



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE GEOGRAFÍA**



**IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA  
DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS MUNICIPIOS  
ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE  
MÉXICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADO EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA:

**JORGE ARTURO FLORES SALAZAR**

ASESOR:

**DR. JOSÉ LUIS EXPÓSITO CASTILLO**

ASESOR EXTERNO

**DR. MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ ALBORES**

REVISORES:

**DR. DELFINO MADRIGAL URIBE**

**M. EN C.A. FRANCISCO ZEPEDA MONDRAGÓN**

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2013.

# Dedicatorias

*Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades y a no desfallecer en el intento.*

*Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, por su sacrificio y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.*

*A mis hermanos por el cariño y apoyo moral que siempre he recibido de ustedes, el cual ha sido importante para culminar este esfuerzo.*

*A mis abuelitos por mostrarme muchos de los valores y carácter que hoy en día forman parte de mí, por sus sabias palabras para nunca desistir en continuar mis estudios.*

*A mi primo, amigo y colega Rubén, por sus consejos y aportaciones en la vida.*

***“Nadie está a salvo de las derrotas. Pero es mejor perder algunos combates en la lucha por nuestros sueños, que ser derrotado sin saber siquiera por qué se está luchando.”***

***Paulo Coelho.***

# Agradecimientos

Al Dr. José Luis Expósito Castillo por otorgarme la ayuda, tolerancia, tiempo, dedicación y orientación suficientes para poder efectuar este trabajo, asimismo le agradezco por los consejos y por extenderme la mano para la culminación final de mi etapa en la licenciatura.

Al Dr. Miguel Ángel Gómez Albores, que fungió como asesor externo en este trabajo, otorgándome tiempo, confianza y conocimiento.

A mis revisores Dr. Delfino Madrigal Uribe, M. en C.A. Francisco Zepeda Mondragón, por sus acertadas recomendaciones para el mejoramiento de esta tesis.

A mis profesores y amigos de la Facultad de Geografía, que estuvieron relacionados directamente o indirectamente con la culminación de mis estudios.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	4
<b>OBJETIVOS</b> .....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos específicos .....	5
<b>Capítulo 1 Descripción del Área de Estudio</b> .....	6
1.1 Ubicación Geográfica.....	6
1.2 Geología.....	8
1.3 Edafología .....	11
1.4 Hidrología .....	14
1.4.1 Hidrología Superficial .....	14
1.4.2 Hidrología Subterránea .....	17
1.5 Contexto Socioeconómico.....	19
1.5.1 Aspectos demográficos .....	19
1.5.2 Aspectos Económicos .....	20
<b>Capítulo 2 Marco Teórico Conceptual</b> .....	23
2.1 Conceptualización .....	23
2.2 Composición de los RSU .....	24
2.3 El Relleno sanitario .....	26
2.4 La disposición de los residuos sólidos en el contexto global .....	27
2.5 La disposición de los residuos sólidos en el contexto nacional y local .....	30
2.5.1 Relleno Sanitario Tradicional.....	30
2.5.2 Relleno Sanitario Manual.....	32
2.5.3 Pre tratamiento de Alta Compactación.....	32
2.5.4 Pre tratamiento Mecánico-Biológico.....	33
2.6 Disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos .....	35
2.7 La utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la identificación de sitios para la disposición final de residuos sólidos mediante evaluación multicriterio. ....	36
2.8 Metodologías aplicadas en la ubicación de rellenos sanitarios .....	38

<b>Capítulo 3 Marco Normativo</b> .....	41
3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos .....	42
3.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. ....	42
3.2.1 Título Cuarto: Capítulo IV de la LGEEPA: Prevención y control de la contaminación del suelo. ....	43
3.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos.....	43
3.4 Normas Oficiales Mexicanas .....	44
3.5 Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México. ....	45
3.6 Código para la Biodiversidad del Estado de México. ....	45
<b>Capítulo 4 Metodología</b> .....	47
4.1 Recopilación y análisis de la información disponible sobre el área de estudio.....	48
4.1.1 Delimitación de la zona de estudio.....	48
4.1.2 Obtención del mapa geológico e hidrogeológico .....	48
4.1.3 Obtención del mapa de hidrología superficial.....	49
4.1.4 Recopilación de datos demográficos.....	49
4.2 Análisis e integración de criterios normativos .....	49
4.2.1 Identificación de criterios (Factores y Restricciones) .....	50
4.2.3 Estructuración de la información .....	52
4.3 Aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio (EMC).....	53
4.3.1 Factores .....	53
4.3.2 Restricciones utilizadas para el caso de estudio .....	54
4.3 Estandarización de los factores y suma de capas .....	56
<b>Capítulo 5 Presentación y análisis de Resultados</b> .....	57
5.1 Mapas resultantes de factores y restricciones.....	57
5.1.1 Mapa de Factores .....	57
5.1.2 Mapas de restricciones .....	63
5.2 Obtención de zonas potenciales para la disposición final de residuos sólidos.....	68
<b>Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	73
6.1 Conclusiones .....	73
6.2 Recomendaciones.....	75
<b>Anexos</b> .....	76
<b>Bibliografía</b> .....	77

## Índice de figuras

<b>Figura 1. 1</b>	Mapa de Ubicación de la región (Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca) .....	7
<b>Figura 1. 2</b>	Mapa geológico de la región (Elaborado con base en INEGI, 2010). .....	10
<b>Figura 1. 3</b>	Mapa edafológico de la región (Elaborado con base en INEGI, 2010). .....	13
<b>Figura 1. 4</b>	Mapa hidrológico de la región (Elaborado con base en la CNA, 2010). .....	16
<b>Figura 1. 5</b>	Mapa hidrogeológico de la región. (Elaborado con datos del IFOMEGEM, 1994) .....	18
<b>Figura 1. 6</b>	Crecimiento poblacional por municipio 1995 – 2010. Fuente de datos INEGI. .....	20
<b>Figura 1. 7</b>	Población Económicamente Activa (PEA) por sector de actividad.....	21
<b>Figura 2. 1</b>	Capas que considera un vertedero de residuos sólidos .....	27
<b>Figura 2. 2</b>	Evolución de estrategias de manejo de residuos sólidos urbanos (RSU). .....	28
<b>Figura 2. 3</b>	Coberturas del suelo en un relleno tradicional.....	31
<b>Figura 2. 4</b>	Planta de Pre-tratamiento de alta compactación .....	32
<b>Figura 2. 5</b>	Sitios de disposición final de RSU (1995-2008).....	34
<b>Figura 2. 6</b>	Disposición final de RSU en rellenos sanitarios y sitios no controlados por tipo de localidad, (SEMARNAT, 2008). .....	36
<b>Figura 2. 7</b>	Estructura jerárquica de decisión para el emplazamiento de vertederos (Kontos et al., 2005). .....	40
<b>Figura 4. 1</b>	Esquema metodológico del trabajo de investigación.....	47
<b>Figura 5.1</b>	Mapa de niveles de adecuación respecto a localidades mayores a 2,500 habitantes.....	58
<b>Figura 5. 2</b>	Mapa de niveles de adecuación de los ríos perennes e intermitentes en la zona de estudio.....	60
<b>Figura 5. 3</b>	Mapa de niveles de adecuación de los pozos de agua en la zona de estudio. .	61
<b>Figura 5. 4</b>	Mapa de niveles de adecuación de los cuerpo de agua perennes e intermitentes en la zona de estudio.....	62
<b>Figura 5. 5</b>	Restricción correspondiente a las Áreas Naturales Protegidas (CONABIO). .	64
<b>Figura 5. 6</b>	Restricción correspondiente a las fallas, fracturas y grietas. ....	65

<b>Figura 5.7</b>	Restricción correspondiente a zonas de recarga a acuíferos. ....	66
<b>Figura 5.8</b>	Restricción correspondiente zonas de inundación (CAEM,2012). ....	67
<b>Figura 5.9</b>	Mapa de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos. ....	72

## Índice de tablas

<b>Tabla 2. 1</b>	Tipos de rellenos Sanitarios y métodos de pre-tratamiento.....	30
<b>Tabla 3. 1</b>	Especificaciones relacionadas a la prevención y control de la contaminación del suelo. ....	43
<b>Tabla 4. 1</b>	Especificaciones para los factores en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 .....	50
<b>Tabla 4. 2</b>	Especificaciones para las restricciones en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 .....	51
<b>Tabla 4. 3</b>	Estratos temáticos de factores y restricciones .....	52
<b>Tabla 4. 4</b>	Ponderación del factor correspondiente a las áreas urbanas.....	54
<b>Tabla 4. 5</b>	Ponderación del factor correspondiente a hidrología superficial .....	54
<b>Tabla 4. 6</b>	Ponderación del factor correspondiente a pozos de agua. ....	54

# INTRODUCCIÓN

Actualmente la generación de residuos se encuentra fuertemente influida por el modelo de desarrollo de la sociedad, asimismo los indicadores ambientales arrojan que cada vez se están generando más residuos, ya que todos los productos disponibles en el mercado han de convertirse en algún momento en residuos, aunado a que de las actividades productivas han de generarse más de ellos. Esta generación de residuos produce serios impactos al medio ambiente, principalmente degradación de suelo, contaminación atmosférica y en el agua etc. (Ferrando, 2007).

En México la disposición final de residuos sólidos urbanos ha estado orientada al depósito incontrolado en lugares inadecuados, elegidos arbitrariamente, como barrancos, lagos y lagunas, zonas pantanosas, minas abandonadas, etc. Durante décadas, esto no supuso mayor problema, pues las características de composición de los residuos permitían su reintegración a la naturaleza sin daños aparentes. Al cambiar los hábitos de consumo, las cantidades de residuos generadas y la composición de éstos, esta actividad se convirtió en un problema serio. Así, el 19 de diciembre de 2004 entró en vigor la NOM-083-SEMARNAT-2003 para que los municipios regulen los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y además, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Agencia de Cooperación Alemana (GTZ) elaboraron la Guía de Cumplimiento para dicha norma y la Guía para la Realización de Planes de Regularización conforme a la misma norma, con el fin de facilitar a los municipios su cumplimiento (SEDESOL, 2008).

Como se menciona en el párrafo anterior la agencia de cooperación internacional (GTZ) que actualmente asesora a los tres órdenes de gobierno en aspectos técnicos, jurídicos, económicos, estratégicos y políticos, además de fortalecer el marco normativo y los sistemas de formación continua para diversos sectores de la sociedad. Con esta política nacional de residuos se pretende fomentar el cambio en los patrones culturales y en los esquemas de producción y consumo, orientados al uso sostenible de los recursos, establecer sistemas para la prevención y gestión integral de los residuos ambientalmente adecuados, técnicamente factibles, económicamente viables y socialmente aceptables, así como impulsar diferentes

alternativas y soluciones innovadoras para la gestión integral de los residuos (SEDESOL, 2008).

Un aspecto a considerar en el proceso de disposición final, es la de realizar una serie de estudios, para no perjudicar a los asentamientos humanos, la mayoría de las veces la selección del sitio óptimo constituye una externalidad negativa para los pobladores, visto con un enfoque económico puesto que se puede argumentar que el precio de las viviendas cercanas decrece debido a la cercanía con los sitios de disposición final. (Ramírez, 2010)

Cabe señalar la elaboración por parte de la Secretaría de Ecología el Gobierno del Estado de México (SEGEM), de un manual de clausura de vertederos de residuos sólidos municipales publicado en el año 2006, que contienen parámetros de diseño y construcción de estos con base a las Normas Oficiales Mexicanas encargadas de este material, el cual permite llegar a una fase de diagnóstico ambiental-técnico de estos sitios y con ello a una guía de tipo cualitativa, que permita detectar la problemática ambiental técnica que se genera en su estado de operación (INE, 2007)

En el Estado de México, los rellenos sanitarios donde se deposita actualmente los residuos son: Amecameca municipal, Atizapán de Zaragoza municipal, Ecatepec privada, Ixtlahuaca municipal, Naucalpan concesionada, Nicolás Romero concesionada, San Antonio la Isla privada, Tecámac privada, Tlalnepantla concesionada y Xonacatlán privada. En el periodo 2006-2008 se construyeron 5 nuevos rellenos sanitarios: Naucalpan; San Antonio la Isla; Xonacatlán; Ixtlahuaca y Nicolás Romero elevando de 8,520 a 10,828 toneladas/día, los residuos que se disponen adecuadamente. Actualmente los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos de Xonacatlán, Ixtlahuaca y San Antonio la Isla no operan. (Secretaría de Salud del Estado de México, 2012).

En el 2010 el municipio de Atlacomulco obtuvo una licitación con el fin de realizar obras y acciones de recuperación, saneamiento, construcción e infraestructura de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial (Secretaría de Agua y Obra Pública, 2010).

A pesar de contar con rellenos sanitarios dentro de los municipios del Estado de México estos no son suficientes o no cumplen con los requerimientos necesarios para la disposición de residuos, por lo que contar con sitios óptimos que cumplan con las normativas establecidas es un tema de importancia.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos años el incremento acelerado de la población hace que la cantidad de basura se multiplique lo que unido a una mala política de disposición de residuos sólidos ocasionando un problema social y propiciando el deterioro ambiental porque al estar los residuos en contacto con el oxígeno los microorganismos inician el proceso de descomposición generando malos olores y gases tóxicos, además, de contaminación visual y del agua subterránea. Al igual que en muchos municipios del Estado de México, Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca enfrenta grandes retos en el manejo de sus residuos sólidos.

La problemática de la disposición de residuos sólidos se ha incrementado en la mayoría de los municipios del Estado de México, un ejemplo de esto el relacionado con los municipios Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca, en donde estos dos primeros cuentan con un sitio para la disposición final de residuos sólidos urbanos, Ixtlahuaca deposita sus desechos en el vertedero de Jocotitlán, estos tres municipios generan un total de 190 toneladas al día (INEGI,2010) derivando en un impacto ecológico ocasionado por su inadecuada y falta de sitios para la disposición final de residuos sólidos urbanos, originando que se depositen en sitios no aptos como en las periferias de las localidades, así como en los márgenes de los ríos creando un peligro al medio ambiente, ocasionando erosión y contaminación del aire y agua superficial y subterránea, tal es el caso del vertedero que está ubicado en el municipio de Atlacomulco el cual se encuentra cercano a un cuerpo de agua a escasos metros de distancia

Es por ello que en la actualidad una de las prioridades dentro del manejo de los residuos sólidos la constituye la disposición final aunado al análisis de los factores hidrogeológicos, como son la permeabilidad del terreno y la profundidad del agua subterráneas, la integración de criterios normativos relacionados con los sitios de depósito que es parte importante, la cual corresponde a la Norma Oficial Mexicana NOM-083 SEMARNAT-2003, que tiene como

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, lo anterior ponen a discusión la necesidad de seleccionar sitios adecuados para la disposición de residuos sólidos, por lo tanto al obtenerse una identificación de sitios óptimos proporciona un panorama amplio para la toma de decisiones para preservar lo más posible el entorno local y regional, es decir, evitar que la obra que ahí se proyecte se convierta en un problema ambiental y pueda generar conflictos sociales o de salud pública a corto plazo.

## **JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo pretende localizar sitios potenciales para la disposición de residuos sólidos, integrando como factores los mencionados en la Norma Oficial Mexicana. Aunque ya existen metodologías para ubicar sitios para la disposición final de RSU, estas tienen restricciones y no se apegan a criterios establecidos por la Norma Oficial. Por ejemplo, la propuesta que presentan Bosque et al. (1999), tiene la desventaja de que no se toman en cuenta factores como suelo, aguas superficiales o subterráneas y se enfocan más al aspecto social y económico.

Una de las razones que conlleva a esta investigación es que según los planes de desarrollo de los municipios solo cuentan con un sitio para la disposición de residuos sólidos respectivamente y estos solo son de carácter municipal, que en un futuro cercano no dará abasto a la creciente población de la región y generando otro problema como el de la inadecuada disposición que es ya muy común en sitios como ríos, terrenos baldíos y barrancos son utilizados como tiraderos clandestinos creando así enormes cantidades de basura, las cuales son depositadas de una manera inadecuada, sin cumplir con los requisitos establecidos por los diferentes aspectos legales.

Sin embargo a pesar de contar con rellenos sanitarios, estos no son suficientes o en su caso no son óptimos para la disposición de residuos sólidos como el antes mencionado ubicado en municipio de Atlacomulco que se encuentra a pocos metros de un cuerpo de agua y aunado a la creciente población y al aumentar las actividades industriales, es por ello que se pretende hacer esta investigación para dotar de herramientas a los tomadores de decisiones y así tener

alternativas en los procedimientos para la implementación de un sitio adecuado para la disposición de residuos sólidos en los municipios Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca, a su vez el medio ambiente municipal se beneficiará en gran medida, ya que disminuirá potencialmente la contaminación de recursos hídricos como los acuíferos de la región, por causa de la existencia de tiraderos a cielo abierto, así mismo la población también se verá beneficiada, ya que la preocupación sobre el manejo y destino de la basura, disminuirá en gran medida.

Los resultados que se pretenden alcanzar son una primera aproximación en la determinación de áreas potenciales, el cual pretende encontrar el sitio menos malo y no el sitio perfecto.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Identificar sitios potenciales para la disposición de residuos sólidos, mediante el análisis de factores normativos y técnicas de evaluación multicriterio, en los Municipios Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca

### **Objetivos específicos**

1. Recopilar, Analizar y sintetizar la información disponible sobre el área de estudio
2. Analizar la problemática actual sobre la generación y disposición de residuos sólidos en Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca
3. Analizar e integrar los criterios normativos relacionados con la disposición de residuos sólidos
4. Aplicar las técnicas de Evaluación Multicriterio tanto a factores hidrogeológicos como normativos para la localización de sitios potenciales

# Capítulo 1

## Descripción del Área de Estudio

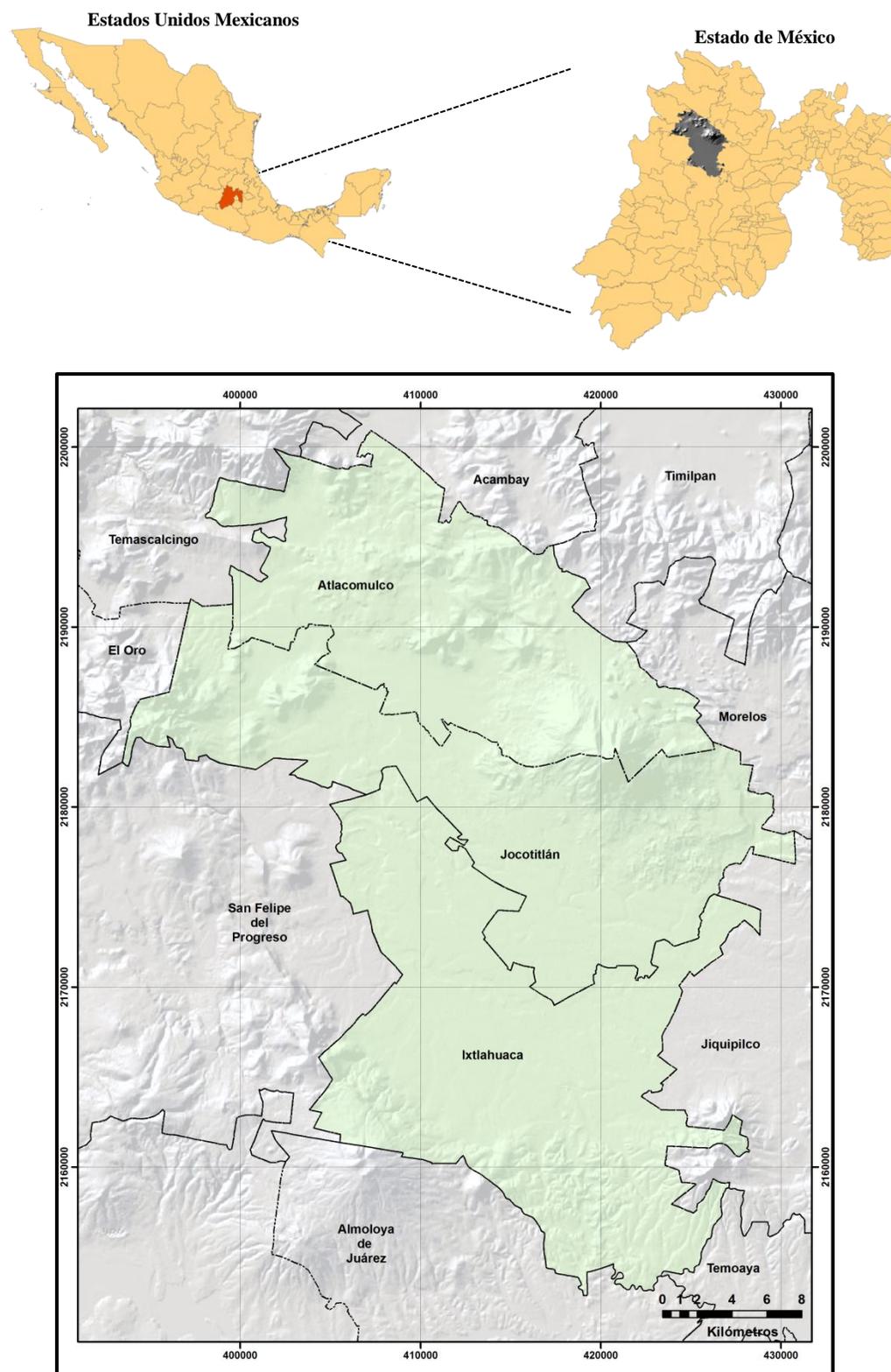
### 1.1 Ubicación Geográfica

El área de estudio la conforman los municipios Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca, en colindancia al norte Temascalcingo y Acambay al sur con Almoloya de Juárez, al Este con Morelos, Jiquipilco, Timilpan. Al Oeste con el Oro y San Felipe del Progreso localizados al Norte del Estado de México (*Figura 1.1*). La región se encuentra enclavado en el sistema orográfico de la provincia del Eje Volcánico transversal y ubicado en la sub-provincia de Lagos y Volcanes del Anáhuac. Contando con una superficie total de 871.9 Km<sup>2</sup>, con una altitud promedio de 2500 msnm.

El clima predominante en la región puede clasificarse como templado sub-húmedo con lluvias en verano (CW) con lluvias en verano según lo establecido por Köppen y modificado por Enriqueta García, la precipitación media anual oscila entre los 800 y 1000mm teniendo una temperatura promedio de 20°C como máxima y 6°C como mínima aunque en algunas partes altas correspondientes a la zona del volcán Jocotitlán se registran temperaturas de 4°C.

La región cuenta con un gran polo de desarrollo como lo es Atlacomulco, y aunque no está dentro de nuestra delimitación la conexión con Toluca es un centro de gran importancia por su propia ubicación geográfica ya que esta se considera estratégica por su comunicación con otros municipios que a su vez se enlazan con otros estados de la república relacionados con las actividades industriales y comercio.

**IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO**



*Figura 1. Mapa de Ubicación de la región (Atacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca)*

## 1.2 Geología.

El área de estudio se localiza dentro de la región del acuífero se encuentra en una zona de actividad volcánica, constituida por una secuencia de rocas andesitas, basaltos, piroclásticos, lahares y materiales aluviales con edades del Terciario hasta el cuaternario, Las rocas más recientes consisten en rocas ígneas de composición clástica, andesítica y basáltica, con depósitos piroclásticos y sedimentos fluviales y lacustres producidos simultáneamente con el vulcanismo; las cuales se remontan al periodo Plioceno-Holoceno de la era Cenozoica, de 10 millones de años de antigüedad. Entre las rocas ígneas más frecuentes están: andesita, tobas, brecha, basaltos, riolitas y dacitas como se muestra en la (figura 1.2).

La zona de estudio forma parte de la Franja Volcánicas Transmexicana, la cual está caracterizada por miles de estructuras que incluyen volcanes, domos volcánicos y cráteres. Una de las estructuras más notables es el volcán Jocotitlán. Este volcán es de tipo poligenético, es decir, que su formación requirió de varias etapas. La estructura del volcán se compone por rocas andesíticas y piroclastos. La morfología actual del volcán presenta un edificio volcánico en forma de herradura y con emplazamiento de un domo central.

Al noroeste de Jocotitlán existe otra zona de vulcanismo monogenético, es decir, que su origen se dio en una sola etapa, a esta zona se le conoce como “campo volcánico Acambay-Pastores”. Hacia el sur de la Región, se encuentra la Sierra Mazahua conformada por un conjunto de 16 estructuras de domos y conos de composición basáltica.

**Qal.** Aluvión: grava, arena y limo con interestratificación de ceniza volcánica en el valle del acuífero Ixtlahuaca - Atlacomulco, y en otras depresiones pequeñas, resultado la actividad volcánica, así como a lo largo de ríos y arroyos.

**Qhv.** Derrames de lava de composición andesítica, basáltica y dacítica con depósitos cineríticos y otras rocas piroclásticas asociadas. Estas se localizan al noreste del volcán de Jocotitlán.

**Qpla.** Sedimentos lacustres. Incluyen: conglomerado, arenisca y limolita semi-consolidados, interestratificados con capas de toba, pómez y diatomita, estas se localizan en el valle del acuífero.

**Qpv.** Derrames de lava composición esencialmente basáltica y andesítica con depósitos cineríticos, aglomerado y brecha de derrame asociados al volcán de Jocotitlán y otras depresiones pequeñas en la porción norte, resultado la actividad volcánica.

**Tpvc.** Principalmente rocas volcánicas epiclásticas, abanicos aluviales coalescentes, así como depósitos laháricos y de ceniza volcánica en algunos lugares en la zona sureste y noreste del acuífero.

**Tpv.** Incluye basalto y andesita, las cuales se localizan al suroeste y noreste del área de estudio.

**Tmpv.** Derrames de lava andesítico – basáltica, rocas volcánicas indiferenciadas, principalmente andesíticas.

**Tmppi.** Ignimbrita con interacción de pómez, estas se localizan en pequeñas porciones el norte del área de estudio.

**Tmv.** Lavas basálticas y andesíticas, dacita, rocas volcánicas.

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO

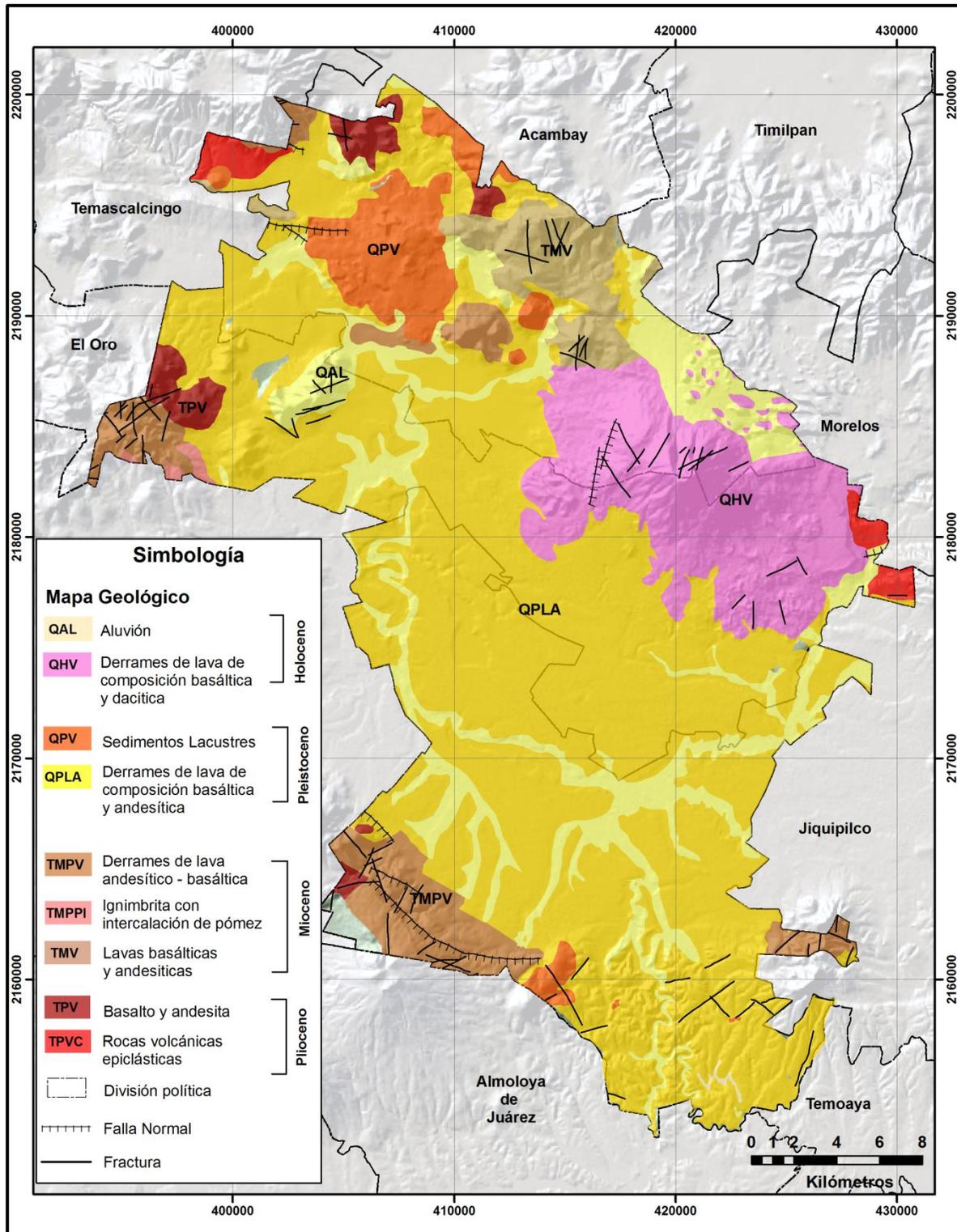


Figura 1. 2 Mapa geológico de la región (Elaborado con base en INEGI, 2010).

### 1.3 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 es por ello que en el Estado de México se localizan 13 grupos edáficos de los 38 establecidos en el mapa mundial de suelos de la FAO-UNESCO (1988), los cuales se muestran en la (Figura 1.3). En donde la región lo constata 6 tipos de suelos como lo son:

**Andosol:** localizado en la el volcán Jocotitlán, en un porcentaje más pequeño en la parte noroeste de la región en colindancia con el Oro y en la parte Suroeste correspondiente al municipio de Ixtlahuaca. Se derivan de cenizas volcánicas, poseen gran capacidad de retención de humedad y fijación de fósforo, son susceptibles a erosionarse, son poco aptos para uso agrícola; se localizan en las áreas volcánicas. Una característica importante de estos suelos es que se colapsan, es decir, que experimentan fuertes asentamientos repentinos cuando se saturan de agua, por lo que se requieren estudios especiales para el desarrollo de diversos tipos de obras como presas caminos y canales.

**Feozem:** uno de los suelos con mayor presencia en la región ubicado en la zona Norte de la misma en el Municipio de Atlacomulco y con menor presencia en toda zona Este de la región, las características de este tipo de suelo es que aptos para la agricultura en condiciones de clima templado; presentan una marcada acumulación de materia orgánica; son de fácil manejo y alcanzan un alto grado de productividad agrícola; son susceptibles a la erosión moderada y alta; se encuentran en zonas de acumulación de materiales en áreas de poca pendiente.

**Fluvisol:** cuenta con poca presencia correspondiente en la zona Este del área de estudio, acomodan suelos azonales genéticamente jóvenes, en depósitos aluviales. El nombre Fluvisoles puede ser confuso en el sentido de que estos suelos no están confinados sólo a los sedimentos de ríos, también pueden ocurrir en depósitos lacustres y marinos.

**Luvisol:** con mayor presencia en la zona centro de la región entre los municipios de Atlacomulco y Jocotitlán, una porción más pequeña en la zona Suroeste teniendo como características son suelos típicos donde la precipitación es alta, permitiendo el lavado de materiales depositados en el horizonte A y su acumulación en el B; presentan gran

acumulación de arcilla o sesquióxidos; son fértiles; presentan coloración rojiza, parda o gris; su vocación natural es la forestal, aunque también son utilizados para la siembra de pastizales, sin embargo, su rendimiento en la agricultura es bajo; son susceptibles a la erosión en todos sus grados y manifestaciones.

**Planosol:** es el más abundante del área de estudio y cuenta con una capa superficial con alto contenido de materia orgánica; tienen un drenaje deficiente debido a una capa en el subsuelo de muy baja permeabilidad son moderadamente apto para la agricultura se localiza en zonas bajas y son fáciles de erosionar.

**Vertisol:** este tipo de suelo se localizan tanto en la parte Norte como en el Sur del área de estudio teniendo como características un alto contenido de arcilla, con grietas anchas y profundas en la época de secas, y pegajosos con la humedad, son poco adecuados para la agricultura de temporal, pero aptos para la agricultura de riego y tecnificada; se encuentran en zonas bajas y de lomeríos; presentan problemas de inundación debida a su baja permeabilidad, asimismo, se destacan por ser expansivos, lo que quiere decir que al saturarse de agua provocan fuertes presiones de empuje o alzamiento, y al secarse se contraen y agrietan, con lo que afectan las estructuras que se construyen sobre este tipo de suelo.

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO

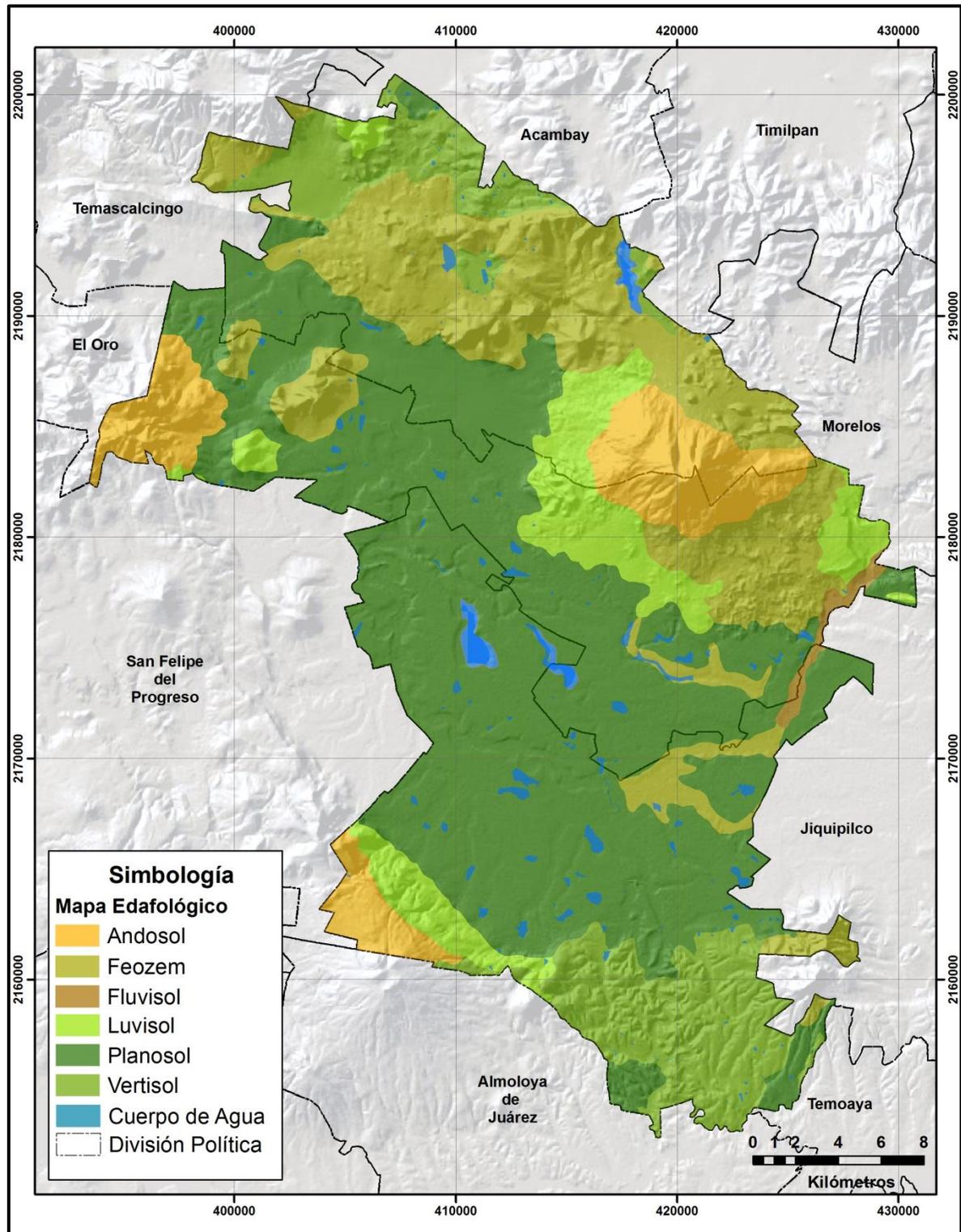


Figura 1. 3 Mapa edafológico de la región (Elaborado con base en INEGI, 2010).

## **1.4 Hidrología**

### **1.4.1 Hidrología Superficial**

Otra parte esencial de este estudio es la hidrología, por lo tanto la NOM-083-SEMARNAT-2003, en relación a este factor marca parámetros en los cuales no se deben construir sitios de disposición para residuos sólidos,

Respecto a la Hidrología esta corresponde a la región hidrología 12 Lerma, que ocupa la mayor superficie del área de estudio, se encuentran porciones de sus cursos medio e involucra a los municipios de Atlacomulco, Ixtlahuaca, Jocotitlán, que son los del área de estudio pero así mismo Morelos, San Felipe del Progreso y San José del Rincón.

Esta zona está caracterizada por un sistema de corrientes de drenaje de tipo radial y drenaje dendrítico, desde las elevaciones más altas hasta las laderas de las sierras, existen corrientes tipo uniforme y corrientes paralelas al sur del área de estudio, como se muestra en la (Figura 1.4.1). (CONAGUA, 2002).

La corriente superficial más importante dentro de la zona de estudio es el Río Lerma que fluye con dirección sureste a noroeste. Este cauce (Río Lerma) recibe aportaciones de las aguas residuales de las poblaciones vecinas, así como escurrimientos provenientes de las sierras y cerros aledaños.

En la zona Norte existen las corrientes de agua de Lerma, Zacoalpan, Atotonilco, El Salto, Los Corrales, La Huerta, Mavati, Tierras Blancas, Santiago, Pueblo Nuevo y Ojo de Agua del Rincón; 31 manantiales, 7 arroyos intermitentes y 3 presas, la principal denominada “La J. Trinidad Fabela”, las otras dos: “Tic-ti” y “Tejocote”.

Mientras que en el sur El río Sila traspasa de oriente a poniente el municipio, pasando por Santa María del Llano, San Bartolo del Llano, Huereje y Santo Domingo de Guzmán, desembocando en el río Lerma.

La formación de cuerpos de agua en la zona centro son: Santa Elena, San Clemente, Hierbabuena, La Soledad, El Toril, Los Árboles, San Jacinto, La Redonda, La Gorupa y

Pastejé, así como los bordos: Zacualpan, Xora, Santiago Yeche, San Clemente, Hierbabuena, La Soledad, Ojo Caliente y El Toril.

En la región sur los cuerpos de agua se localizan en la zona de los Baños, La Vega y el Tecomate, entre otras; mientras que los bordos de la Estación, San Juan de las Manzanas, la Concepción Enyeje, y Huereje, son los más conocidos. Se cuenta con la presa, La Larga de Cachí, la del Tule de Emiliano Zapata, La Soledad y los Ángeles; ésta última en la Concepción de los Baños; La Almendra en La Purísima y la presa de San Francisco, en San Bartolo del Llano

Los manantiales más significativos de la región corresponden Del cerro de la Campana, nacen varios manantiales, como es el de Los Perales, Las Moras, El Salto, La Guajolota, El Zapotal y río Frio, estos ubicados en la zona Norte.

En la zona centro "Las Fuentes" de Los Reyes, "Las Tazas" junto a Tiacaque y Santa Cruz en el ejido Santiago Yeche, también existen cerca de San Juan Coajomulco otros no denominados.

En San Pedro del Rosal, San Francisco Chalchihuapan, San Antonio Enchisi y el de Las Fuentes en la parte sur de la región

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO

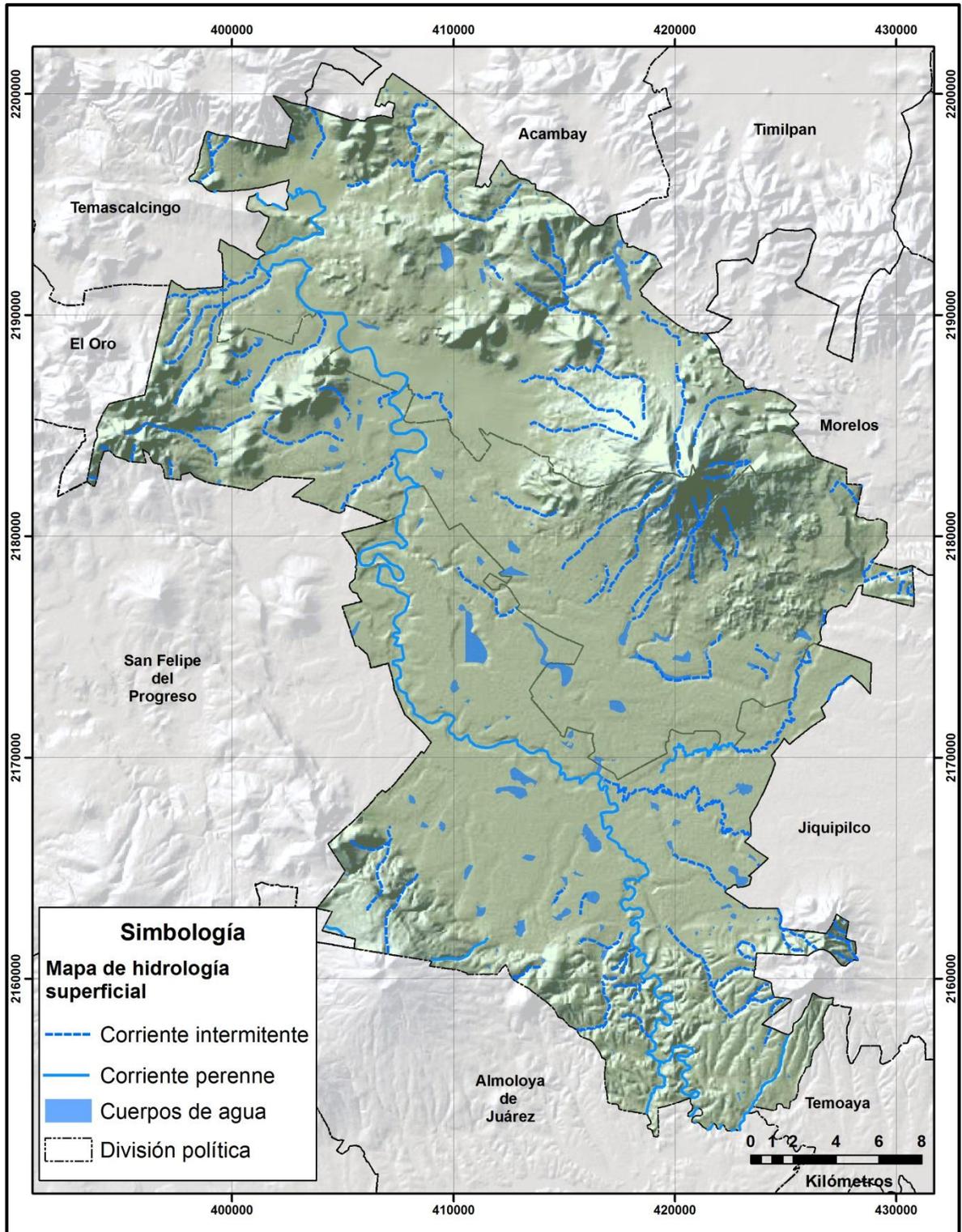


Figura 1. 4 Mapa hidrológico de la región (Elaborado con base en la CNA, 2010).

### 1.4.2 Hidrología Subterránea

Las unidades hidroestratigráficas del valle de Ixtlahuaca – Atlacomulco son de dos tipos: Las formadas por rocas consolidadas fracturadas y las formadas por sedimentos jóvenes no consolidados porosos (Figura 1.10). (CNA, 1997).

El medio poroso está compuesto por los materiales de tobas de grano fino poco permeables, cubriendo unidades basálticas y parcialmente a rocas andesíticas jóvenes, cubriendo parte del acuífero (CNA, 1997).

Por otro lado se encuentran tobas lacustres que constituyen la parte plana del valle. Los materiales presentan estratificación parcialmente horizontal (Qpla) y están formados por intercalaciones de capas de diferente granulometría, desde cenizas muy finas hasta horizontes de materiales pumíticos.

Los materiales aluviales están constituidos por depósitos de río como arenas, gravas y limos los cuales se observan generalmente en pequeñas franjas paralelas al cauce del Río Lerma. Además ocurren como depósitos dentro de los arroyos cortando las tobas lacustres como depósitos locales. Generalmente son de poco espesor pero a veces llegan hasta 50 – 70 metros.

Mientras el medio fracturado está formado por andesitas que se encuentran en las partes altas y se encuentran subyaciendo las sierras más altas que rodean a los Municipios. Estas montañas limitan la zona de estudio y forman parteaguas superficiales. Las rocas están fuertemente intemperizadas y sujetas a erosión. Dentro de la cuenca forman la base del valle y subyacen a otras rocas volcánicas (Tpv, Tmpv, Tmppi, Tmv) (CNA, 1997).

Otra unidad fracturada, son los basaltos del terciario que se encuentran formando derrames (Tpv, Tppi, Tmv). Las rocas son de textura gruesa, cubierta por suelos residuales y poco alterados, (Figura 1.4.2).

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO

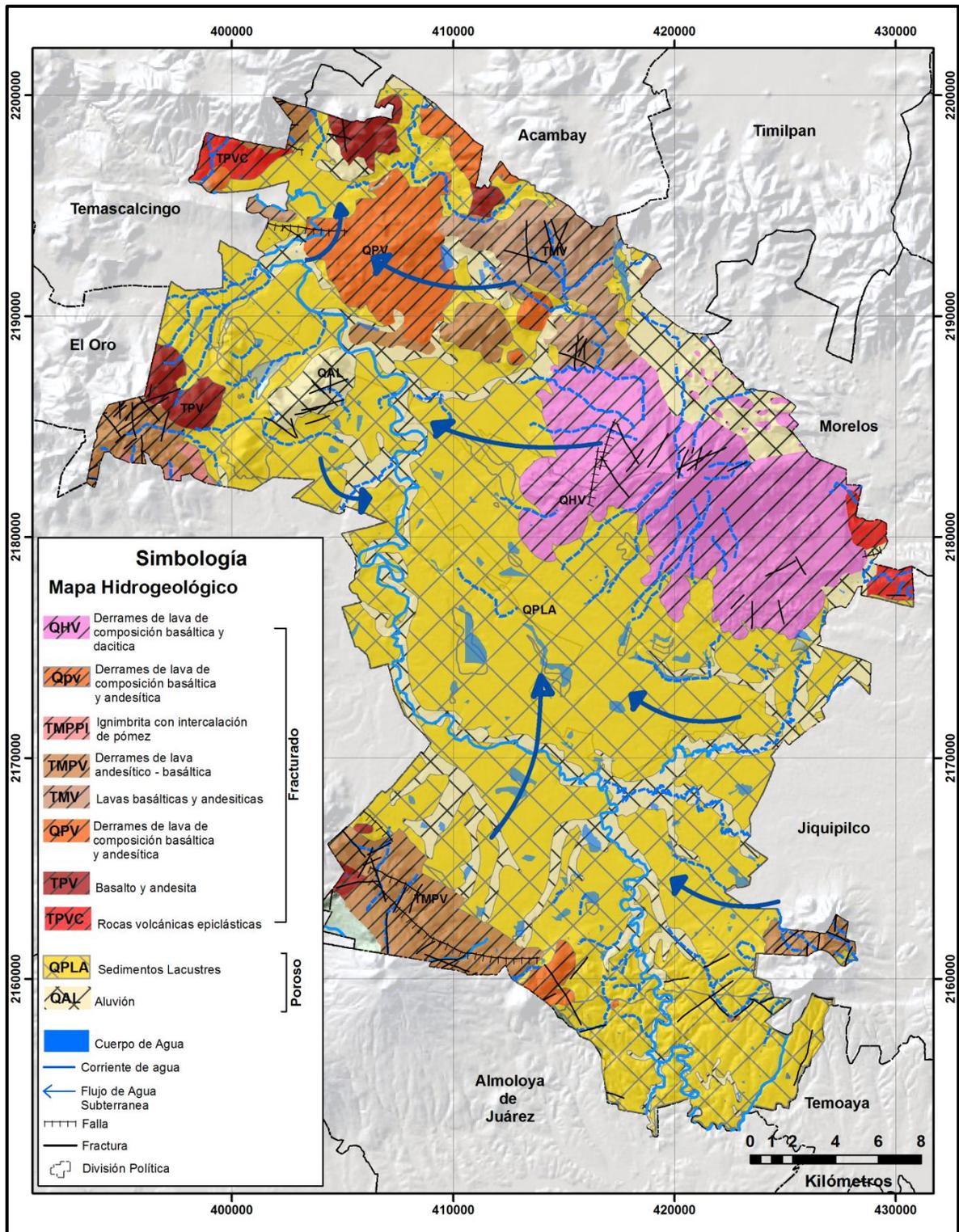


Figura 1. 5 Mapa hidrogeológico de la región. (Elaborado con datos del IFOMEGEM, 1994)

## **1.5 Contexto Socioeconómico**

### **1.5.1 Aspectos demográficos**

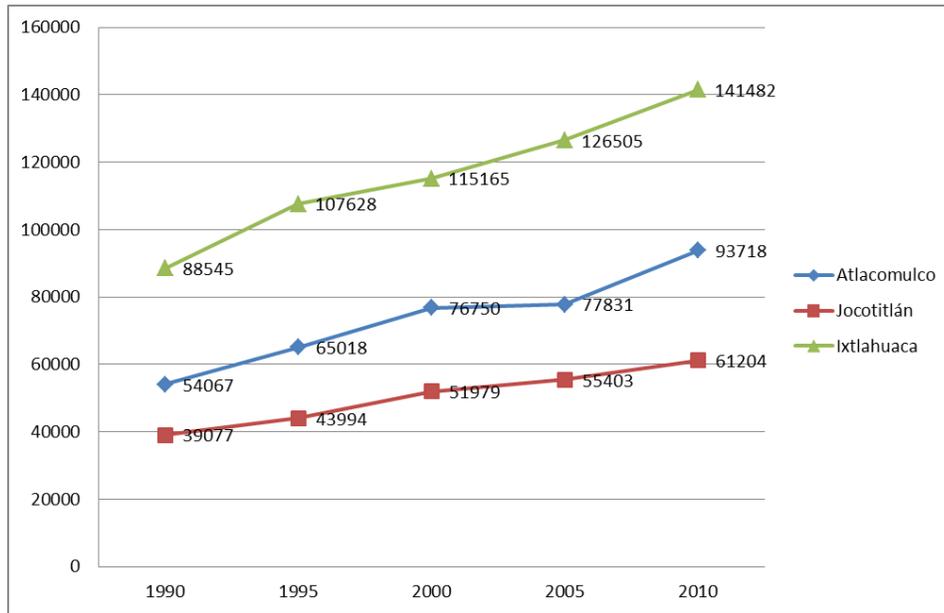
En los últimos años el incremento acelerado de la población hace que la cantidad de basura se multiplique ocasionando un problema social y a una mala administración que repercute en el nivel de asesoría para la recolección eficiente y disposición final de los residuos sólidos que es una de las principales causas del deterioro ambiental, porque al estar los residuos en contacto con el oxígeno los microorganismos inician el proceso de descomposición generando malos olores y gases tóxicos, además, de contaminación visual y del agua subterránea.

El Estado de México, es de los más poblados del país, ya que cuenta con grandes zonas industrializadas y por encontrarse cercano a la ciudad de México, ha tenido un crecimiento excesivo debido a que la ciudad de México se ha extendido muy ampliamente hacia la parte norte del estado de México.

El estado de México ocupa el vigesimoquinto lugar en extensión en la República Mexicana. Con una superficie de 21,461 km<sup>2</sup> y una población total 15,175,862 (INEGI, 2010). Siendo la densidad de población de 351.6 habitantes por km<sup>2</sup>, correspondiéndole el segundo lugar en cuanto a población después del distrito Federal.

En relación a la población total de la región ( Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca) cuenta con una población total de 296,404 habitantes de los cuales 142,796 son hombres y 153,608 son mujeres (INEGI, 2010).

A lo largo de 20 años la población de los municipios que conforman el área de estudio crecieron demográficamente tal es el caso de Ixtlahuaca que en el año 1990 tenía una población de 88, 545 y para el 2010 aumento 141,482 casi el doble de lo que tenía en 1990, haciendo lo mismo Atlacomulco con una población de 54,067 en 1990 y para el año 2010 aumento a 93,718, mientras que Jocotitlán aumento en menos proporción que los demás municipios (Figura 1.5)



*Figura 1. 6 Crecimiento poblacional por municipio 1995 – 2010. Fuente de datos INEGI.*

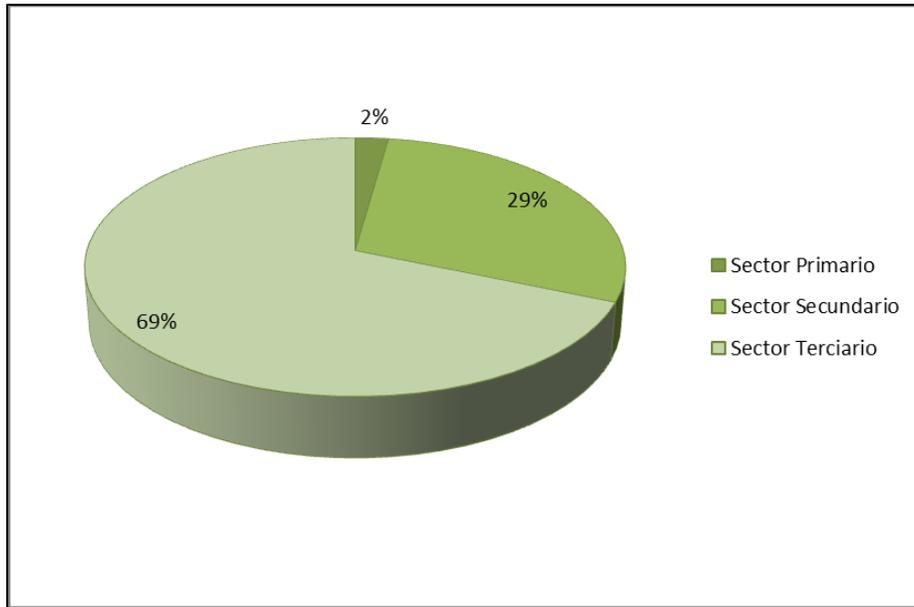
## 1.5.2 Aspectos Económicos

### **a) Población Económicamente Activa (PEA) por Sector de Actividad**

El análisis de la PEA por sector de actividad nos permite evaluar el porcentaje de población que se dedica a las actividades primarias, secundarias y terciarias lo cual permite una primera aproximación de la especialización que tiene una región o un municipio en un periodo determinado, así como identificar su evolución en el transcurso del tiempo para este estudio se tomaron.

Analizar el comportamiento de la población con respecto a las actividades productivas que realiza para subsistir es básico, porque permite conocer las condiciones económicas de la Región y con ello se cuenta con elementos para la toma de decisiones encaminadas a mejorar el nivel de vida de la población e incrementar su potencial económico.

La (Figura 1.7) muestra los resultados obtenidos de este indicador reflejan que el porcentaje bajo corresponde al sector primario con tan solo un 2 %, con 29% el sector secundario y por último con un 69% el terciario.



*Figura 1. 7 Población Económicamente Activa (PEA) por sector de actividad.*

### ***b) Agricultura***

En el área de estudio existen gran variedad de cultivos utilizados, como lo es el maíz, la alfalfa, las hortalizas, el frijol, papa, entre otros productos. Los cuales se encuentran en zonas de riego dominadas por presas entre las más importantes es la presa Tepaltitlán y otras zonas que son regadas por manantiales, pozos esto con el fin de obtener mejores cosechas.

También existe una gran zona del área de estudio que es del régimen temporal, donde se cultiva maíz, frijol y calabaza pero las cosechas de estos productos son en menor proporción ya que depende de factores meteorológicos como la lluvia, las heladas, granizadas, etc. (INAFED, 2009).

### ***c) Ganadería***

El área de estudio es una zona ganadera de establo y de pastoreo de ganado vacuno. Éste ganado se utiliza para el comercio de cárnicos y lácteos que es consumida en mercados locales.

Existe en la zona estudiada otra ganadería caprina, ovina, caballar y asnal, que son básicamente de explotación familiar. La explotación de pollo de engorda y gallina para huevo también existe en el área, sin llegar a ser muy importante (INAFED, 2009).

***d) Comercio***

Esta actividad es importante ya que existe bastante movimiento de los productos agropecuarios, existiendo gran actividad en la construcción de nuevos caminos para la venta de los productos agropecuarios. El comercio en general está bastante distribuido dentro de las diferentes poblaciones, en donde se destaca Ixtlahuaca y Atlacomulco (INAFED, 2009).

***e) Industria:***

Desde 1979 se inicia la instalación de la infraestructura en la zona industrial. El parque industrial “Atlacomulco 2000” es el más importante dentro del área de estudio ya que hace importantes distribuciones de bienes y servicios (manufactura, ropa, aparatos eléctricos, productos farmacéuticos, alimenticios, productos elaborados de madera, artículos educativos y recreativos) al norte del Estado de México.

Otra zona industrial importante es “Pasteje” en donde se localizan empresas de material eléctrico y otra de aviones para fumigación. Estas unidades industriales son importante dentro de la zona de estudio ya que son fuente de trabajo para la gente local y para los pobladores de otros municipios aledaños (INAFED, 2009).

Cabe señalar que esta tendencia de concentración en las actividades secundarias se debe a la localización de la industria manufacturera en la Región específicamente en los municipios de Atlacomulco y Jocotitlán, asimismo la tendencia a la concentración en el tercer sector como resultado de la reconversión de actividades económicas, además de que algunos municipios de la Región son lugares de paso para llegar a otros estados como Querétaro, Michoacán, etc.; lo cual favorece dichas actividades.

# Capítulo 2

## Marco Teórico Conceptual

### 2.1 Conceptualización

**Acuífero:** Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas, que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento (SEMARNAT, 2004).

**Agente Infeccioso:** Microorganismo capaz de causar una enfermedad si se reúnen las condiciones para ello, y cuya presencia en un residuo lo hace peligroso (SEMARNAT, 2007).

**Agua subterránea:** Agua que se encuentra en el subsuelo, en formaciones geológicas parcial o totalmente saturadas (SEMARNAT, 2004).

**Biogás:** Mezcla gaseosa resultado del proceso de descomposición anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos, constituida principalmente por metano y bióxido de carbono (SEMARNAT, 2004).

**Disposición final:** Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos (SEMARNAT, 2007).

**Gestión integral de residuos:** Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región (SEMARNAT, 2006).

**Plan de manejo:** Instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos.

Diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno (SEMARNAT, 2007).

**Vulnerabilidad:** Conjunto de condiciones que limitan la capacidad de defensa o de amortiguamiento ante una situación de amenaza y confieren a las poblaciones humanas, ecosistemas y bienes, un alto grado de susceptibilidad a los efectos adversos que puede ocasionar el manejo de los materiales o residuos, que por sus volúmenes y características intrínsecas, sean capaces de provocar daños al ambiente (SEMARNAT, 2007).

## 2.2 Composición de los RSU

Son muchos los factores que influyen en la composición de los residuos sólidos, entre estos se encuentran el grado de urbanización e industrialización de la localidad, el ingreso per cápita, el clima, las modas, tradiciones, costumbres, hábitos alimenticios, la frecuencia de recolección de residuos y el uso de trituradores domésticos, entre otros.

En donde se incluyen dentro de los residuos sólidos urbanos todos los que se generan en la actividad doméstica, comercial y de servicios, así como los procedentes de la limpieza de calles, parques y jardines. Según la procedencia y la naturaleza de estos residuos se pueden clasificar en:

- Los residuos domiciliarios son residuos sólidos procedentes de la actividad doméstica, como residuos de la cocina, restos de comida, desperdicios de la calefacción, papeles, vidrios, material de embalaje y demás bienes de consumo, adecuados por su tamaño

para ser recogidos por los servicios municipales normales. Se incluyen los residuos de domicilios colectivos, tales como cuarteles, residencias, asilos, etc.

- Los residuos voluminosos son residuos de origen doméstico, tales como grandes embalajes, muebles, etc., y que debido a sus dimensiones no son adecuados para su recolección por los servicios municipales normales, pero que pueden ser eliminados junto con los residuos domiciliarios.
- Los residuos comerciales y de servicios son los residuos generados en las distintas actividades comerciales (tiendas, mercados, almacenes, centros comerciales, etc.) y del sector de servicios (bancos, oficinas, centros de enseñanza, etc.). Por sus características específicas, no están incluidos aquí los residuos procedentes de la actividad sanitaria, ni los generados en los mataderos.
- Los residuos de limpieza de vías y áreas públicas son los procedentes de las actividades de limpieza de calles y paseos y de arreglo de parques y jardines (hierba cortada, hojarasca, troncos y ramas de hasta un metro de longitud, etc.)

El agua subterránea se localiza a partir de los primeros metros del subsuelo, en formaciones geológicas denominados acuíferos. Este recurso puede permanecer retenido en sus intersticios por largos periodos, emergiendo a la superficie terrestre a través de pozos, manantiales, ríos, océanos y mares, de tal manera que el acuífero transmite agua de buena calidad, para que pueda extraerse en cantidades económicamente aprovechables (Díaz et al., 2005; IMTA, 2009).

Los **Lixiviado** corresponden a los líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (SEMARNAT, 2006).

Las áreas de exclusión o restricciones. En estas áreas no podrá localizarse el relleno bajo ningún concepto. Para definir las restricciones a tener en cuenta en la localización de un

relleno sanitario, deben tenerse presentes los impactos potenciales que este puede generar, más allá de las precauciones que se tomen en materia de diseño y operación. Dichos impactos tienen que ver con la contaminación de las aguas superficiales y/o subterráneas, la proliferación de vectores sanitarios, la dimensión de olores y/o gases tóxicos y la presencia de un tráfico pesado con residuos.

### **2.3 El Relleno sanitario**

El crecimiento económico y poblacional, entre otros modifican los patrones de consumo y aumentan la cantidad y heterogeneidad de los residuos sólidos urbanos. Países con mayor crecimiento económico generan más residuos. Estados Unidos de América, Canadá, Finlandia, Holanda, Suiza y Japón principalmente. En México, cada habitante genera alrededor de 0.679-1.329 kg de residuos al día. El menor corresponde a las zonas semi-rurales y el mayor corresponde a las zonas metropolitanas (Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales, 2001: Buenrostro, 2006).

En la actualidad, el método para el confinamiento final es el relleno sanitario o vertedero sanitario, que no crea molestias y peligros para la salud pública; es un sistema de disposición final en el suelo, que aplica un método diseñado que permite minimizar los riesgos ambientales. Se reducen los residuos y se compactan suelo o espuma plástica cada día. Además de que existen pozos subterráneos que se utilizan para monitorear cualquier infiltración de lixiviados.

Los actuales vertederos sanitarios establecidos sobre sitios geológicos adecuados se forran con arcilla o plástico antes de verter los residuos, el fondo está cubierto por un segundo forro impermeable hecho con capas de arcilla o plástico grueso, que recoge los lixiviados para evitar la infiltración, estos a su vez se bombean desde el fondo del relleno sanitario (Figura) se almacena en tanques y se envía a una planta de tratamiento de aguas residuales. Los gases que se desprenden de la descomposición de los residuos se aprovechan para la producción de electricidad (Miller, 2004: Mackenzie, 2004), (Figura 2.1)



*Figura 2. 1 Capas que considera un vertedero de residuos sólidos*

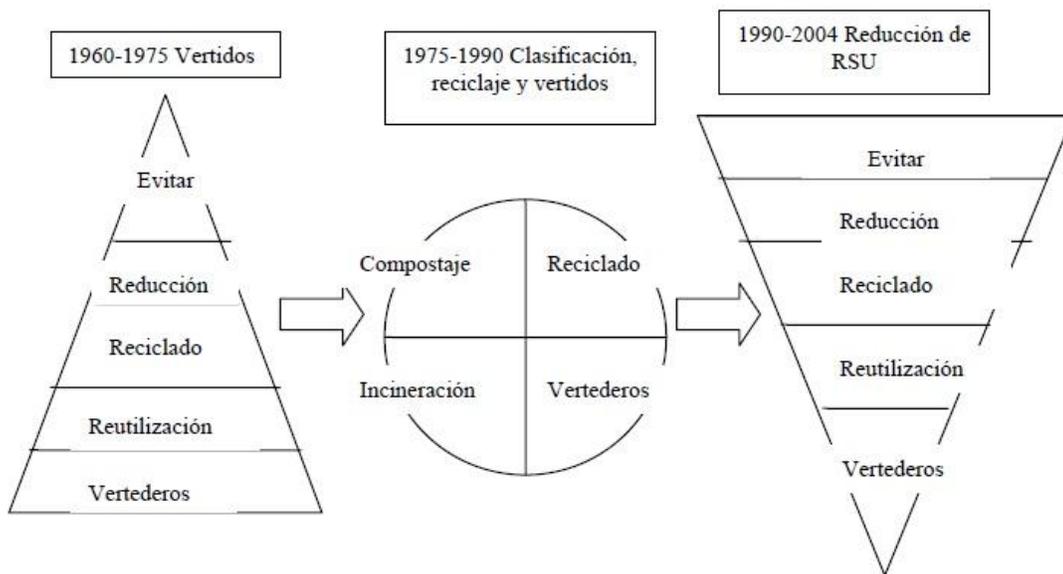
#### 2.4 La disposición de los residuos sólidos en el contexto global

La Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE) definió vertedero controlado como el método para colocar las basuras en el suelo en forma de capas, sin crear molestias o peligros para la salud pública o su seguridad, utilizando los principios de la ingeniería para lograr una adecuada compactación destinada a reducir su volumen y poder así confinar la basura en el área más pequeña posible, cubriéndola con una capa de tierra al concluir las operaciones de cada día o a intervalos más frecuentes cuando fuera necesario (Westlake, 1997).

El vertido ha sido, y continua siendo, una práctica habitual en el manejo de residuos en muchos países debido a la flexibilidad de admisión de diferentes tipos y cantidades, así como por ser la opción más económica y fácil de disposición, comparada con otras opciones de tratamiento (Kim y Lee; 2005; Hernández et al., 1998). Esta consideración se debe, a que las áreas de depósito suelen ser terrenos de bajo valor, e incluso en muchos casos, pueden utilizarse terrenos ya excavados, abandonados o minas agotadas que son rellenas de residuos (Lee y Jones-Lee, 2004; Leton y Omotosho, 2003). No obstante, esta falta de terrenos constituye un serio problema para la disposición de residuos en las regiones urbanas donde la demanda de estos espacios es mayor (Leao et al., 2004).

Para evitar los impactos anteriormente mencionados, se ha planteado la necesidad de realizar una planificación y una dotación de infraestructuras, así como la elección cuidadosa del sitio de vertido que permita reducir los efectos adversos que el vertido de residuos tiene sobre la salud y el medio ambiente (Mwiganga y Kansiima, 2005; Hernández et al., 1998). En virtud a ello, y en pro de establecer unos criterios de sostenibilidad en vertederos, algunos autores han estudiado aspectos como el tipo de suelo, la distancia a aguas superficiales y subterráneas, pendientes, distancia a infraestructuras o área mínima requerida (Leao et al., 2004), con la finalidad de optimizar la ubicación de los puntos de vertido.

Además de las citadas medidas, la solución a los daños producidos al medio ambiente por la disposición de los residuos en vertederos pasa por la implementación de técnicas de sensibilización ambiental, compostaje, minimización, reciclaje, reutilización y programas de producción de energía (Read et al., 1997; Budford, 1995; Liu et al., 1997; Nissim et al., 2005; Berkum et al., 2005) destinados a minimizar la cantidad de residuos depositados en estas instalaciones. La (Figura 2.2) resume la evolución histórica de las estrategias de manejo de residuos en algunos países avanzados en la industria como Alemania, Suecia, Japón o EEUU durante el periodo 1960-2004. Puede observarse como se ha invertido la tendencia en el manejo de los residuos con el paso de los años, convirtiéndose los métodos de incineración y compostaje de la materia orgánica en los dominantes frente a la disposición en vertedero (Hui et al., 2005).



**Figura 2. 2** Evolución de estrategias de manejo de residuos sólidos urbanos (RSU).

Europa, en este sentido, estableció la Directiva Europea de Vertederos (1999), que tiene entre sus objetivos el de reducir la cantidad de residuos depositados en los vertederos. Su aplicación en los países europeos requiere de un incremento del reciclaje y los rangos de reconversión, además de una especial promoción del compostaje. Ambas medidas precisan del desarrollo de distintas alternativas para mejorar el diseño ambiental de los sistemas actuales de manejo de residuos, objetivo de las legislaciones europeas y españolas (Bovea y Powell, 2004). Seguiré

Por todo lo indicado, la forma básica de operar en los vertederos no ha cambiado significativamente durante décadas, existiendo sólo cambios en la gestión y en la forma de proyectarlos y construirlos, pero manteniéndose la misma filosofía de colocar y tapar.

Según Las comunidades europeas: 1999-2000, catalogan tres clases de vertederos sanitarios:

- a) Residuos peligrosos
- b) No peligrosos
- c) Residuos inertes

En donde se considera un residuo inerte cuando no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No son solubles, no son combustibles, no reaccionan física y químicamente de alguna otra manera, no son biodegradables y no afectan negativamente a otros materiales con los cuales entra en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar la salud humana. Algunos ejemplos son: materiales de fibra de vidrio, envases de vidrio, hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, tierra y rocas (Comunidad Europea: 1999-2002).

Como principal objetivo el relleno sanitario pretende evitar la degradación de los componentes del ambiente (bióticos y abióticos) cuyas características están encaminadas hacia la disposición segura de los residuos sólidos.

Las sustancias tóxicas que se generan en los rellenos sanitarios, una vez que alcanzan el agua son arrastradas por los ríos y mares, se depositan en los sedimentos son ingeridos por los organismos acuáticos incorporándose a sus tejidos, quedando expuesto el hombre que se alimenta de aquellos a niveles que pueden causar daños sobre la salud. De esta manera el

impacto hacia el agua, en ocasiones irreversible, no solo afecta los ecosistemas y el ambiente acuático, sino también resulta una amenaza directa a la salud humana en diferentes sitios distantes al área contaminada, (Honorable Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires, sin fecha de publicación).

## 2.5 La disposición de los residuos sólidos en el contexto nacional y local

Actualmente un relleno sanitario representa una importante solución al tema de la basura, acompañado de una acción conjunta de los sectores político, social y privado y existiendo una organización en el proceso de gestión de los residuos sólidos, teniendo como resultado la preservación y conservación del ambiente siempre y cuando este sujeto a los lineamientos establecidos en la legislación y en la propia normatividad vigente en materia de disposición final de residuos sólidos.

En México, se conocen dos tipos de relleno sanitario y dos métodos de pre-tratamiento previo a la disposición final. (Tabla 1).

**Tabla 2. 1** Tipos de rellenos Sanitarios y métodos de pre-tratamiento

<i>Métodos de Relleno Sanitario</i>	<i>Pre tratamiento previo a la disposición final</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno Sanitario Tradicional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno seco Pre tratamiento de alta compactación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relleno Sanitario Manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pre tratamiento mecánico-biológico</li> </ul>

### 2.5.1 Relleno Sanitario Tradicional

Consiste en preparar el suelo utilizando impermeabilizantes geosintéticos como el polietileno de alta densidad y la bentonita. También se utilizan barreras naturales como los suelos arcillosos o el tepetate previamente compactado. El polietileno de alta densidad y la bentonita tiene alta resistencia a los agentes químicos y biológicos, son los materiales con menor coeficiente de permeabilidad y son pocos sensibles a la foto-oxidación (Manzano, 1991).

En el relleno sanitario tradicional se construyen celdas donde se esparcen los residuos en capas delgadas de 30 a 40 cm y se compactan. Al llenarse la celda se cubre con una capa de 10 a 15 cm de espesor, se compacta utilizando maquinaria pesada para la distribución y homogeneización aunado al monitoreo de pozos de aguas subterráneas para identificar posibles infiltraciones de lixiviados (Figura 2.3).

Posteriormente es necesario esperar de dos a tres meses para construir nuevas celdas sobre las anteriores. De esta manera se favorece a la descomposición aerobia y se acelera el asentamiento del relleno proporcionando mejor soporte. Con el tiempo los residuos se descomponen generando una parte en gas, otra en líquido y el restante en material semi-inerte.

El suelo de cobertura y la humedad en los espacios vacíos existentes en los residuos, condesando el relleno a una densidad de 0.350 a 0.750 t/m<sup>3</sup> provocando asentamientos. Posteriormente se reduce y prácticamente desaparece a los 5 años (Van, et al. 2002).

El relleno sanitario debe contar con las siguientes medidas de control, que deben mantenerse hasta por 25 años:

- Captación, extracción, tratamiento y monitoreo de biogás
- Captación, tratamiento y monitoreo de lixiviados
- Captación y desvío de aguas pluviales
- Monitoreo de acuíferos
- Monitoreo y seguimiento de los asentamientos humanos adyacentes o cercanos al relleno sanitario



*Figura 2. 3 Coberturas del suelo en un relleno tradicional*

### 2.5.2 Relleno Sanitario Manual

El método del relleno sanitario manual es apropiado para localidades menores a 40,000 habitantes o en las zonas donde se generan menos de 20 toneladas diarias. El término manual se refiere a que la operación, la compactación y el confinamiento de los residuos sólidos urbanos se realiza con el apoyo de hombres y el empleo de herramientas (Jaramillo, 2002).

La construcción comienza con limpiar el terreno de cualquier cobertura, construcción de vías para el acceso, la siembra de arbustos o árboles en los alrededores del terreno, construcción del drenaje periférico, construcción del sistema de drenaje para lixiviados, del sistema de ventilación vertical, excavación de zanjas e impermeabilización con arcilla compactada o tepetate (Van, et al. 2002).

### 2.5.3 Pre tratamiento de Alta Compactación

Consiste en reducir el volumen de los residuos a través de la alta compactación con una prensa embaladura, lo que permite aumentar la cantidad de residuos depositados en el relleno sanitario, 50-5 más en el mismo espacio que el relleno tradicional. El pre tratamiento ofrece mayores facilidades, como; menor área abierta expuesta a la lluvia, menor cantidad de material de cobertura, eliminación del uso de maquinaria para la compactación, generación de gases y lixiviados es menor, además el pre tratamiento contiene procesos como; la separación, la trituración, el tamizado y el reciclado (Figura 2.4).



*Figura 2. 4 Planta de Pre-tratamiento de alta compactación*

#### **2.5.4 Pre tratamiento Mecánico-Biológico**

Consiste en triturar los residuos para disponerlos en tarimas o en el suelo para favorecer la degradación biológica (tratamiento biológico). Este método se realiza de dos maneras; aerobio y anaerobio (con y sin oxígeno). Con ello se producen residuos semi-inertes, que se aprovechan como material de cobertura para rellenos sanitarios tradicionales.

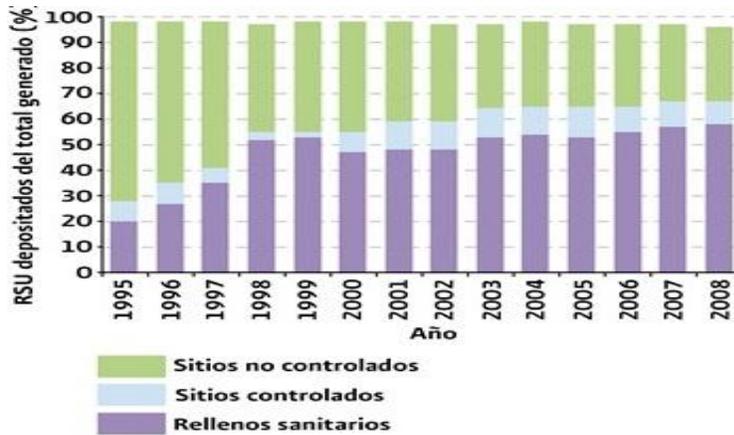
Las ventajas que ofrece el método son: minimizar la contaminación de los residuos antes de depositarlos en el relleno sanitario, prologar la vida útil de los vertederos, disminuir en 90% la generación de biogás, disminuir en 65% los lixiviados y alcanzar una compactación de residuos entre 1 y 1.4 ton/ m<sup>3</sup>. El pre tratamiento es adecuado para regiones con características rurales o semi-rurales que generan menos de 50 toneladas/día (Van, et al. 2002: Agua y desarrollo sustentable, 2003).

Por otra parte las entidades que generan más cantidad de residuos son; La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) con 15 mil 110 Ton/día, el Distrito Federal con 12 mil 500 Ton/día, Jalisco con 6,800 Ton/día, Veracruz con 5,280 Ton/día y Nuevo León con 4,800 Ton/día, principalmente. Lo que representa un problema por encontrar sitios potenciales para su disposición final.

La ZMVM cuenta con el tiradero a cielo abierto más grande de América Latina; el Bordo Poniente etapa IV. Para su operación se dividió en cuatro etapas, de las cuales tres quedaron concluidas (1985-1993). El Bordo Poniente etapa IV se localiza a 4 km al noreste del Aeropuerto de la ciudad de México, está ubicado en el área del antiguo lago de Texcoco, donde el acuífero es de alta salinidad, se encuentra sobre capas de arcilla de 60cm de espesor. El tiradero no utiliza sistemas de tuberías para la recolección de lixiviados y no existe un sistema de recolección para el aprovechamiento de biogás (Kogyo, 1999: SEMARNAT, 2005).

Desde el funcionamiento en el año de 1994, la capacidad del Bordo Poniente etapa IV era de 2,000 Ton/día, hasta 12,000 Ton/día actualmente. Los residuos sólidos urbanos provienen del DF y del Estado de México principalmente. El Bordo ya sobrepasa a capacidad de vida útil (1994-2008) ocasionando hundimientos e infiltraciones de lixiviados, lo que podría originar un

problema social, ambiental y político por el incumplimiento de la legislación mexicana (Teorema Ambiental, 2008).



*Figura 2. 5 Sitios de disposición final de RSU (1995-2008)*

Por lo tanto los rellenos sanitarios constituyen la mejor solución para la disposición final de los Residuos Sólidos Municipales y de Manejo Especial, ya que son obras de ingeniería que controlan, a través del tratamiento de los lixiviados, la quema de gases, la reforestación en el área y el control de olores, posibles impactos al ambiente y la salud, (Figura 2.5).

Para 2008 se estimó que el 67% de los RSU generados en el país se dispuso en rellenos sanitarios y sitios controlados y el 33% restante en sitios no controlados. Esto representa un incremento importante con respecto a las cifras de finales de los años noventa, según las cuales la disposición en sitios no controlados era cercana al 50%. Ese mismo año Baja California (96%), Nuevo León (98%), Aguascalientes y Distrito Federal (100%) dispusieron de casi la totalidad de sus RSU en rellenos sanitarios y sitios controlados, mientras que las entidades que los dispusieron en menor porcentaje fueron Hidalgo y Chiapas, ambos con cerca de 30% y Oaxaca con 1.5%. Considerando el tipo de localidad, en las zonas metropolitanas más del 80% de los RSU se dispuso en rellenos sanitarios o sitios controlados, mientras que en las localidades rurales y semiurbanas este porcentaje apenas alcanzó el 3.2% (SEMARNAT, 2009).

En México la disposición final adecuada de residuos se refiere a su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones, como son los rellenos sanitarios y los sitios controlados,

cuyas características permiten prevenir su liberación al ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas, (SEMARNAT, 2009).

En México los impactos y riesgos que ocasionan los rellenos sanitarios también son graves, por mencionar un ejemplo los lixiviados producidos por los residuos sólidos, son considerados por diversas investigaciones no solo a nivel local, sino internacional, como agentes tóxicos que contaminan los recursos naturales y en consecuencia a la salud humana, por ejemplo la ciudad de Morelia, Michoacán, donde los mantos acuíferos que se ubican por debajo del nivel del relleno sanitario, contienen concentraciones de metales y metaloides como: Cadmio, Níquel y Plomo, que sobrepasan los límites permisibles para agua de consumo humano según las normas internacionales ambientales, (Sánchez, et al., 2006).

## **2.6 Disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos**

En México, a partir del 5 de enero de 2004 entró en vigor la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), esta ley define la gestión integral de residuos como el “conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.” Desafortunadamente, una gestión integral de residuos no es sencilla pues implica una inversión económica que no siempre puede ser financiada por el municipio así como un cambio de actitud tanto de los prestadores de los servicios como de los usuarios de los mismos, (Figura 2.6), (SEMARNAT,2012).

La LGPGIR (2003) define disposición final como la “acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos”.



*Figura 2. 6 Disposición final de RSU en rellenos sanitarios y sitios no controlados por tipo de localidad, (SEMARNAT, 2008).*

## **2.7 La utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la identificación de sitios para la disposición final de residuos sólidos mediante evaluación multicriterio.**

Según Barredo, (1996) El análisis o evaluación Multicriterio se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en procesos de decisión. La evaluación Multicriterio se basa en que la actividad objeto de estudio va a venir definida por una serie de factores o variables. Dichos factores van a influir de manera positiva (Aptitud) o negativa (Impacto) sobre la actividad objeto de decisión y deben ser inventariados y clasificados previamente. Dicha metodología es utilizada en la selección y toma de decisiones en múltiples campos para dar solución a diversos problemas, los cuales se caracterizan porque la toma de decisiones viene condicionada por un conjunto de varios factores a la vez.

Los SIG, por lo tanto, se transforman en una herramienta importante en el proceso de toma de decisiones en el ámbito local/regional, como en la planificación de la infraestructura, salud pública, gestión ambiental, entre otros.

La integración de los SIG y la EMC, permite desarrollar procedimientos de análisis simultáneos en dos componentes del dato geográfico, el espacial y el temático, brindando soluciones a problemas espaciales complejos.

La Evaluación Multicriterio (MCE) comprende un conjunto de técnicas que permiten evaluar diversas alternativas de elección a la luz de múltiples criterios y prioridades. El paradigma comenzó a desarrollarse en la década de 1960 como respuesta al paradigma decisional de la investigación operativa, el cual planteaba como principio "...la búsqueda de una decisión óptima maximizando una función económica" (Barba-Romero y Pomerol, 1997).

La evaluación multicriterio discreta se basa en la construcción de una matriz que "...refleja las características de un conjunto dado de alternativas de elección a partir de una serie de criterios" (Voogd, 1983:28). Dicha matriz "...expresa las cualidades (valor numérico o simbólico) de la alternativa o unidad de observación  $i$  con respecto a los  $n$  atributos considerados" (Barba-Romero y Pomerol, 1997:27). El conjunto de elección se refiere al conjunto de alternativas o entidades geográficas diferentes, caracterizadas por una serie de atributos que, cuando se les añade un mínimo de información relativa a las preferencias del decisor, se consideran criterios. Una vez construida la matriz de decisión es posible aplicar algún procedimiento de evaluación que permita asignar a cada alternativa un valor que refleje la medida en que dicha alternativa cumple con el objetivo planteado en la evaluación.

Los análisis multicriterio y los modelos de decisión multiobjetivo nos ofrecen la oportunidad de obtener un análisis equilibrado de los diversos enfoques con que se miran a los problemas de planificación. A partir del planteamiento decisional multicriterio se han desarrollado una serie de paradigmas que permiten analizar con mayor precisión los procesos de decisión.

En el campo de la decisión territorial, donde debemos tomar en cuenta con especial interés el componente espacial de los datos, los procedimientos de EMC conocidos han experimentado un desarrollo importante en los últimos años. A pesar de todo, estos procedimientos no han sido pensados para trabajar con datos geográficos, de igual manera que la alta especialización que muestran los paquetes de SIG en cuanto al análisis de la componente espacial del dato geográfico, en algunas ocasiones han dejado rezagados en esta evolución a los procedimientos de análisis que permiten un adecuado tratamiento de la componente temática, al menos en el campo de la toma de decisiones. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) permitiría llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos

componentes del dato geográfico: espacial y temático proveyendo soluciones a problemas espaciales complejos (Gómez y Barredo, 2005).

## **2. 8 Metodologías aplicadas en la ubicación de rellenos sanitarios**

Con el crecimiento de las bases de datos digitalizadas, se han desarrollado metodologías de localización de vertederos que utilizan Sistemas de Información Geográficos (SIG). Desde las ideas básicas de mapeo, introducidas por McHarg (1992), y durante los últimos 30 años, el desarrollo tecnológico en las ciencias computacionales ha avanzado hacia la aplicación a los SIG. Su capacidad para la combinación de datos espaciales (mapas, fotografías aéreas e imágenes de satélites) con información cuantitativa, cualitativa y descriptiva (Molina et al., 2007), y el soporte de un alto rango de dudas espaciales, hacen indispensable su uso en los estudios de localización, particularmente en el caso de la ubicación de vertederos (Michaels, 1988).

Siddiqui y Everet (1996) proponen una metodología de decisión basada en el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), con la finalidad de obtener un ranking potencial de áreas de vertido, basándose para ello en una amplia variedad de criterios y datos espaciales en cuya manipulación se aplica los SIG. Esta metodología también analiza los efectos de criterios como el emplazamiento, tamaño de vertedero, y localización de la severidad de la restricción.

Entre las ventajas que aporta esta metodología se destaca:

- Su flexibilidad, ya que usa unos criterios de selección del sitio basados en aspectos legales, pudiendo éstos ser ampliados o cambiados si es necesario.
- La aplicación de los SIG permiten la consideración de todas las áreas de estudio, algo que no es práctico en el caso que se utilicen criterios manuales o convencionales.
- Los resultados obtenidos pueden ser utilizados por las corporaciones locales en la toma de decisiones.
- La aplicación inicial de restricciones legales permite hacer una primera eliminación de posibles zonas de ubicación.
- La aplicación de sistemas como RIWS (Relative Important Weights) permite conocer los efectos que los cambios de los parámetros considerados en el modelo tendrán sobre

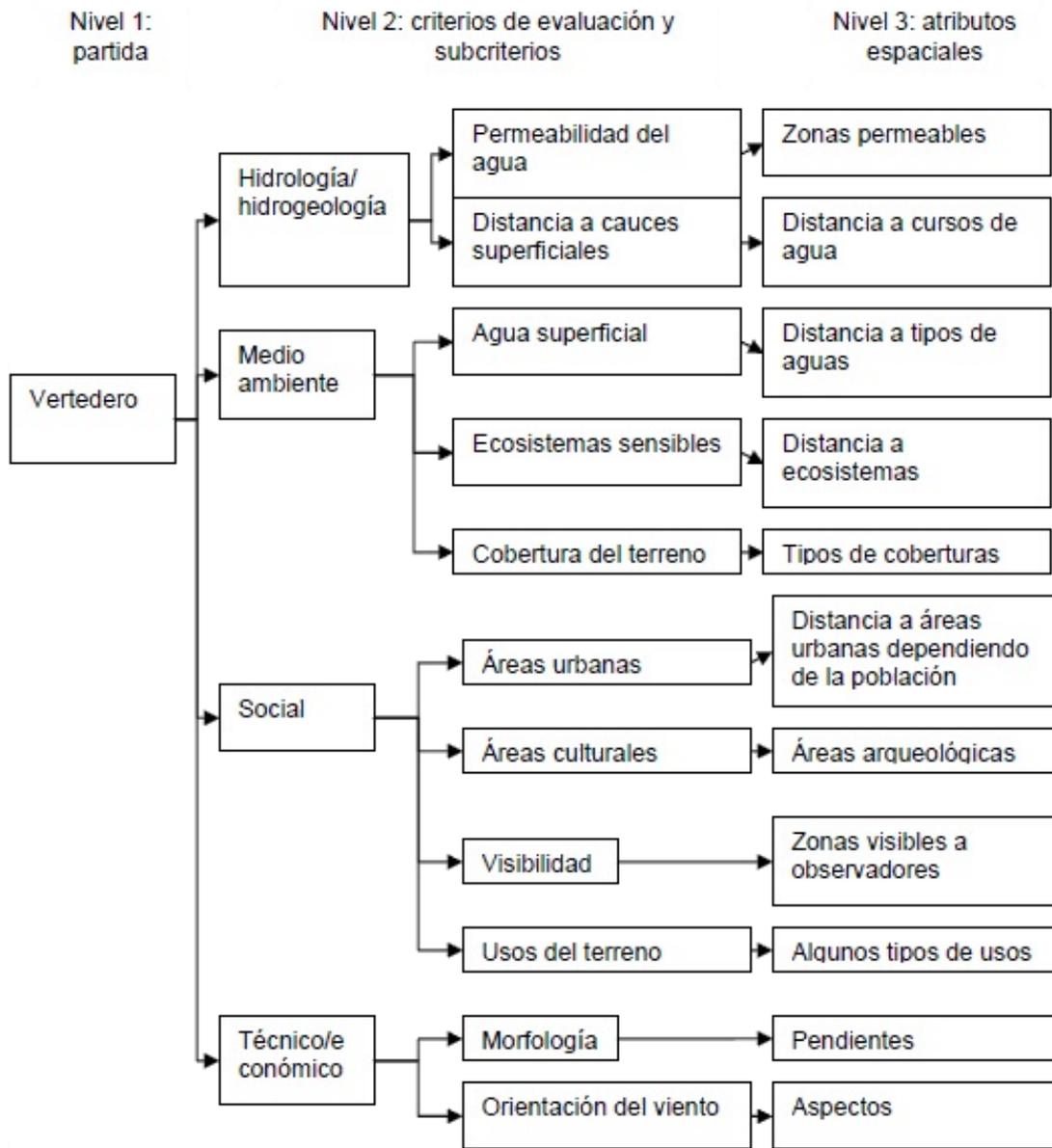
el resultado final, lo que permitirá la obtención de los pesos óptimos de los mismos, siendo una herramienta útil en la toma de decisiones.

- También proporciona información valorable en criterios de análisis, evaluación y decisión en estudios preliminares de selección de lugares, así como para obtener una base de datos digitales con información útil, incluso para otros estudios.

Kontos et al. (2005) describen una metodología, cuyo esquema se recoge en la (Figura 2.7), basada en diferentes estudios de campo en los que se aplican los SIG, así como análisis espaciales y estadísticos, con la finalidad de evaluar la idoneidad de una región en relación a la ubicación de vertederos. En la aplicación de los SIG se utilizaron técnicas multicriterio destinadas a la obtención de coeficientes de ponderación a los que posteriormente se aplicó un sistema simple (SAW, Simple Additive Weighting) para el cálculo final de los índices de idoneidad del territorio para la ubicación de vertederos (Neckay et al., 2007).

Muruga et al., 2007, describen una metodología multicriterio sobre la selección del emplazamiento de un vertedero de residuos sólidos urbanos. Para ello, desarrolla un procedimiento de análisis que integra los diversos factores considerados como básicos en la localización de una planta de transferencia. Establecen tres fases:

- Fase de exclusión: en la que se seleccionan una serie de criterios de carácter excluyente, con los que se eliminan las zonas de municipio donde la localización de un tipo de instalación de gestión de residuos se considera inaceptable.
- Fase de delimitación: con criterios cuantificable de adecuación positivos y negativos que permiten comparar distintas áreas del territorio para conocer las más idóneas.
- Fase de valoración: al operar con un número limitado de alternativas se permite introducir variables difíciles de evaluar para todo el territorio pero de gran trascendencia a la hora de tomar decisiones que son solucionadas mediante SIG.

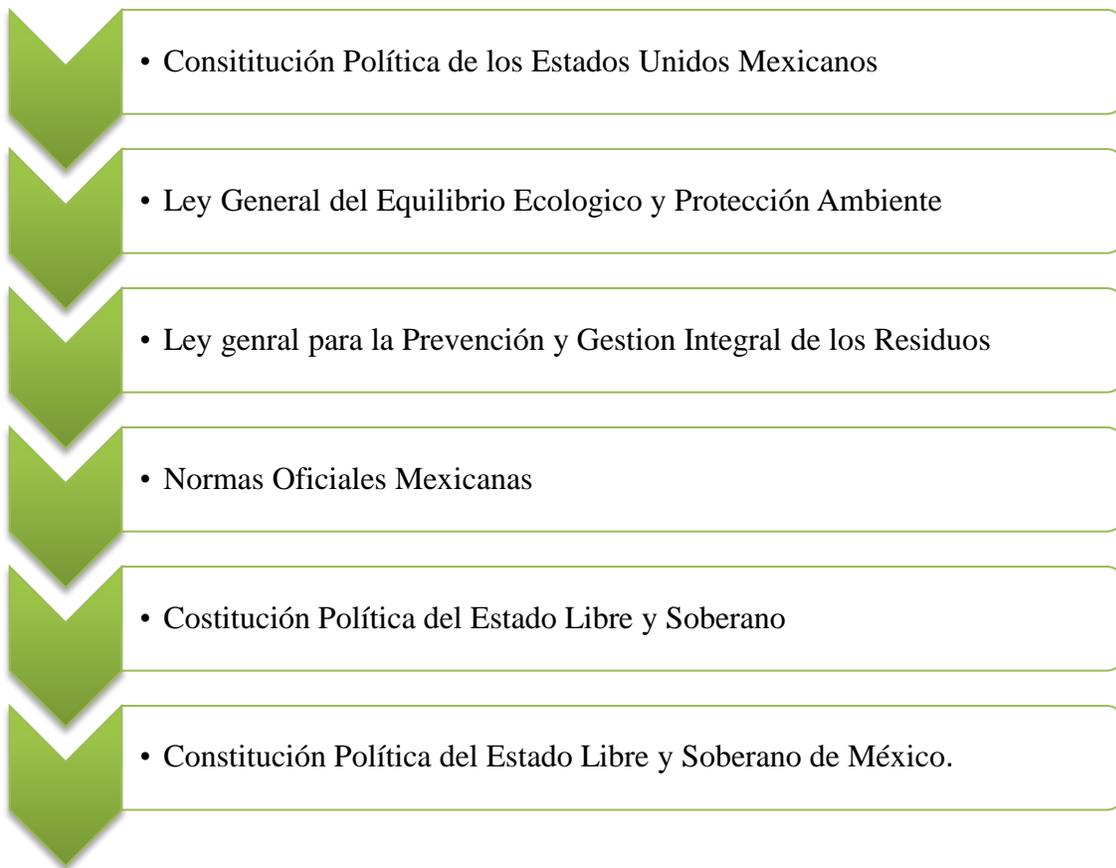


*Figura 2. 7 Estructura jerárquica de decisión para el emplazamiento de vertederos (Kontos et al., 2005).*

# Capítulo 3

## Marco Normativo

Contempla las Leyes Federales, Estatales, Municipales, Reglamentos, Acuerdos y Normas cuyo objetivo es diseñar y aprobar la normatividad para el aprovechamiento sustentable, la conservación y restauración ambiental.



### **3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

La problemática ambiental en gran medida son en consecuencia de la generación de residuos sólidos es por ello de la preocupación por cumplir uno de los principios de la política ambiental internacional firmados en el marco de la Agenda 21, la cual menciona, que cada país y ciudad establecerá sus programas para lograr y establecer criterios para la disposición final adecuada. Sin embargo, se identifican aspectos críticos como: límite de recursos financieros por parte de la Federación y el Estado. En el contexto social hace difícil la aceptación a proyectos propuestos para rellenos debido a la casi nula participación social, que considera que el problema le compete únicamente a las autoridades Federales, Estatales y Municipales, a su vez aunado a la ineficiente cultura y educación ambiental de la población. (Claro, 2001).

De acuerdo con el Artículo 115, Fracción III de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el manejo de los residuos sólidos urbanos corresponde a las autoridades municipales. Que tienen la facultad de proporcionar gratuitamente el servicio de limpia, la recolección, tratamiento y disposición final. También cuentan con la autonomía para expedir reglamentos relacionados con el servicio público de limpia.

### **3.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.**

Los municipios tienen la facultad de aplicar disposiciones jurídicas referentes a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos. Los convenios o acuerdos de coordinación que celebre la federación con los gobiernos del Distrito Federal o de los Estados, con la participación en su caso de los municipios deben asumir responsabilidades de jurisdicción territorial, las cuales están; el control, tratamiento y confinamiento de los residuos sólidos (LGEEPA, 2009).

### 3.2.1 Título Cuarto: Capítulo IV de la LGEEPA: Prevención y control de la contaminación del suelo.

En el cuadro muestra las especificaciones de este capítulo en relación a la prevención y control de la contaminación del suelo.

**Tabla 3.** Especificaciones relacionadas a la prevención y control de la contaminación del suelo.

Artículo	Fracción	Concepto
134	II, III y V	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controlar los residuos ya que constituyen la principal fuente de contaminación del suelo</li> <li>Prevenir y reducir la generación de residuos sólidos municipales e incorporar técnicas para el re-uso y reciclaje.</li> </ul>
135	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios.</li> </ul>
136	I, II y III	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los residuos que se depositen e infiltren al suelo deberían reunir las condiciones para prevenir o evitar la contaminación del suelo, las alteraciones en el proceso biológico de los suelos, los riesgos y problemas a la salud.</li> </ul>
137		<ul style="list-style-type: none"> <li>La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.</li> </ul>
142		<ul style="list-style-type: none"> <li>No podrán autorizarse la importación de residuos para el confinamiento, almacenamiento o disposición final en el territorio nacional.</li> </ul>

### 3.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (LGPGIRS) fue publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 8 de Octubre de 2003, la cual establece los siguientes principios:

- La prevención y minimización en; la generación de los residuos, su liberación al ambiente, su transferencia de un medio a otro, así como su manejo integral para evitar riesgos a la salud y daños a los ecosistemas.
- La disposición final está limitada solo a aquellos cuya valorización o tratamiento no sea económicamente viable, tecnológicamente factible y ambientalmente adecuada.
- La selección de sitios para la disposición final de residuos, de conformidad con las Normas Oficiales Mexicanas, con los programas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano.
- La realización inmediata de acciones de remediación de los sitios contaminados para prevenir o reducir los riesgos inminentes a la salud y al ambiente.
- Efectuar el cobro por el pago de los servicios de manejo integral de residuos sólidos urbanos y destinar los ingresos a la operación y el fortalecimiento de los mismos.

### **3.4 Normas Oficiales Mexicanas**

La NOM-083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias para un sitio de disposición final. Las especificaciones de ubicación son:

- Los sitios de disposición final no tienen que ubicarse en áreas naturales protegidas, solamente que este contemplado en el plan de manejo.
- Los sitios de disposición final no tienen que ubicarse en zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos; zonas arqueológicas, ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.
- Los sitios de disposición final no tienen que ubicarse en zonas de inundación con periodos de retorno a 100 años.
- Los sitios de disposición final tienen que ubicarse a una distancia mínima a 13 km de pistas de aeródromos.
- Los sitios de disposición final tienen que ubicarse a una distancia mínima de 500 m contados a partir de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano.

- Los sitios de disposición final tienen que ubicarse a una distancia mínima de 500 m de las aguas superficiales con caudal continuo; lagos y lagunas.
- Los sitios de disposición final tienen que ubicarse a una distancia mínima de 500 m de cualquier pozo de extracción de agua para el uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados.
- Los sitios de disposición final tienen que contar con un estudio Geológico
- Los sitios de disposición final tienen que contar con un estudio Hidrogeológico.

### **3.5 Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México.**

En el Artículo 122 y 139 de la Constitución menciona que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos que señala la fracción III del artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. El Gobierno del Estado y los ayuntamientos de los municipios deberán participar en la planeación y ejecución de acciones en materia de recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos.

### **3.6 Código para la Biodiversidad del Estado de México.**

En el estado de México se rige por un Código para la Biodiversidad del Estado de México, el cual establece en el título cuarto como parte de las atribuciones de las autoridades Estatales y Municipales, la formulación de programas para la prevención y gestión integral de los residuos en la cual especifica:

- Le corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente; regular los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos o de manejo especial que no estén considerados como peligrosos estableciendo las normas técnicas estatales y criterios a que se deben sujetar, en el diseño, construcción y operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos, así como atender los asuntos que afecten la biodiversidad, el equilibrio ecológico o al medio ambiente en dos o más municipios del Estado.
- El establecimiento de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, urbanos e industriales no peligrosos o de manejo especial, es de utilidad pública, por lo

que el ejecutivo del Estado podrá declarar la expropiación de terrenos para este fin, establecer medidas para restringir el uso del suelo dentro de estas zonas, previa la comprobación técnica a cargo de los interesados, de que el sitio elegido es el que reúne las condiciones para realizar un confinamiento controlado que garantice la no afectación al ambiente.

- La Secretaría y el Consejo Consultivo de Protección a la Biodiversidad y Desarrollo Sostenible del Estado de México en coordinación con las autoridades municipales con competencia tendrán por objeto establecer los requisitos, especificaciones, condiciones, parámetros o límites permisibles para el desarrollo de actividades relacionadas con; el diseño, construcción y operación de estaciones de transferencia, plantas de selección, tecnologías y sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. La reutilización, reciclaje, mantenimiento, eliminación y disposición final de envases y empaques, llantas usadas, papel, cartón, vidrio, residuos metálicos, plásticos y otros materiales.

# Capítulo 4

## Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos de esta tesis se siguió el siguiente proceso metodológico (Figura 4.1) para ubicar las zonas potenciales para la disposición final de residuos sólidos urbanos

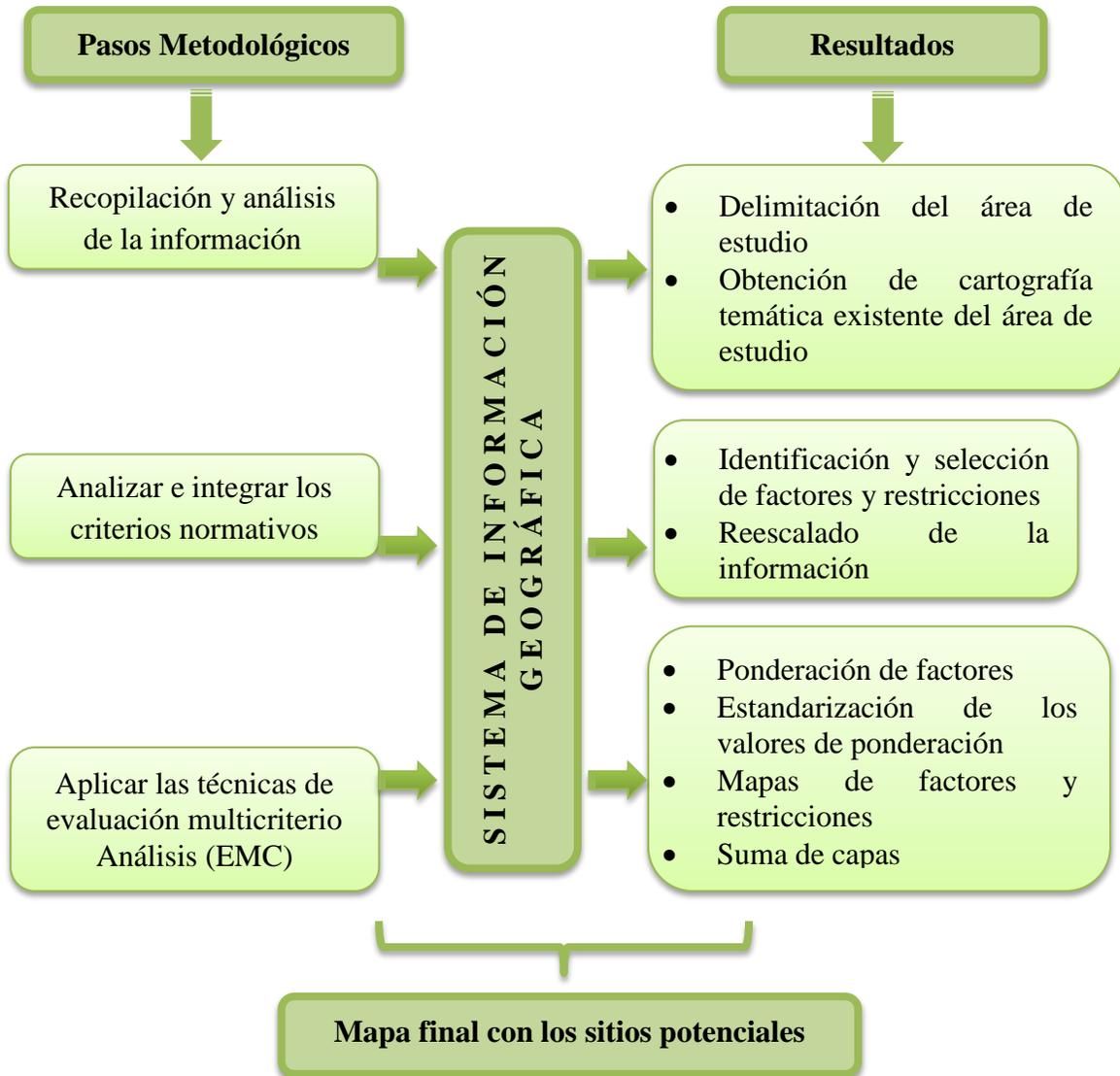


Figura 4.1 Esquema metodológico del trabajo de investigación.

#### **4.1 Recopilación y análisis de la información disponible sobre el área de estudio**

En esta etapa de investigación se revisó y recopiló la información disponible sobre el tema de estudio, donde se seleccionaron una serie de libros, revistas, artículos, bases de datos que nos proporcionaron los organismos académicos, las instituciones y dependencias de gobierno.

A continuación se hace mención de algunas de las dependencias que proporcionaron la información tanto digital como análoga. Tal es el caso del CIRA (Centro Interamericano de Recursos del Agua), UAEM (Universidad Autónoma del Estado de México), UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), IFOMEGEM (Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México), INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), así mismo la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua).

Como resultado del análisis y síntesis de la información consultada fue contar con la cartografía necesaria como (geología, edafología, hidrológico e hidrogeológico).

##### **4.1.1 Delimitación de la zona de estudio**

Esta etapa se utilizó la cartografía procedente de Instituto Nacional de Estadísticas Geografía e Informática (INEGI) como datos vectoriales, la división política de la República Mexicana y Estado de México acotándolo solo a los municipios que se localizan dentro del área de estudio (Atacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca). De acuerdo al límite obtenido se delimitaron todos los mapas temáticos y resultantes de la investigación.

##### **4.1.2 Obtención del mapa geológico e hidrogeológico**

La elaboración del mapa geológico y el corte vertical se realizó de acuerdo a la carta Geológica del Estado de México que se obtuvo de manera análoga por el IFOMEGEM (1994), esta carta paso por un proceso de proyección y digitalización para un mejor análisis y descripción del área de estudio.

Posteriormente para realizar el mapa hidrogeológico se utilizó la base del mapa geológico, en éste se describieron y agruparon las formaciones geológicas de acuerdo a sus características en el tipo de rocas porosas y fracturadas (UNITECNIA, 1996; CNA, 1997).

#### **4.1.3 Obtención del mapa de hidrología superficial**

Para la obtención de este mapa se requirió de información por sub-cuenca de la red hidrográfica Lerma – Santiago escala 1:50,000 al igual que toda la información se tuvo que reproyectar a WGS 1984 Zona 14 norte, con el fin de unificar el análisis y manejo del contenido la información dentro de los sistemas de información geográfica.

#### **4.1.4 Recopilación de datos demográficos**

Para la obtención de esta información se recurrió a los censos poblacionales del periodo 1990 – 2010 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), así mismo aspectos económicos, también se obtuvo por parte de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) datos relacionados con el número de sitios controlados y no controlados destinados a la disposición final de residuos sólidos urbanos.

#### **4.2 Análisis e integración de criterios normativos**

En esta etapa los criterios son unos de los aspectos fundamentales en la toma de decisiones, su correcta elección tiene un papel relevante en la evaluación de cada alternativa

Este paso consistió en la identificación de los elementos que van a favorecer el objetivo establecido, por lo tanto fue importante determinar cuáles criterios son más importantes que otros en beneficio de este objetivo. Hay dos tipos de criterios para un análisis de MC: factores y restricciones, de esta forma estaremos desagregando nuestro problema en dos grupos de interés, de los cuales habrá que otorgar un peso diferente.

#### 4.2.1 Identificación de criterios (Factores y Restricciones)

##### a) Factores

Es entendido como un criterio que realza la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración por lo que debe medirse en una escala continúa, por lo tanto enriquecen o devalúan la viabilidad del objetivo en cuestión.

Para el caso de estudio se basó en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, de acuerdo con las especificaciones para la selección del sitio (Tabla 4.1).

**Tabla 4. 1** Especificaciones para los factores en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003

Tipo de Factor	Especificaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Área Urbana</b></li> </ul>	No debe de ubicarse en localidades mayores de 2500 habitantes, en donde, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 metros contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cuerpos de Agua</b></li> <li>• <b>Ríos</b></li> </ul>	La distancia de ubicación del sito de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe de ser de 500 metros como mínimo.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Pozos</b></li> </ul>	La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 metros adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia ano será menor de 500 metros.

**b) Restricciones**

Teniendo en cuenta que son los criterios que restringen la disponibilidad de algunas alternativas en función de la actividad evaluada con este tipo de criterios, donde se excluyen varias categorías es decir, se genera una capa binaria.

Tomando en cuenta los criterios de especificación para la selección del sitio correspondiente a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, se consideró los siguientes (Tabla 4.2).

**Tabla 4. 2** Especificaciones para las restricciones en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003

Tipo de Restricción	Especificaciones
<b>Áreas Naturales Protegidas</b>	No debe de ubicarse sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en Plan de manejo de éstas.
<b>Fallas Fracturas y Grietas</b>	No debe de ubicarse en zonas de fallas activas, fracturas o en dado caso grietas.
<b>Zonas de recarga</b>	No debe de ubicarse en zonas de recarga.
<b>Zonas de inundación y de deslizamientos</b>	El sitio de disposición final se debe de localizar fuera de las zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir con lo anterior, se debe mostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación con posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final.

### 4.2.3 Estructuración de la información

Partiendo de lo anterior se realizó una estructura de base de datos de la cual se requirió de la generación de un conjunto de mapas o coberturas en el ambiente de un SIG tipo *raster* para su mejor manejo en IDRISI (TAIGA), en donde estas coberturas corresponden a diversos estratos temáticos (Tabla 4.3).

La elección del modelo de datos es un aspecto fundamental que determina en buena medida las alternativas de implementación de una metodología determinada en el ambiente SIG, por lo tanto se determinó utilizar el en antes mencionado software IDRISI (Taiga) por el ofrecimiento que da a la hora de integrar al SIG, para lo que se requirió transformar las capas al formato que maneja IDRISI.

Otro punto importante es en la elección del tamaño de pixel esto como parte de estandarización de los datos, por lo que fue necesario definir la resolución cartográfica a la que se realizaría el estudio. El tamaño de pixel depende de muchos factores y muy en especial, del tamaño de los archivos que manejara el sistema, el tamaño de pixel que se utilizó para este caso de estudio fue de 100m, para lo que se aplicó la siguiente fórmula para determinar los parámetros de las columnas y filas:

$$\text{Columna} = \frac{X \text{ máxima} - X \text{ mínima}}{\text{Resolución (100)}}$$

$$\text{Filas} = \frac{Y \text{ máxima} - Y \text{ mínima}}{\text{Resolución (100)}}$$

**Tabla 4. 3** Estratos temáticos de factores y restricciones

Puntos	Líneas	Polígonos
Pozos	Ríos	Áreas Urbanas
	Fallas	Cuerpos de Agua
	Fracturas	Áreas Naturales Protegidas
	Grietas	Zonas de recarga
		Zonas de inundación y de deslizamientos

### **4.3 Aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio (EMC)**

Una vez identificado los la condicionantes de las norma se procedió a ponderar valores a los factores a la cual también se les puede denominar como nivel de adecuación

#### **4.3.1 Factores**

##### **a) Obtención del factor de áreas urbanas**

Para el factor de distancia a áreas urbanas se obtuvo de las Áreas Geostadísticas Básicas (AGEB), se tomaron en cuenta solo las localidades cuyo número de habitantes es superior a 2,500 (Tabla 4.4). Posteriormente se realizó un buffer de 500 metros que marca la norma, donde especifica que en esa distancia no se puede instalar un sitio, a partir de este criterio se realizó una reclasificación con distancias de 500 metros, así mismo se otorgó una categoría.

##### **b) Obtención del factor de cuerpos de agua y ríos.**

Una vez obtenido la hidrología superficial, se realizó un buffer de 500 metros a partir del límite del cauce o cuerpo de agua esto en relación a la Norma (Tabla 4.5), partiendo de este criterio se procedió a realizar una reclasificación con distancias de 500 metros, así mismo se otorgó una categoría.

##### **c) Obtención del factor de Pozos de Agua.**

Una vez localizados los pozos de agua, se aplicó un Buffer de 500 metros como medida de amortiguamiento hacia el pozo como lo marca la norma oficial (Tabla 4.6), posteriormente se reclasifico en base a las distancias exponenciales de 500 m se le otorgó una categoría.

**Tabla 4. 4** Ponderación del factor correspondiente a las áreas urbanas

Variable	Categoría	Clasificación	Valor
Áreas Urbanas	Bajo	500 -1000	1
	Medio	1001 – 1500	2
	Alto	Mayor a 1500	3

**Tabla 4. 5** Ponderación del factor correspondiente a hidrología superficial

Variable	Categoría	Clasificación	Valor
Ríos, cuerpos de agua	Bajo	500 -1000	1
	Medio	1001 – 1500	2
	Alto	Mayor a 1500	3

**Tabla 4. 6** Ponderación del factor correspondiente a pozos de agua.

Variable	Categoría	Clasificación	Valor
Pozos de Agua	Bajo	500 -1000	1
	Medio	1001 – 1500	2
	Alto	Mayor a 1500	3

#### 4.3.2 Restricciones utilizadas para el caso de estudio

Posteriormente se procedió a elaborar las capas temáticas en relación a las Restricciones tomando en cuenta los criterios y parámetros que marca la Norma Oficial No. 083-SEMARNATA- 2003. Se procedió a utilizar la lógica booleana, la cual es más restrictiva en la selección de los sitios ya que solo permite evaluar el cabal cumplimiento de las condiciones de un atributo, es decir se otorga un valor de 1 a las zonas donde dependiendo de la variable se puede ubicar un sitio para la disposición final de residuos sólidos, y con valor de 0 en donde no es apto.

### **a) Áreas Naturales Protegidas (ANP)**

Para la obtención de esta capa temática fue necesario contar con la información procedente de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), posteriormente conforme a la norma que indica que no se deben ubicar sitios dentro de las Áreas Naturales Protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el Plan de Manejo de estas mismas, tomando en cuenta la asignación de categoría de 0= No Apto y 1= Apto.

### **b) Fallas, fracturas, grietas y zonas de recarga**

La variable de fallas, fracturas y grietas se obtuvieron de las cartas geológicas E-14-A-16, E-14-A-17, E-14-A-26, E-14-A-27, E-14-A-28, E-14-A-37 escala 1:50,000 correspondientes al área de estudio las cuales se digitalizaron para su manejo, al igual que las Áreas Naturales Protegidas (ANP) se tomaron los criterios de la norma, la cual especifica en el apartado 6.1.4 que dice que no debe ubicarse en zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, *fracturas o fallas geológicas*, para las zonas de recarga se requirió de la geología que al igual que las anteriores variables se obtuvieron de las cartas geológicas, a partir de esa información se procedió a clasificar las zonas según su permeabilidad en cuanto al tipo de roca, asignando una categoría de 0= No Apto y 1= Apto.

### **c) Zonas de inundación**

La variable de zonas de inundación contempla en la norma en su apartado 6.1.5 que el sitio de disposición final se debe de localizar fuera de las zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir con lo anterior, se debe mostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación con posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final, en base a este criterio normativo se obtuvo la información por parte de la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM) y planes de desarrollo urbano de los municipios que contemplan las zona de estudio, asignando una categoría de 0= No Apto y 1= Apto.

### 4.3 Estandarización de los factores y cruce de capas

Dentro del software IDRISI (TAIGA) se utilizó el módulo llamado Decisión Wizard, que se utilizó para procesar las múltiples capas y así generar un producto final, en este caso será un mapa de sitios potenciales, por lo tanto se utilizaron las capas binarias, que son las restricciones representadas con valores de 0= no adecuado y 1= adecuado, posteriormente se multiplicaron con los factores el cual muestra la adecuación de áreas para una actividad en particular compuesto, permitiendo el cruce de factores y restricciones respectivamente, para llegar a este último punto primero se realizó la estandarización de las imágenes de los factores, dicho de mejor forma se normalizó mediante el comando FUZZY teniendo como datos de salida un formato byte (es decir, oscilarán entre 0 = no adecuado y 255= muy adecuado, para este caso se utilizó una función de tipo lineal e incremento monótono, es decir a medida que aumenta la variable aumenta el valor de adecuación para ubicar el sitio potencial.

Al ingresar los parámetros para su estandarización se obtuvieron imágenes como resultado de la función lineal de incremento monótono que se le aplicó a los factores.

Una vez estandarizados los factores se asignaron un peso para especificar su importancia relativa de cada factor considerado, por tanto se tomó la decisión de seleccionar la opción de pesos iguales ya que para esta fase de selección de sitios la norma los considera de igual forma, aunado a que estos factores son en su mayoría de carácter hidrológico y que en combinación con las áreas urbanas, por lo tanto entre más retirados estén de los sitios candidatos mejor será su aptitud.

Por último y una vez asignado sus pesos, se obtuvo una imagen como resultado del cruce de los factores y restricciones que posteriormente se reclasificó en 3 niveles de adecuación (alto, medio y bajo), para ello se dividió la escala en valores que fueron de 1 a poco antes 150, con valores 150 a poco antes de 212 y valores de 212 a 255. Estos parámetros se utilizaron para que la información no sea una poco más concisa y no tan generalizada

# Capítulo 5

## Presentación y análisis de Resultados.

Este capítulo tiene como finalidad mostrar los resultados obtenidos tanto de los factores como de las restricciones y que en su sumatoria tuvo como resultado un mapa final de aptitud de los cuales derivaron del procesamiento de información en el Software IDRISI- TAIGA, para lo cual se dividió en dos ejes principales:

El primero contiene la representación en mapas de los factores y restricciones dentro del área de estudio, y la segunda corresponde al análisis espacial cuyo resultado final derivó en un mapa de aptitudes en el cual pretende localizar los sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos urbanos, esto conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003

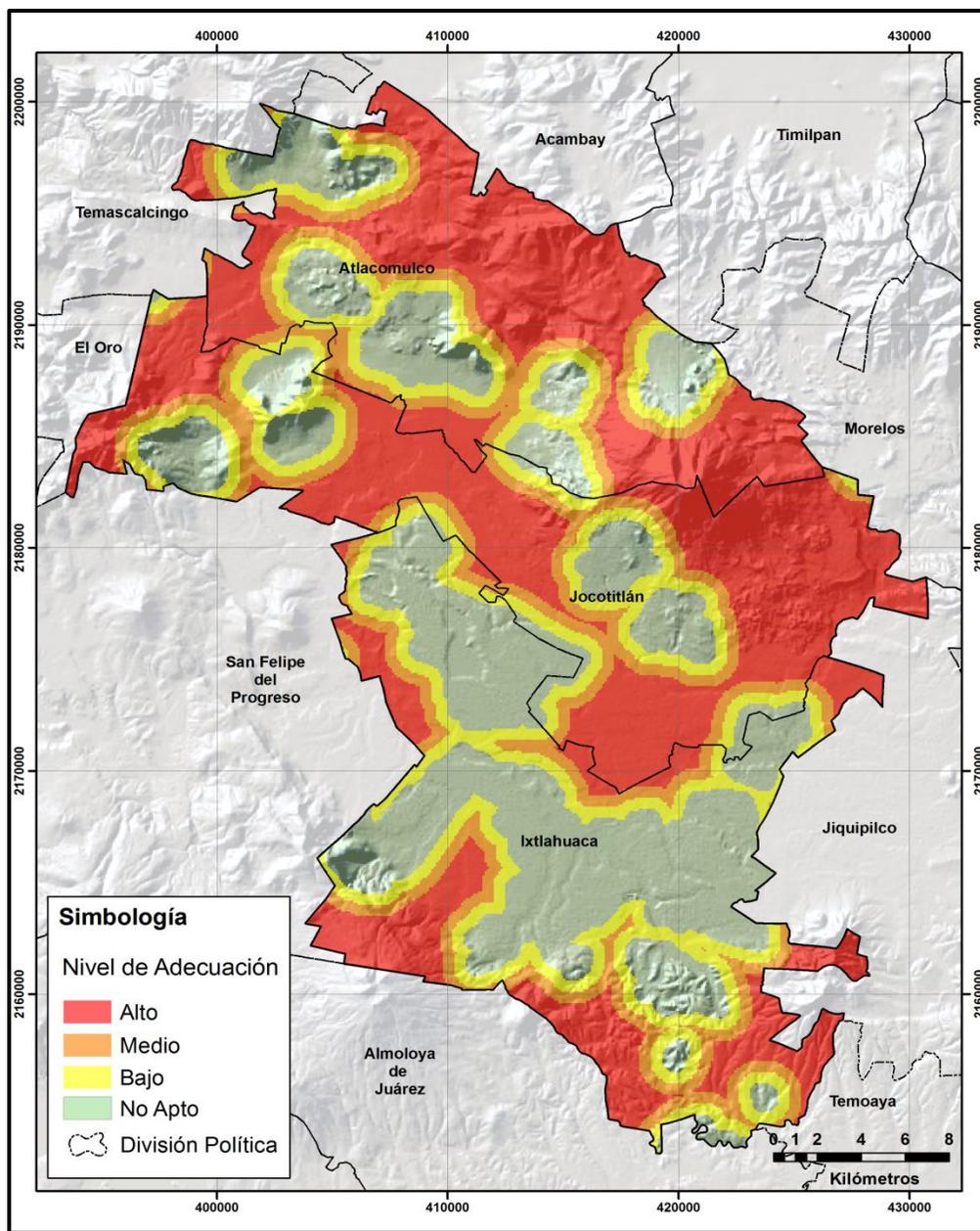
### 5.1 Mapas resultantes de factores y restricciones

Se obtuvieron un total de 9 mapas, de los cuales 4 son de factores, 4 de restricciones y el último que es el mapa final con los sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos urbanos.

#### 5.1.1 Mapa de Factores

La figura 5.1 corresponde al factor de áreas urbanas, la cual se obtuvo estableciendo una categoría según su clasificación, por lo tanto el mapa indica que un sitio potencial cuenta con una categoría alta (color rojo) a las poblaciones que estén a más de 1,500 metros de distancia a partir del límite de los 500 metros de la traza urbana que marca la norma. Media (color naranja) si está en un rango mayor a 1,000 a 1,500 metros de distancia y bajo (color amarillo) si se encuentra a una distancia de 500 a 1,100 metros, mientras que el (color verde) representa el terreno no apto.

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO



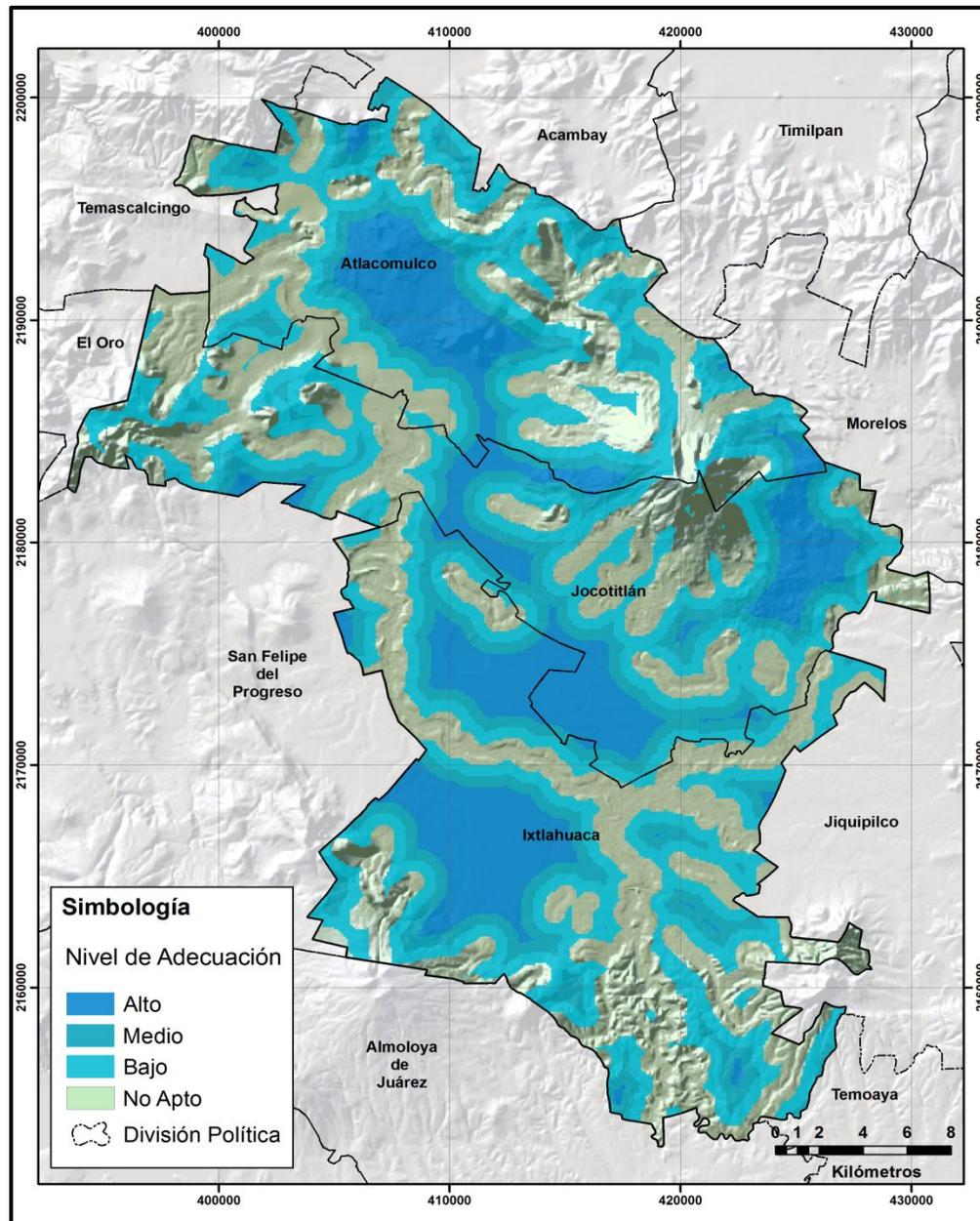
*Figura 5. 1 Mapa de niveles de adecuación respecto a localidades mayores a 2,500 habitantes.*

La figura 5.2 corresponde a la variable de ríos perennes e intermitentes el cual se obtuvo estableciendo una categoría según su clasificación, por lo tanto el mapa indica las zonas con una categoría alta aquellos sitios que estén a más de 1,500 metros de distancia a partir del límite de los 500 metros de amortiguamiento que marca la norma. Media si está en un rango de 1,000 a 1,500 metros de distancia y bajo si se encuentra a una distancia de 500 a 1,100 metros, mientras que el (color verde) representa el terreno no apto.

La figura 5.3 representa la variable de pozos correspondientes al acuífero de Ixtlahuaca-Atlacomulco, para el caso de la zona de estudio se tomaron un total de 135 de los cuales la mayor cantidad se localizan en la zona centro y sureste de la región, por lo tanto se estableció una categoría según su clasificación, por lo tanto el mapa indica las zonas con una categoría alta aquellos sitios que estén a más de 1,500 metros de distancia a partir del límite de los 500 metros de amortiguamiento que marca la norma. Media si está en un rango de 1,000 a 1,500 metros de distancia y bajo si se encuentra a una distancia de 500 a 1,100 metros, mientras que el (color verde) representa el terreno no apto.

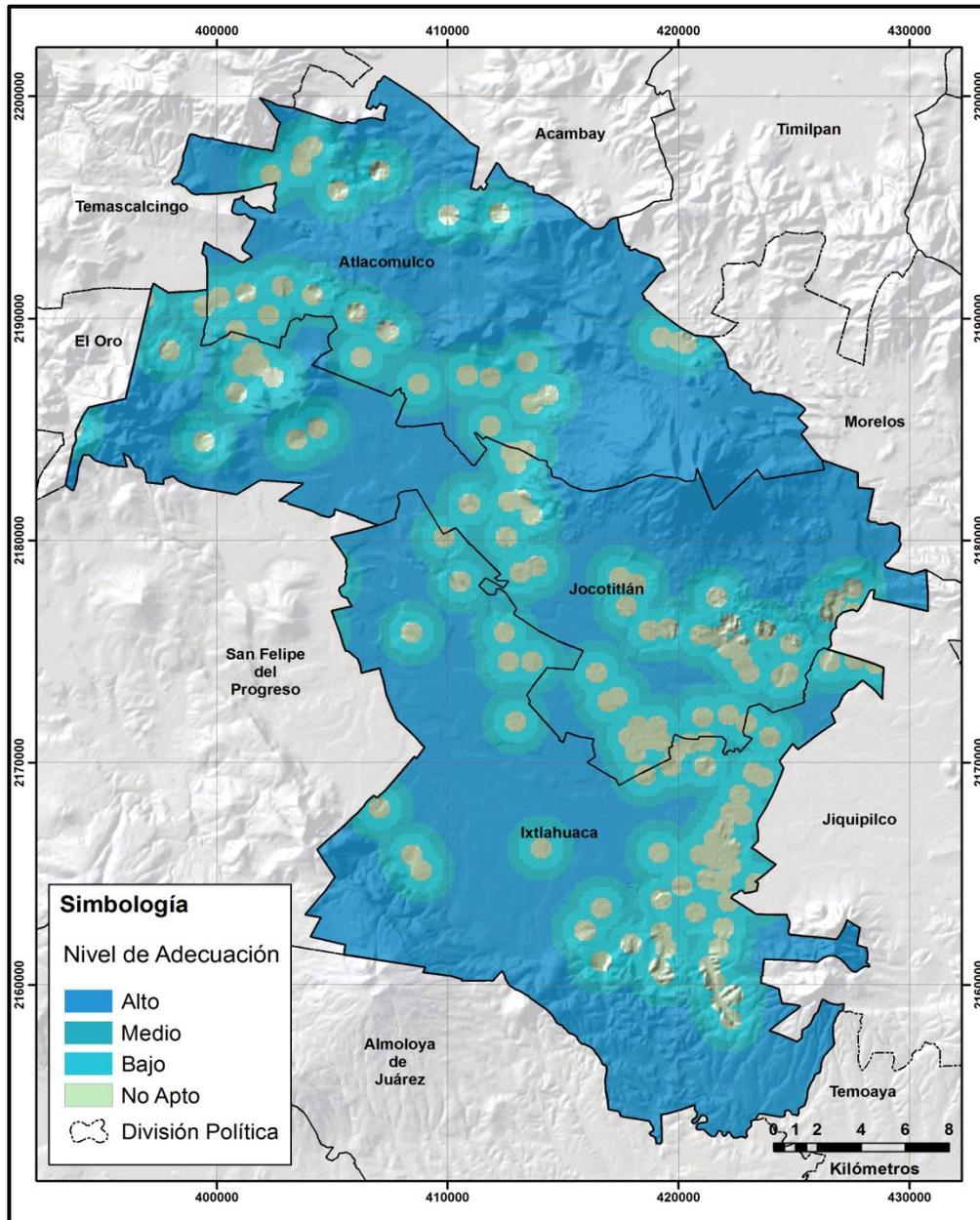
La figura 5.4 corresponde a los cuerpos de agua de los cuales 260 son de tipo intermitente y 21 perennes distribuidos en su mayoría en la zona centro y sur de la zona de estudio, por lo tanto se estableció una categoría según su clasificación, por lo tanto el mapa indica las zonas con una categoría alta aquellos sitios que estén a más de 1,500 metros de distancia a partir del límite de los 500 metros de amortiguamiento que marca la norma. Media si está en un rango de 1,000 a 1,500 metros de distancia y bajo si se encuentra a una distancia de 500 a 1,100 metros, mientras que el (color verde) representa el terreno no apto.

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO



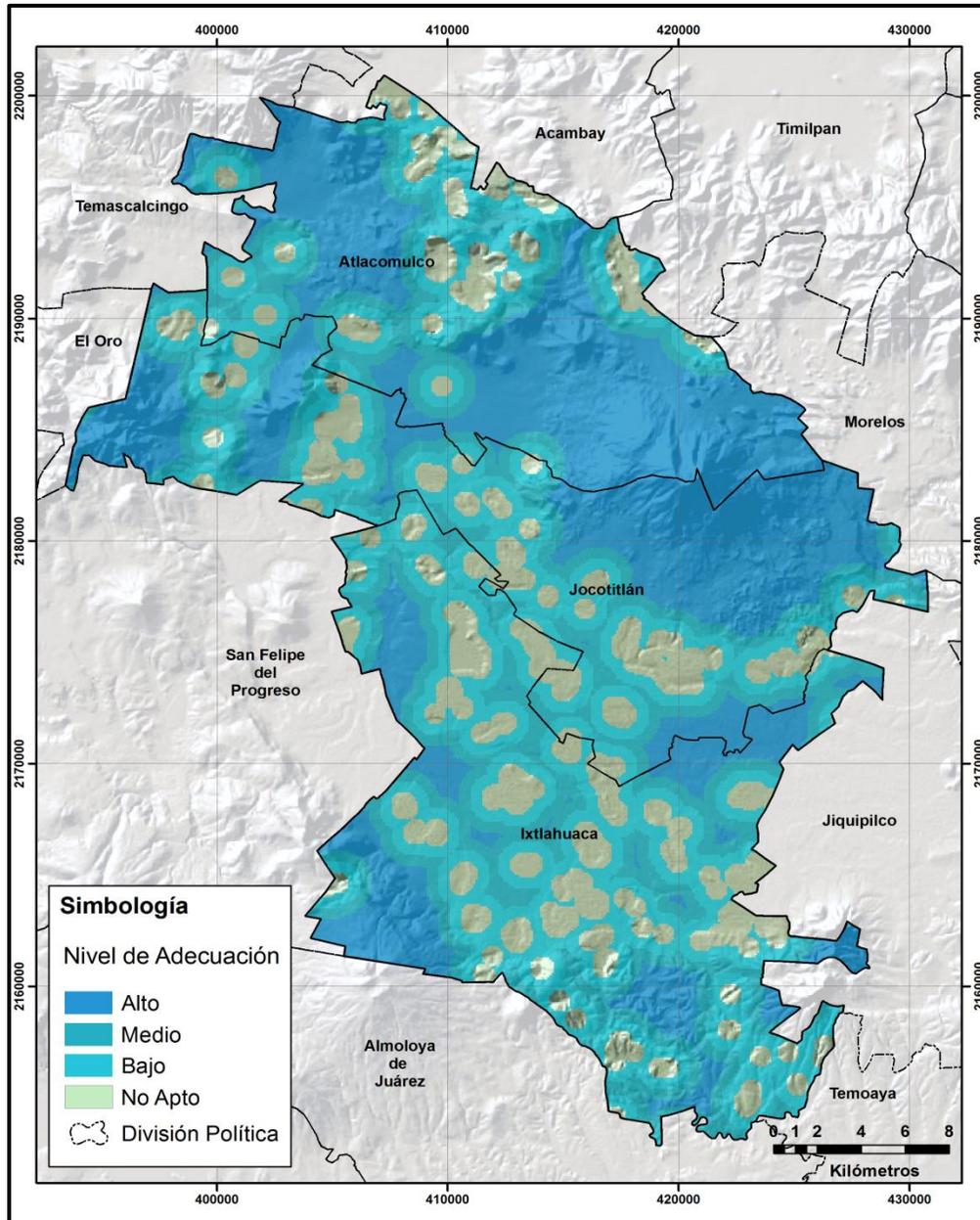
*Figura 5. 2 Mapa de niveles de adecuación de los ríos perennes e intermitentes en la zona de estudio*

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLA COMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO



*Figura 5.3 Mapa de niveles de adecuación de los pozos de agua en la zona de estudio.*

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO



*Figura 5. 4 Mapa de niveles de adecuación de los cuerpos de agua perennes e intermitentes en la zona de estudio.*

### 5.1.2 Mapas de restricciones

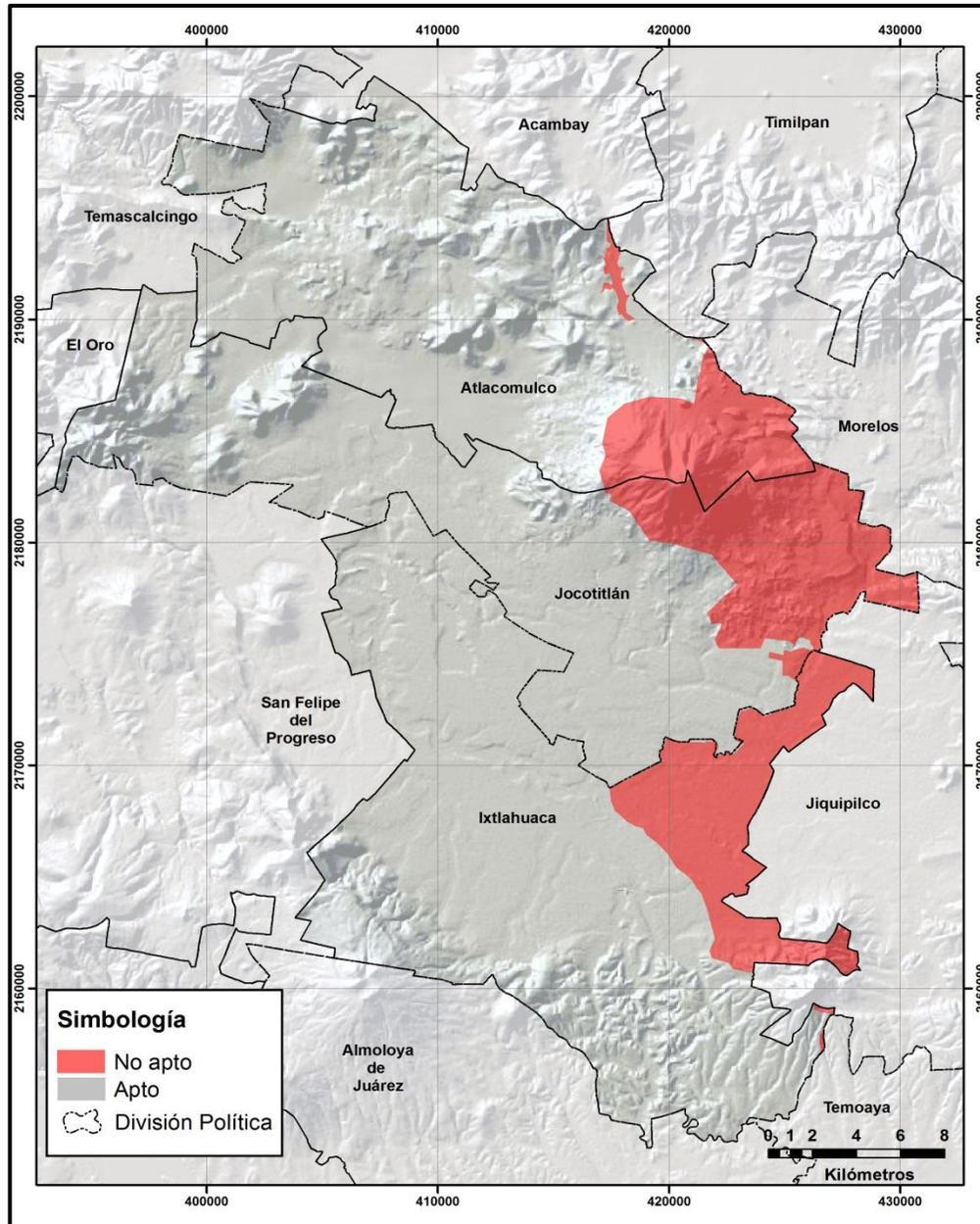
El segundo paso para obtener las restricciones es especificar si existe algún lugar del territorio que tiene que ser excluido del análisis. En este caso restrictivas se representa con color rojo identificada como no aptas, las cuales se detallan a continuación:

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP). No deben de ubicarse sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en Plan de manejo de éstas, de las cuales figuran áreas como el santuario de manantiales de Tiacaque, el parque estatal del cerro de Jocotitlán, presa Danxho, la Isla de las Aves (Figura 5.5).

En cuanto a las fallas fracturas y grietas estas no debe de ubicarse en zonas de fallas activas, fracturas o en dado caso grietas (Figura 5.6). No debe de ubicarse en zonas de recarga (Figura 5.7).

El sitio de disposición final se debe de localizar fuera de las zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir con lo anterior, se debe mostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación con posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final (Figura 5.8).

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO



*Figura 5. 5 Restricción correspondiente a las Áreas Naturales Protegidas (CONABIO).*

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO

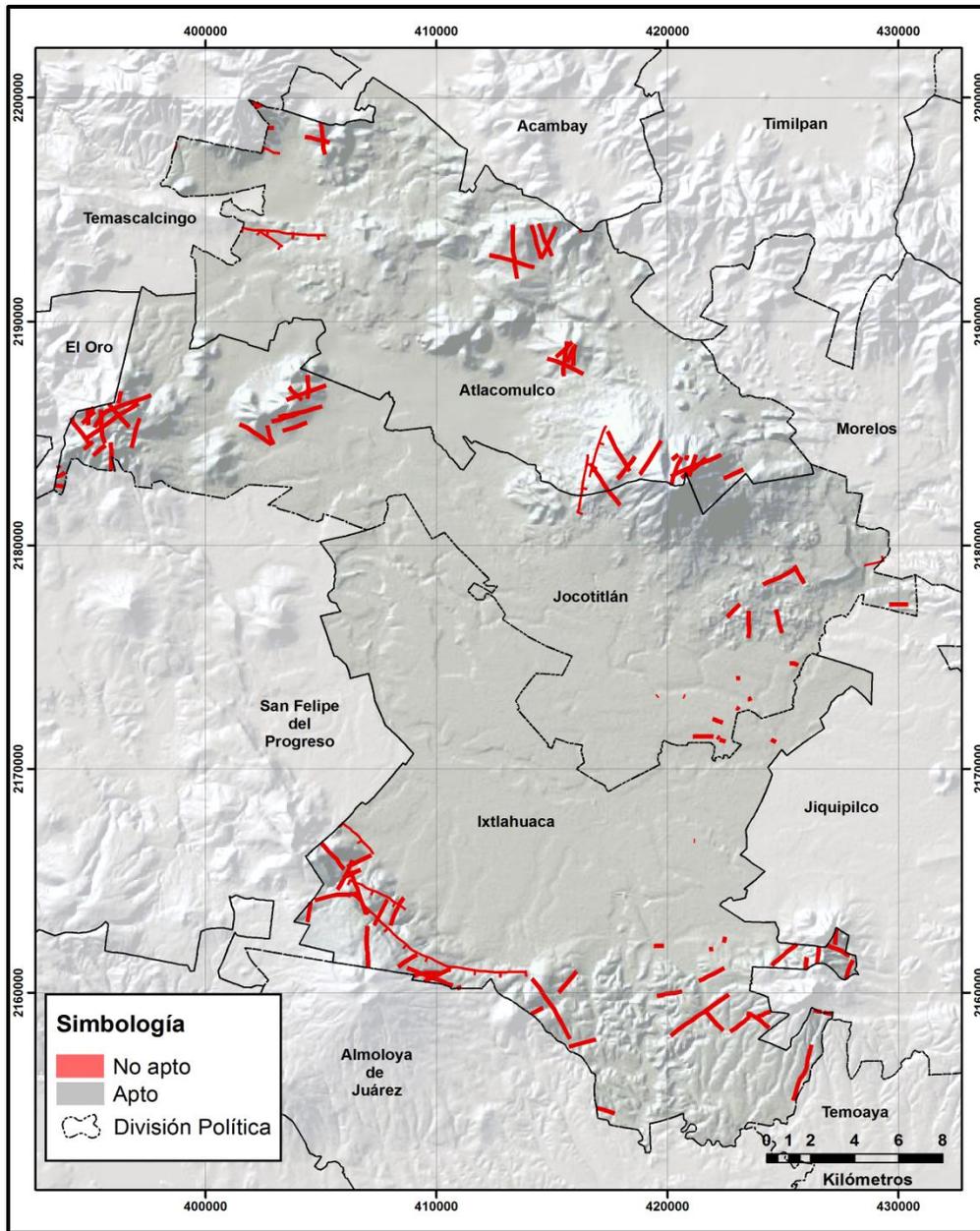


Figura 5. 6 Restricción correspondiente a las fallas, fracturas y grietas.

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO

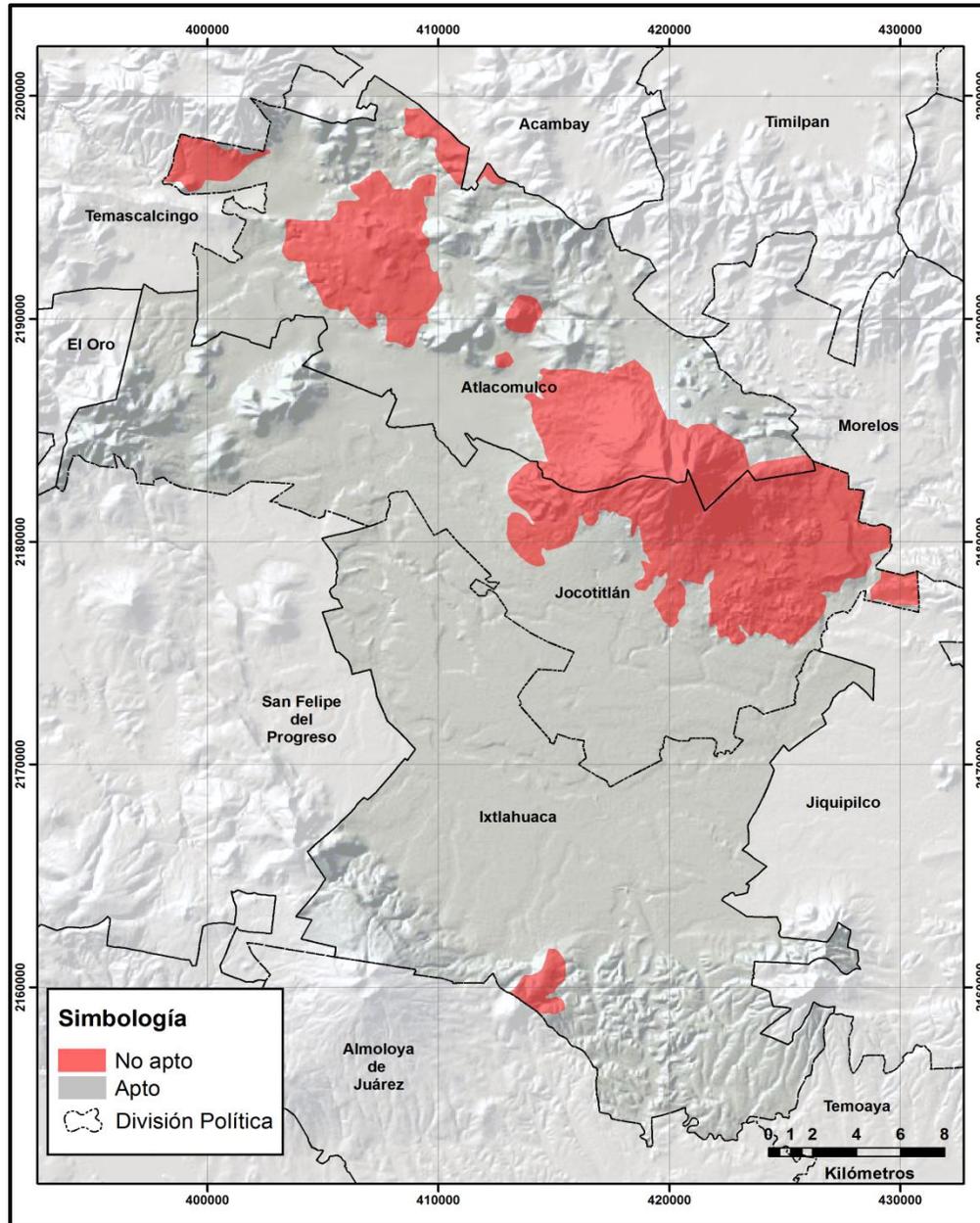
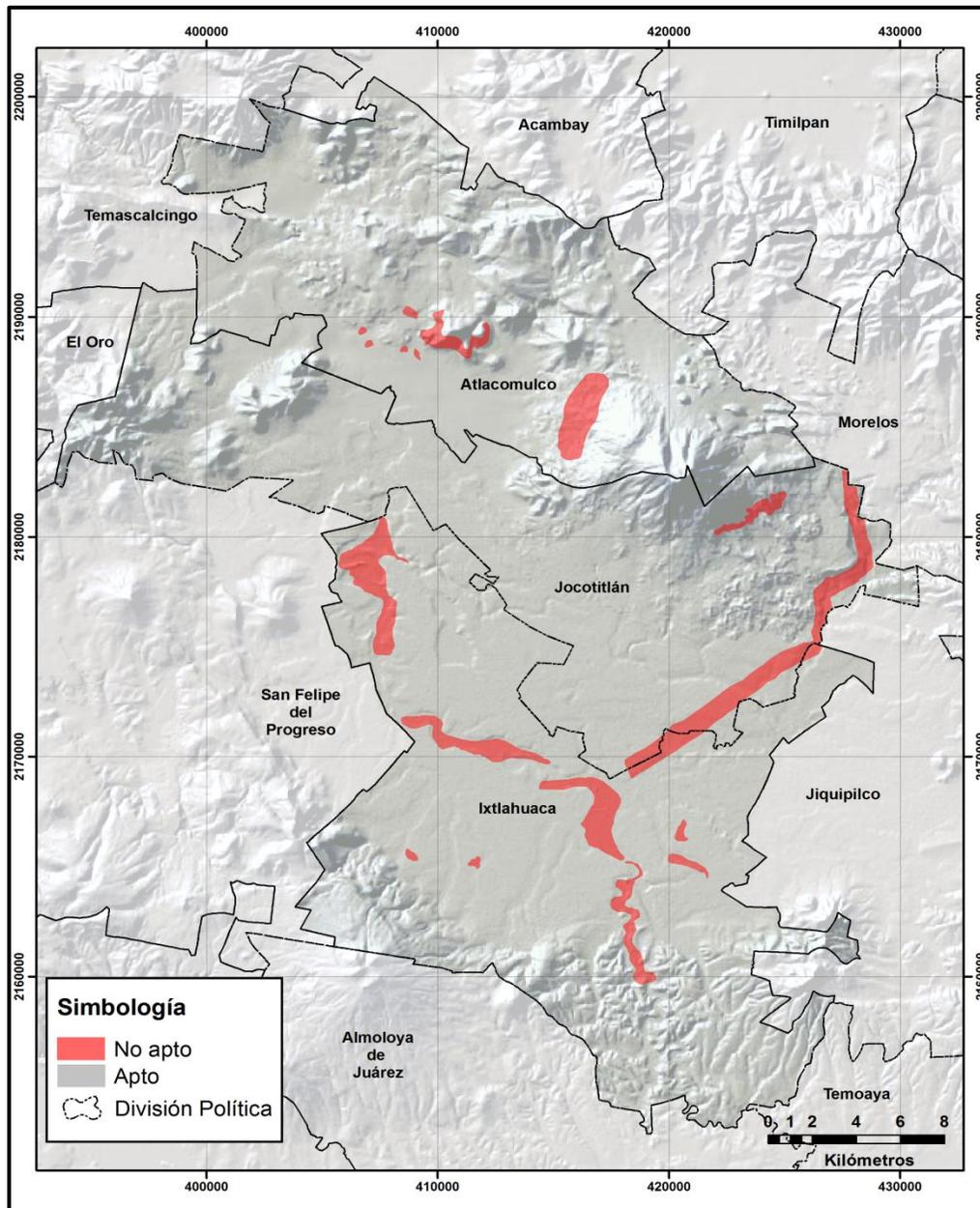


Figura 5. 7 Restricción correspondiente a zonas de recarga a acuíferos.

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO



*Figura 5. 8 Restricción correspondiente zonas de inundación (CAEM,2012).*

## 5.2 Obtención de zonas potenciales para la disposición final de residuos sólidos.

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 escala que va de 0 a 255, posteriormente se reclasifico la imagen en tres rangos (alto, medio y bajo) dependiendo del número de pixeles.

Como resultado de la metodología empleada en este trabajo que tiene como objetivo fundamental la utilización de estas herramienta como apoyo para la toma de decisiones del ordenamiento territorial, específicamente en la ubicación de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos, se obtuvieron un total de 22 sitios con un nivel de adecuación alto, que son los más representativos en la zona de estudio.

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 5.9).

**Sito No. 1** Se localiza al norte de la región en el municipio de Atlacomulco colindante al municipio de Acambay contando con una superficie de 160.41 ha. Se encuentra relativamente retirada de las zonas urbanas con un registro en su población mayor a 2,500 habitantes, siendo la localidad más próxima la de San Juan de los Jarros, así mismo se encuentra distanciado de los cuerpos de agua y sus zonas de recarga.

**Sitios No.2 y 3** Se encuentra en la parte Noroeste de la zona de estudio límite con Temascalcingo, cercano a la localidad de San Lorenzo Tlacotepec correspondiente al municipio de Atlacomulco, cuenta con una superficie total de 451 m<sup>2</sup>, cumple con los criterios establecidos a pesar de su relativa cercanía a una falla tectónica, también tiene cercanía a la autopista federa número 15

**Sitio No. 4** Se encuentra localizado en la zona norte del área de estudio así como los sitios anteriores se encuentra localizado en el municipio de Atlacomulco y colinda con el municipio de Acambay, cuenta con una superficie 1357.03 m<sup>2</sup>, tiene cercanía a un cuerpo de agua pero cabe mencionar que está lo suficientemente alejado contemplando los parámetros establecidos en la Norma Oficial No.83- SEMARNAT-2003.

**Sitios No. 5 y 6** Se encuentra ubicado en la parte norte de la zona de estudio en el municipio de Atlacomulco, estos sitios cuentan con una superficie  $116.13\text{m}^2$  y  $225.81\text{m}^2$  respectivamente, relativamente cerca al sitio de disposición que actualmente existe y da servicio a este municipio

**Sitio No.7** Se encuentra situado entre las localidades de Atotonilco y el rincón de la candelaria, cercano a la zona centro del municipio de Atlacomulco, con una superficie total de  $805.64\text{m}^2$ . Cabe resaltar que este sitio puede beneficiar en a las poblaciones cercanas si tomamos como criterio el costo de transporte que este conlleva la carretera por la cual se puede acceder es la estatal número 5, como los dos anteriores tiene cercanía con el sitio que actualmente opera en el municipio.

**Sitio No. 8** Localizado en la zona norte de la región y centro del municipio de Atlacomulco cuenta con una superficie total de  $348.38\text{m}^2$  se encuentra situada cerca de una zona de recarga de acuífero importante, cuenta con una geología de lavas de tipo andesíticas, al igual que el anterior sitio se puede acceder por la carretera estatal número 5.

**Sitio No. 9** Ubicado en la zona Noroeste de la región, colinda con el municipio del Oro, cuenta con una superficie de  $923.05\text{m}^2$  este sitio tiene cercanía con diversas fallas tectónicas, la población la localidad más cercana es San Juan Coajomulco con una población total de 5137 habitantes (INEGI, 2010). Está situado en las laderas del cerro denominado la jordana contando con una geología correspondiente a depósitos de lavas de tipo andesíticas.

**Sitios No. 10, 11, 12** Estos sitios se localizan relativamente en la zona centro de la región entre los municipios de Atlacomulco y Jocotitlán respectivamente, este grupo de zonas suman un total de  $1329.04\text{m}^2$  de superficie, asimismo tiene acceso por la autopista Atlacomulco – Ixtlahuaca, estos sitios se localizan en zonas de cultivo, tiene buena ubicación tomando encuentra los criterios normativos.

**Sitio No.13** Localizado en el municipio de Jocotitlán en el límite con San Felipe del Progreso, cuenta con una superficie de  $1193.83\text{m}^2$ , situada en derrames de lava de composición andesítica, tiene conectividad con lo carretera que lleva de la localidad de San Miguel Tenochtitlan con Atlacomulco, se ubica sobre parcelas de cultivo, este sitio se encuentra

cercano a otro, solo que este pertenece al municipio de San Felipe del Progreso y como factor a considerar es que se encuentra relativamente cerca de un cuerpo de agua.

**Sitio No. 14 y 15** Ubicados en el municipio de Jocotitlán límite con Ixtlahuaca, se encuentra situado en zonas de cultivo y en relativamente plana y alejado de la población, cuentan con una superficie de 206.45m<sup>2</sup> y 103.23m<sup>2</sup> respectivamente ubicados en derrames de lava de composición andesítica.

**Sitio No. 16** Localizado en el municipio de Ixtlahuaca colinda con San Felipe del Progreso cuenta con una superficie de 251.61m<sup>2</sup>, situada en derrames de lava de composición andesítica, relativamente cercano a río Lerma pero cumple con la distancia que marca la norma oficial, tiene conectividad con la carretera que lleva de la localidad de la Concepción de los Baños y San Pedro de los Baños, se ubica sobre parcelas de cultivo.

**Sitio No. 17** Localizado en la parte sur del municipio de Jocotitlán colinda con Ixtlahuaca, cuenta con una superficie total de 1012.9h<sup>2</sup>, está relativamente cercano a la autopista Atlacomulco – Ixtlahuaca, ubicados en derrames de lava de composición andesítica, se ubica sobre parcelas de cultivo. Está ubicado justo donde se encuentra el sitio que actualmente está en funcionamiento para dar almacenamiento de residuos tanto de Jocotitlán como de Ixtlahuaca, asimismo tiene conectividad con la autopista

**Sitio No 18** Localizado en la parte suroeste de la zona de estudio, cuenta con una superficie total de 2438.7m<sup>2</sup>, está situada en una zona plana sobre parcelas de cultivo, la localidad más cercana es Guadalupe Cachi tiene cercanía con la carretera que conecta a Ixtlahuaca con San Felipe del Progreso, ubicados en derrames de lava de composición andesítica y en zonas de depósitos aluviales.

**Sitio No. 19 y 20** Localizados en la zona sur de la zona de estudio en el municipio de Ixtlahuaca y colinda con Almoloya de Juárez y San Felipe del Progreso, se encuentra sobre una meseta asimismo en las laderas de la misma, cuenta con una superficie total de 3614.48m<sup>2</sup> y 1155.98m<sup>2</sup> respectivamente, su mayor área se encuentra sobre zonas de cultivo.

**Sitio No. 21 y 22** localizados en la zona sur del área de estudio, ambas se ubican en una zona donde el río Lerma pasa por en medio de ellos, se ubican sobre parcelas de cultivo en una zona plana, cuentan con una superficie total de  $639.08\text{m}^2$  y  $1045.16\text{m}^2$  respectivamente.

Las zonas con niveles medio y bajo están distribuidas en la mayor parte de la zona de estudio, la cual está en función de la distancia que hay en relación a los factores y restricciones que marca la Norma Oficial 083-SEMARNAT-2003.

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN  
LOS MUNICIPIOS ATLACOMULCO, IXTLAHUACA Y JOCOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO

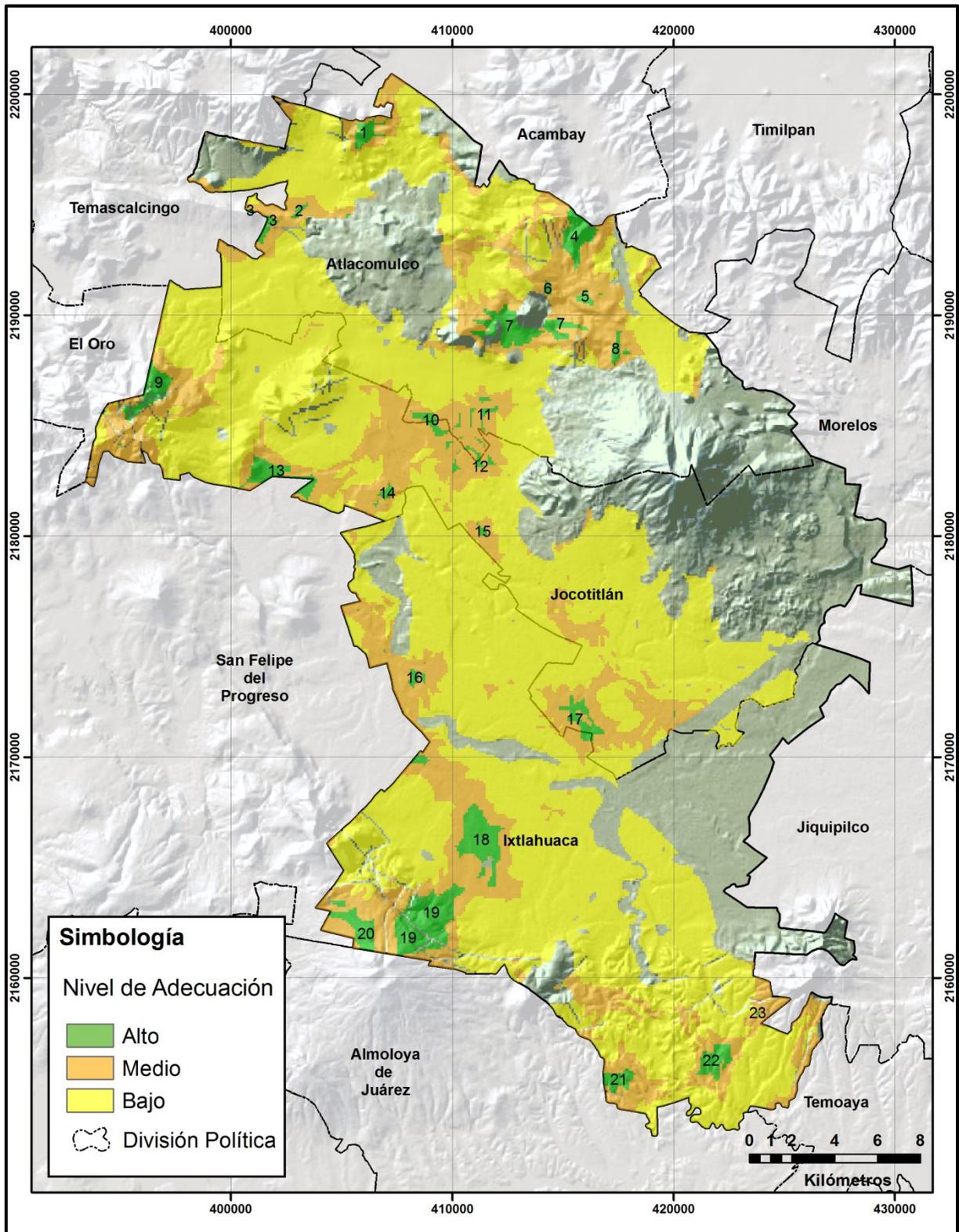


Figura 5. 9 Mapa de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos.

# Capítulo 6

## Conclusiones y Recomendaciones

Las conclusiones desarrolladas en esta investigación se definieron en base en los resultados obtenidos mismos que se derivaron de los pasos metodológicos, así mismo se estableció una serie de recomendaciones que derivaron de los sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos urbanos en los municipios de Atlacomulco, Jocotitlán e Ixtlahuaca.

### 6.1 Conclusiones

Se consideraron las variables de la Norma Oficial Mexicana 083-SEMARNAT-2003 la cual fue parte fundamental para para la integración de la EMC considerando los factores y las restricciones para la selección de sitios candidatos.

La información fue estandarizada, por lo tanto fue importante la elección del tamaño de pixel esto como parte de homogenizar los datos, siendo así fue necesario definir la resolución cartográfica a la que se realizaría el estudio. El tamaño de pixel depende de muchos factores y muy en especial, del tamaño de los archivos que maneja el sistema, el tamaño de pixel que se utilizó para este caso de estudio fue de 100m

La EMC dentro del ambiente SIG se ha orientado al ambiente raster, ya que la facilidad con que este tipo de formato de información espacial permite hacer el álgebra de mapas, ha facilitado su uso para hacer sobre posiciones de diferente índole y así obtener resultados concretos y confiables, que no se podrían lograr de la misma medida que en el ambiente vector.

Por lo tanto se puede concluir que la EMC permite observar la importancia que han adquirido los Sistemas de Información Geográfica más allá de su capacidad para almacenar y representar especialmente datos. Se puede recalcar que el EMC en el entorno SIG tiene la capacidad de

comparar y combinar por medio de la estandarización mapas diferentes para obtener un nuevo producto cartográfico final.

Se utilizó el módulo “Decisión Wizard” para hacer la multiplicación de factores y restricciones y así obtener un resultado final.

Para el objetivo específico podemos concluir que de los resultados obtenidos de todo este proceso que tiene como fin la localización de sitios potenciales para la disposición final para residuos sólidos no se debe de encontrar el sitio perfecto si no el menos malo, cabe resaltar que con este tipo de estudios puede llegar a tener un impacto en el proceso de toma de decisiones ya que la información generada puede ser de utilidad para los planeadores y otros actores, considerando la necesidades e intereses de cada municipio que conforman esta zona de estudio tomando como base este trabajo.

La mayoría de los criterios que fueron tomados para determinar la distancia a ciertos factores y restricciones de la norma oficial mexicana 083.SEMARNAT-2003 se encuentran sitios que están a pocos metros de estas mismas, originando una incertidumbre a la hora de tomar en cuenta que es un sitio que puede ser adecuado.

Se puede concluir que en esta primera etapa de selección de sitios candidatos, los resultados obtenidos se acercaron a la realidad se algunos sitios que ya se encuentran establecidos, también se está consciente de la importancia de utilizar otros criterios y ponderar de mejor manera en base una variable específica, pero esto dependerá en gran medida del enfoque del estudio.

## 6.2 Recomendaciones

Ante la problemática existente de localizar sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos y a partir de los resultados obtenidos en esta investigación se recomienda:

- De los sitios candidatos con mayor superficie, sumar otra serie de factores para que sea aún más detallado y con mayor factibilidad
- Aplicar esta metodología en una primera fase para determinar los sitios candidatos ya que al implementarlo se optara solo por los sitios que ocasionarían el menor riesgo de contaminación hacia lo ambiental.
- La colaboración intermunicipal que conforman la zona de estudio para compartir gastos y reducir los costos de transporte asimismo de no afectar al entorno físico
- Que los municipios que integran este estudio en coordinación con la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, establezcan acuerdos para crear sitios para la disposición final de residuos sólidos.
- Hacer un análisis para detectar las posibles inconsistencias en la norma oficial en relación a la primera fase de descripción de variables a considerar.
- Estos sitios que se presentaron deben servir como un punto de partida o como base para la realización de estudios más detallados en materia de agentes ambientales que podrían verse afectados con la construcción de sitio de este tipo en estas zonas, un estudio de viabilidad en función del consenso entre los agentes sociales involucrados aunado a un análisis de la función gubernamental en sus diversos niveles de gobierno, en materia de regulación y promoción de este tipo de estudios.
- Es importante que una vez identificadas aquellas áreas potenciales se requiere realizar un análisis de sitio con el cual evaluar en detalle las características biofísicas del terreno y las condiciones socioeconómicas de los pobladores, así como la factibilidad financiera para la ejecución de la obra.

## Anexos



Sito No. 7



Sito No. 10



Sito No. 13



Sito No. 18



Sito No. 19



Sito No. 21

## Bibliografía

Ramirez, S., (2010) *Análisis normativo del manejo de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en la zona metropolitana del municipio de San Luis Potosí*. Tesis de Maestría. San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad De Ciencias Química, Ingeniería y Medicina.

Umaña, J., (2002) “*Método de evaluación y selección de sitio para relleno sanitario*” en Umaña, J. (Comp.) XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del 27 al 31 de octubre, 2002, Cancún.

Domínguez, J. y M. Garduño, (2004) *Diagnóstico Ambiental Técnico Preliminar de Vertederos de Residuos Sólidos Municipales en Almoloya de Juárez, Temoaya y Zinacantepec*. Tesis de Licenciatura. Toluca Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México.

Montoya, J. y J. Camacho, (1993) *Distribución de los Desechos Sólidos en el Municipio de Toluca*. Tesis de Licenciatura. Toluca Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México.

Ramírez, S, (2010) *Análisis Normativo del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en la Zona Metropolitana del Municipio de San Luis Potosí*. Tesis de Maestría. San Luis Potosí, Universidad Autónoma del Estado de San Luis Potosí.

Paredes, J, (2007) *Análisis de Vulnerabilidad de Acuíferos a la Contaminación mediante la Metodología GOD Aplicación a los Acuíferos del Alto Lerma*. Tesis de Licenciatura. Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México.

Aguilar, Arnold, (2008) *Impactos y Riesgos que ocasionan los Rellenos Sanitarios, El caso del Relleno Sanitario Ecológico Regional en Calimaya, Estado de México*. Tesis de Licenciatura. Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México.

Wehenpohl, Günther y Ambrosius Christian. Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Experiencias de Nueve Años de Cooperación Técnica Alemana en México, GTZ, México, 2006.

Wehenpohl, Günther y Hernández Claudia. Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos. SEMARNATGTZ, México, 2006.

Barredo, J.I. 1996. Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la Ordenación del Territorio. Ra-ma. Madrid.

Domínguez, J. y M. Garduño, (2004) *Diagnostico Ambiental Técnico Preliminar de Vertederos de Residuos Sólidos Municipales en Almoloya de Juárez, Temoaya y Zinacantepec*. Tesis de Licenciatura. Toluca Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México.

#### **Referencias Electrónicas.**

Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México. (2009). “Notas Sectoriales, Los Residuos Sólidos en México”. *Secretaría de Estado de Comercio* [En Línea]. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México, disponible en: [http://www.oficinascomerciales.es/icex/cda/controller/pageOfecomex/0,5310,5280449\\_5296002\\_5298390\\_461831\\_MX\\_0\\_68,00.html](http://www.oficinascomerciales.es/icex/cda/controller/pageOfecomex/0,5310,5280449_5296002_5298390_461831_MX_0_68,00.html) [Accesado el día 26 de Abril de 2012]

Secretaría de Ecología del Estado de México. (2003). “Guía para la Elaboración de Planes Maestros para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales”. [En Línea]. Estado de México, disponible en: <http://www2.gtz.de/dokumente/bib/07-0128.pdf> [Accesado el día 29 de Marzo de 2012]

Navarro, López, Caire, Instituto Nacional de Ecología. (2004). “Estudio, análisis y propuestas para el fortalecimiento de los programas municipales de saneamiento ambiental existentes en la Cuenca Lerma Chapala”. [En Línea]. Estado de México, disponible para:

[http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/diag\\_gest\\_amb\\_municipal.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/diag_gest_amb_municipal.pdf) [Accesado el día 6 de Marzo de 2012]

SEMARNAT, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2007), “Política y Estrategias para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en México”. [En Línea]. México, disponible en: [http://siscop.ine.gob.mx/novedades/politica\\_y\\_estrategias\\_gir.pdf](http://siscop.ine.gob.mx/novedades/politica_y_estrategias_gir.pdf)

GTZ GmbH Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, (2005), “Experiencias de la GTZ en los Procesos de Elaboración y Ejecución de Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos” .[En Línea]. Estado de México, disponible: [www.giresol.org/index.php?option=com\\_k2&view=id...](http://www.giresol.org/index.php?option=com_k2&view=id...)

Gustavo D. Buzai, (2010) Análisis espacial de evaluación multicriterio en la generación de alternativas viales para el trazado de la autopista Luján-mercedes: Universidad Nacional de Luján. Luján, disponible en: <http://www.amazon.com/An%C3%A1lisis-Espacial-Evaluaci%C3%B3n-Multicriterio-Aires-Argentina/dp/3848457202>.

SEMARNAT, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2007), “Política y Estrategias para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en México ”. [En Línea]. México, disponible en: [http://siscop.ine.gob.mx/novedades/politica\\_y\\_estrategias\\_gir.pdf](http://siscop.ine.gob.mx/novedades/politica_y_estrategias_gir.pdf)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2009). *Agua subterránea. Morelos*. Dirección URL: [http://www.imta.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=181:agua-subterranea&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=80](http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181:agua-subterranea&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=80) (Consulta: Septiembre 4, 2012).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, (2012), “Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003” [En línea]. México, disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/inicio.aspx>

INAFED (Sistema Nacional De Información Municipal). (2009). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, <http://www.inafed.gob.mx/wb/inafed09/snim> (Consulta Enero 2010).