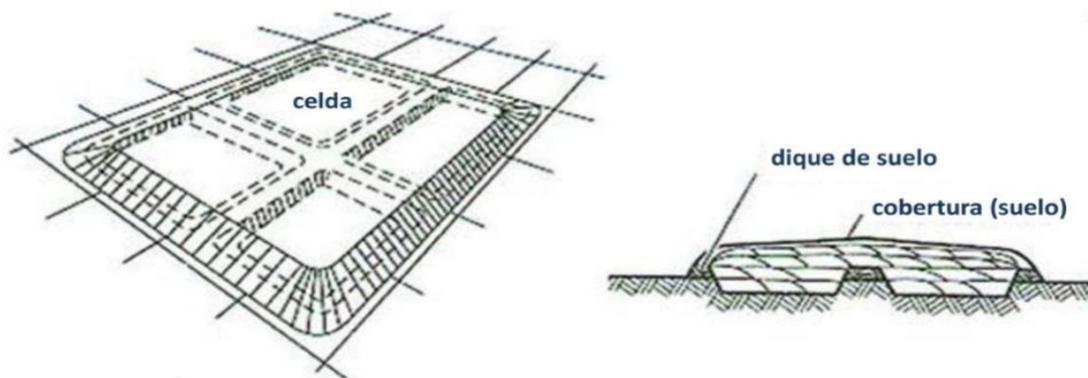
## 11.6 Tipos de Rellenos Sanitarios

---

### 11.6.1. 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 [13].

**Figura 5.** Método de celda, zanjas o trincheras



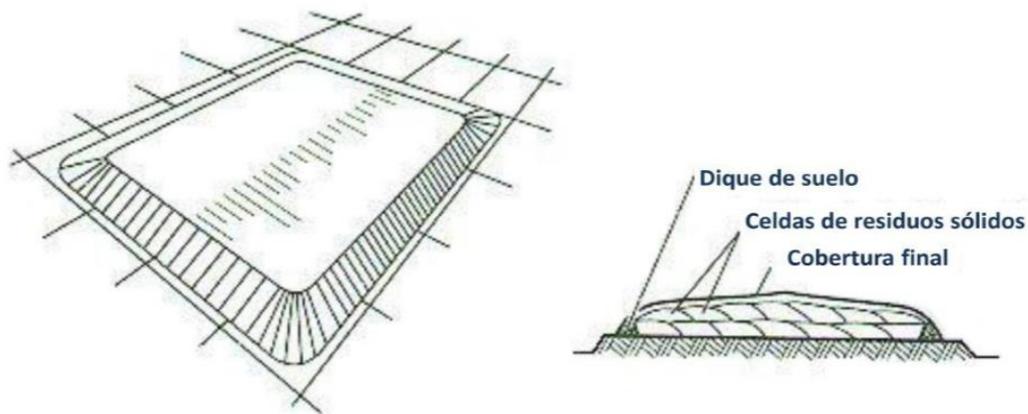
**Fuente:** Silvana Torri, [13].

### 11.6.2 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 6.** Método en zona o de áreas

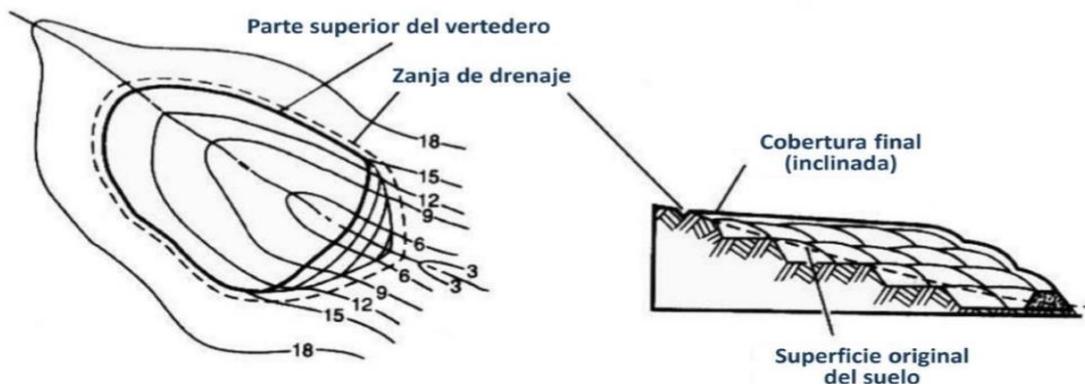


Fuente: Silvana Torri, [13].

### 11.6.3 Método vaguada o depresión

Este método utiliza vaguadas, barrancos y fosas de relleno suplementario o canteras como zonas de vertido. La técnica para colocar y compactar residuos en este tipo de RS 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 7.** Método de vaguada o depresión



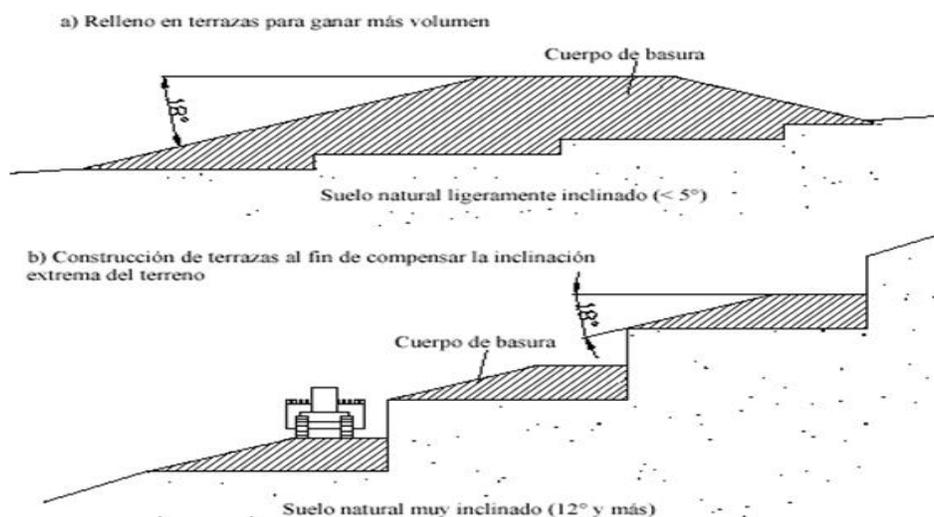
Fuente: Silvana Torri, [13].

El control del drenaje superficial es a menudo un factor crítico. Normalmente se comienza el relleno de cada nivel por la cabeza de la vaguada (parte más elevada) y se termina por la boca (parte más baja), para impedir la acumulación de agua en la parte más elevada del vertedero. Esta tecnología implica la disponibilidad del material adecuado para la cubrición de cada nivel mientras se completa y para proporcionar la cubrición final sobre la totalidad del vertedero cuando se ha alcanzado la altura final. El material de cubrición se puede excavar de las paredes o del suelo de la vaguada antes de instalar el sistema de revestimiento. En caso que no se disponga de suficiente suelo o material para la cubrición intermedia, este deberá ser importado, que puede por ejemplo ser compost producido con de residuos de jardín [13].

#### II.6.4 Método de terrazas

Este sistema se emplea principalmente cuando los residuos sólidos han sido depositados en cañadas o barrancas. Se considera como una variable del método de área, 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 modo que entre talud y talud existe un ancho de corona. Cabe mencionar que en este método también es necesario mover, conformar y cubrir los residuos.

Figura 8. Método de terrazas

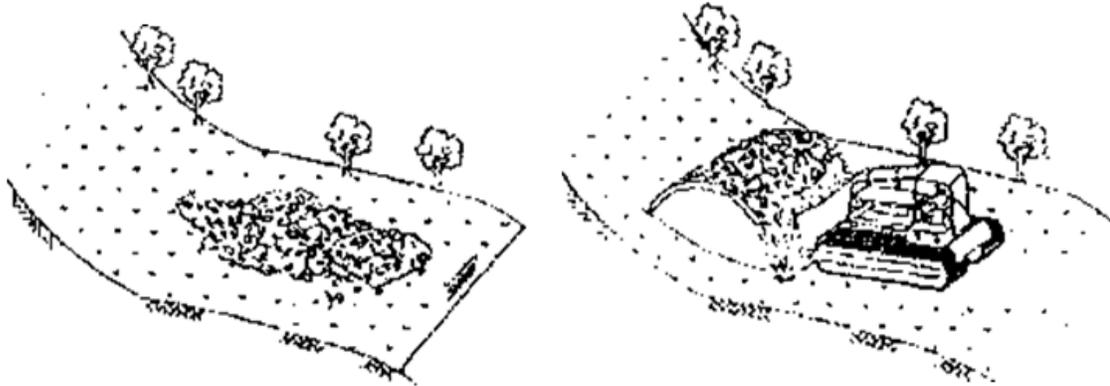


Fuente: Tchobanoglous G, [17].

### III.6.5 Método de rampa

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

Figura 9. Método de rampa

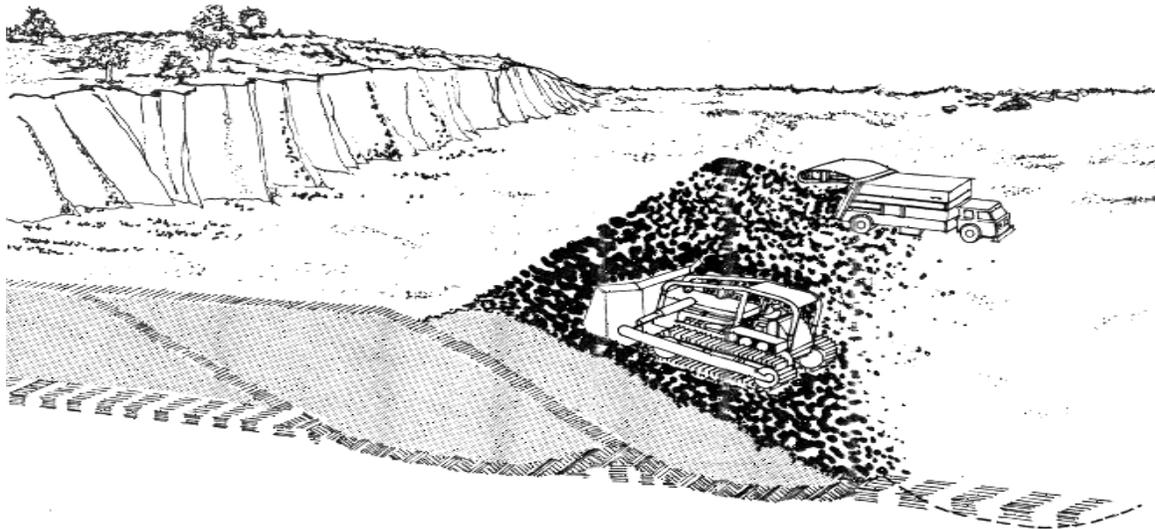


Fuente: Tchobanoglous G, [17].

### II.6.6 Método combinado.

En algunos casos cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el RS 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 rellenada. 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; o bien, se menciona que este método se recomienda cuando se carece de material de cubierta en la zona, además de que el volumen adicional que proporciona la trinchera, economiza la utilización de dicho material [18].

**Figura 10.** Método combinado



Fuente: Tchobanoglous G., [17]

---

## **11.7 Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

El término SIG suele aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada y extendida para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales. Se trata de herramientas complejas, reflejo de la complejidad del objeto de estudio de estas ciencias, fruto de la evolución y fusión de; programas de muy distinto tipo que anteriormente se habían utilizado de forma independiente. Esta complejidad ha llevado al nacimiento, a partir del trabajo con SIG, de una nueva disciplina científica, todavía bastante discutida, conocida como Ciencia de la Información Geográfica. Sin ser en absoluto una herramienta novedosa, se acepta el año 1966 como fecha de creación del primer SIG, tras años de acumulación de experiencia y tecnologías, los SIG han experimentado en los últimos quince años un rápido desarrollo teórico, tecnológico y organizativo y una amplia difusión tanto en la administración como en los mundos académico y profesional [19].

Los SIG se pueden considerar como una forma particular de un sistema de información, que además de incluir dentro de sus componentes las bases de datos tradicionales (descriptivas), incluye el manejo simultáneo de bases de datos espaciales o gráficas. De acuerdo con este marco conceptual, se puede definir un SIG, como "un conjunto interactivo de subsistemas orientados hacia la captura y organización de la información georreferenciada, con el fin de suministrar elementos de juicio para apoyar la toma de decisiones". Para cumplir con estos objetivos, un SIG lleva implícito el uso del

computador para la entrada, manipulación, análisis y despliegue de la información descriptiva y espacial. La potencialidad de los actuales SIG y Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) han brindado importantes posibilidades para avanzar en el estudio y comprensión de las temáticas socio-espaciales, tanto desde un punto de vista didáctico como en la búsqueda de soluciones concretas a problemáticas en las cuales la dimensión espacial se encuentra presente de manera central. Los SIG se basan en metodologías imprescindibles del análisis espacial cuantitativo desarrolladas en el ámbito de la Geografía se encuentran disponibles para ser utilizadas por usuarios que, desde diversas ciencias, tienen la necesidad de trabajar con datos distribuidos sobre la superficie de un área de estudio [20].

Los SIG son al mismo tiempo una herramienta tecnológica y una síntesis conceptual producto de varias décadas de desarrollo teórico en cuanto a la forma de mirar, pensar y construir conocimiento acerca de la realidad socio-espacial. En el ámbito de la Geografía como ciencia están produciendo, al mismo tiempo, una revolución teórica y una revolución intelectual. La primera revolución se encuentra relacionada con nuevos procedimientos metodológicos y técnicos para el tratamiento de datos espaciales y la segunda con la forma de pensar la realidad en apoyo a un mayor desarrollo del pensamiento espacial de las nuevas generaciones, tema tratado ampliamente en la investigación coordinada por Down [21].

### **11.7.1 Funciones de un SIG**

- I. Incorporación de la información. Se incluye aquí no solo el paso de datos geográficos a una forma analítica (digitalización), sino también la integración en el sistema de las bases de datos. Previamente, hay que realizar un análisis lo más exhaustivo posible de la información necesaria para su correcta estructuración en función de las necesidades del proyecto [22].
- II. Gestión de la información. Toda la información incorporada debe poder ser gestionada por el sistema realizando búsquedas temáticas, espaciales y con capacidad de selección multicondicionadas para su posterior análisis. La gestión se refiere tanto a datos geográficos como alfanuméricos [22].
- III. Análisis de la información. Esta función es la específica de los SIG y es su elemento característico. A partir de la preparación de los datos (apartados A y B) se utilizan procedimientos de análisis territorial para la obtención de resultados. En realidad, son modelos resultantes del tratamiento inteligente de la información, condicionados por las hipótesis

contempladas. Los resultados pueden ser más o menos reales en función de la bondad de los datos y de la veracidad de las hipótesis utilizadas [22].

- IV. Interrelación con el usuario. Los puntos anteriores deben tener su finalización en una relación práctica e intuitiva con el usuario del sistema, de tal forma que pueda elegir la salida más adecuada de los datos utilizados y de los resultados obtenidos en relación con los fines perseguidos. Un SIG debe tener capacidad para ofrecer salidas tales como mapas, gráficos, tablas resumen y en cualquier soporte (papel, pantalla, exportación de datos. etc.) [22].

### **11.8 La técnica EMC en el entorno de los SIG.**

La EMC es una herramienta de apoyo al proceso de toma de decisiones. Se utiliza para facilitar el camino hacia la decisión, de manera que intervengan distintos puntos de vista, aunque sean contradictorios además de simplificar las situaciones complejas [23]. 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. Los principios del análisis multi-criterio se derivan de: la Teoría de Matrices, Teoría de Grafos, Teoría de las Organizaciones, Teoría de la Medida, Teoría de las Decisiones Colectivas, Investigación de Operaciones y de Economía [24].

El análisis multi-criterio 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 [25].

Los SIG con su desarrollo y uso, han demostrado ser una tecnología útil para almacenar, seleccionar y analizar información espacial para la solución de problemas complejos en planeación (modelación) y para la toma de decisiones. El manejo y procesamiento de datos comprende desde la sobre posición simple de mapas temáticos para la identificación de áreas con condiciones requeridas y específicas, hasta la utilización de operadores matemáticos o de modelos numéricos integrados para la predicción de la dinámica de los fenómenos naturales. De esta forma esa tecnología permite ser aplicada a la evaluación de cambios en el uso y cobertura del suelo, conservación de recursos naturales, evaluación de peligros

naturales y la prevención de los desastres; además es una herramienta que apoya la investigación científica y sirve como un laboratorio sustituto para estudiar los procesos ambientales [26].

La EMC se aplica en el caso de que los criterios tengan distinta relevancia frente a la evaluación planteada, y se basa en el análisis, discusión y jerarquización de alternativas con el fin de generar soluciones a los problemas territoriales de decisión y asignación de valor, peligrosidad o vulnerabilidad. Basados en un objetivo, se elige y estructura una regla de decisión para integrar los criterios, los cuales se establecen a partir de dicho objetivo (en este caso cinco), y las alternativas de selección que son representadas por los objetos espaciales (*pixels*) contenidos en las capas temáticas (mapas digitales). Así cada uno de los criterios constituye un mapa temático de la base de datos del SIG, por lo que en esta etapa se entiende que para toda la evaluación es decisivo definir y realizar la selección de criterios de modo adecuado [27].

La EMC y los SIG han demostrado una efectividad no solo en un campo de aplicación si no en varios, debido a su capacidad de generar soluciones a los problemas territoriales de decisión y asignación de valor. Un ejemplo de esto es el estudio realizado por Franco Maass, Osorio García y Nava Bernal [28] que lleva por nombre evaluación multi-criterio de los recursos turísticos del parque nacional nevado de Toluca – México, en el cual aborda el análisis de las posibilidades de aprovechamiento recreativo-turístico del Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) como una de las áreas naturales protegidas más importantes de México que presenta un creciente deterioro y requiere alternativas sustentables para el desarrollo de las comunidades campesinas. El análisis considera el inventario de 19 recursos existentes y la evaluación cuantitativa con base en las técnicas de EMC. Partiendo de la definición de criterios intrínsecos y extrínsecos para cada tipo de recurso, se construyó un conjunto de atributos de análisis y se elaboró la matriz de decisión. La aplicación de la combinación lineal ponderada condujo a la jerarquización final de los recursos y a la identificación de aquéllos sobre los que se propone iniciar el desarrollo de productos turísticos en la región. Los hallazgos revelan que la peñuela y el cráter del volcán extinto contienen los recursos de mayor calificación, determinados por el peso de los atributos intrínsecos.

## 11.9 Métodos de análisis multi-criterio

---

Los problemas en los que las alternativas de decisión son finitas se denominan problemas de decisión multi-criterio. Algunos de los métodos que se utilizan en estos casos son:

- **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 [29].
- **Utilidad Multi-atributo (MAUT):** Para cada atributo se determina la correspondiente función de utilidad (parcial), y luego se agregan en una función de utilidad multi-atributo 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) [29].
- **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 difusos. El método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) se ha aplicado, con predicción para problemas de ubicación [24].
- **Proceso Analítico Jerárquico (AHP- The Analytic Hierarchy Process):** 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 multi-criterio 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 [24].

## II.10 Aplicaciones de la EMC en el campo de residuos

---

Una de las tareas más difíciles que enfrentan la mayoría de las comunidades en la planificación de vertederos de residuos sólidos es encontrar sitios adecuados para nuevos vertederos. La selección adecuada del sitio para la eliminación de desechos es un proceso complicado porque debe combinar factores sociales, ambientales y técnicos. Para considerar todos los factores en el proceso de ubicación de los vertederos, los SIG son una herramienta poderosa debido a su capacidad para administrar grandes volúmenes de datos distribuidos espacialmente de una variedad de fuentes. Almacena, recupera, analiza y muestra información de manera eficiente de acuerdo con las especificaciones definidas por el usuario [30].

Un estudio realizado en Europa por Hakan Ersoy e Fikri Bulut [31], utilizaron la Metodología de la EMC para la selección de vertederos en regiones urbanas en crecimiento. En este estudio, se superpusieron diferentes mapas de restricción con módulos de análisis espacial utilizando el software ArcView 3.2 para obtener el mapa final, y el mapa de idoneidad final se creó con la restricción de los criterios de selección del sitio. Se determinaron cinco áreas adecuadas en Trabzon City y se aplicó AHP para seleccionar el sitio de eliminación de desechos sólidos más adecuado para desechos municipales en Trabzon (noreste de Turquía) entre estos sitios candidatos alternativos. Finalmente, se eligió el área de Düzyurt como el sitio de eliminación de residuos sólidos más adecuado. Como resultado de este estudio, el geotécnico examinó las propiedades hidrogeológicas y topográficas de las masas de rocas en el área de estudio e indicaron que el vertedero propuesto ofrece condiciones adecuadas si se toman algunas medidas correctivas.

Otro caso en donde se ha utilizado esta metodología es Mahshahr, Irán, en este estudio realizado por Nadali Alavi [30] se seleccionó un vertedero municipal de residuos sólidos con ayuda de sistemas de información geográfica y proceso de jerarquía analítica, Para poder considerar todos los factores y regulaciones, utilizaron una combinación de SIG y AHP para resolver este complicado problema. Los criterios principales fueron elegidos considerando la Condición del área de estudio y normativa.

La importancia relativa de cada criterio determinado por AHP mostró que los más importantes eran los ecosistemas sensibles y las aguas superficiales, mientras que el criterio menos importante era la pendiente. El índice de idoneidad de cada punto se calculó mediante el método SAW (basados en evaluar las diferentes alternativas mediante operaciones aritméticas básicas). Aproximadamente el 19% del área de estudio era adecuada para el relleno sanitario. Esto mostró la tierra adecuada restringida

disponible para el vertedero de RSU. Después de estudios preliminares, se seleccionaron seis sitios para una investigación detallada y visitas al sitio [30].

Se ha realizado diversos estudios en los cuales se han combinado los SIG con AHP, como es el caso del estudio realizado en Konya, Turquía. Este estudio se realizó con la ayuda de técnicas SIG y AHP. Los SIG se utilizó para preparar la estadística espacial y procesos de agrupamiento para revelar las zonas más adecuadas para la selección del sitio del relleno sanitario II, que era ideal para este estudio preliminar, ya que nos ha permitido 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 AHP proporciona un mecanismo para explorar a fondo los problemas complicados y proporcionar una respuesta inmediata para los decisores [26].

En la ciudad de México se llevó a cabo un estudio de selección de sitios para el tratamiento y disposición final de residuos de la construcción y demolición usando dos enfoques. Se utilizan dos metodologías de análisis con apoyo de los SIG, especialmente un análisis de redes y una técnica de evaluación multi-criterio. Los resultados de la técnica EMC, indican que la superficie territorial con la mejor idoneidad para el emplazamiento de infraestructura, se localiza al sur y sureste del área de estudio, dentro de las alcaldías “Tlalpan, Milpa Alta, Xochimilco e inclusive Cuajimalpa”. Los resultados de la técnica de análisis de redes, indican que con 4 instalaciones emplazadas estratégicamente en las alcaldías Miguel Hidalgo, Gustavo A. Madero, Tláhuac y Tlalpan, también es posible atender a casi todos los puntos de generación de residuos del área de estudio. Los tomadores de decisiones de la Ciudad de México pueden optar por cualquiera de los dos enfoques emplazamiento. Si ellos buscan un solo lugar donde grandes cantidades de residuos sean tratadas o dispuestas, ellos deben optar por los resultados obtenidos de la técnica de evaluación multi-criterio. Por otro lado, si los tomadores de decisiones buscan que la infraestructura este más orientada al tratamiento de residuos que a la disposición final, ellos deben de optar por los resultados de la técnica de análisis de redes [32].

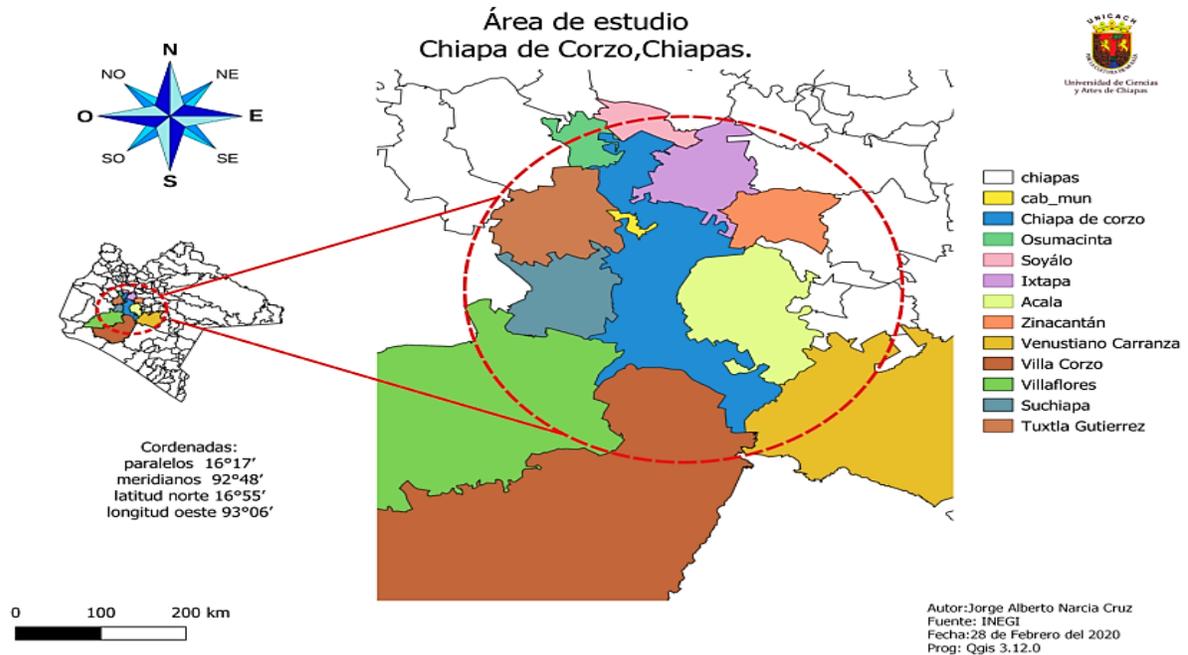
---

### **III. METODOLOGÍA**

---

### III.1 Delimitación del área de estudio

Figura 11. Área de estudio: Chiapa de Corzo



Chiapa de Corzo, Chis. se encuentra ubicado en las Coordenadas entre los paralelos  $16^{\circ}17'$  y  $16^{\circ}55'$  de latitud norte; los meridianos  $92^{\circ}48'$  y  $93^{\circ}06'$  de longitud oeste; altitud entre 200 y 1800 m. Sus colindancias son al norte con los municipios de Osumacinta, Soyalo e Ixtapa; al este con los municipios de Ixtapa, Zinacantán, Acala, y Venustiano Carranza; al sur con los municipios de Venustiano Carranza y Villa Corzo; al oeste con los municipios de Villa Corzo, Villaflores, Suchiapa, Tuxtla Gutiérrez y Osumacinta (Ver Figura 11). El municipio ocupa el 11.86% de la superficie del estado. Cuenta con 263 localidades y una población total de 73, 552 habitantes en el 2010 [1].

El TCA de Chiapa de Corzo, está ubicado a 6.23 km del centro de Chiapa de Corzo, a 1.33 km al oeste se encuentra la colonia María Candelaria y a 2.53 km al este se encuentra la colonia Nuevo Carmen Tonapac (Ver Figura 12).

**Figura 12.** TCA de Chiapa de Corzo



**Fuente:** Google Earth

Como se puede observar no solo es un tema visual o ambiental, también de salud pública. El promedio de vida para la gente que se dedica a la pepenación o que vive alrededor de estos sitios no controlados de acuerdo con cifras de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) [33] es de 43 años, entonces es un problema muy alarmante el cuál no se le ha dado la importancia que debería de tener. Según el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales del INEGI [34], de 102 municipios en el país el 4.1 por ciento del total de los municipios no contaban con servicio de recolección, disposición final y tratamiento de RSU.

### **III.2 Análisis espacial**

La selección del sitio del vertido se realizó con Arcgis 10.5 y la metodología EMC denominada 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.

#### **III.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), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), secretaria del medio ambiente e historia natural (SEMHN), la comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO), esto para la creación de mapeo de restricciones utilizando áreas de exclusión. Para preparar una base de datos integral, 10 capas de mapas de entrada, que incluyen topografía, asentamientos (centros urbanos y aldeas), carreteras (carreteras principales y carreteras de aldeas), aeropuertos, fallas y fracturas geológicas, pendiente, edafología, el uso del suelo, zonas arqueológicas y aguas superficiales, se obtuvieron y almacenaron para ser utilizadas en el programa Arcgis.

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).

### **III.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. Es decir, cuando no se dispone de criterios objetivos que hagan posible una calificación numérica del valor de cada opción [35].

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 1.** Comparación por pares (ejemplo 1)

Criterios Generales	Comparación por pares		
	Ambiental	Social	Técnico
Ambiental			
Social			
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.
- 3: es una posición intermedia.
- 6: 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 A/3. Ello significa que la opción A (ambiental) se considera bastante superior a la alternativa B (social).

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

**Tabla 2.** Comparación por pares (ejemplo 2)

Criterios Generales	Comparación por pares		
	Ambiental	Social	Técnico
Ambiental		A/3	A/1
Social			C/3
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 3.

**Tabla 3.** Comparación por pares (ejemplo final)

Suma	Peso	% peso
$\sum HA$	$\sum HA / \sum SUMA$	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  $(CR) < 0.10$  ==> Los juicios son consistentes.

Si  $(CR) \geq 0.10$  ==> 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:**

$\lambda$ : 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 ya definió esta matriz (aunque puede ser calculada por uno mismo) la que sirve para hacer cálculos de la proporción de consistencia

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 4.** Ejemplo de cómo realizar la fórmula de proporción de consistencia

$\lambda$ máx.	3.08	<b>ÍNDICE DE CONSISTENCIA (CI)</b>	0.040
<b>n</b>	3.00	<b>ÍNDICE ALEATORIO (RI)</b>	0.520
		<b>RAZON DE CONSISTENCIA (CR)</b>	0.078

### **III.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 [36].

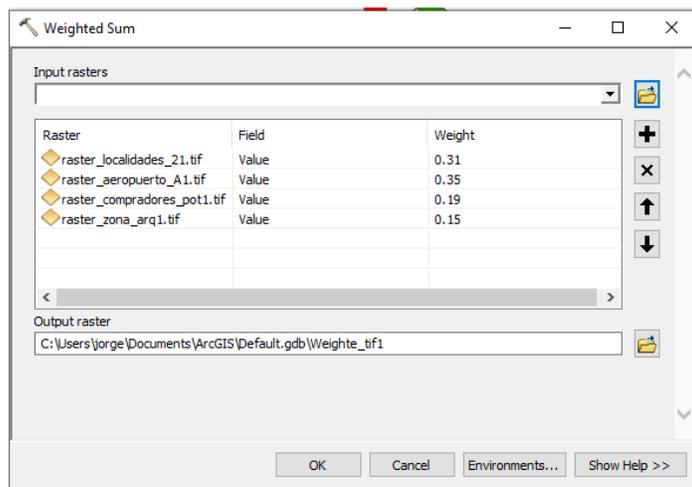
Las ponderaciones utilizadas en este trabajo se obtuvieron de la metodología de comparación por pares la cual nos ayudó a poder obtener la importancia relativa de cada variable utilizada, dicha comparación nos permitió establecer jerarquías o pesos para los criterios, asignando así a cada uno de ellos 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.

#### **III.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.

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).

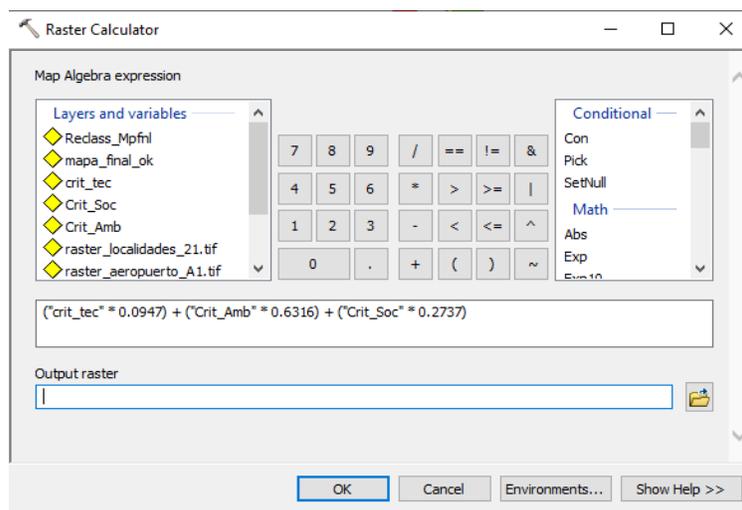
**Figura 13.** Ejemplo del uso de la herramienta “Weighted Sum”



Creación del mapa final:

Una vez modelado los mapas de los tres criterios procedemos a combinarlos 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 multiplicara 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 14.** 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).

### **III.4 Validación de la modelación espacial**

---

Como método para la 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 la clasificación. Así se puede comprobar si el algoritmo está clasificando mal las clases y en qué medida [37].

#### **III.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 [38]. Según este autor expresa que, 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:

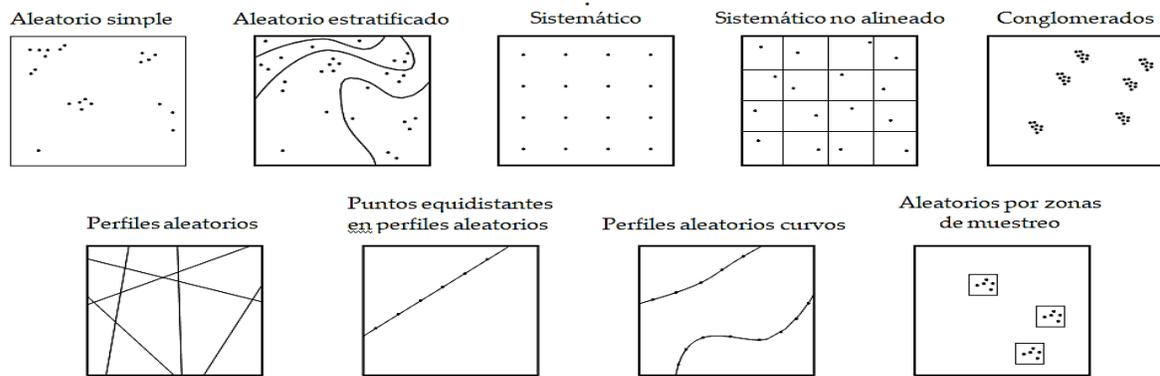
**Tabla 5.** Esquema general de la matriz de confusión

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

### III.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 km<sup>2</sup> y entre 75 a 100 sitios cuando sea superior a 4,000 km<sup>2</sup> [39]. Para este trabajo se utilizó el muestreo aleatorio simple a base de puntos, 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 15.

Figura 15. Tipos De Muestreo



Fuente: Sánchez Muñoz, [38]

### III.4.3 Índice de kappa

También se calculó el 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:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

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 obtenido. En este trabajo se empleó la escala propuesta por Landis & Koch [40].

**Tabla 6** 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 y Koch [40].

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.

---

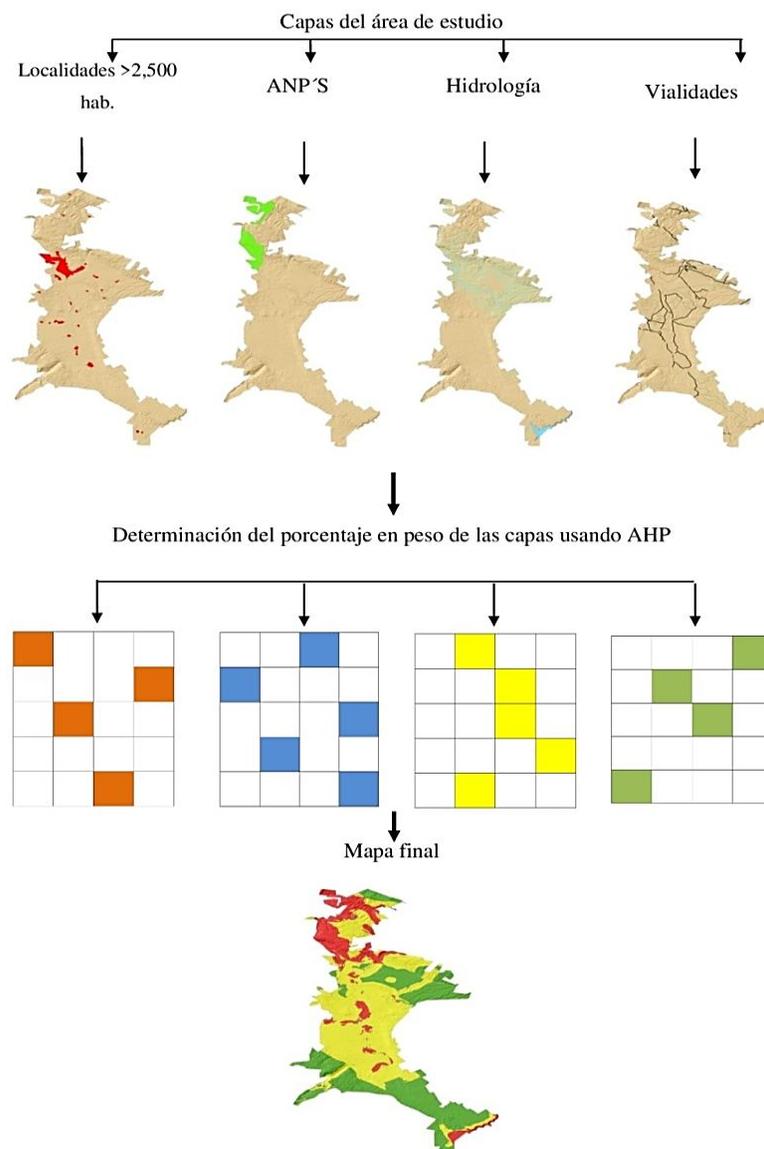
## **IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

---

## IV.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 cuatro niveles (Ver Figura 16). 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.

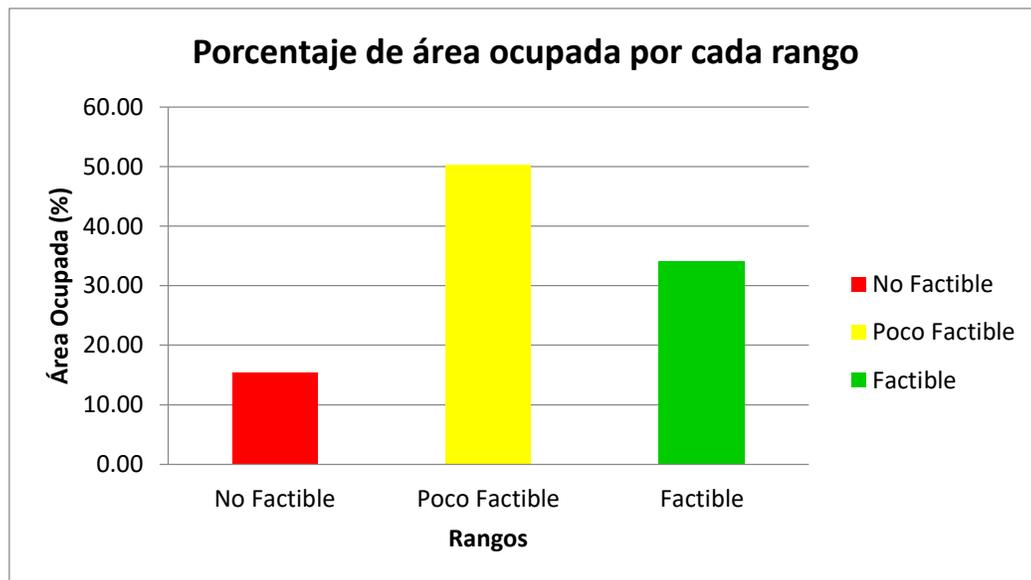
**Figura 16.** Diagrama del método "Evaluación multi-criterio"



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 desafiantes para los municipios. Para considerar todos los factores y regulaciones, se usó una combinación de SIG y AHP para resolver este complicado 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.

En el diagrama anterior se puede observar el municipio de Chiapa de Corzo, Chis; el cual, fue dividido en tres rangos que fueron necesarios para poder determinar las zonas del municipio más factibles para la elaboración y construcción del RS. El índice de idoneidad de cada punto se calculó por el método KAPPA. Aproximadamente el 35% que equivale a 26,866.84 ha, del área de estudio es apto para el vertedero siendo este el rango denominado “Factible”; el rango que presenta una mayor demanda de superficie es el rango considerado “poco factible” con un total de 50.34 % equivalente a 39, 571.52 ha.

**Figura 17.** Gráfica de porcentaje ocupado por cada rango presente dentro del municipio de Chiapa de Corzo.



Dada la información obtenida se desconoce la superficie requerida para la construcción de un RS ya que está sujeto a la cantidad de RSU producida en el municipio, con la información emitida por la SEMAHN en el 2019 el cual menciona que Chiapa de Corzo produce una cantidad de 70.03 ton/día de RSU, sabiendo esto y en base a la NOM-083-SEMARNAT-2003 se puede decir que el tipo de RS apto para el municipio sería un tipo B. Además, la superficie requerida se llega a cubrir bien con el porcentaje del 35% ya que hay suficiente área para la construcción del RS requerido (Ver Figura17).

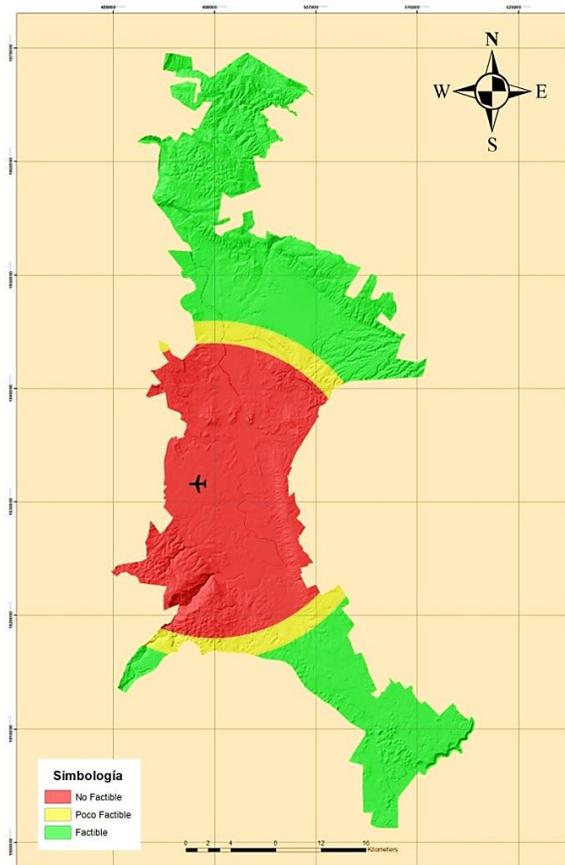
## IV.2 Variables

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 15 mapas, de los cuales 11 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.

### IV.2.1 Aeropuerto

Aeropuerto Internacional Ángel Albino Corzo, está localizado en los límites del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. Tiene encargado el tráfico aéreo nacional e internacional de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y del centro del estado (ver figura 18).

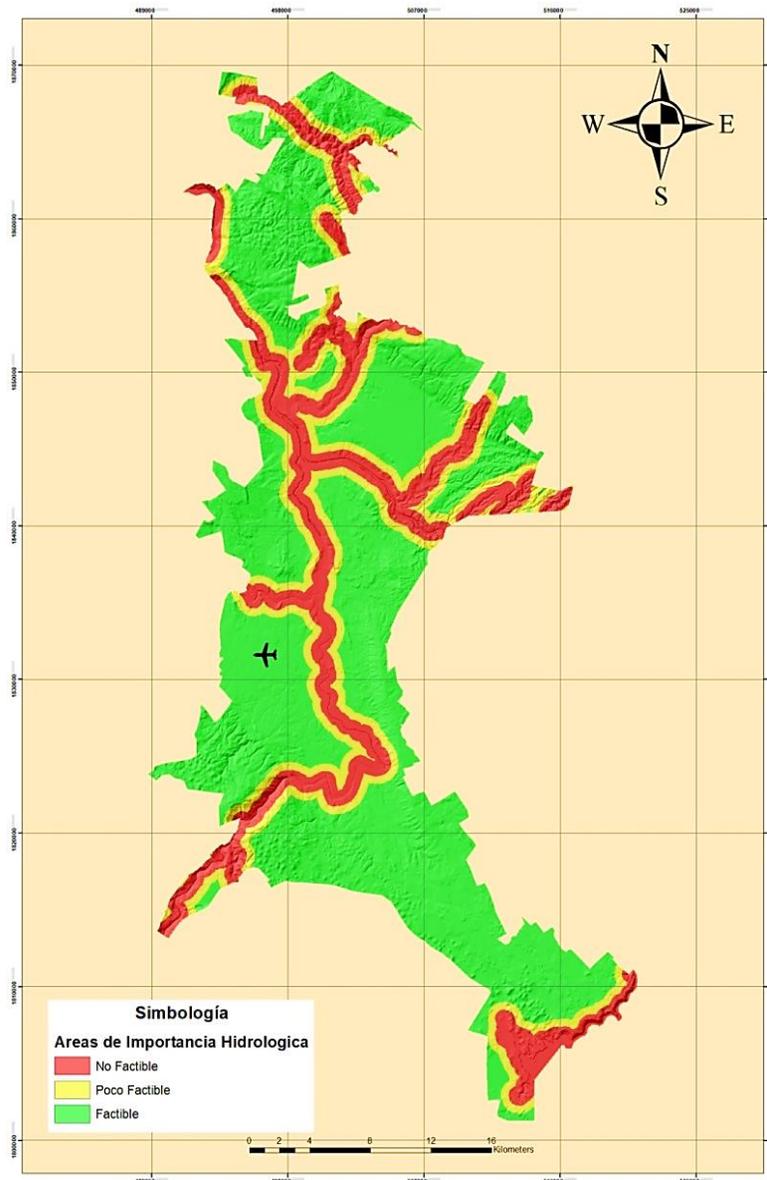
**Figura 18.** Variable Aeropuerto



### IV.2.2 Áreas de importancia hidrológica

La NOM-083-SEMARNAT-2003 menciona el apartado 6 especificaciones para la selección del sitio, en el punto 6.1.6 indica que la distancia del SDF se debe encontrar como distancia mínima a 500 m de cuerpos de agua con corriente continua por lo cual a continuación se muestran los ríos y corrientes de agua con flujo continuo que se encuentran en el municipio de Chiapa de Corzo (ver figura 19).

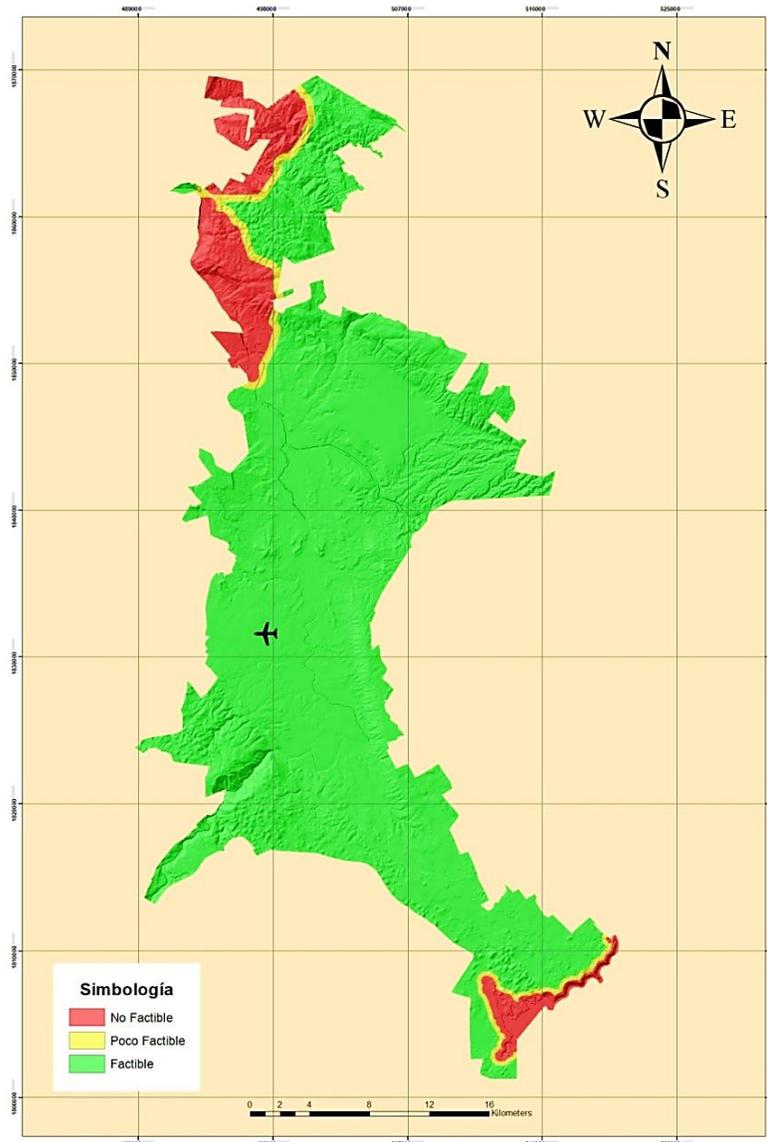
**Figura 19.** Variable Áreas de importancia Hidrológica



### IV.2.3 Áreas de importancia natural

Estas áreas además tienen funciones fundamentales que se reportan en beneficios para el planeta (funciones ambientales), puesto que albergan una gran riqueza biológica, pero también en beneficios económicos para el ser humano, entre los que destacan el suministro de alimentos, materias primas y otros recursos naturales. En el siguiente mapa se puede mostrar parte del ANP Cañón del Sumidero que se encuentra dentro del municipio de Chiapa de Corzo, al igual que los humedales (ver figura 20).

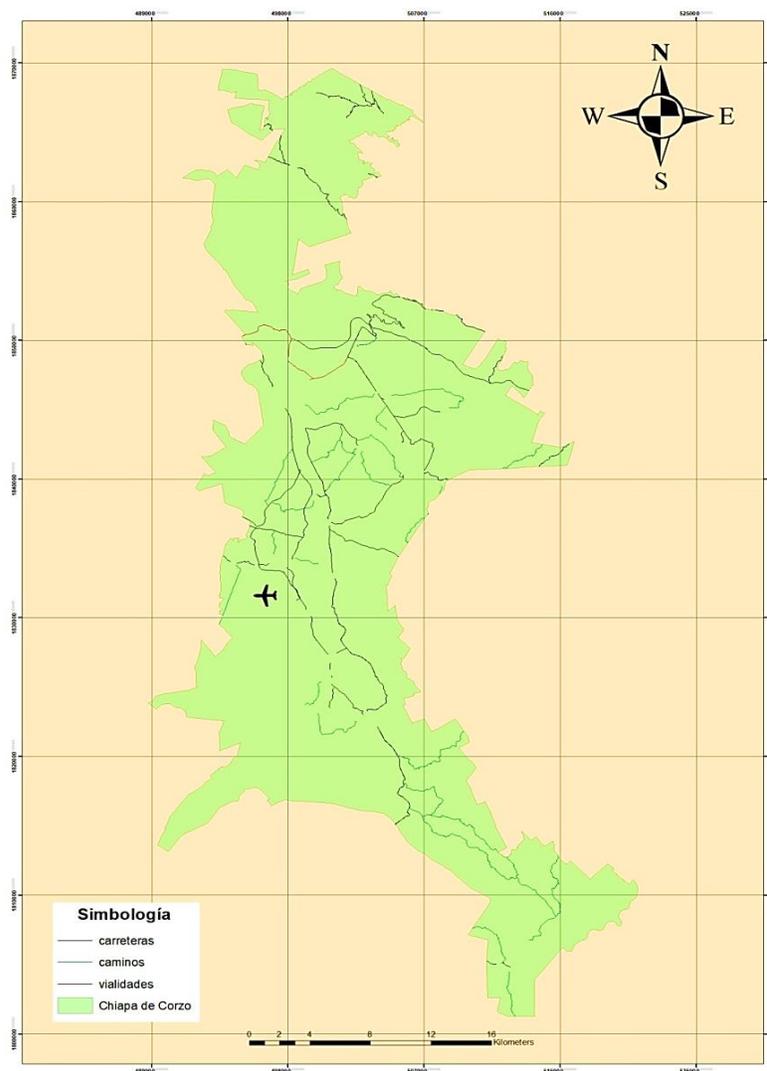
**Figura 20.** Variable Áreas de importancia natural



#### IV.2.4 Vías de comunicación

Se debe proporcionar acceso a un RS a través de caminos alternativos en todas las condiciones climáticas, la instalación de almacenamiento debe no estar muy lejos de las carreteras y debe ser accesible en todas las condiciones estacionales. Por otro lado, los vertederos deben ubicarse cerca de las redes de carreteras existentes porque la construcción de nuevas carreteras genera costos adicionales tomando en cuenta vías de transporte de dominio y uso público, proyectadas y construidas fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles dentro del municipio de Chiapa de Corzo (ver figura 21).

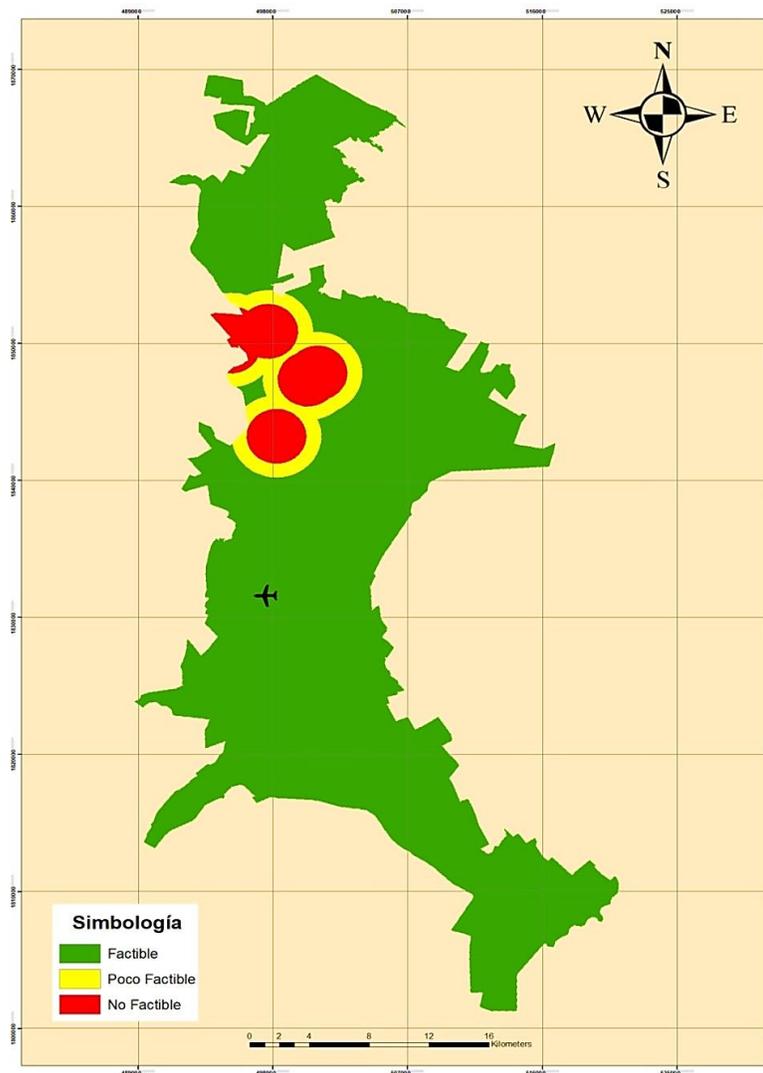
**Figura 21.** Variable vías de comunicación



#### IV.2.5 Compradores potenciales

Los centros de acopio tienen la finalidad de realizar en forma adecuada y detallada el manejo integral de los RSU, almacenamiento, separación y transporte de dichos residuos, esta práctica permite conservar recursos a la vez que reduce la contaminación y los costos de disposición y manejo de los residuos sólidos, dado que una cantidad importante de la que se genera puede reducirse, rehusarse o reciclarse para aprovechar el valor material de los residuos sólidos y proteger al medio ambiente que nos rodea, sabiendo esto a continuación se muestran los centros de acopio de compradores de aluminio, cobre, fierro, etc. Al igual que los compradores de PET, papel y sus derivados (ver figura 22).

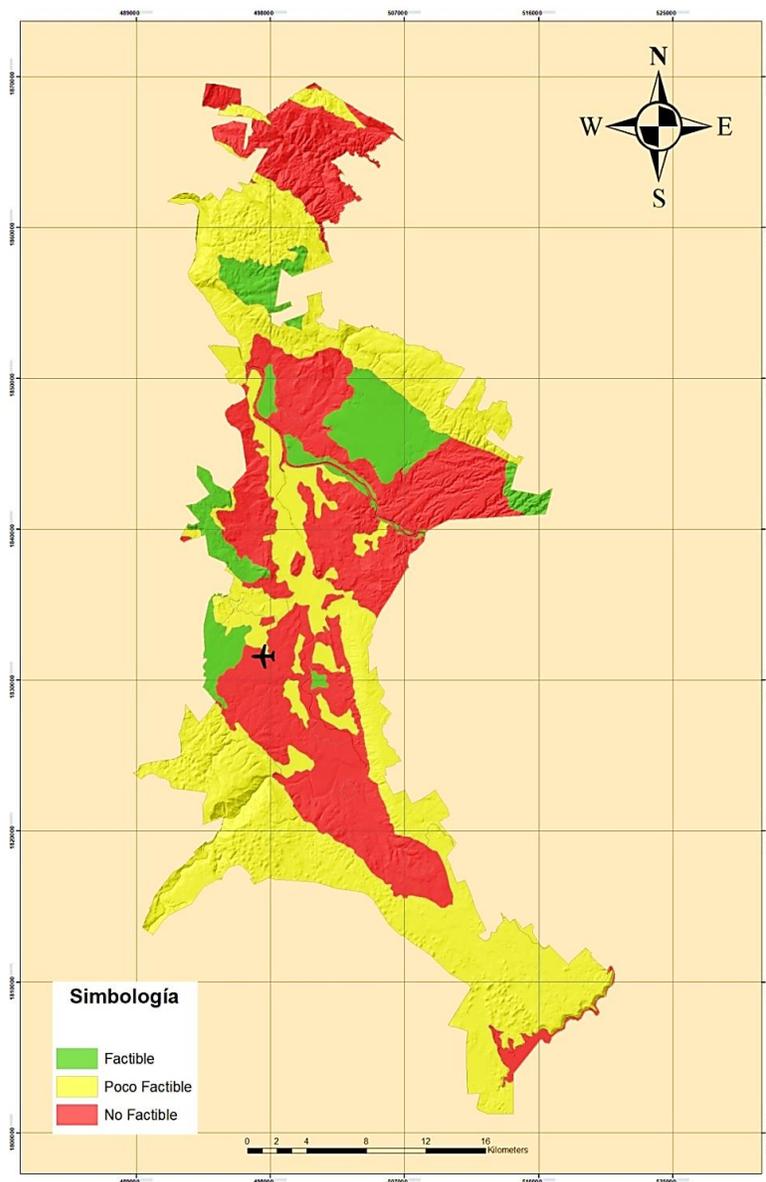
**Figura 22.** Variable Compradores potenciales



#### IV.2.6 Edafología

Las características y atributos edáficos son de suma importancia para la realización de este estudio ya que esta es la primera capa que protegerá al subsuelo de los lixiviados y otros factores nocivos, a continuación, se expresa la edafología del municipio de Chiapa de Corzo en base a la permeabilidad de los suelos presentes en el lugar (ver figura 23).

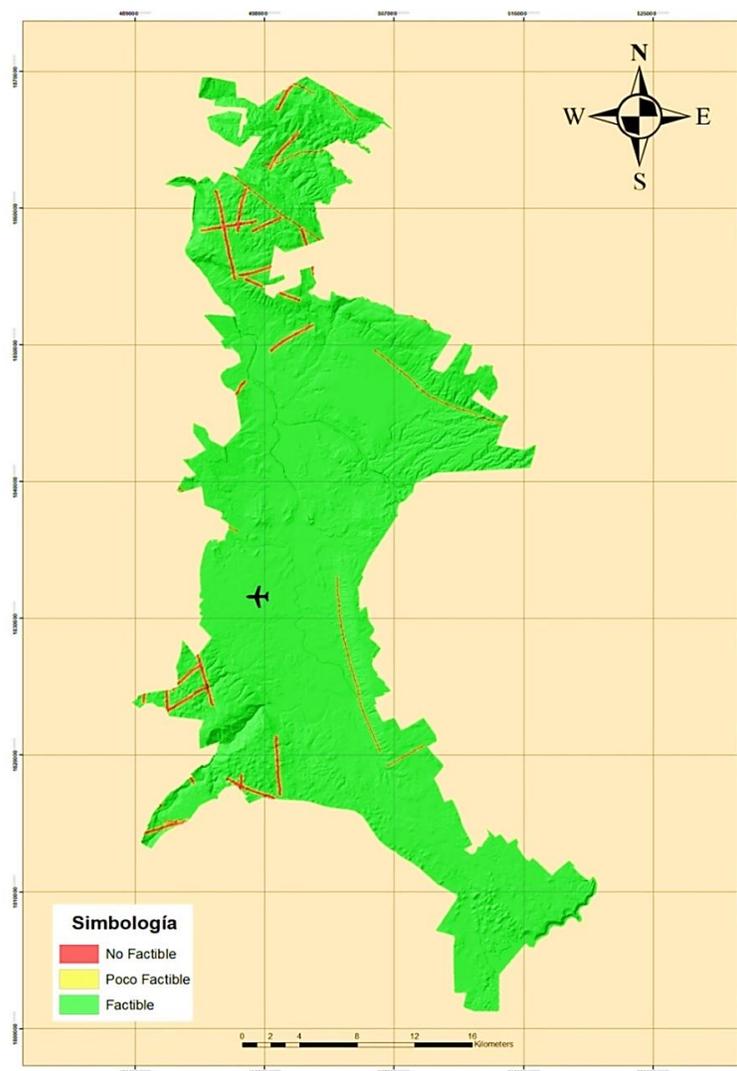
**Figura 23.** Variable Edafología



#### IV.2.7 Fallas y Fracturas geológicas

Al llevarse a cabo la construcción del RS se debe asegurar de no hacerlo sobre o en las cercanías de una falla o fractura dado que los movimientos que generan las fallas pueden dañar sustancialmente las edificaciones. Es tarea de los geólogos investigar la existencia de fallas geológicas y, para ello, deben recorrer la superficie del terreno en busca de evidencias. Sin embargo, nunca es tan fácil encontrar evidencias de una falla pues el tiempo y la erosión las borran de la superficie por esta razón, a continuación, se identifican las fallas activas presentes en el municipio de Chiapa de Corzo (ver figura 24).

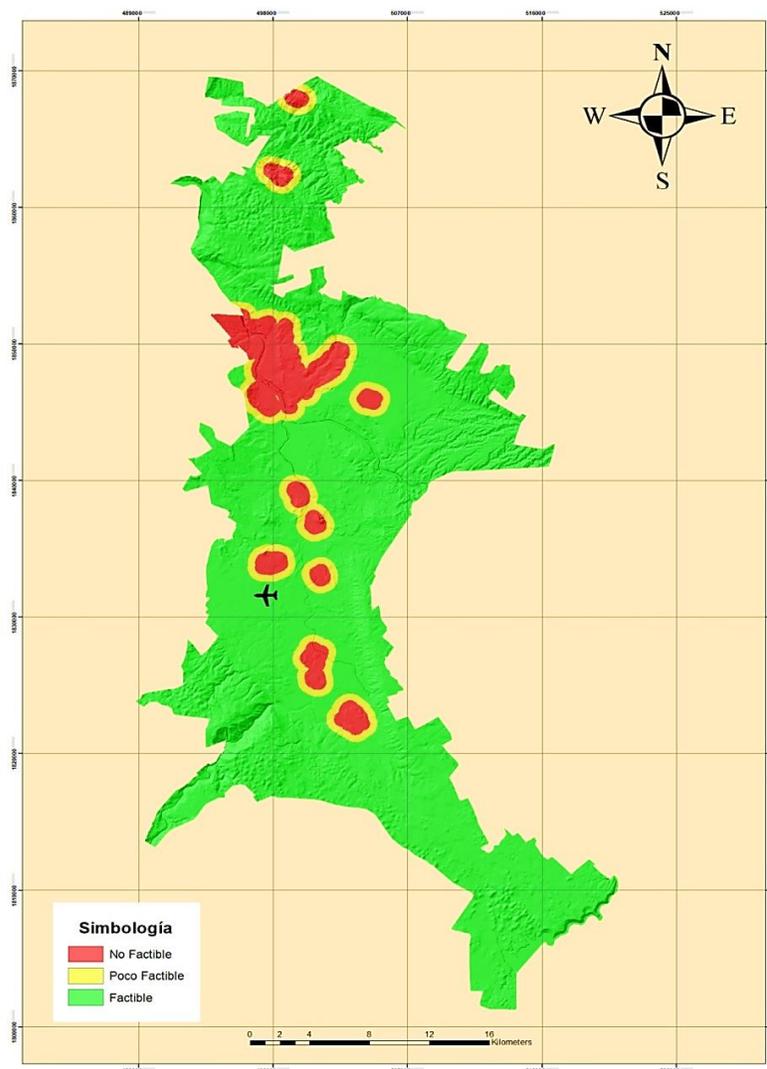
**Figura 24.** Variable Fallas y Fracturas geológicas



#### IV.2.8 Localidades de Chiapa de Corzo

En base a la NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 el SDF deben de estar a una distancia mínima de 500 m (quinientos metros) contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano en localidades mayores de 2500 habitantes, ya que pueden causar varios problemas ambientales como baja calidad del aire, olor fuerte, ruido, etc. sabiendo esto se presentan las localidades presentes en el municipio de Chiapa de Corzo con una población >1000 habitantes esto con la intención de prever el incremento de población en el lugar, además de ser localidades que se encuentran en crecimiento rápido (ver figura 25).

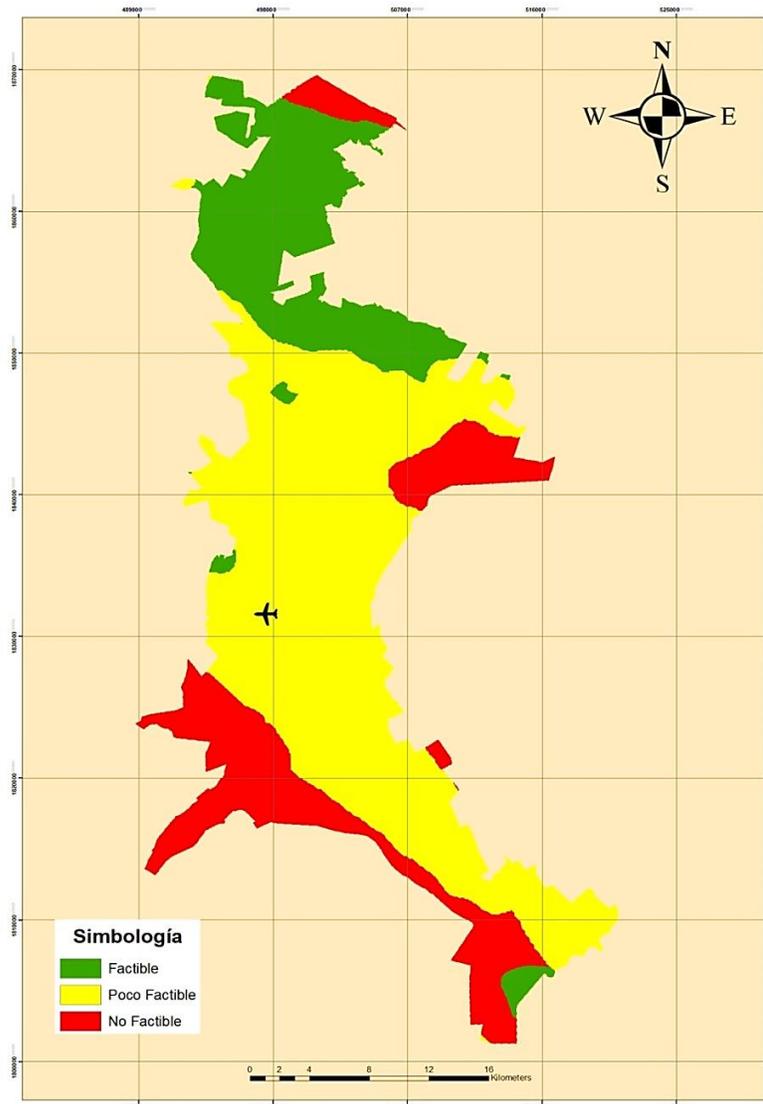
**Figura 25.** Variable Localidades > 1,000 hab.



#### IV.2.9 Uso potencial del suelo

La variable uso potencial del suelo incluye los tipos de utilización agrícola, pecuaria y forestal que muestran la posibilidad de ser establecidos en el terreno, para el ordenamiento sustentable del territorio, así como para la regulación del uso de suelo y del desarrollo de los centros de población, propiciando un entorno más equilibrado, eficiente y competitivo, orientado a mejorar el nivel de vida de sus habitantes, protegiendo al ambiente y a los recursos naturales. En la figura 26 se muestran los usos potenciales del suelo predominantes del municipio de Chiapa de Corzo.

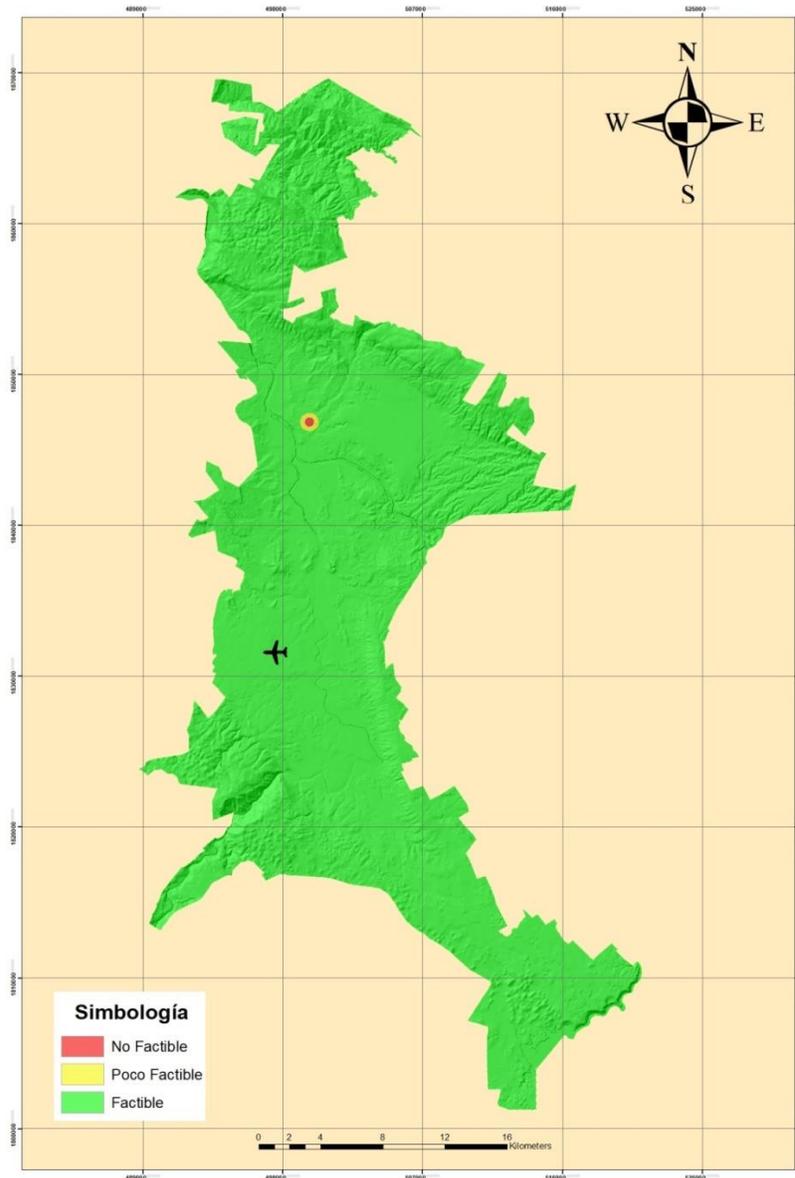
**Figura 26.** Variable Uso potencial de suelo



#### IV.2.10 Zona arqueológica

Una zona arqueológica es un lugar en el cual se ha preservado evidencia de actividades que han sucedido en el pasado, ya sean prehistóricas, históricas o casi contemporáneas, significando que el sitio representa parte del registro arqueológico. La zona arqueológica de Chiapa de Corzo Napiniacá se ubica al oriente de la actual ciudad de Chiapa de Corzo, en el centro del estado de Chiapas (ver figura 27).

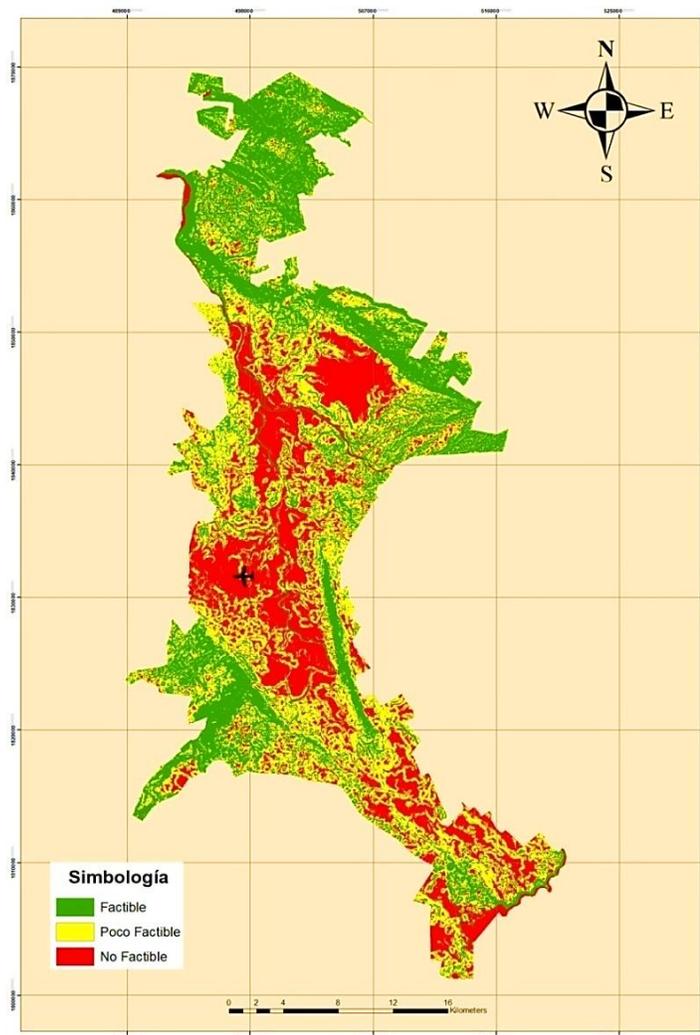
**Figura 27.** Variable Zona Arqueológica



#### IV.2.11 Pendientes

La pendiente y la elevación son los parámetros básicos para la construcción de vertederos debido a que zonas con grandes altitudes y pendientes no son aptas para el SDF. Las mejores ubicaciones para los SDF son áreas de altitud media, rodeada de cerros y con pendiente inferior al 20%, ya que la pendiente afecta la cantidad de agua en el suelo, la posibilidad de tasa de erosión, escorrentía superficial y agua subterránea [16]. La pendiente es crucial para la construcción de SDF, porque una pendiente más alta genera mayores costos de construcción. A continuación, una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar del municipio de Chiapa de Corzo, el cual permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

**Figura 28.** Variable Pendientes



### IV.3 Detalles generales de las variables

---

Tabla 7. Detalles generales de las variables

No	variable	Descripción	Especificación	Valor	Referencia
1	Aeropuerto	Aeropuerto Internacional Ángel Albino Corzo, está localizado en los límites del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México. Tiene encargado el tráfico aéreo nacional e internacional de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y del centro del estado.	<13 kilómetros	1	[6]
			Entre 13 y 15 kilómetros	2	
			>15 kilómetros	3	
2	Áreas de importancia hidrológica	Se muestran los ríos y corrientes de agua con flujo continuo que se encuentran en el municipio de Chiapa de Corzo.	<500 Metros	1	[6]; [41]
			Entre 500 y 1,000 Metros	2	
			>1,000 Metros	3	
3	Áreas de importancia natural	Contiene parte de ANP Cañón del Sumidero que se encuentra dentro del municipio de Chiapa de Corzo, al igual que los humedales.	<500 Metros	1	[6]
			Entre 500 y 1,000 Metros	2	
			>1000 Metros	3	
4	Carreteras	Vías de transporte de dominio y uso público, proyectadas y construidas fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles dentro del municipio de Chiapa de Corzo.	<1 kilometro	3	[30]; [37]
			Entre 1 y 2 kilómetros	2	
			>2 kilómetros	1	
5	Compradores potenciales	Se muestran los centros de acopio de compradores de aluminio, cobre, fierro, etc. Al igual que los que compran PET, papel y sus derivados.	<2 kilometro	3	[42]
			Entre 2 y 3 kilómetros	2	
			>3 kilómetros	1	
6	Edafología	Se expresa la edafología del municipio de Chiapa de corzo en base a la permeabilidad de los suelos presentes en el lugar	Arenoso	1	[42]; [43]
			Limoso	2	
			Arcilloso	3	
7	Fallas y Fracturas geológicas	Se identifican las fallas presentes en el municipio de Chiapa de Corzo.	<50 Metros	1	[6]
			Entre 50 y 75 Metros	2	
			>75 Metros	3	
		Se identifican las fracturas presentes dentro del municipio de Chiapa de Corzo.	<100 Metros	1	[6]; [36]
			Entre 100 y 150 Metros	2	
			>150 Metros	3	
8	Localidades	Localidades presentes en el	<500 Metros	1	[6]

	<b>de Chiapa de Corzo</b>	municipio de Chiapa de Corzo con una población >1000 habitantes y con crecimiento rápido.	Entre 500 y 1,000 Metros	2	
			>1,000 Metros	3	
9	<b>Uso potencial del suelo</b>	Se muestran los usos potenciales del suelo predominantes del municipio de Chiapa de Corzo	Afectación Alta	1	[31]
			Afectación Media	2	
			Afectación Baja	3	
10	<b>Zona arqueológica</b>	La zona arqueológica de Chiapa de Corzo Napiniacá se ubica al oriente de la actual ciudad de Chiapa de Corzo, en el centro del estado de Chiapas	<300 Metros	1	[6]
			Entre 300 y 600 Metros	2	
			>600 Metros	3	
11	<b>Pendientes</b>	Representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar del municipio de Chiapa de Corzo, el cual permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.	<5% MSNM	3	[26]; [32]
			Entre 5% y 20% MSNM	2	
			>20% MSN	1	
Val. Asignado		Categoría			
3		Factible			
2		Poco factible			
1		No factible			

#### IV.4 Áreas propuestas para el RS

La obtención del resultado surge del proceso del cruce de las variables de la cual se obtiene una imagen que contiene un grupo de pixeles 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 29. Primer Sitio Propuesto Para RS



Este sitio denominado “sitio 1” es el primer punto propuesto para la construcción de RS, este lugar se encuentra a 6 km de distancia del centro de la cabecera municipal de Chiapa de Corzo, 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 36 ha (aprox.) de las cuales ya se han ocupado 1.51 ha que es donde se encuentra el TCA, 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 cerca de una corriente de agua intermitente, que en temporada de lluvia lo máximo que se ha reportado de desbordamiento ha sido de 2 metros de su cauce original, sin embargo debido a que el tipo de suelo es arenoso-limoso 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 (Ver Figura 29).

**Figura 30.** Vista Satelital Del Primer Sitio Propuesto Para El RS



**Fuente:** Google Earth

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.

Figura 31. Segundo Sitio Propuesto Para RS



El segundo sitio propuesto fue el denominado “sitio 2” (ver Figura 31), este lugar se encuentra localizado a 9.55 km del centro de la cabecera municipal de Chiapa de Corzo en la carretera internacional 101 “Tuxtla Gutiérrez- Acala”, cuenta con un área de 70.1 ha (aprox.) y un perímetro de 3.59 km, a diferencia del sitio 1, este se encuentra 3,55 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, el más cercano se encuentra a 2 km de distancia siendo este de tipo perenne, el tipo de suelo del lugar es limoso lo cual puede ser favorecedor en caso de presentar alguna fuga de lixiviado.

**Figura 32.** Vista Satelital Del Segundo Sitio Propuesto Para El RS



**Fuente:** Google Earth

En consecuencia, se debe prestar mayor atención al cumplimiento de los requisitos de capacidad de eliminación de vertederos. 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.

---

## V. CONCLUSIÓN

---

---

La selección de un sitio adecuado para nuevos SDF es uno de los principales problemas que sufren los municipios en desarrollo incluido Chiapa de Corzo 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; sin embargo, este proyecto beneficia al municipio y a los habitantes de Chiapa de Corzo, 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 TCA del municipio.

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. 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 debido a que solo se contaba con uno dentro del área de estudio.

A través de los SIG y de la EMC denominada AHP fue posible determinar los lugares potenciales de emplazamiento del SDF en Chiapa de Corzo 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 0.34, el cual al compararlo con la tabla de valores y fuerza de concordancia elaborada por Landis y Koch 1977

(ver tabla 9) entra dentro del valor aceptable, lo cual demuestra que la cartografía obtenida para la realización de este trabajo no tuvo errores considerables tanto de omisión como de comisión.

---

## **VL. REFERENCIAS**

---

- [1] INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda. 2010, de INEGI Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- [2] SEDESOL. (2011). Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales. 2011, de INAPAM Sitioweb:<http://www.inapam.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/ManualTecnicosobreGeneracionRecoleccion.pdf>
- [3] Sistema estatal de información ambiental del estado de Chiapas. (N/D). 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>
- [4] Honorable Congreso de la Unión. (2003). Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos. 2003, del Diario Oficial de la Federación Sitio web: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_190118.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf)
- [5] Congreso del estado de Chiapas. (2019, 19 junio). Programa Estatal Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos Sólidos Urbanos Y De Manejo Especial En El Estado De Chiapas. [congreso\\_chiapas.gob.mx](http://congreso_chiapas.gob.mx). Recuperado 23 de mayo de 2020, de <https://www.congresochiapas.gob.mx>
- [6] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004, 20 octubre). NORMA oficial mexicana 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 de la Federación. Recuperado 18 de mayo de 2020, de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004)

- [7] CEIEG. (2016). Chiapas. Residuos sólidos urbanos. 2020, de Dirección de Información Geográfica y Estadística Subsecretaría de Planeación Sitio web:[http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/Residuossolidos/Chiapas\\_Residuos\\_Solidos\\_2010-2016.Pdf](http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/Residuossolidos/Chiapas_Residuos_Solidos_2010-2016.Pdf)
- [8] Francisco Javier Yáñez Garcia. (2009). Relleno Sanitario Sustentable para los Residuos Sólidos Urbanos. México D.F: Instituto Politécnico Nacional.
- [9] Hugo, H. (2012). Sistema De Gestión Integral De Residuos Sólidos Urbanos. 19–39.
- [10] Martínez, reyna lizeth alvarez. (2016). diagnostico y propuesta de mejora para un tiradero a cielo abierto. Revista Brasileira de Ergonomia, 9(2), 10. <https://doi.org/10.5151/cidi2017-060>
- [11] María Neftalí Rojas-Valencia y Carla Sahagún Aragón. (2012). tiraderos a cielo abierto. Junio del 2020, de ciencia y desarrollo Sitio web: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/archivo/259/articulos/tiraderos-a-cielo-abierto.html>
- [12] Katherine De Luna. (2018). RELLENOS SANITARIOS. Junio del 2020, de blog spot Sitio web: [http://ecolectura2018.blogspot.com/2018/05/rellenos-sanitarios\\_16.html](http://ecolectura2018.blogspot.com/2018/05/rellenos-sanitarios_16.html)
- [13] Torri, S. I. (2017). ¿ Qué es un relleno sanitario ? May.
- [14] Monasterio Alemán, S. (2013). Modelo de valoración de la calidad para un relleno sanitario. Revista Ingeniería Industrial, 12(1), 55–87.
- [15] Robles Martínez F. (2008). Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. Segunda Edición. Instituto Politécnico Nacional. Distrito Federal, México. 115 p.
- [16] Çeliker, M., Yıldız, O., & Koçer, N. N. (2019). Evaluating solid waste landfill site selection using

- multi-criteria decision analysis and geographic information systems in the city of Elazığ, Turkey. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 25(6), 683–691. <https://doi.org/10.5505/pajes.2018.70493>
- [17] Tchobanoglous, G. (1994). Desechos Sólidos Principios De Ingeniería Y Administración: Vol. Ambiente y los Recursos Naturales Renovables AR-16. McGraw-Hill Education. <https://es.scribd.com/doc/125378511/tchobanoglous>
- [18] Morales-Soto, S. E., & Rodríguez-Infante, A. (2016). Evaluación geológica ambiental para ubicar un relleno sanitario manual en la parroquia Mene de Mauroa, Venezuela. Environmental and Geologic Assessment to Locate a Manual Sanitary Refill in the Mene de Mauroa Church, Venezuela., 32(2), 87–101.
- [19] Alonso, F. (2015). Cartografía digital. Introducción a los SIG. Sistemas de Información Geográfica, 239.
- [20] Sosa-pedroza, J., & Martínez-zúñiga, F. (2009). Los sistemas de información geográfica y su aplicación en enlaces de comunicaciones. Científica, 13(1), 27–34.
- [21] Buzai, G. D. (2013). Sistema de información geográfica (SIG): Teoría y aplicación.
- [22] Rodrigo, L. M., Carlos, J., & Rodrigo, H. (2015). Sistemas de información geográfica. 1–47.
- [23] Montalván-Estrada, A., Aguilera-Corrales, Y., Ii, E., Veitia-Rodríguez, I., & Brígido-Flores, O. (2017). Análisis multicriterio para la gestión integrada de aguas residuales industriales Multicriteria analysis for the integrated management of industrial wastewaters. XXXVIII(1), 56–67.
- [24] EcuRed. (N/D). Análisis multicriterio. 2020, de EcuRed Sitio web: [https://www.ecured.cu/An%C3%A1lisis\\_multicriterio](https://www.ecured.cu/An%C3%A1lisis_multicriterio)

- [25] Nagata, J. J., & Peterson, V. A. (2013). Evaluación multicriterio/Multiobjetivo Aplicada a Datos sobre Educación: una Primera Aproximación. *Educación y Tecnología*, 112–123
- [26] Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*, 30(11), 2037–2046. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.024>
- [27] Da Silva, C., & Cardozo, O. (2015). Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina). *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 16, 2.
- [28] Franco-Maass, A., Osorio-García, S. ;, Nava-Bernal, M. ;, Regil-García, G. ;, & Hugo, H. (2009). Evaluacion Multicriterio. *Estudios y Perspectivas En Turismo*, 18(2), 208–226. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180714240006>
- [29] GisGeek. (2016). Tecnología Geoespacial. 2020, de GisGeek Sitio web: <http://sig-geek.blogspot.com/>
- [30] Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Jaafarzadeh, N., & Hosseinzadeh, M. (2013). Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: A case study in Mahshahr County, Iran. *Waste Management and Research*, 31(1), 98–105. <https://doi.org/10.1177/0734242X12456092>
- [31] Ersoy, H., & Bulut, F. (2009). Spatial and multi-criteria decision analysis-based methodology for landfill site selection in growing urban regions. *Waste Management and Research*, 27(5), 489–500. <https://doi.org/10.1177/0734242X08098430>
- [32] Araiza-Aguilar, J. A., Gutiérrez-Palacios, C., Rojas-Valencia, M. N., Nájera-Aguilar, H. A., Gutiérrez-Hernández, R. F., & Aguilar-Vera, R. A. (2019). Selection of sites for the treatment

- and the final disposal of construction and demolition waste, using two approaches: An analysis for Mexico City. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su11154077>
- [33] La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). (2014, 10 agosto). Compendio de estadísticas ambientales edición 2014. Semarnat.gob.mx. Recuperado 19 de mayo de 2020, de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2014/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServletac55.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2014/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServletac55.html)
- [34] INEGI. (2020, 27 febrero). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2019. Recuperado 27 de octubre de 2020, de [https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2019/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2019/#Datos_abiertos)
- [35] León, G. (2008). Métodos de Localización Factores de Localización. 1–11.
- [36] Aceves-Quesada, F., López-Blanco, J., & del Pozzo, A. L. M. (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.
- [37] Mejía, C. A. Z., Castañeda, F. A. M., & Varela, P. A. M. (2012). A methodology for landfill location using geographic information systems : a Colombian regional case Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica . Un caso regional colombiano. *Ingeniería e Investigación*, 32(1), 64–70. <http://www.bdigital.unal.edu.co/29845/1/28527-102131-1-PB.pdf>
- [38] Sánchez Muñoz, J. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento Matemático*, 6(2), 9–26.
- [39] Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46. <https://doi.org/10.1016/0034->

4257(91)90048-B

- [40] 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>
- [41] Demesouka, O. E., Vavatsikos, A. P., & Anagnostopoulos, K. P. (2013). Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. *Waste Management*, 33(5), 1190–1206.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.030>
- [42] Araiza-Aguilar, J. A. (2019). Modelado espacial del riesgo sanitario-ecológico derivado del mal manejo de los residuos sólidos urbanos en los municipios de la Cuenca del Cañon del Sumidero Chiapas.pdf.
- [43] Rathore, S., Ahmad, S. R., & Shirazi, S. A. (2015). Application of GIS based model in landfill site selection: a case study of Lahore, Pakistan. *Pakistan Journal of Science*, 67(4), 359–364.

