



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

“IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ADECUADAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE UN SITIO PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA REGIÓN DEL VALLE DE TOLUCA”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

DANIELA GÓMEZ PATIÑO

ASESOR:

DR. SERGIO FRANCO MAASS

REVISORES

MIGUEL EDUARDO GARCÍA REYNA

ARMANDO REYES ENRÍQUEZ

Toluca, Estado de México, Octubre del 2018.

Agradecimientos

Primeramente agradezco a al Dr. Sergio Franco Maass por su constante e incondicional apoyo en todo el proceso del trabajo, por hacerlo suyo, por sus palabras de aliento por su paciencia, por sus consejos, gracias por otorgándome tiempo, confianza y conocimiento, por su dedicación de principio a fin.

A mi querida facultad de Geografía que fue mi casa por más de 4 años, sus instalaciones, el personal maestros, por sus consejos por su ayuda y la oportunidad de hoy concluir una carrera profesional.

A mis asesores por su paciencia y cometarios para fortalecer aún más este trabajo que estuvieron relacionados directamente con la culminación de mis estudios.

A Agencia Alemana de Cooperación Técnica - GIZ por incluirme a un proyecto de donde surgió el tema de investigación, gracias por los consejos y referencias, gracias por esas salidas a conocer los rellenos sanitarios.

A mi querido departamento de Planeación territorial de Toluca, Ingeniero de la Peña, Geógrafa America, Contador Blaz, Arquitecto, muchas gracias por la oportunidad de conocerlos.

A Todas aquellas personas que llegaron en el trascurso de este proyecto y a todas las que se fueron y nos cuidan desde el cielo gracias por creer en mí, por su apoyo por esas palabras de aliento en este proceso.

Dedicatorias

A mis Viejitos la Sra, Susy y Sr. Delfis 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, y esos regaños que hicieron posible acabar este proyecto, Gracias por darnos una herencia en vida que son nuestros estudios a cada uno de mis hermanos.

A mis hermanos Ivan, Emilio, Jorge, Ricardo, Alfredo, Karina, por darme un gran ejemplo a seguir al ser la más chiquita me han dejado una gran responsabilidad y una gran enseñanza seguir adelante para cumplir metas y sueños gracias por las risas por, consejos, por creer en mí y estar conmigo en las buenas y en las malas.

A los que se fueron sumando a esta gran familia Bety, Lore, Daniel, Giovanna, Fer, y que sigan aquí en las buenas pero más en las malas.

Alberto Luna gracias por estar aquí por ser parte fundamental en mi vida, gracias por escucharme, aconsejarme, y darme esos alientos para poder seguir adelante, si se puede. Siempre serás mi gran golpe de suerte.

A mis amigos que saben todo lo que fue llegar hasta aquí José Luis, Lucky, Mauricio, Brandon, Rocio, Gaby, Ronald, Christian, Alext, Daniel, Areli, por mencionar algunos gracias por aguantarme tanto.

A toda mi fuerza G, gracias por se le mejor grupo.

Contenido

RESUMEN	1
SUMMARY	3
INTRODUCCIÓN	5
PROBLEMA	7
OBJETIVO	8
JUSTIFICACIÓN	9
DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	9
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y DE REFERENCIA	13
1.1 Antecedentes	13
1.2 Conceptualización	18
1.3 Marco legal.....	27
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA	35
2.1 Identificación de sitios candidatos	36
2.1.1 Obtención de mapas de restricción.....	36
2.2. Obtención de mapas de factores.....	39
2.3 Análisis del territorio y obtención de alternativas de localización	40
2.3.1 Obtención del vector de pesos para los factores.....	40
2.3.2 Aplicación de la suma lineal ponderada en ambiente SIG.....	40
2.3.3 Identificación de zonas adecuadas	41
2.4 Evaluación de sitios candidatos.....	41
2.5 Normalización	42
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1 Restricciones para la localización de un sitio para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos.....	43
3.1.1 Geología	43
3.1.2 Ocupación del Suelo.....	47
3.1.3 Hidrología	49
3.1.4 Áreas Naturales Protegidas	56
3.1.5 Acueductos	58
3.1.6 Carreteras.....	61
3.1.7 Localidades.....	63

3.1.8 Mapa final de Restricciones	67
3.2 Factores de adecuación para la Identificación de zonas adecuadas para la localización de un sitio para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos	68
3.2.1 Edafología.....	68
3.2.2 Uso de suelo	73
3.2.3 Geología.....	75
3.2.4 Mapa final de Factores.....	77
3.2.5 Mapa Final.....	78
3.3 Evaluación de sitios candidatos.....	80
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
Recomendaciones	86
Referencias	88
ANEXOS	92

Índice de Figuras

Figura 1: Región del valle de Toluca	12
Figura 2: Geología.....	44
Figura 3: Restricción por litología	46
Figura 4: Ocupación del Suelo	47
Figura 5: Restricción por ocupación de suelo.....	49
Figura 6: Distancia cuerpos de agua	51
Figura 7: Restricción por proximidad a cuerpos de agua.....	52
Figura 8: Distancia a partir de escurrimientos intermitentes	53
Figura 9: Restricción por proximidad a escurrimientos intermites.....	54
Figura 10: Mapa de distancia a corrientes permanentes	55
Figura 11: Restricción por proximidad a escurrimientos permanentes.....	56
Figura 12: Restricción por estar dentro de Áreas Naturales Protegidas.....	57
Figura 13: Mapa de distancias a los acueductos	59
Figura 14: Mapa de restricción por proximidad a acueductos.....	60
Figura 15: Mapa de distancias a carreteras.....	61
Figura 16: Mapa de restricción por proximidad a carreteras	62
Figura 17: Mapa de distancias a las localidades urbanas.....	63
Figura 18: Mapa de restricción por proximidad a las localidades urbanas	64

Figura 19: Mapa de distancia a partir de las localidades Rurales	65
Figura 20: Mapa de restricción por proximidad a localidades rurales	66
Figura 21: Mapa final de restricciones	67
Figura 22: Matriz de comparación por pares de tipos de rocas	71
Figura 23: Mapa de factor de adecuación por tipo de suelo	72
Figura 24: Matriz de comparación por pares de tipo de cobertura	73
Figura 25: Factor de adecuación por tipo de ocupación	74
Figura 26: Matriz de comparación por pares de tipos de rocas	75
Figura 27: Factor de adecuación por tipo de roca	76
Figura 28: Mapa final Factores	77
Figura 29. Zonas Posibles para la Disposición Final de RSU	79
Figura 30. Mapa Final zonas más adecuadas para la localización de un sitio para la Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos en la región del Valle de Toluca	83

Índice de Tablas

Tabla 1: Zona metropolitana de Toluca: Población, tasa de crecimiento y densidad media urbana, 1990-2010.	10
Tabla 2: Cantidad de residuos generados por municipio	11
Tabla 3: Marco Jurídico	27
Tabla 4: Especificaciones relacionadas con la prevención y control de la contaminación del suelo.....	32
Tabla 5: Tabla de criterios	36
Tabla 6: Especificaciones para las restricciones con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.....	37
Tabla 7: Zonas restrictivas por litología	45
Tabla 8: Zonas sin restricción a la localización en función de la cobertura del suelo	48
Tabla9: Hidrología.....	53
Tabla 10: Zonas restrictivas por Edafología.....	70
Tabla 11: Valoración obtenida para cada sitio candidato de acuerdo a los diferentes modelos	81
Tabla 12. Nivel de adecuación	82

RESUMEN Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), son todos aquellos residuos que se generan en los hogares, como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas; dentro de esta categoría se consideran también aquellos que provienen de establecimientos comerciales y los que se acumulan en la vía pública, resultantes de la limpieza de los espacios públicos y que tienen características similares a las de los residuos domiciliarios. Su manejo y control es competencia de las autoridades municipales y delegacionales.

Toluca, a lo largo de su historia, se ha consolidado como una de las zonas urbanas más importantes del Estado de México y del País, por su relevancia política al ser la capital del estado con mayor población en México, y por sus condiciones geográficas que la convierten en el eje rector de la zona metropolitana del Valle de Toluca ya que sus vías articulan las conexiones con otros estados, municipios y regiones.

El Municipio de Toluca tiene a su vez una gran relevancia económica como una de las principales regiones industriales del país.

Toluca y sus Municipios conurbados, presentan graves problemas para la disposición final de los RSU dado que no se cuenta con un relleno sanitario propio, con las características adecuadas para la gestión de dichos residuos.

El incremento de la población en la zona metropolitana de Toluca, aunado al desarrollo de actividades productivas en la región, han propiciado el incremento en la generación de RSU. El transporte y disposición final de dichos residuos implica una serie de externalidades negativas que es preciso tomar en consideración. Los residuos son aquellos materiales cuyo poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, contenidos en recipientes, y que pueden ser susceptibles de recibir tratamiento o disposición final en conformidad con lo que establece la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR). El almacenamiento apropiado de los residuos sólidos tiene como objetivos preservarlos sanitariamente, desde el momento en que son generados

hasta su recolección, facilitando con ello su manejo integral. El relleno sanitario posee un sistema delicado y complejo que puede presentar problemas en términos de control de lixiviados, pozos de extracción de gases por la construcción y cercanía a localidades.

La localización de un sitio de disposición final de RSU en el valle de Toluca requirió la aplicación de una metodología que minimiza las externalidades negativas tomando en cuenta el medio físico. En primer lugar se evaluaron los factores geología y suelos, agua superficial y subterránea y topografía. Mediante un proceso de jerarquización de dichos factores se logró ordenar e identificar las zonas más aptas, Esto también mediante la técnica de consejo de expertos en cada temática. La metodología que se presenta ha sido utilizada con éxito en trabajos anteriores.

SUMMARY

The Urban Solid Waste (RSU), are generated in the houses, as a result of the elimination of the materials that are used in the domestic activities; Are also those that come from establishments or the public highway, or those that result from the cleaning of public roads or places and that have characteristics such as domiciles. Its management and control is the responsibility of municipal and delegational authorities.

Throughout its history, Toluca has consolidated itself as one of the most important areas of the State of Mexico and of the Country, due to its political relevance as the capital of the State with the highest Population in Mexico, and due to its geographical conditions. They become the guiding axis of the metropolitan area of the Valley of Toluca since its routes have connection with states, municipalities and regions.

In turn the Municipality of Toluca has great economic relevance for the State of Mexico

Toluca and other conurbated municipalities currently have the serious problem of not having a proper sanitary landfill of the Municipality for the final disposal of their solid waste.

The increase in population in the metropolitan area of Toluca, coupled with the development of productive activities in the region, has led to an increase in the generation of MSW. The transport and final disposal of such waste involves a series of negative externalities that need to be taken into account. Waste is those materials the holder disposes of and which are in a solid, semi-solid, liquid or gaseous state contained in containers, and which may be susceptible to treatment or final disposal in accordance with what is established in the General Law on Prevention and Integral Management Of Waste (LGPGIR). The proper storage of solid waste aims to sanitary waste preservation, from the moment they are generated until their collection, facilitating with it their integral management. The

sanitary landfill has a delicate and complex system that can present problems in terms of leachate control, gas extraction wells for construction and proximity to localities.

The location of a final disposal site for a Toluca Valley was performed following a methodology that minimizes negative externalities taking into account the physical environment. First, the geology and soil, surface water and groundwater and topography factors were evaluated. By means of a hierarchical process of said factors it was possible to order and to identify the most suitable ones, this also by means of the expert advice technique in each thematic one.

The methodology presented has been successfully used in previous work.

INTRODUCCIÓN

El uso y aprovechamiento de los recursos naturales en el mundo viene aparejado, indefectiblemente, de la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que, inevitablemente, deben tener un destino final.

El desarrollo de las sociedades urbanas contemporáneas ha venido aparejado por el cambio en los patrones de consumo que ha conducido a un marcado incremento en la generación de RSU. La forma más sencilla para disponer de dichos residuos es la construcción de instalaciones para su disposición final. El problema radica en encontrar los sitios más adecuados para construir este tipo de instalaciones, buscando reducir los impactos al medio ambiente y tratando de reducir las externalidades o efectos negativos que dichas instalaciones tienen en la población que habita en sus inmediaciones. La ubicación de un Relleno Sanitario en el Valle de Toluca impone limitaciones importantes. Por su situación geográfica, su conformación geológica y sus características hidrológicas resulta difícil ubicar sitios que minimicen el impacto con el medio ambiente. Adicionalmente, el crecimiento de las zonas urbanas y las actividades humanas hacen difícil encontrar sitios donde exista un impacto mínimo a la población.

La presente investigación retoma los lineamientos geográficos enmarcados en normatividad existente, pero avanza hacia el análisis de las externalidades mediante la aplicación de modelos de localización-asignación de instalaciones no deseables.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos que describen el desarrollo de la investigación:

El capítulo I está dividido en cuatro partes, brinda una visión general sobre la problemática abordada, pormenoriza los objetivos y hace una primera aproximación al marco teórico de referencia que guio la investigación. El problema fundamental es que, pese a la alta producción de RSU en el Valle de Toluca no existe una instalación para su disposición final adecuada. De ahí que el problema de investigación se perfila en la necesidad de encontrar sitios candidatos que permitan el emplazamiento de este tipo de instalaciones garantizando la menor

afectación al medio ambiente y la mayor lejanía posible de la población circundante. Este problema, convertido en objetivo implica plantear el uso de sistemas de información geográfica para el análisis espacial multicriterio y, en una segunda instancia, la aplicación de modelos de localización asignación de instalaciones no deseables.

El marco teórico representa el fundamento de esta investigación ya que se desarrolla la base fundamental del trabajo, y se presentan propuestas metodológicas para realizar estudios preliminares que permitan conocer las diferentes variables y enfoques para la propuesta de elección de sitios de disposición final. La propuesta de optimización técnica de rellenos sanitarios, un acercamiento metodológico. Aguirre *et al.* (2006) realizaron un estudio con la finalidad de sistematizar las decisiones económico-técnicas para la gestión de un relleno sanitario, desde la identificación de los requerimientos para su correcta localización hasta el análisis de los aspectos inherentes a su operación y eventual cierre. Colomer *et al.* (2013) proponen otra forma de enfocar el estudio de la localización de los rellenos sanitarios mediante el análisis del impacto ambiental que estos generan. Bosque y Franco (1995) abordan el problema de la localización de los rellenos sanitarios desde la perspectiva a la aplicación de modelos de localización-asignación de instalaciones no deseables. Eso los llevó a analizar diversos modelos de localización óptima: maxisum, maximin y “complementario-anticobertura”.

Delgado, (2005) desarrolló un modelo de mapas de evidencia binaria (EB)_Este modelo se basa en un índice de sobreposición para asignar valores diferentes a cada uno de los atributos con base en la importancia de éstos para la construcción del modelo. Para construir este modelo se utilizan los mapas binarios, los cuales se multiplican cada uno por su factor de importancia previamente asignado. El criterio para otorgar los pesos o valores de importancia se relaciona con la importancia relativa de cada atributo y la factibilidad.

Por otra parte el marco legal está constituido por una serie de leyes y reglamentos en materia de los Residuos Sólidos Urbanos municipales, existentes en nuestro

país, donde se detalla, qué estudios se deben realizar. La investigación se basó en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (LGPGIR), 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 Norma Oficial Mexicana nom-083-semarnat-2003, establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Con base en dicha norma se establecieron los criterios aplicados en esta investigación.

PROBLEMA

El municipio de Toluca comprende 47 delegaciones, 38 subdelegaciones y 280 unidades territoriales básicas. Hacia 2010 contaba con una población de 819,561 habitantes (INEGI, 2010). De acuerdo con datos del Ayuntamiento, en el municipio se generan unas 844 ton/día de residuos sólidos urbanos (RSU), 69% de los cuales son de origen doméstico. (SICA, 2013). Para la disposición final de dichos residuos el Ayuntamiento de Toluca no cuenta con un relleno sanitario propio y contrata los servicios de dos rellenos sanitarios: el de San Miguel Mimiapan en Xonacatlán y el relleno de Zinacantepec. Adicionalmente, parte de los RSU del municipio son vertidos en un tiradero a cielo abierto que no cuentan con las condiciones mínimas para la correcta disposición de los residuos. Esta situación está generando importantes problemas tanto económicos, como sociales y ambientales. Por un lado se incrementan los costos del gobierno municipal por la gestión de los residuos, por otro el transporte y disposición inadecuada de los residuos está afectando a la población regional. Finalmente, dadas las malas

condiciones de los sitios de disposición final, prevalecen serios problemas ambientales que afectan los recursos bióticos e hidrológicos de la región.

Una importante alternativa para hacer frente a estos problemas sería la construcción de un relleno sanitario cuya localización permita minimizar las externalidades negativas que este tipo de instalaciones conllevan. Se desconocen, sin embargo, cuáles son los sitios más adecuados en el Valle de Toluca que reúnen las condiciones que garanticen la protección a la población y al medio ambiente.

OBJETIVO

Identificar sitios adecuados para la disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el Valle de Toluca que garanticen la protección a la población y al medio ambiente y minimicen las externalidades negativas derivadas de la ubicación de este tipo de instalaciones no deseables.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar la generación de RSU en la región del Valle de Toluca con base en los reportes oficiales;
2. Identificar las posibles externalidades negativas a tomar en cuenta relacionadas con la disposición final de los residuos en términos de afectaciones al medio ambiente y de proximidad a la población y;
3. Definir un modelo de análisis espacial para identificar el nivel de adecuación del territorio para la construcción de un relleno sanitario en el Valle de Toluca.

JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la población en la zona metropolitana de Toluca, aunado al desarrollo de actividades productivas en la región, han propiciado el incremento en la generación de RSU. El transporte y disposición final de dichos residuos implica una serie de externalidades negativas que es preciso tomar en consideración al momento de elegir un sitio para su disposición final. Los residuos son aquellos materiales cuyo poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, contenidos en recipientes, y que pueden ser susceptibles de recibir tratamiento o disposición final en conformidad con lo que establece la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR,2001) La disposición final de los residuos sólidos tiene como objetivo preservarlos sanitariamente, desde el momento en que son generados hasta su recolección, facilitando con ello su manejo integral. El relleno sanitario posee un sistema delicado y complejo que puede presentar problemas en términos de control de lixiviados, pozos de extracción de gases etc. Esto podría generar impactos adversos a las localidades cercanas a este tipo de instalaciones.

Esta investigación busca generar diversos impactos: Para el ayuntamiento de Toluca puede ser una herramienta que le permita la toma de decisiones en materia de localización de sitios alternativos para la construcción de rellenos sanitarios; a nivel académico contribuye al desarrollo de técnicas geográficas, particularmente la implementación de modelos de localización-asignación y la aplicación de modernas tecnologías de gestión de información geográfica y; a nivel personal es parte fundamental de mi formación profesional y de mi desarrollo de competencias en materia de análisis geográfico territorial.

DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El valle de Toluca cuenta con 15 municipios (CONAPO, 2010). Durante más de veinte años, la zona sur de Toluca ha vivido un proceso acelerado de metropolización en torno a la ciudad de Toluca, que le da nombre al valle. La industrialización de la región ha marcado dicho proceso a partir de la década de los cincuenta y el crecimiento reciente del sector terciario en los años ochenta. La

conformación de la metrópoli de Toluca ha estado acompañada por múltiples miradas, que buscan interpretar su dinámica de crecimiento.

Tabla 1: Zona metropolitana de Toluca: Población, tasa de crecimiento y densidad media urbana, 1990-2010.

Clave	Municipio	Población			Tasa de crecimiento medio anual (%)		Superficie ¹ (km ²)	DMU ² (hab/ha)
		1990	2000	2010	1990-2000	2000-2010		
24.	Zona metropolitana de Toluca	1 110 492	1 540 452	1 936 126	3.3	2.2	2 203.2	64.8
15005	Almoloya de Juárez	84 147	110 591	147 653	2.8	2.8	480.2	45.4
15018	Calimaya	24 906	35 196	47 033	3.5	2.8	103.0	57.9
15027	Chapultepec	3 863	5 735	9 676	4.1	5.2	12.0	46.7
15051	Lerma	66 912	99 870	134 799	4.1	2.9	230.8	43.9
15054	Metepec	140 268	194 463	214 162	3.3	0.9	67.4	83.8
15055	Mexicaltzingo	7 248	9 225	11 712	2.5	2.3	11.3	57.7
15062	Ocoyoacac	37 395	49 643	61 805	2.9	2.1	139.3	59.9
15067	Otzolotepec	40 407	57 583	78 146	3.6	3.0	112.3	28.0
15072	Rayón	7 026	9 024	12 748	2.6	3.4	23.0	62.3
15073	San Antonio la Isla	7 321	10 321	22 152	3.5	7.7	25.3	81.3
15076	San Mateo Atenco	41 926	59 647	72 579	3.6	1.9	18.9	49.6
15087	Temoaya	49 427	69 306	90 010	3.5	2.6	188.1	33.5
15106	Toluca	487 612	666 596	819 561	3.2	2.0	428.1	72.3
15115	Xonacatlán	28 837	41 402	46 331	3.7	1.1	53.5	43.3
15118	Zinacantepec	83 197	121 850	167 759	3.9	3.1	310.0	47.9

Fuente: (CONAPO, 2010)

El Valle de Toluca está rodeado por la Sierra de las Cruces, que separa a los Valles de Toluca y México, y se asienta en la región identificada como Curso alto de la Cuenca del Río Lerma.

El territorio estatal y por consiguiente la ZMVT, se encuentra en la zona de influencia de los vientos alisios, que soplan con mayor intensidad en primavera y verano. Estos flujos tienen una dirección predominante del este y noreste pero en otoño e invierno se debilitan predominando vientos provenientes del sur (CONAPO, 2010). La Sierra de las Cruces y la Sierra Nevada ambas con orientación norte-sur, impiden que los alisios penetren con facilidad hacia los valles; por su parte el volcán Xinatécatl (Nevado de Toluca) obstaculiza considerablemente a los vientos que llegan por el sur, desviando su curso y

haciendo que penetren al Valle por el sureste y suroeste. En la generación de residuos dolidos se encuentran de la siguiente manera;

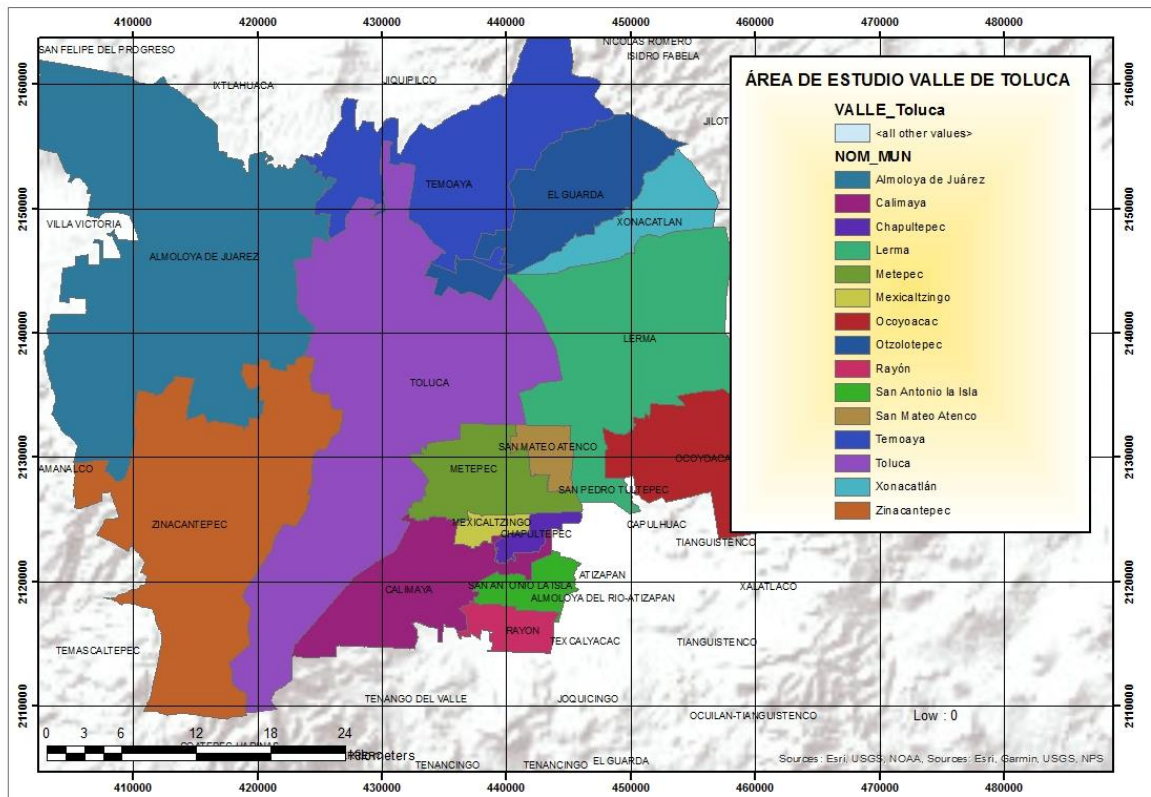
Tabla 2: Cantidad de residuos generados por municipio

Municipio	Promedio diario de RSU x Toneladas
Toluca	600,000
Zinacantepec	90,000
Chapultepec	45,000
Ocoyoacac	45,000
San Mateo Atenco	45,000
Almoloya de Juárez	37,000
Xonacatlán	33,000
Metepec	30,000
Otzolotepec	30,000
Lerma	20,000
San Antonio la Isla	15,000
Rayón	11,000
Calimaya	10,000
Mexicaltzingo	7,000

Fuente: (INEGI, 2010)

Lo que nos muestra la tabla es que Toluca es el municipio que genera más RSU por justicia social correspondería que su territorio sea el adecuado para emplazar un sitio de disposición final, sin embargo es imposible por varias restricciones.

Figura 1: Región del valle de Toluca



En el mapa se muestran los municipios que comprenden la Región del Valle de Toluca. De acuerdo con la tabla 2 los municipios que generan la mayor parte de los RSU son Toluca y Zinacantepec. Estos municipios, sin embargo, resultan poco apropiados para el emplazamiento de una instalación para su disposición final.

En la región en la que se asienta la ZMVT se encuentran ubicadas 7 áreas naturales protegidas, cuya superficie comprende parte de las circunscripciones territoriales de los municipios que integran la ZMVT. Parque Estatal Otomí-Mexica (105.875 ha), Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (51,000 ha), Área de Protección de Flora y Fauna Ciénegas de Lerma, Parque Estatal Sierra Morelos (1,255 ha), Parque Nacional Miguel Hidalgo (1,760 ha), Parque Estatal San José de la Pila (102 ha) y Parque Municipal El Calvario (21 ha). Aunque estas áreas naturales protegidas no están integradas a la zona urbana, constituyen un aporte de oxígeno, así como del control de los procesos erosivos de las áreas que rodean a la ZMVT.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y DE REFERENCIA

1.1 Antecedentes

La disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) constituye un importante problema ambiental, social y económico de los grandes conglomerados humanos. Dicho problema se ha intentado resolver de diversas maneras. Se han implementado programas para reducir la generación de los residuos mediante la educación ambiental bajo la fórmula de las tres “R” (Reducir-Reutilizar-Reciclar) y se han promovido esquemas de empaque y embalaje de las mercancías que sean más amigables con el medio ambiente (Pero la implementación de estos esquemas se ha visto limitada por los altos costos. La incineración y el tratamiento químico, por su parte, son tecnologías tan costosas que encuentran poca aplicabilidad en México. La disposición final sigue siendo, hoy por hoy, el método más utilizado para afrontar el problema de acumulación de grandes volúmenes de residuos. Los rellenos sanitarios cumplen un papel fundamental ya que presentan un bajo costo relativo. La localización territorial de este tipo de instalaciones, sin embargo, representa un serio problema socio-ambiental (García, 2003).

En el municipio de Toluca la disposición final de RSU es un problema de naturaleza ambiental que tiene serias repercusiones políticas, sociales y económicas. A la contaminación de los mantos acuíferos y el entorno natural, la propagación de fauna nociva y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, se suman problemas de ineficiencia y altos costos de recolección, transporte y separación de los residuos.

En sus orígenes coloniales Toluca era un corregimiento con 25 pueblos ubicados en dirección de los cuatro puntos cardinales en torno a la ciudad y ya presentaba problemas de insalubridad y basura. Lo cotidiano era lidiar con los olores y desechos dejados por las actividades productivas de algunos vecinos. Esto motivó diversas quejas que llegaron incluso al ámbito legal, dejando constancia de ello en un gran número de documentos en la sección Histórica del Archivo de Notarías del Estado de México (García, 2003).

La localización de sitios óptimos para la disposición final de los residuos sólidos urbanos ha sido tema de análisis por diversos especialistas en todo el mundo. Destaca el *Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental* donde se discutió ampliamente la necesidad de buscar estrategias que minimicen los impactos medioambientales y sanitarios (García, 2002). En el año 2000 el ingeniero Iván López escribió: “El objetivo fundamental que se persigue en un proceso de localización de un emprendimiento es lograr la mejor adecuación entre el espacio físico y la actividad que se va a desarrollar, de forma de minimizar los costos económicos, ambientales, sanitarios y sociales que ésta trae aparejados y cumpliendo a su vez los requerimientos legales existentes” (López *et al.*, 2000). El citado autor establece que el uso de modelos basados en la jerarquización de los distintos factores dependerá de la complejidad del caso a estudiar y la profundidad con que se desee llegar en el análisis. El modelo estará limitado por la cantidad de información disponible y el tiempo que se dedique a los estudios.

A la fecha, en el municipio de Toluca se generan cerca de 850 ton/día de RSU, de las cuales el 69 % son de origen doméstico, con una generación per cápita de 0.72 kg/hab/día (SICA, 2013). Para determinar las características cuantitativas y cualitativas de los RSU de origen domiciliario, la Administración Municipal 2013-2015 contrató los servicios de la empresa Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental, S.A de C.V, que realizó los análisis correspondientes en una muestra representativa de 169 elementos (casas-habitación), en la zona urbana, barrios periféricos y colonias de reciente creación (en la Zona Norte de la ciudad); además de las propias colonias y barrios de la Zona Sur donde se realizó el estudio de generación en el año de 1985. Con los estudios de generación de 1985 y 2014 se determinó que ha habido un incremento de aproximadamente 250 gramos (persona/día) en un periodo de 30 años (8 gr. por año) (HAT, 2014). Esta misma tendencia, se confirma al comparar los valores promedio de la generación per cápita obtenida en las diferentes zonas seleccionadas, en donde se observa un incremento importante que va del 39% al 52%, derivado sin duda alguna, del cambio en los hábitos de consumo impuestos por el modelo económico que se ha implantado en los últimos 20 años.

En la actualidad el Ayuntamiento de Toluca deposita los RSU en tres rellenos sanitarios

Zinacantepec. El relleno sanitario de Zinacantepec, se ubica a 12.7 kilómetros en línea recta y en dirección norponiente del centro de la Ciudad de Toluca, a 8.9 kilómetros de la Laguna de Ojuelos, sobre la Autopista No. 15 que enlaza las ciudades de Toluca y Morelia. Ocupa una superficie de 60 hectáreas y opera como relleno sanitario desde el año 2007 (HAT, 2014).

San Antonio la Isla. El relleno sanitario de San Antonio la Isla, se ubica a 15 kilómetros en línea recta y en dirección sur del centro de la Ciudad de Toluca. Ocupa una superficie de 10.5 hectáreas. Opera desde el año 2006. Se estima que en este sitio se han confinado alrededor de más de 1 millón de toneladas de basura. Recibe en promedio 850 toneladas de basura diariamente, de las cuales el 40 % proviene del municipio de Toluca, mientras que el 60 % restante, corresponde a otros 10 municipios del Valle de Toluca (HAT, 2014).

Vertedero de San Miguel Mimiapan, Xonacatlán.

El relleno sanitario de San Miguel Mimiapan, se ubica a 26.3 kilómetros en línea recta y en dirección noreste del centro de la Ciudad de Toluca. Ocupa una superficie de 25 hectáreas. Opera desde el año 2007. Recibe en promedio 600 toneladas de basura diariamente, de las cuales el 16% proviene del municipio de Toluca, mientras que el 84 % restante, corresponde a otros 9 municipios del Valle de Toluca y Zona Metropolitana del D.F. (HAT, 2014).

Si bien el municipio de Toluca enfrenta una importante problemática para gestionar los RSU, esta situación resulta aún más alarmante para el resto del Estado de México. La mayoría de los lugares destinados para la disposición final de los residuos sólidos no cumple con la normatividad vigente. Dada la tendencia a la conformación de grandes conglomerados urbanos, prevalece la idea de sumar esfuerzos entre gobiernos Estatal y Municipales para la creación de rellenos sanitarios regionales (HAT, 2014).

Aunque en el período 1980-1990 la tasa promedio de crecimiento del Estado de México fue de 2.7%, en el período 1970-1990 alcanzó una tasa anual de

crecimiento demográfico de 4.8%, casi el doble de la nacional, que fue de 2.6%. En estas cifras, el fenómeno migratorio está presente. Al iniciarse la década de los noventas, cerca del 40% de la población había nacido en otras entidades del país, principalmente en Michoacán, Guanajuato, Puebla e Hidalgo. El Distrito Federal aportaba los mayores flujos poblacionales, ya que un número importante de personas se ubicaba en la zona conurbada con la ciudad capital. Se estima que alrededor del 70% de la población de la entidad se concentraba en 27 municipios de la franja de conurbación con el Distrito Federal; asimismo, alrededor del 8.4% se ubicaba en cinco municipios del valle de Toluca-Lerma; y el 21.6%, se dispersaba en los 89 municipios restantes. Estos datos indican un fuerte proceso de concentración socioeconómica y de urbanización. En localidades mayores de 2,500 habitantes, es decir, consideradas de nivel urbano, vivía el 84% de la población (Pérez, 2004).

Entre los diversos enfoques para estudiar el problema de la disposición final de los RSU destacan:

Propuesta de optimización técnica de rellenos sanitarios, un acercamiento metodológico.

Aguirre *et al.* (2006) realizaron un estudio con la finalidad de sistematizar las decisiones económico-técnicas para la gestión de un relleno sanitario, desde la identificación de los requerimientos para su correcta localización hasta el análisis de los aspectos inherentes a su operación y eventual cierre. Dicha publicación establece las acciones básicas para optimizar la operación del relleno y plantea un modelo de análisis que permite definir las alternativas tecnológicas para su operación durante el periodo de vida útil del mismo. "...El objetivo es identificar las variables de decisión que influyen directamente en el costo del relleno sanitario, logrando establecer, en la medida que sea posible, una relación entre estas variables y los costos asociados para optimizar el proyecto mediante la minimización de sus costos"

Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental.

Colomer *et al.* (2013) proponen otra forma de enfocar el estudio de la localización de los rellenos sanitarios mediante el análisis del impacto ambiental que estos generan. El depósito de residuos en rellenos sanitarios es la última opción en la jerarquía de gestión de residuos que marca la Unión Europea en sus programas de acción. Sin embargo, es el destino final de más del 50% de los residuos que se generan en España. En la citada publicación se analizan, en primer lugar, 14 declaraciones de impacto ambiental de proyectos de rellenos sanitarios españoles y se dilucidan los factores ambientales que se consideran para permitir su ejecución. Entre ellos se destaca el uso del suelo, la hidrología, las emisiones de gases y la proximidad a poblaciones. En segundo lugar, se realizó un inventario de los rellenos sanitarios españoles y se estudió el efecto en cada uno de ellos en relación con los citados factores ambientales. Así mismo, se buscaron correlaciones entre las emisiones de los rellenos sanitarios de cada una de las comunidades autónomas y factores como la geografía, el clima y la densidad de población. Por último, se contrastó la información con las directrices sobre vertederos que marca la normativa de la Unión Europea, la española y la de la EPA (Environmental Protection Agency) de EE.UU. analizando el grado de cumplimiento.

Modelos de localización- asignación y evaluación multicriterio para la localización no deseables

Bosque y Franco (1995) abordan el problema de la localización de los rellenos sanitarios desde la perspectiva a la aplicación de modelos de localización-asignación de instalaciones no deseables. Eso los llevó a analizar diversos modelos de localización óptima: maxisum, maximin y “complementario-anticobertura”. De esa manera desarrollan un procedimiento por etapas que incluye el problema del transporte de los residuos y que busca una solución adecuada a este problema, utilizando técnicas de evaluación multicriterio. Los criterios están medidos a la luz de la justicia y la eficiencia espacial, tanto en

relación con los generadores de los residuos como de aquellos que sufren las externalidades negativas por su transporte y disposición final.

1.2 Conceptualización

Se entiende por Residuos Sólidos Urbanos (RSU), a los desechos generados en la comunidad urbana, provenientes de los procesos de consumo y desarrollo de las actividades humanas, y que normalmente son sólidos a temperatura ambiente. Además de los producidos por los usos residenciales, comerciales e institucionales, y por el aseo del espacio público. Los RSU incluyen los residuos originados en las industrias y establecimientos de salud, siempre que no tengan características tóxicas o peligrosas, en cuyo caso se consideran residuos peligrosos sujetos a normativas específicas. (GIRSU, 2003)

Composición. Los residuos sólidos en el contexto nacional, ocupan un lugar destacado como elementos de contaminación, siendo ordenados hasta ahora del más al menos importante, de acuerdo con el listado que se presenta a continuación: Los residuos sólidos son la causa, en gran medida por su deficiente manejo, de la contaminación del agua, aire y el suelo; siendo causantes, también, de grandes incendios en los basureros a cielo abierto, afectando al medio ambiente con un enorme deterioro al mismo.

Residuos

1° Alimentos

2° Otros (hueso, hule, trapo, etc.).

3° Papel y cartón

4° Jardinería

5° Vidrio

6° Plástico

7° Metales

8° Textiles

(PPC, 2015)

Relleno Sanitario: Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el

suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población (Jaramillo, 1991).

Existen 3 tipos de relleno sanitario

- Relleno sanitario mecanizado, es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc.
- Relleno sanitario semimecanizado, cuando la población genera o debe disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de RSU, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno.
- Relleno sanitario manual, que es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y tipo de residuos que producen –menos de 15 t/día–, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento (Jaramillo, 1991).

Vertedero: Un vertedero es una forma de disposición final de los residuos sólidos, que se caracteriza por la simple descarga (vertido) de los residuos sobre el terreno, sin medidas de protección para el medio ambiente o la salud pública. Es lo mismo que la descarga de residuos a cielo abierto (CEPRE, 1997).

Sitio de disposición final: Lugar donde se depositan los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en forma definitiva (SEDEMA, 2012).

Estación de transferencia de residuos sólidos municipales, se define como el conjunto de equipos e instalaciones donde se lleva a cabo el transbordo de dichos residuos, de los vehículos recolectores a vehículos de carga en gran tonelaje, para transportarlos hasta los sitios de destino final (INECC, 1996).

Lixiviado: Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos 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 (INECC, 1996).

Suelo: Material o cuerpo natural compuesto por partículas sueltas no consolidadas de diferentes tamaños y de un espesor que varía de unos centímetros a unos cuantos metros, el cual está conformado por fases sólida, líquida y gaseosa, así como por elementos y compuestos de tipo orgánico e inorgánico, con una composición variable en el tiempo y en el espacio (INECC, 1996).

Subsuelo: Medio natural que subyace al suelo, que por su nulo o escaso intemperismo, presenta características muy semejantes a las de la roca madre que le dio origen (INECC, 1996).

Sistema de flujo: Dirección de flujo que sigue el agua subterránea, considerando las zonas de recarga y descarga, las cargas y gradientes hidráulicos a profundidad y el efecto de fronteras hidráulicas. Incluye, además la interacción con el agua superficial y comprende sistemas locales, intermedios y regionales (SEDEMA, 2012).

Manejo y métodos para el tratamiento de residuos sólidos urbanos

Centro de Valorización: Lugar al que llegan los Residuos Sólidos y se clasifican para reincorporarlos en el sistema de producción reciclándolos, y dándoles un valor (valorización), es desde el punto de vista medioambiental la mejor alternativa Posible. Un Centro de Valorización nos permite clasificar distintos tipos de residuos y obtener un elevado porcentaje de recuperación. Entre los subproductos a recuperar están: madera, cartón, papel, multi laminado, vidrio, plástico y metales válidos para su reutilización y aprovechamiento. A través de dos líneas de selección se da salida a una serie de residuos que dejan de serlo y se convierten

en materiales reutilizables para otras actividades, fomentando así, su la valorización.

Así, esos residuos susceptibles de provocar contaminación por su contenido, quedan neutralizados y se evita que sean depositados en rellenos Sanitarios, disminuyendo con ello la necesidad de espacio de los mismos.

Minimizar estos residuos reciclados, tiene los siguientes beneficios:

- Se reduce el número de residuos que se llevan a los vertederos de seguridad, alargando la vida útil de estos.
- Se reduce el consumo de materias primas, al aprovechar los materiales de los antiguos residuos.
- Las ventajas económicas que tienen la fabricación de productos de calidad realizados con materiales reciclados, tanto para el fabricante como para el consumidor final.

Barrido Mecánico: En el caso del barrido mecánico sólo el 9.8% de los municipios lo realizaban en el 2000. Este servicio en promedio se lleva a cabo en el turno de la mañana, durante 365 días al año. Para ese año el promedio de quejas por parte de la ciudadanía fue de 1 queja /mes. La plantilla total en este servicio primario es al menos de 33 empleados y 31 barredoras, de las cuales sólo operaban 12; sin embargo, debido a dificultades en el servicio, esta información tiene una gran variación. Se estima que por lo menos se barren mecánicamente 256 kilómetros de las vías principales diariamente en todo el Estado de México. (LGPGIR, 2001).

Resultados del Estudio de Generación de Residuos Sólidos realizado en 1985 en

Toluca

Estrato socio económico	Generación per cápita (Kg/hab/día)	Desviación Estándar (Kg/hab/día)	Nivel de Confianza (%)	Número de elementos analizados
Alto	0.568	0.29	90	57
Medio	0.418	0.21	98	60
Bajo	0.419	0.29	90	59

Fuente: (HAT, 2014)

Del análisis de la información que se concentra en el cuadro anterior, resultan los siguientes comentarios:

- La variación de la generación per-cápita de residuos sólidos, entre el menor valor y el más alto, es de 0.150 Kg/Hab/Día (0.568 – 0.418).
- La desviación estándar varía de 0.21 a 0.29 Kg/Hab/Día.
- El nivel de confianza en todos los casos, fue al menos del 90%.

En los tres muestreos, el número de elementos analizados fue al menos de 57.

Las externalidades en relación a la localización de los RSU (negativas y positivas)

- **Eficiencia Espacial.** Este principio se refiere al volumen global de desplazamientos que el conjunto de la demanda debe efectuar para utilizar

las instalaciones, pero en este contexto se entendería como la búsqueda de localizaciones que, resultando beneficiosas de manera general, perjudiquen lo menos posible a las poblaciones de sus alrededores. La Eficiencia Espacial se estima mediante la suma de distancias entre la oferta y la demanda (Bosque *et al.*, 2002).

- **Justicia Espacial.** Si bien hace referencia al grado de igualdad en la distribución de los servicios que presta cada instalación entre la población, lo que subyace en este contexto es la idea de que no deben existir concentraciones excesivas de las instalaciones no deseables en una zona de la región de estudio (Bosque *et al.*, 2002).

Los modelos de localización asignación de rellenos sanitarios (instalaciones no deseables)

- **Modelo MaxiSum, o anti-mediano:** la solución que encuentra maximiza la distancia, ponderada por la población, entre las instalaciones y los lugares poblados. Una variante de este modelo es el p-maxisum-sum o p-defense que maximiza la dispersión promedio entre instalaciones. Este modelo más complejo genera una solución distribuida hacia la periferia de la región considerada y tiene la ventaja de considerar todas las distancias y no únicamente las distancias mínimas como el modelo siguiente (Bosque *et al.*, 2006).
- **Modelo MaxiMin:** la solución que obtiene maximiza la distancia mínima entre cualquier centro poblado (ponderada o no por la población residente) y la o las instalaciones no deseables más próximas. Este problema conocido como p-anti-center, puede considerarse como la versión maximin del problema p-center en los modelos utilizados para la localización de instalaciones deseables. Una segunda variante de este modelo denominado p-disperse se resuelve a partir de la maximización de las distancias mínimas de entre cada par de puntos del conjunto de posibles instalaciones, lo que permite una distribución más regular en la disposición

final de las instalaciones y, por tanto, de mayor justicia espacial (Bosque *et al.*, 2006).

- **complementario-anticobertura:** minimiza la población residente, y por tanto potencialmente afectada, dentro de una distancia determinada en torno a cada instalación. Para ello es preciso establecer un radio de cobertura, que indicaría el área donde las molestias y perjuicios que provoca la instalación son graves (Bosque *et al.*, 2006).

La evaluación multicriterio para la determinación del nivel de adecuación

- La evaluación multicriterio (y multiobjetivo) es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones (Barredo, 1996).
- La toma de decisiones multicriterio debe ser entendida como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios (Barredo, 1996).

Análisis multicriterio

Los métodos de evaluación y decisión multicriterio comprenden la selección entre un conjunto de alternativas factibles, la optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un agente decisor y procedimientos de evaluación racionales y consistentes. Son especialmente utilizadas para tomar decisiones frente a problemas que cobijan aspectos intangibles a evaluar. Sus principios se derivan de la Teoría de Matrices, Teoría de las Decisiones Colectivas. Los métodos de evaluación y decisión multicriterio no consideran la posibilidad de encontrar una solución óptima. En función de las preferencias del agente decisor y de objetivos. (Barredo, 1996).

Justicia espacial en la localización de instalaciones no-deseables se mide, básicamente, por el grado en que la población de una región determinada comparte los riesgos y molestias que dichas instalaciones representan (Bosque, 2002).

La dimensión ambiental. En el caso de la gestión de RSU es importante considerar los aspectos relacionados con la protección ambiental. Principalmente con la afectación de los recursos hidrológicos superficiales y subterráneos.

Protección Acuíferos Gradientes superior y descendente hidráulico. Variaciones naturales del flujo del acuífero. Variaciones estacionales del flujo del acuífero. Calidad del agua antes y después del establecimiento del sitio de disposición final. La calidad de referencia estará definida por las características del agua nativa

Cuestión Económica. El acopio, transporte y disposición final de los RSU implica costos que, a fin de cuentas, son transferidos a la población. En este contexto se hace relevante la **Eficiencia espacial**. Esta depende de dos tipos de distancias: la que separa las instalaciones de disposición final de los productores de residuos, que los deben transportar hasta allí y que, evidentemente, estarán interesados en que los costes de transportes sean reducidos y por otra parte a distancia que separa las instalaciones de la población, que, tal como ya se ha indicado, desearía estar cuanto más lejos mejor. Buscar localizaciones que minimicen la población expuesta, o que salvaguarden valores naturales y/o culturales, es difícil si se han de supeditar a criterios de rentabilidad, accesibilidad, etc. (Bosque, 2002).

Matriz de comparación por pares de Criterios

La matriz de comparación por pares es una herramienta de la evaluación multicriterio que se utiliza de dos maneras: Para asignar valores a una determinada variable en función de su grado de importancia y; para jerarquizar las variables o criterios dependiendo de su grado de incidencia en el fenómeno considerado. Para ello deberá utilizarse la escala de Saaty. En su elaboración se debe tomar en cuenta el peso de las variables (Económicas, Ambientales y Sociales). Para ello se elabora una matriz de comparación. Primero, se suman por

columnas para así dividir cada valor entre la suma de su correspondiente columna, para después sumar los nuevos valores por filas y promediar estas sumas, es decir, dividimos la suma de cada fila entre el número de criterios comparados en la matriz (Barredo, 1996).

Modelo de lógica booleana (LB)-

En el modelo de lógica booleana todos los mapas binarios tienen asignados pesos iguales, es decir, que todos los atributos se consideran de igual importancia para la delimitación de las áreas óptimas para la construcción de los rellenos sanitarios (Delgado, 2005).

Modelo de mapas de evidencia binaria (EB)

Este modelo se basa en un índice de sobreposición para asignar valores diferentes a cada uno de los atributos con base en la importancia de éstos para la construcción del modelo. Para construir este modelo se utilizan los mapas binarios, los cuales se multiplican cada uno por su factor de importancia previamente asignado. El criterio para otorgar los pesos o valores de importancia se relaciona con la importancia relativa de cada atributo y la factibilidad (Delgado, 2005).

Análisis espacial mediante SIG.

Todo el proceso se realiza en un entorno SIG (Sistema de Información Geográfica) como herramienta básica con posibilidades múltiples en técnicas e instrumentos para trabajar con bases de datos espaciales y temáticas asociadas esto nos permitirá la elaboración de la cartografía en la representación de las distintas variables temáticas y su análisis visual y estadístico (Bosque, 1995).

Modelos maximin para la localización

Busca determinar la ubicación óptima del relleno, mediante maximizar la distancia mínima entre cada lugar de residencia de la población y la instalación No deseable

más próxima Encontrar uno o varios puntos en una región, de tal manera que se maximicen las distancias mínimas, entre más lejos este es mejor (Bosque, 1995).

Modelos maxsum para la localización

Mediante el cálculo de la máxima distancia total, mínima o promedio, entre un conjunto de sitios alternativos y el conjunto de centros de población, es decir, la suma de las distancias y la máxima suma es el sitio óptimo (Bosque, 1995).

1.3 Marco legal

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.

El marco legal bajo el cual sustenta el manejo de residuos sólidos incluye leyes y reglamentos y normas de los 3 órdenes de gobierno, los cuales tiene como objetivo prevenir y controlar los efectos que ocasionan su generación.

Tabla 3: Marco Jurídico

Ordenamiento	Descripción
Constitución política de los Estado Unidos Mexicanos	Artículo 115
Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente	Artículos 7 y 137
Código administrativo del estado	Artículos 4.65 y 4.73
Reglamento del libro cuarto del código administrativo	Artículos 2, 5, 6, 107, 108, 109, 110, 112, 122, 123, 124 y 127
Bando de política municipal de los 15 municipios	
Ley general para la Prevención y	La prevención y minimización en; la

Gestión Integral de los Residuos	generación de los residuos, de liberación al ambiente
NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.	

Fuente: (HAT, 2014).

Artículo 115 Las legislaturas estatales emitirán las normas que establezcan los procedimientos mediante los cuales se resolverán los conflictos que se presenten entre los municipios y el gobierno del estado, o entre aquéllos, con motivo de los actos derivados de los incisos c) y d) siguientes:

III. Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

- a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales;
- b) Alumbrado público;
- c) Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos;
- d) Mercados y centrales de abasto;
- e) Panteones;
- f) Rastro;

g) Calles, parques y jardines y su equipamiento;

h) Seguridad pública, en los términos del artículo 21 de esta Constitución, policía preventiva municipal y tránsito;

i) Los demás que las Legislaturas locales determinen según las condiciones territoriales y socioeconómicas de los Municipios, así como su capacidad administrativa y financiera. Sin perjuicio de su competencia constitucional, en el desempeño de las funciones o la prestación de los servicios a su cargo, los municipios observarán lo dispuesto por las leyes federales y estatales. Los Municipios, previo acuerdo entre sus ayuntamientos, podrán coordinarse y asociarse para la más eficaz prestación de los servicios públicos o el mejor ejercicio de las funciones que les correspondan. En este caso y tratándose de la asociación de municipios de dos o más Estados, deberán contar con la aprobación de las legislaturas de los Estados respectivas. Así mismo cuando a juicio del ayuntamiento respectivo sea necesario, podrán celebrar convenios con el Estado para que éste, de manera directa o a través del organismo correspondiente, se haga cargo en forma temporal de algunos de ellos, o bien se presten o ejerzan coordinadamente por el Estado y el propio municipio; Las comunidades indígenas, dentro del ámbito municipal, podrán coordinarse y asociarse en los términos y para los efectos que prevenga la ley (HAT, 2014).

En el contexto legal mexicano es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) el instrumento jurídico más importante que regula la disposición final de los RSU. Dicha ley considera cuatro instrumentos básicos de política pública en los aspectos de prevención y gestión integral de los residuos:

1. Programas para la prevención y gestión integral de los residuos;
2. Planes de manejo;
3. Participación social y;
4. Derecho a la información.

La LGPGIR tiene como objetivo garantizar el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, valoración y gestión integral de los residuos sólidos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial (LGPGIR, 2001).

Las facultades de los municipios, de acuerdo a la LGPGIR son: emitir reglamentos y demás disposiciones jurídico-administrativas de observancia general dentro de sus jurisdicciones respectivas; controlar los RSU y efectuar el cobro del servicio público de manejo integral de RSU, así como otorgar las autorizaciones y concesiones para el manejo integral de los mismos. La ley expresa que los RSU podrán sub clasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria. Del mismo modo los residuos de manejo especial (RME) como los residuos de servicios de salud, los residuos de la construcción y demolición, entre otros, los habrá de determinar la SEMARNAT con objeto de facilitar su gestión integral (LGPGIR, 2001).

Otro instrumento de gestión territorial de los RSU es el Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT). Se trata de un instrumento de política pública sustentado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección Ambiental (LGEEPA) y en su Reglamento en materia de Ordenamiento Ecológico. Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y tiene como propósito vincular las acciones y programas de la Administración Pública Federal que deberán observar la variable ambiental en términos de la Ley de Planeación.

Al Gobierno Federal, a través de la SEMARNAT, le corresponde establecer las bases para que las dependencias y entidades de la APF formulen e instrumenten sus programas sectoriales con base en la aptitud territorial, las tendencias de deterioro de los recursos naturales, los servicios ambientales, los riesgos ocasionados por peligros naturales y la conservación del patrimonio natural. Todo ello, tiene que ser analizado y visualizado como un sistema, en el cual se reconozca que la acción humana tiene que estar armonizada con los procesos naturales (SEMARNAT, 2006).

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, de 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. (LGPGIR, 2001).

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, 2015).

Tabla 4: Especificaciones relacionadas con la prevención y control de la contaminación del suelo.

Artículo	Fracción	Concepto
134	II,III y V	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar los residuos ya que constituyen la principal fuente de contaminación del suelo • Prevenir y reducir la generación de residuos sólidos municipales e incorporar técnicas para el re-uso y reciclaje.
135	II	<ul style="list-style-type: none"> • Operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios
136	I, II y III	<ul style="list-style-type: none"> • 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.
137		<ul style="list-style-type: none"> • 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
142		<ul style="list-style-type: none"> • No podrán autorizarse la importación de residuos para el confinamiento, almacenamiento o disposición final en el territorio nacional

NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción,

operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

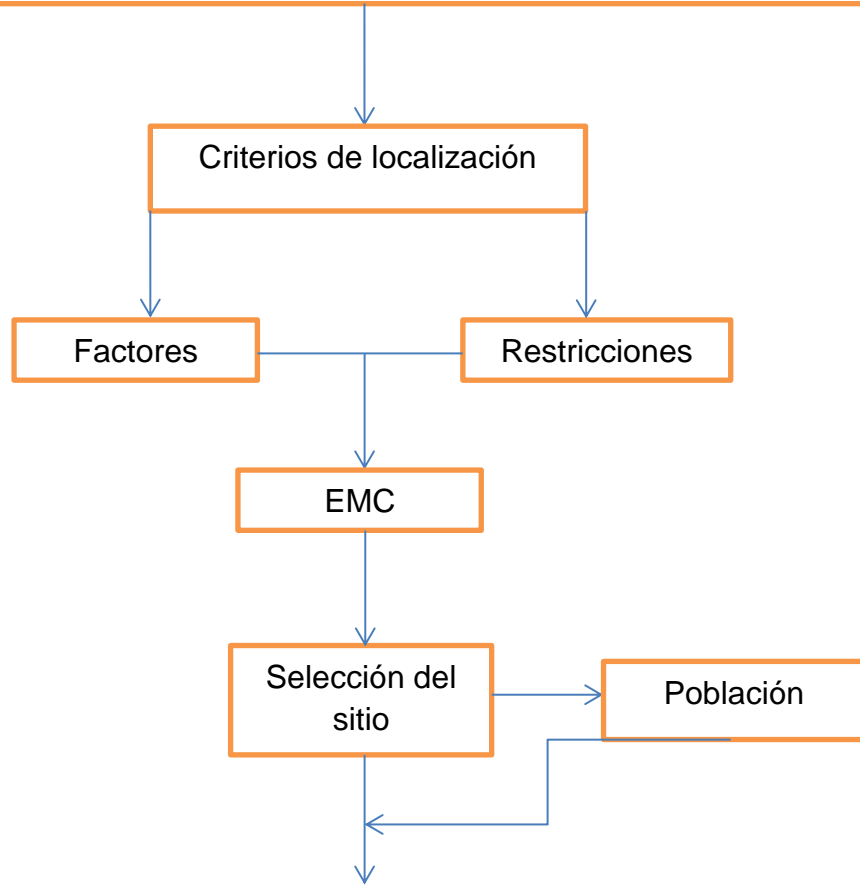
El crecimiento demográfico, la modificación de las actividades productivas y el incremento en la demanda de los servicios, han rebasado la capacidad del ambiente para asimilar la cantidad de residuos que genera la sociedad; por lo que es necesario contar con sistemas de manejo integral de residuos adecuados con la realidad de cada localidad. Por tal motivo y como parte de la política ambiental que promueve el Gobierno Federal, se pretende a través de la presente Norma Oficial Mexicana (NOM), la cual regula la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, que los sitios destinados a la ubicación de tal infraestructura, así como su diseño, construcción, operación, clausura, monitoreo y obras complementarias; se lleven a cabo de acuerdo a los lineamientos técnicos que garanticen la protección del ambiente, la preservación del equilibrio ecológico y de los recursos naturales, la minimización de los efectos contaminantes provocados por la inadecuada disposición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial y la protección de la salud pública en general. (SEMARNAT, 2012) Especificaciones para la selección del sitio

- Cuando un sitio de disposición final se pretenda ubicar a una distancia menor de 13 kilómetros del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario.
- No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el Plan de manejo de éstas.
- En localidades mayores de 2500 habitantes, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 m (quinientos metros) contados a partir del límite de la traza urbana existente contemplada en el plan de desarrollo urbano.
- 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.

- El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final (SEMARNAT, 2012).
- La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m (quinientos metros) como mínimo.
- La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 metros adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia al pozo no será menor de 500 metros.
- Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio.
- Estudio geológico (SEMARNAT, 2012).

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

Procedimiento para la identificación del nivel de adecuación para la localización de un relleno sanitario regional



Maximin
Simple

Maximin por
población

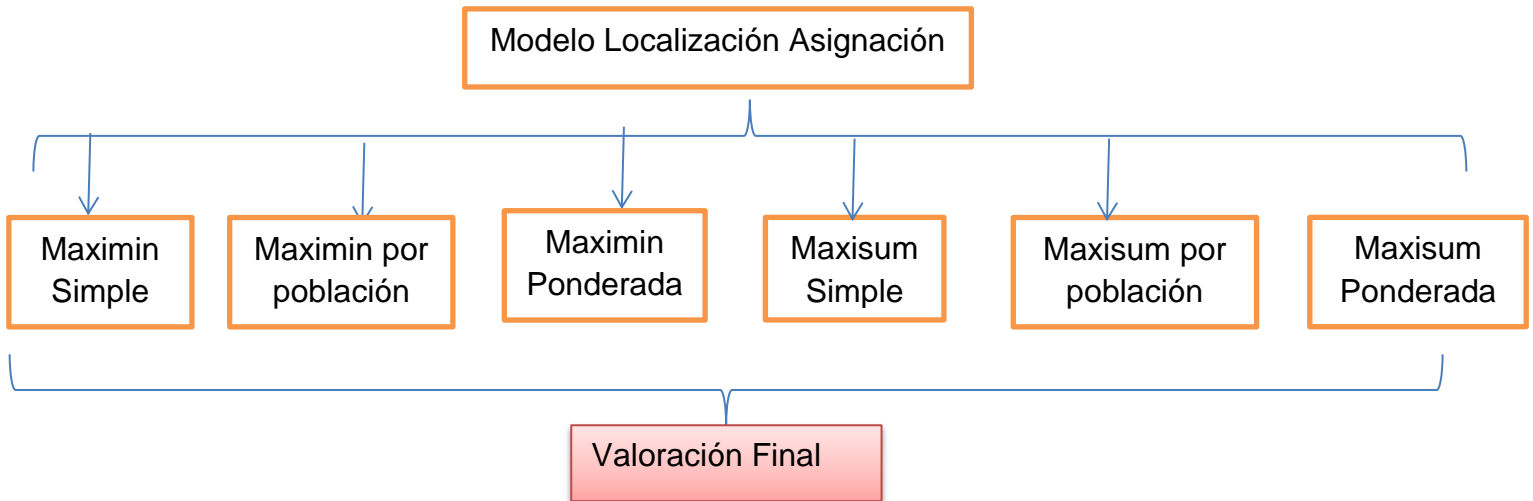
Maximin
Ponderada

Maxisum
Simple

Maxisum por
población

Maxisum
Ponderada

Valoración Final



2.1 Identificación de sitios candidatos

La identificación de sitios candidatos depende de lo establecido en la norma oficial mexicana (NOM-083-SEMARNAT-2003) e incluye otros criterios geográficos.

Tabla 5: Tabla de criterios

Criterios normativos	Criterios adicionales no contemplados en la norma
Proximidad a cuerpos de agua	Proximidad a vías de comunicación
Proximidad a escurrimientos	Proximidad de acueductos
Proximidad asentamientos humanos	
Proximidad Áreas Naturales Protegidas	
Proximidad a Fallas Geológicas	

2.1.1 Obtención de mapas de restricción

Se trata de criterios en los que en ciertas porciones del territorio existe un impedimento absoluto para la instalación de un RSU. Se expresan como

coberturas binarias (0 para donde no es posible la instalación y 1 donde si es permitido) (tabla 6).

Tabla 6: Especificaciones para las restricciones con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003

Tipo de Restricción	Especificaciones
Áreas Naturales Protegidas	No debe de ubicarse dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el Plan de Manejo de éstas.
Fallas Fracturas y Grietas	No debe de ubicarse en zonas de fallas activas, fracturas o en dado caso grietas.
Zonas de recarga (ríos Perennes e Intermitentes)	No debe de ubicarse en zonas de recarga.
Cuerpos de Agua	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

<p>Uso de Suelo</p>	<p>Deberá realizar para obtener los elementos de diseño necesarios y garantizar la protección del suelo, subsuelo, agua superficial y subterránea, la estabilidad de las obras civiles del sitio de disposición final a construirse, ocupación del suelo</p>
<p>Acueductos</p>	<p>El desarrollo de las comunidades y poblaciones rurales y su acceso al agua, ya sea para su consumo doméstico de quienes la habitan o para poder mantener sus propios cultivos para su subsistencia</p>
<p>Geología</p>	<p>Deberá determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su estratigrafía, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas geológicas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos perforados en la zona e informes realizados por alguna institución particular u oficial.</p>

Asentamientos Humanos	En localidades mayores de 2500 habitantes, el lindero del sitio de disposición final, debe estar a una distancia mínima de 500 m (quinientos metros), contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano, quedando restringido el cambio de uso de suelo en esta distancia, posterior a la instalación del sitio de disposición.
Carreteras	Análisis del sistema de flujo.
Pendiente	Estudio Topográfico Se debe realizar un estudio topográfico incluyendo planimetría y altimetría a detalle del sitio seleccionado para el sitio de disposición final.

2.2. Obtención de mapas de factores

Es entendido como un criterio que realza la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración. Se mide en una escala continua (0-100), lo que permite obtener niveles de adecuación. Se consideraron 3

criterios (uso del suelo, litología y tipo de suelo) y se recurrió a la consulta a expertos. Para ello:

- a) Se obtuvieron las categorías de la leyenda de los 3 mapas;
- b) Se identificaron los expertos a consultar;
- c) Se pidió a cada experto definir el valor de cada categoría, emitiendo la justificación correspondiente. Se consultó a 5 expertos con conocimiento en la gestión de RSU;
- d) Se obtuvo una valoración de cada categoría de la leyenda con base en los valores promedio asignados por todos los expertos;
- e) Se obtuvieron los mapas de criterios.

2.3 Análisis del territorio y obtención de alternativas de localización

2.3.1 Obtención del vector de pesos para los factores

Se construyó una matriz de comparación por pares considerando los tres factores de adecuación:

				Factor
	Geología	Edafología	Ocupacion de	Geología 0.59
Geología	1			
Edafología	1/2	1		Edafología 0.27
Ocupacion del	1/5	1/2	1	Ocupación del Suelo 0.12

2.3.2 Aplicación de la suma lineal ponderada en ambiente SIG

Se utilizó el módulo *image calculator* para aplicar la regla de decisión (suma ponderada de factores y multiplicación de restricciones):

ECUACIÓN

$$SC = [\text{Geología} * .59] + [\text{Edafología} * .21] + [\text{Ocupación del Suelo} * .12]$$

2.3.3 Identificación de zonas adecuadas

Se identificaron y extrajeron aquellos grupos de píxeles contiguos que representaban superficies mayores a 300 ha. De las cuales fueron 16 polígonos

2.4 Evaluación de sitios candidatos

Para efecto de evaluar el posible impacto de la construcción de un RSU se evaluaron los sitios candidatos respecto a su proximidad a la población. Se aplicaron los modelos Maximin y Maxisum, considerando las 7 localidades rurales y las 7 localidades urbanas más cercanas a cada sitio, y se consideraron 3 variantes para cada modelo:

- 1) Maximin simple. La máxima distancia mínima a la localidad (urbana o rural) más cercana.
- 2) Maximin x Población. El mínimo valor obtenido de multiplicar la máxima distancia mínima por la población de la localidad.

$$m_d = D * H$$

- 3) Maximin Ponderado. El mínimo valor obtenido de dividir la población de la localidad entre el cuadrado de la distancia que la separa del sitio candidato.

$$Mmp = \frac{H}{D^2}$$

- 4) Maxisum simple. La Suma de las 7 distancias mínimas

$$Mx = \sum_{i=1}^7 di$$

Maxisum x población. La suma de distancias a las siete localidades multiplicada por la distancia que las separa al sitio candidato.

$$Mxd = \sum_{i=1}^7 di * Hi$$

Maxisum ponderado. Calculo de la distancia total que separa a las los sitios de la población.

$$Mxp = \sum_{i=1}^7 \frac{Hi}{d2}$$

2.5 Normalización

Todos los criterios deben ser expresados en forma numérica, en una escala común y a maximizar. Para ello se aplica la ecuación de normalización:

$$Vi = \frac{ai - \text{Min } ai}{\text{Max } ai - \text{Min } ai} \times 100$$

CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Restricciones para la localización de un sitio para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos

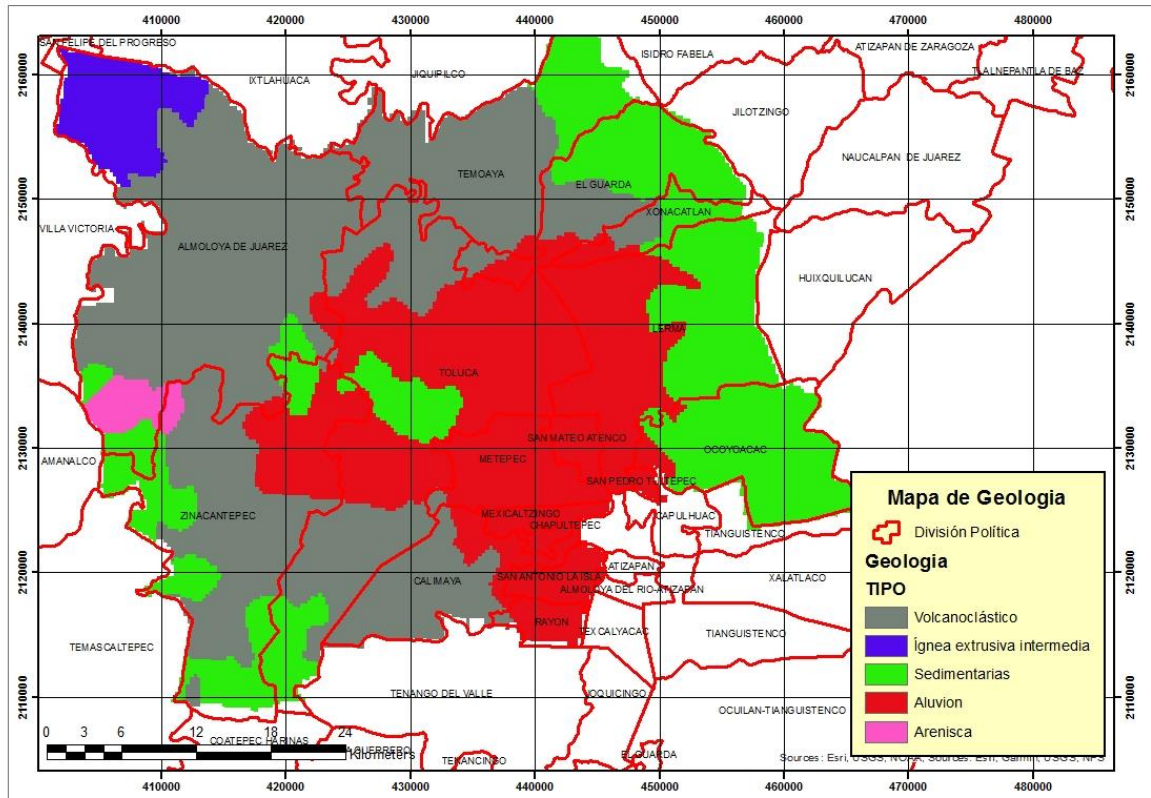
3.1.1 Geología

Para la obtención de este mapa se requirió de información geológica por subcuenca de la red hidrográfica Lerma – Santiago escala 1:50,000. Al igual que en otras coberturas subsecuentes, fue preciso re proyectar la cartografía a WGS 1984 Zona 14 norte. Esto permitió su estandarización dentro del sistema de información geográfica.

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 Nevado de Toluca.

El área de estudio se localiza dentro de una región caracterizada por la presencia de un gran acuífero y por la actividad volcánica. Existe una secuencia de rocas andesitas, basaltos, piroclásticos, 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 (Figura 2).

Figura 2: Geología



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

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

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

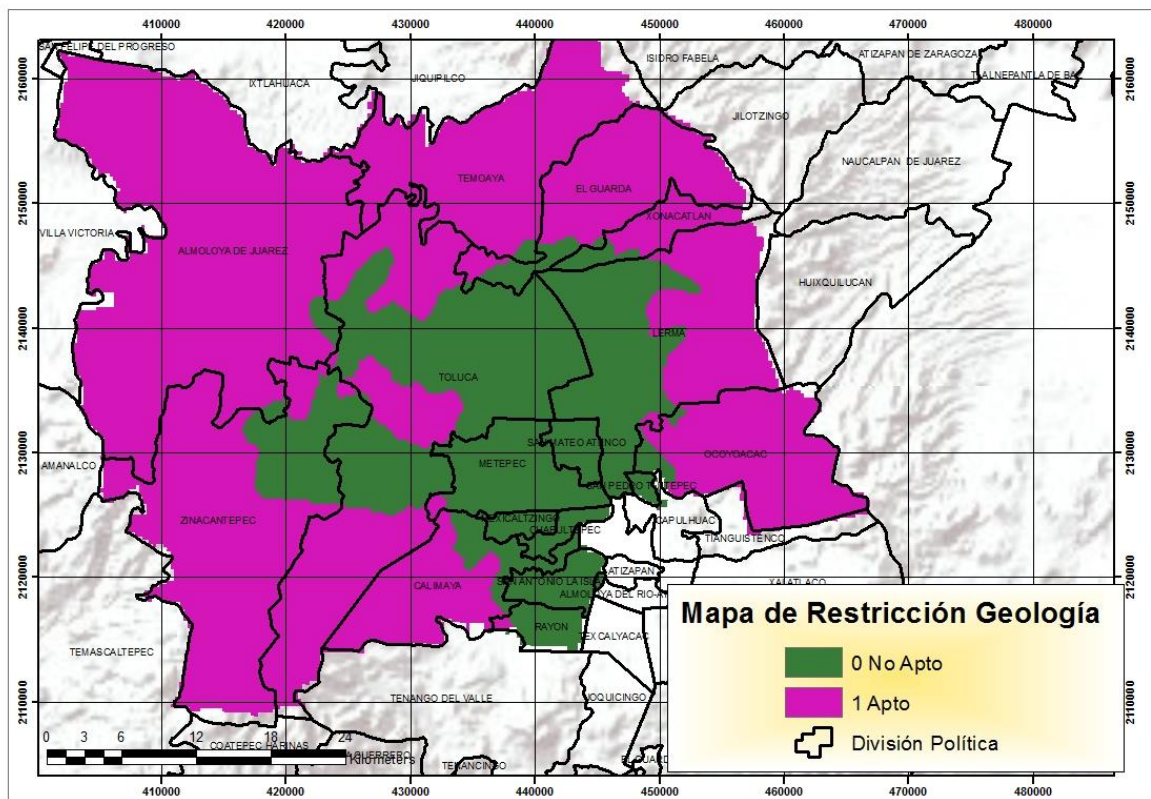
Tomando en consideración a lo establecido en la normatividad, se consideró que las zonas de aluvión no son adecuadas para la localización de un relleno sanitario (Tabla 7).

Tabla 7: Zonas restrictivas por litología

tipo	Valor	Condición
Arenisca	1	Material poco consolidado, permite la infiltración
Ígnea extrusiva básica	1	Presencia de fracturas en el material
Ígnea extrusiva intermedia	1	Mayor consolidación del material, puede presentar infiltración
Volcanoclástico	1	Material poco consolidado, permite la infiltración
Aluvión	0	

Es importante señalar que, si bien existen diversos tipos de subsuelo que se consideran para la localización del Relleno de RSU, existen ciertas condiciones limitantes. En general se considera que el valle de Toluca es poco adecuado en términos de la alta permeabilidad que permitiría el paso de los lixiviados hacia aguas subterráneas. Como resultado de la reclasificación del mapa geológico fue posible obtener una imagen binaria de zonas de restricción absoluta a la localización (figura 3.).

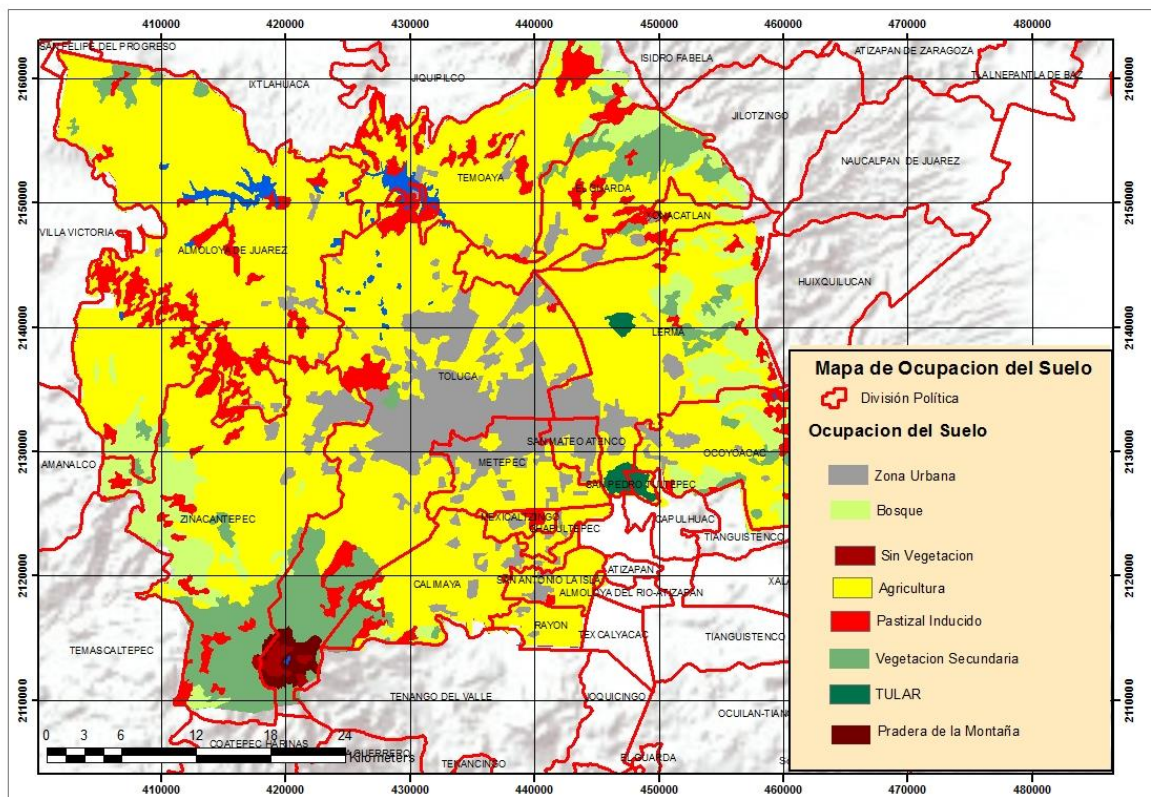
Figura 3: Restricción por litología



3.1.2 Ocupación del Suelo

El valle de Toluca se encuentra fuertemente antropizado, lo que da pie a un mosaico complejo de tipos de ocupación de suelo. Las dinámicas socioeconómicas determinan la existencia de amplias zonas urbanas y extensas zonas de cultivo. Hacia los macizos montañosos prevalecen de forma más o menos fragmentada, las zonas de bosques y pastizales (Figura 4).

Figura 4: Ocupación del Suelo



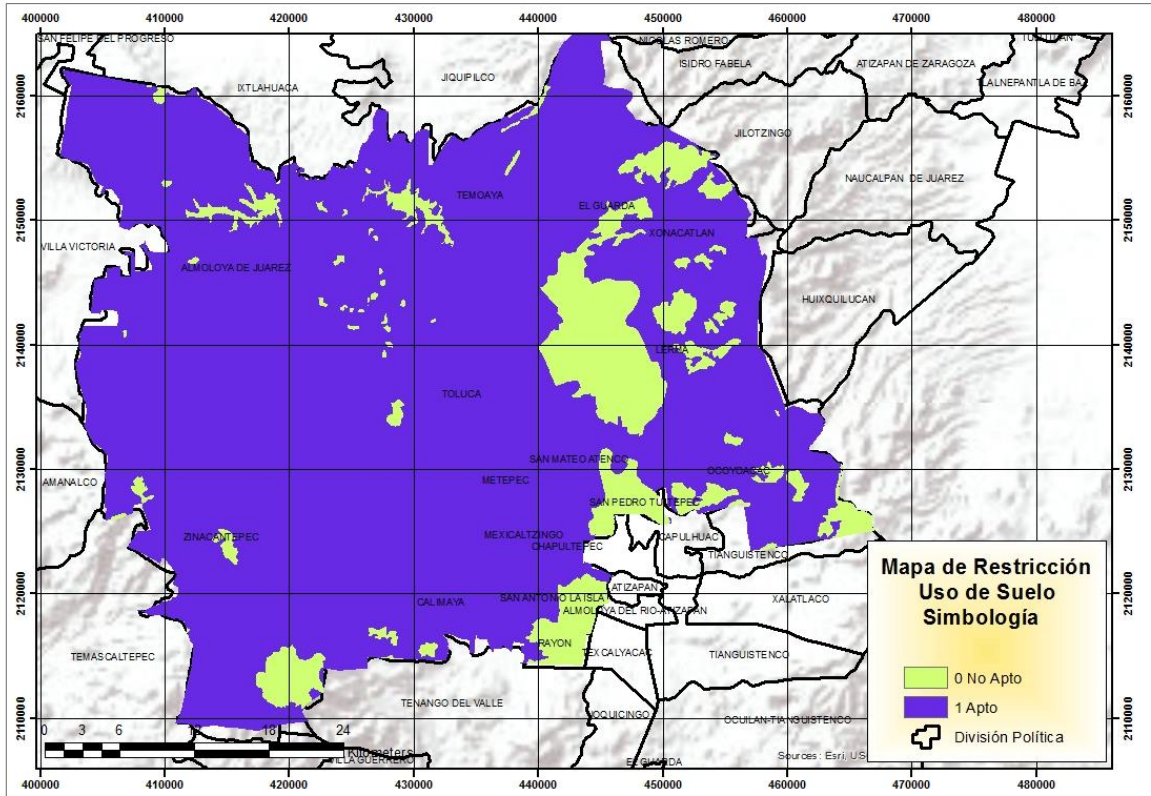
Un análisis de los distintos tipos de cobertura permitió definir aquellos en que si es posible destinar una superficie, relativamente pequeña, a la localización de una instalación para el confinamiento de RSU (Tabla 8.).

Tabla 8: Zonas sin restricción a la localización en función de la cobertura del suelo

Tipo general de ocupación	Valor	Justificación
ASENTAMIENTOS HUMANOS	0	Ya existe un uso definido
BOSQUES	0	Priorizar la conservación de la vegetación
VEGETACIÓN SECUNDARIA	0	Priorizar la recuperación de la vegetación natural
TULAR	0	Priorizar la conservación de la vegetación
PRADERA DE ALTA MONTAÑA	0	Priorizar la conservación de la vegetación
SIN VEGETACIÓN APARENTE	1	No existe alteración sobre la cobertura vegetal
AGRICULTURA	1	No existe alteración sobre la cobertura vegetal aunque podría tener consecuencias socio-económicas negativas
PASTIZAL INDUCIDO	1	Si existe alteración sobre la cobertura vegetal, sin embargo, se puede destinar en pequeñas superficies

La reclasificación del mapa de cobertura con base en los valores de la tabla 8 permitió derivar el mapa de restricción correspondiente (figura 5.).

Figura 5: Restricción por ocupación de suelo



3.1.3 Hidrología

La protección de los recursos hidrológicos constituye uno de los aspectos más relevantes de la norma NOM-083-SEMARNAT- 2003. El valle de Toluca pertenece a la región hidrología 12 Lerma, que se caracteriza por un sistema de corrientes de drenaje de tipo radial y drenaje dendrítico, desde las elevaciones más altas hasta las laderas de las sierras, existiendo corrientes tipo uniforme y corrientes paralelas hacia la zona sur del área de estudio.

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

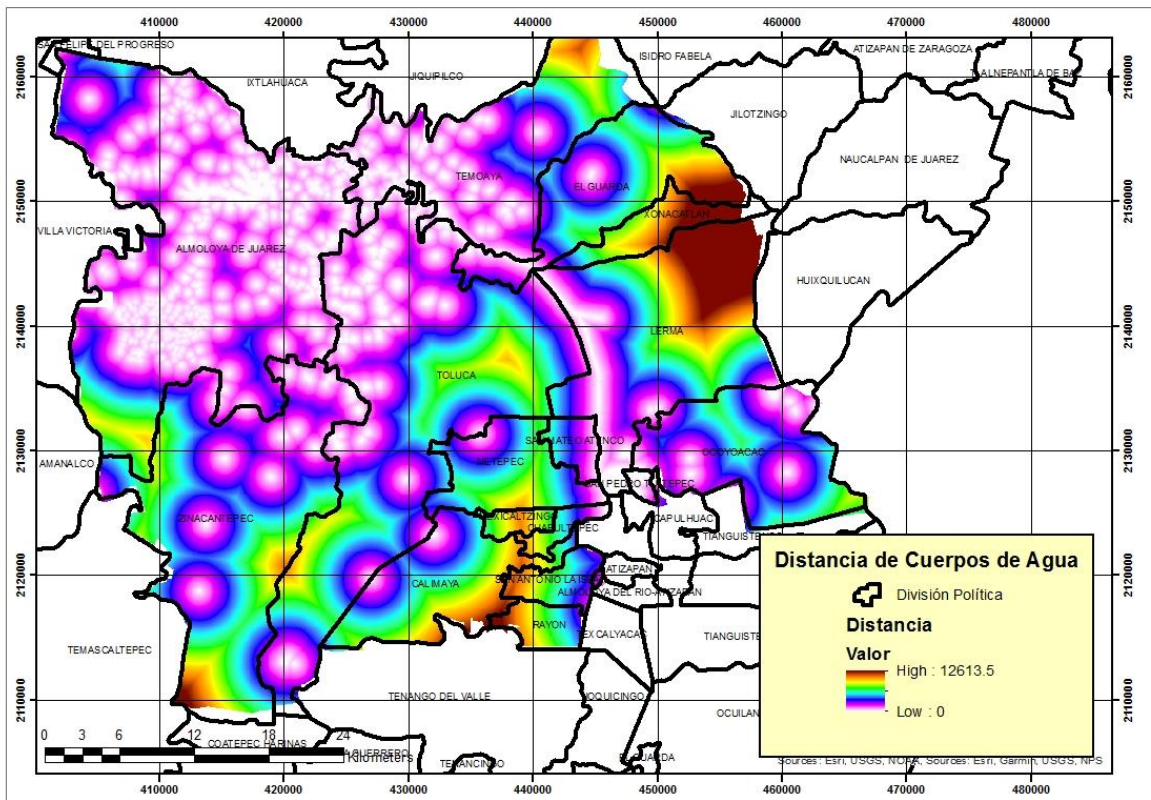
El relleno sanitario debe estar lo suficiente alejado de las fuentes destinadas al abastecimiento de agua, en un área aislada, de poco valor comercial y bajo potencial de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Para la obtención de los mapas de Hidrología (Cuerpos de Agua; Ríos Intermitentes, Ríos Perennes) se requirió de información por sub-cuenca de la red hidrográfica Lerma – Santiago escala 1:50,000. A partir de esta base cartográfica fue posible derivar tres coberturas independientes: cuerpos de agua, escurrimientos superficiales permanentes y escurrimientos superficiales intermitentes. A cada una de dichas coberturas se aplicó el comando de distancia en el ambiente SIG, dando como resultante tres superficies de distancias, mismas que fueron utilizadas para determinar las zonas de protección por proximidad a los distintos rasgos hidrográficos.

3.1.3.1 Restricción por proximidad a cuerpos de agua

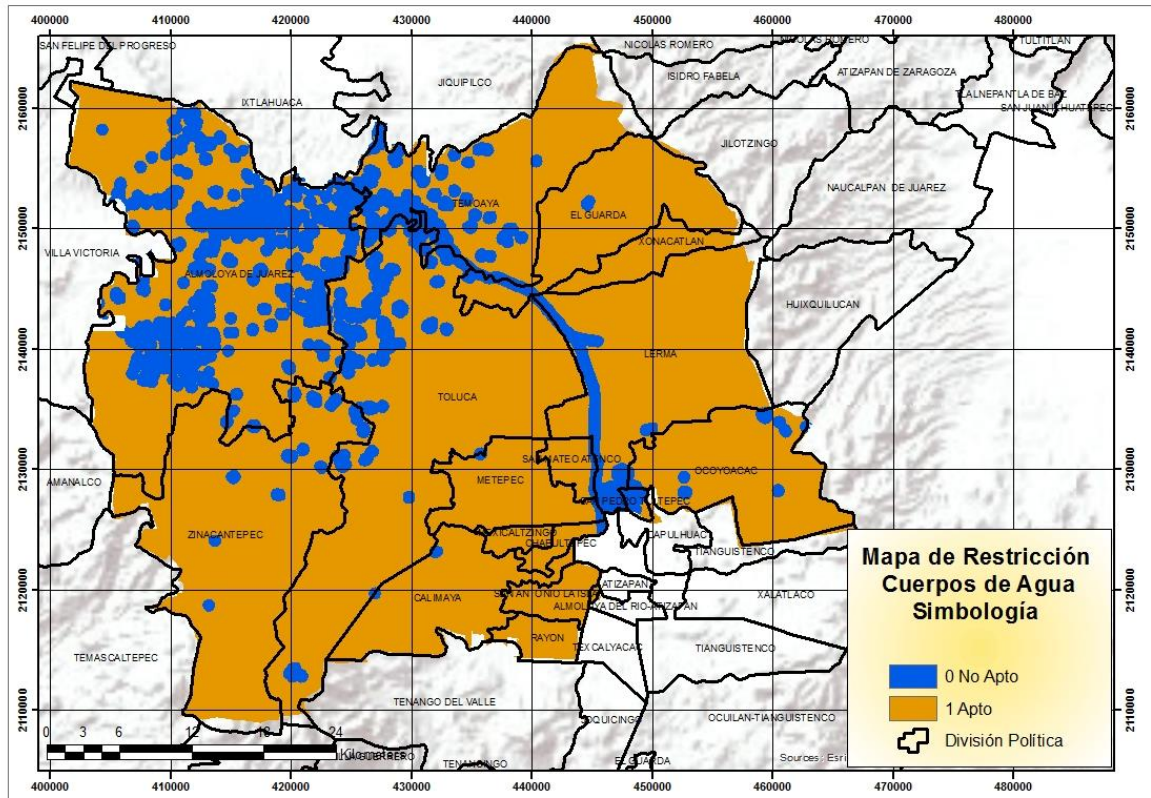
La figura 5 permite observar la distancia a los principales cuerpos de agua de la región.

Figura 6: Distancia cuerpos de agua



De acuerdo con la normatividad se realizó un buffer de 500 metros a partir del límite de los cuerpos de agua (Figura 6).

Figura 7: Restricción por proximidad a cuerpos de agua



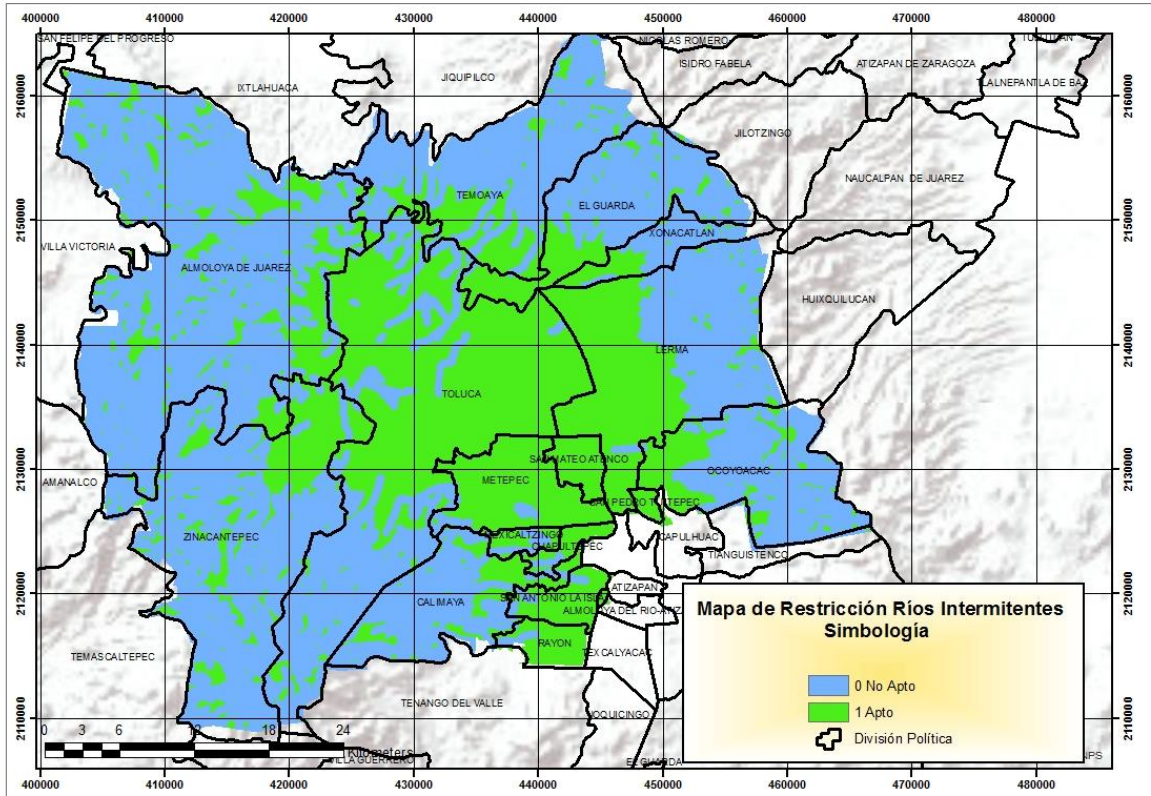
3.1.3.1 Restricción por proximidad a corrientes permanentes

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.

El mapa corresponde a los cuerpos de agua de los cuales cuenta con 788 distribuidos en su mayoría en la porción Este de la zona de estudio, por lo tanto se estableció una categoría según su clasificación, 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.

Se identificaron las unidades hidrogeológicas, tipo de acuífero (confinado o semiconfinado) y la relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero.

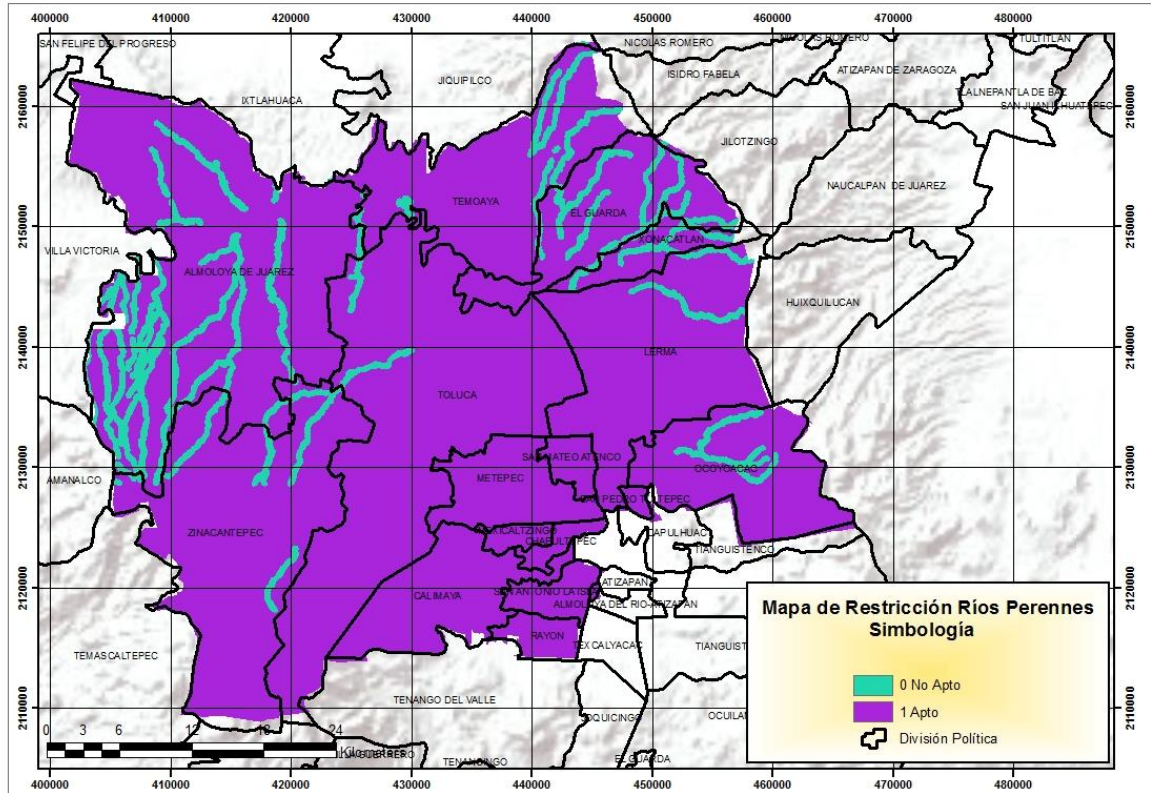
Figura 9: Restricción por proximidad a escurrimientos intermitentes



3.1.3.3 Restricción por proximidad a corrientes permanentes

El mapa de escurrimientos permanente permitió obtener una superficie de distancias (Figura 9).

Figura 11: Restricción por proximidad a escurrimientos permanentes

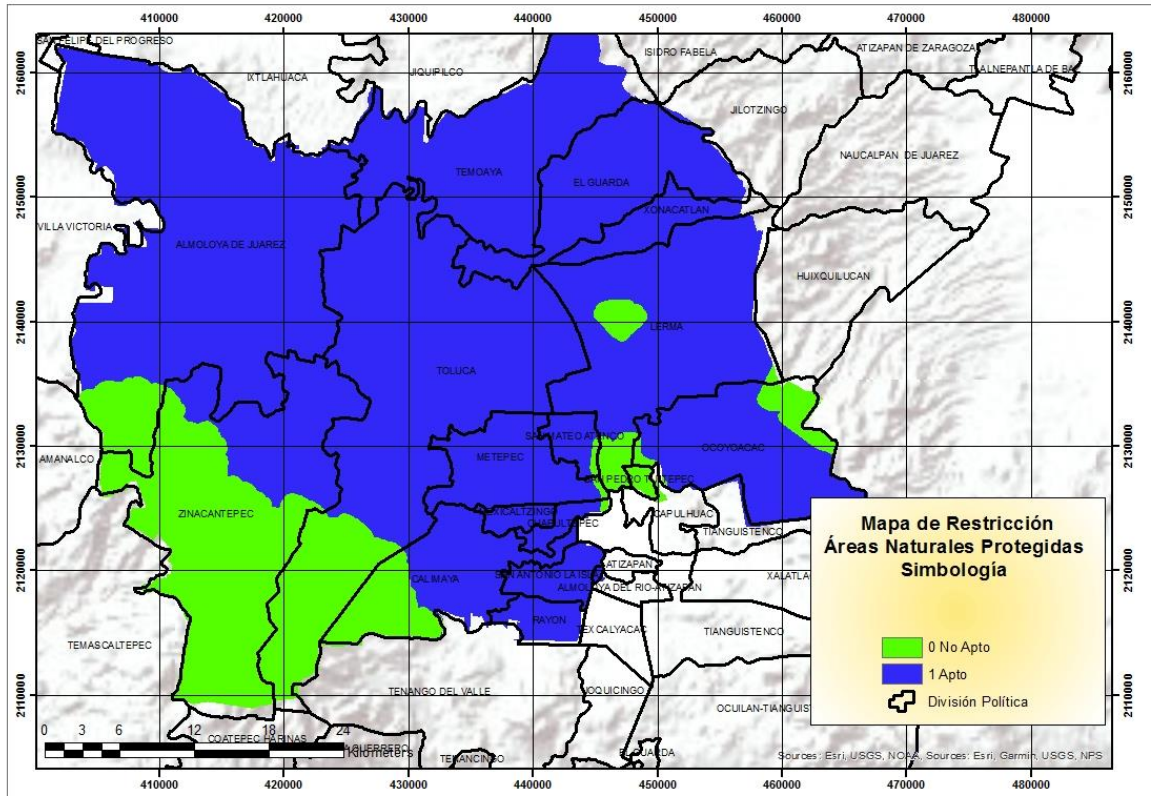


Este mapa indica con valor cero aquellas regiones donde no es posible ubicar un relleno sanitario por estar cerca de escurrimientos hidrológicos importantes.

3.1.4 Áreas Naturales Protegidas

El valle de Toluca cuenta con 10 áreas naturales protegidas con diferentes categorías de protección. Los sitios de disposición final deben, por ningún motivo, ubicarse en dichas áreas. Entre ellas destaca el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca así como el Área de Protección de Flora y Fauna Ciénegas de Lerma. 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 se aplicó la norma que indica que no se deben ubicar sitios dentro de las Áreas Naturales Protegidas (Figura11).

Figura 12: Restricción por estar dentro de Áreas Naturales Protegidas



Se consideró la necesidad de manejar un área de amortiguamiento de 500 metros a partir del límite de las ANP. Para ello fue preciso crear un buffer. Las áreas consideradas para el análisis fueron:

Parques Nacionales Ocoyoacan y Lerma (Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla La Marquesa).

Parques Estatales Toluca y Zinacantepec (Parque Estatal denominado “Sierra Morelos”), Toluca (Parque Estatal de Área Natural Protegida Recreativa y Cultural, denominado Alameda Poniente, San José de La Pila).

Parques Estatales “Santuarios del Agua” Lerma y otzolotepec (Parque Estatal denominado “Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río MayorazgoTemoaya”) Lerma y Ocoyoacac (Parque Estatal denominado Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Río San Lorenzo”) Temoaya (Parque

Estatal denominado “Santuario del Agua y Forestal Subcuenca Tributaria Presa Antonio Alzate”).

Parques Municipales Metepec (Parque Municipal de Recreación Popular denominado “El Calvario”).

Áreas de Protección de Flora y Fauna Metepec y Lerma (Área de Protección de Flora y Fauna “Ciénegas de Lerma”) Almoloya de Juárez, Calimaya, Toluca, Zinacantepec (Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca).

Parques Urbanos Toluca (Parque Urbano Matlazincas (El Calvario de Toluca).

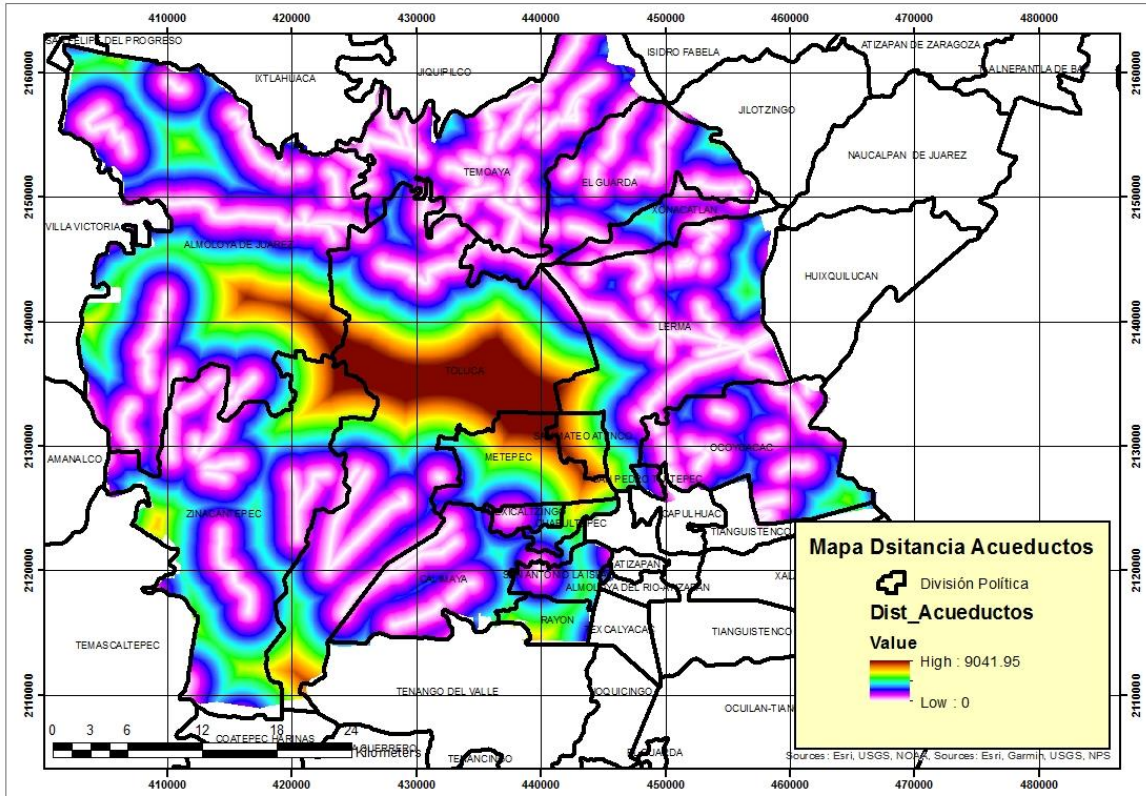
3.1.5 Acueductos

Las regiones a 450 metros o menos de los acueductos deben ser preservadas como una medida para prevenir posible contaminación de los recursos esenciales para las comunidades y poblaciones rurales, tanto para su consumo doméstico como para el riego de los cultivos.

Los servicios públicos domiciliarios son esenciales para el desarrollo político, económico, social y cultural de las comunidades tanto en zonas urbanas y especialmente en zonas rurales, para el caso que nos ocupa los acueductos hacen parte del desarrollo en el cuidado del agua.

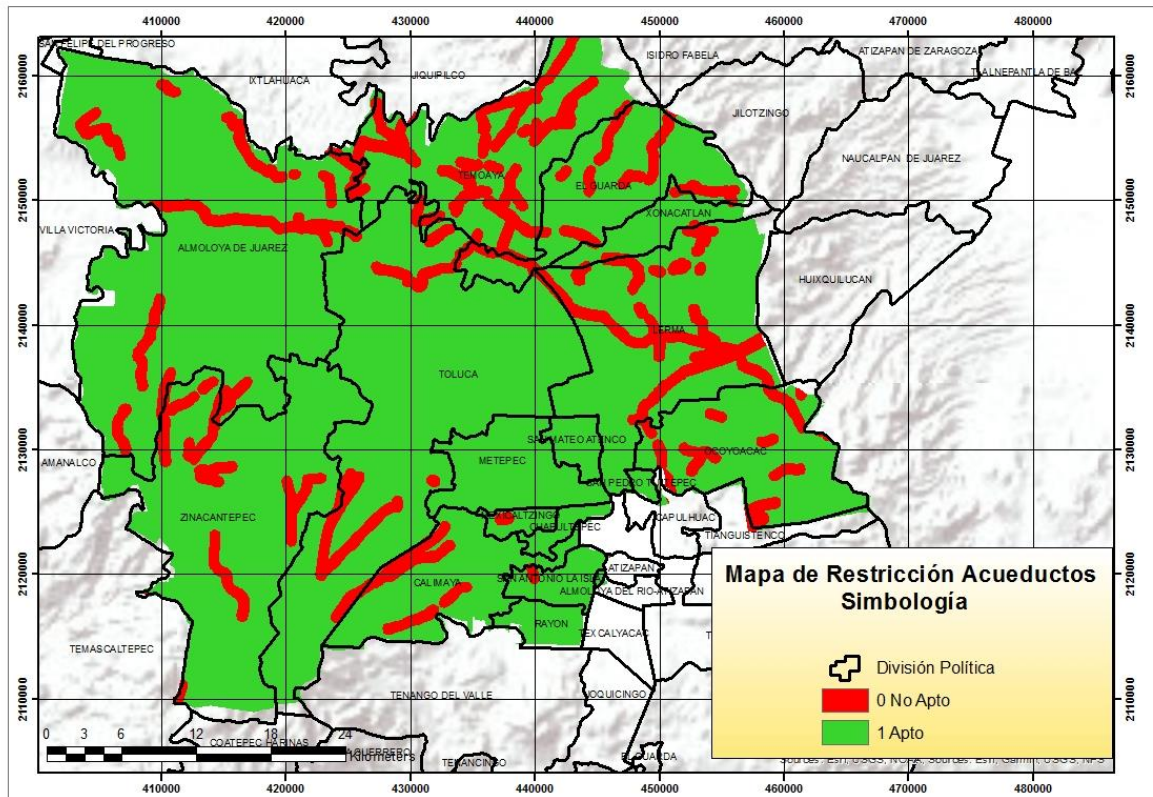
Se obtuvo un mapa de distancia a los principales acueductos de la región (Figura 12).

Figura 13: Mapa de distancias a los acueductos



La reclasificación del mapa de distancias permitió extraer la imagen binaria con valor de cero a aquellas regiones a 450 m o menos de los acueductos (Figura 13).

Figura 14: Mapa de restricción por proximidad a acueductos

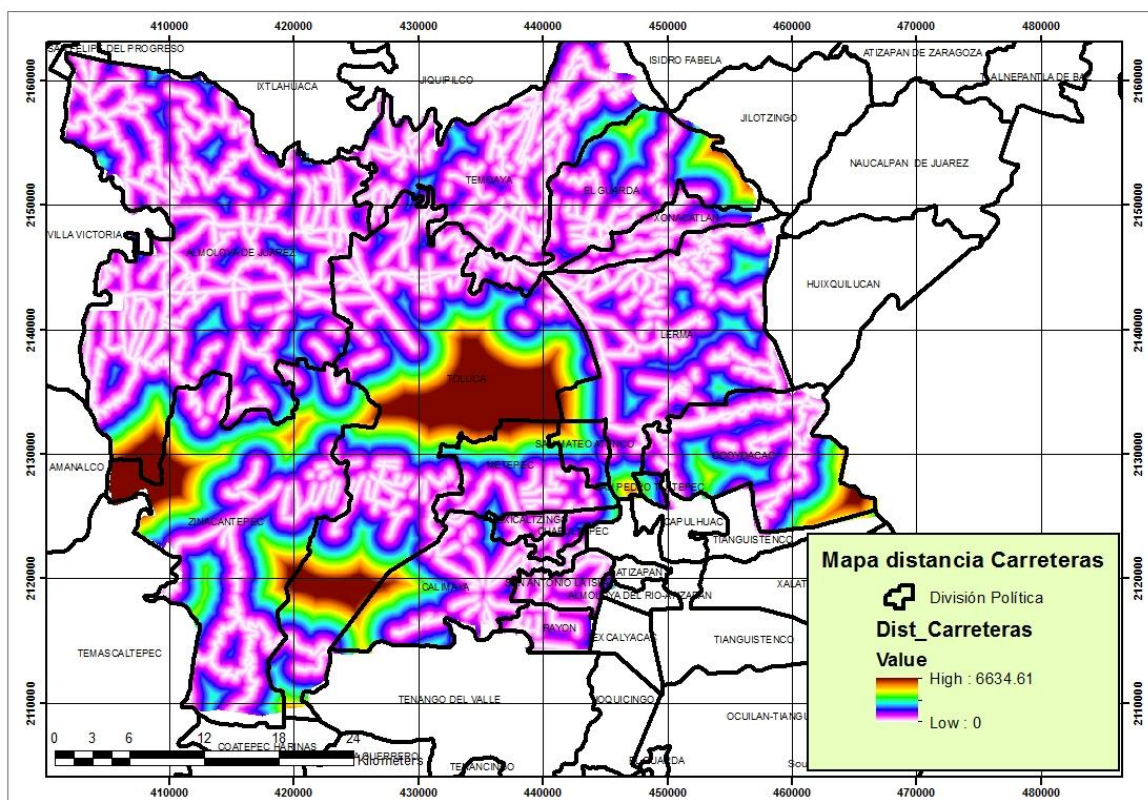


El agua es indispensable para la supervivencia del ser humano, sin este recurso natural renovable no sería posible la existencia del mismo, ni de los seres vivos como los animales y las plantas, desde la antigüedad se han utilizado diferentes mecanismos para su transporte, en un principio se utilizaban canales abiertos para transportar agua de un lugar a otro utilizando herramientas manuales y la gravedad, a medida que se va adquiriendo un mayor conocimiento, aparecen nuevas herramientas, nuevos materiales y el avance en tecnología va haciendo más fácil el llevar el agua de un lugar a otro superando incluso distancias más largas.

3.1.6 Carreteras

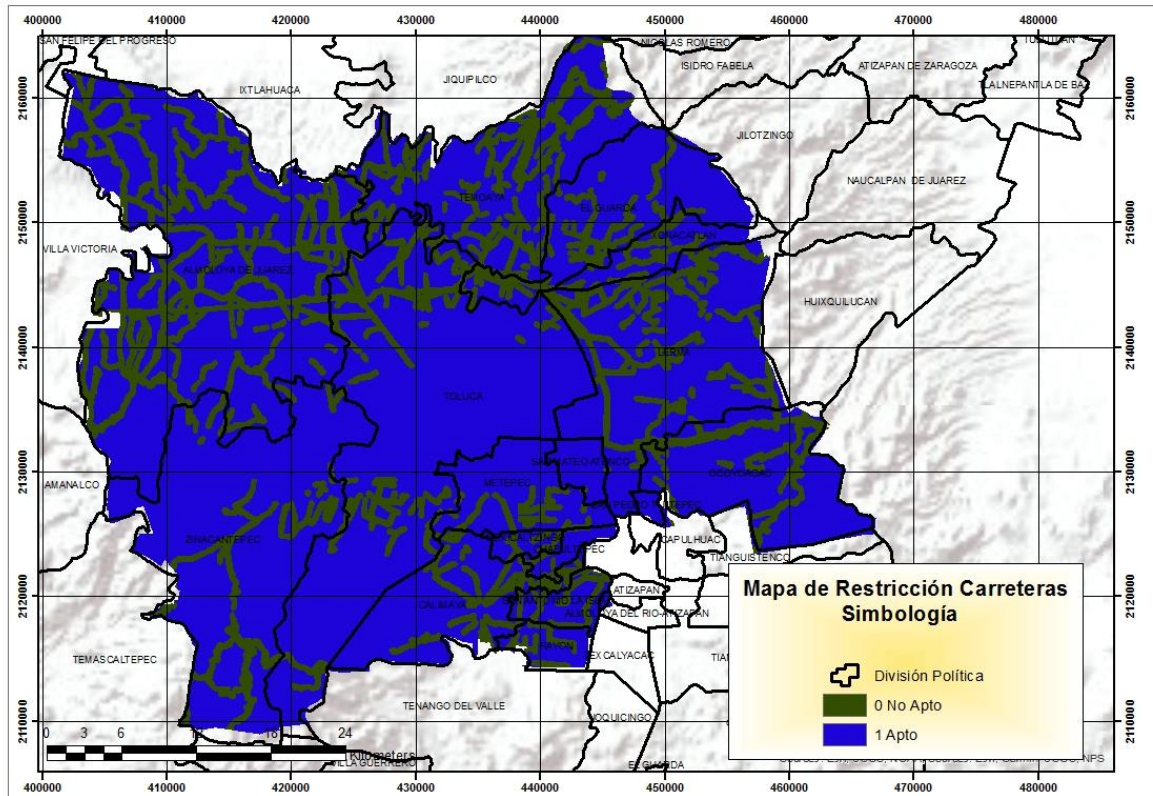
Las zonas cercanas a las vías de comunicación deben quedar excluidas del análisis ya que la presencia de un relleno sanitario podría afectarlas. Por ello fue necesario crear un mapa de distancia al sistema carretero (Figura 14).

Figura 15: Mapa de distancias a carreteras



A partir del mapa de distancia, mediante reclasificación, se obtuvo un mapa que excluye aquellas zonas a 250 m o menos de las carreteras (Figura 15).

Figura 16: Mapa de restricción por proximidad a carreteras



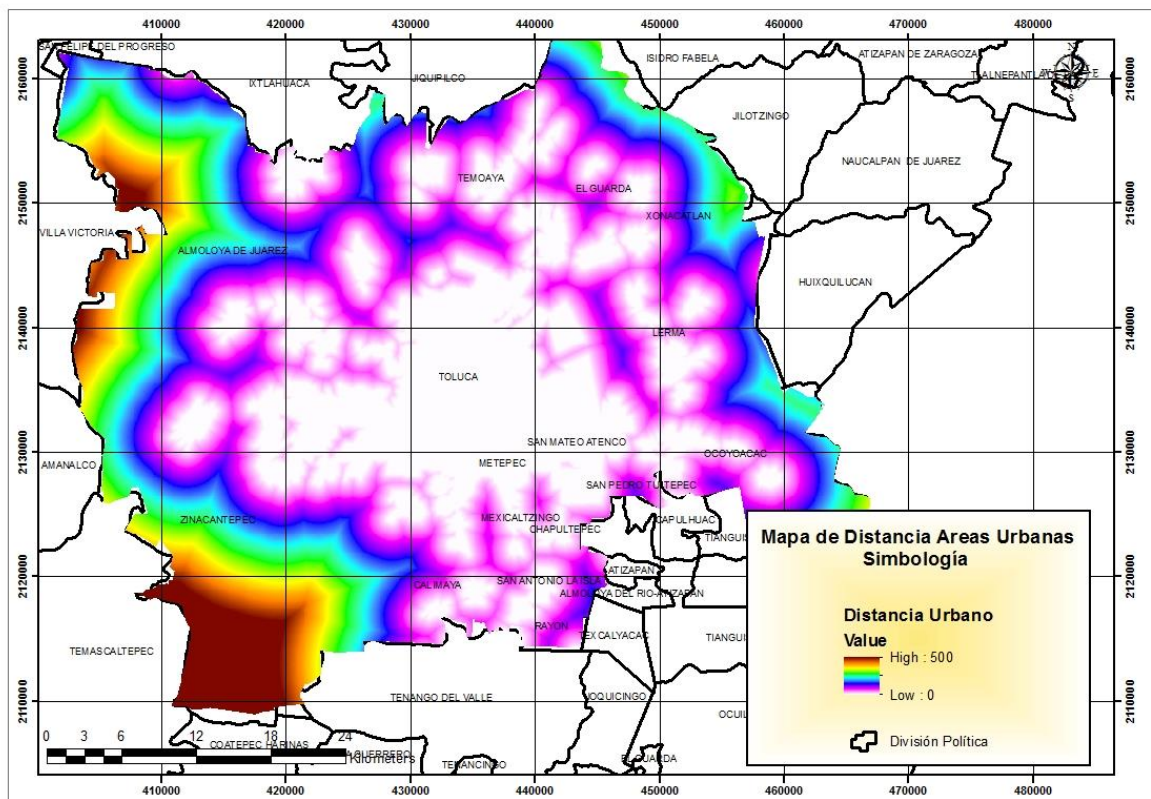
La relación entre la disponibilidad de vías de comunicación y la presencia de un relleno sanitario tiene sus matices. Si bien las carreteras son necesarias para tener un acceso rápido fácil, una instalación de este tipo genera problemas y molestias que deben ser evitadas. Por ello se considera una distancia mínima de 250 m.

3.1.7 Localidades

3.1.7.1 Restricción por proximidad a localidades urbanas

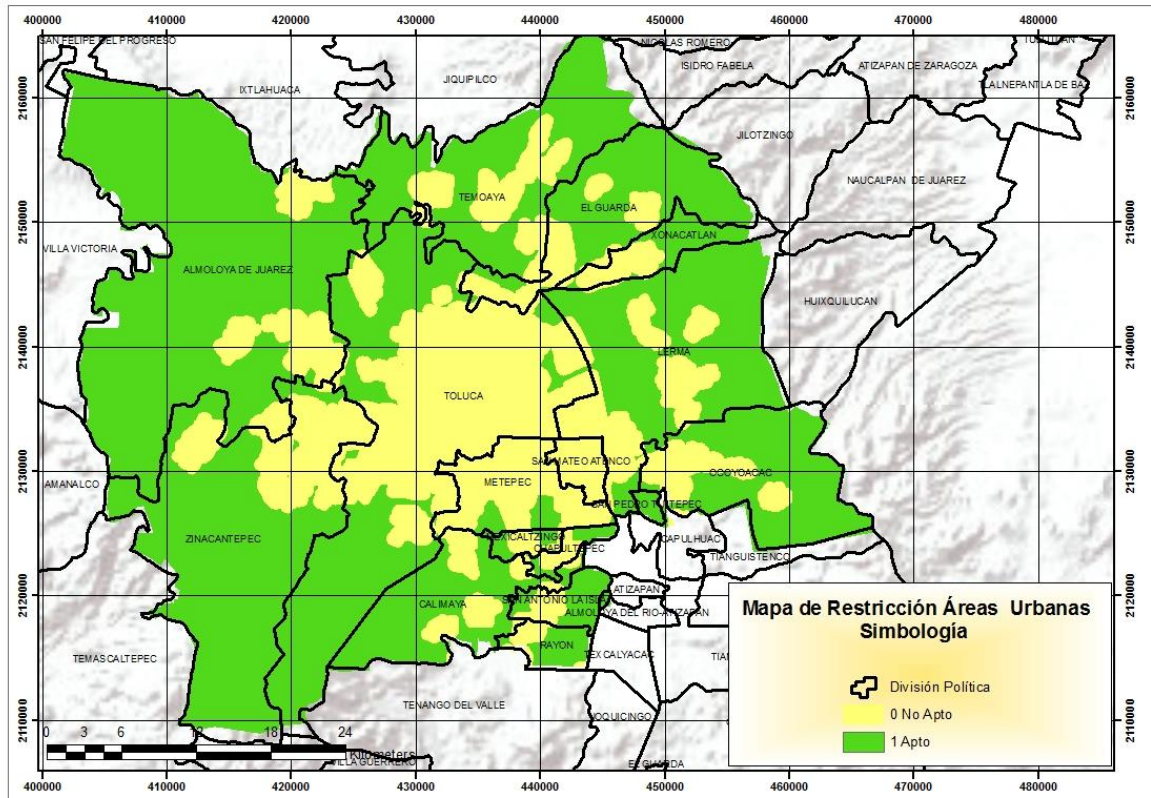
Se debe establecer una zona restrictiva de al menos 500 m hacia cualquier localidad mayor de 2500 habitantes. Por esa razón fue preciso generar un mapa de distancias (Figura 16).

Figura 17: Mapa de distancias a las localidades urbanas



La reclasificación de dicho mapa de distancias permitió generar la restricción correspondiente (Figura 17).

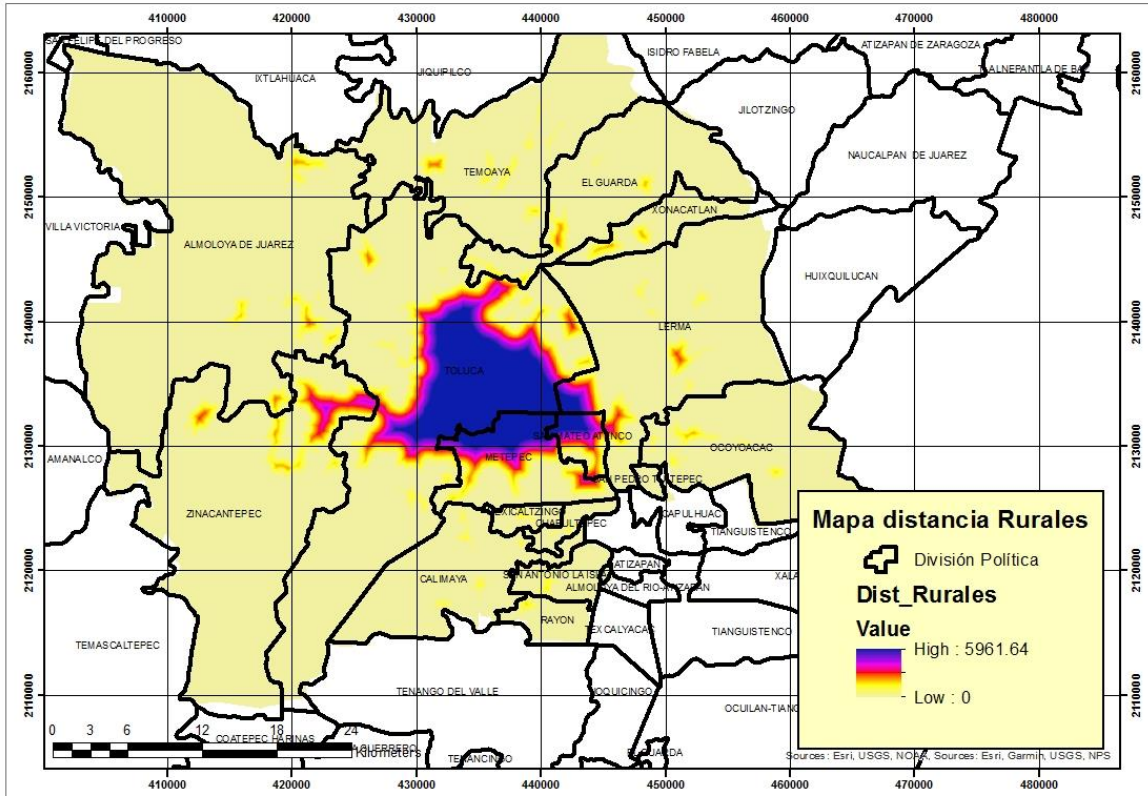
Figura 18: Mapa de restricción por proximidad a las localidades urbanas



3.1.7.2 Restricción por proximidad a localidades rurales

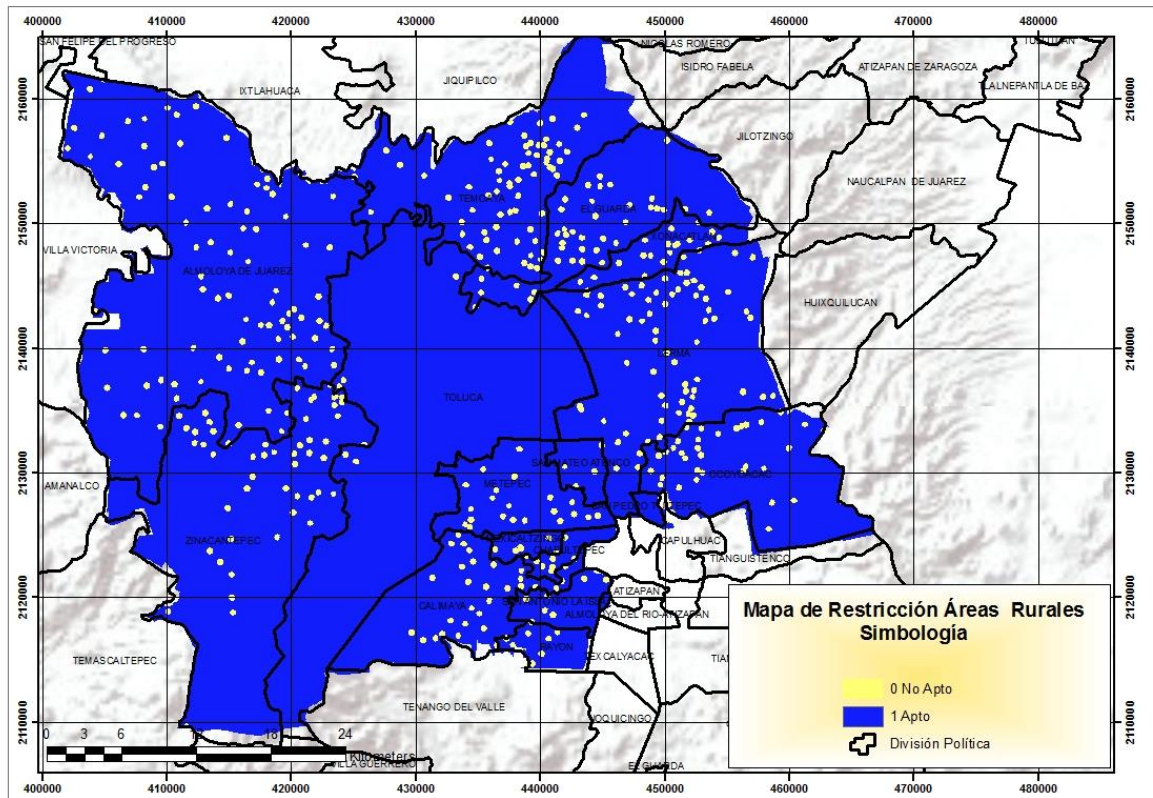
De acuerdo con el INEGI, una población se considera **rural** cuando tiene **menos de 2500** habitantes, Hoy en día, los límites entre áreas urbanas y rurales son un poco difusos, ya que los asentamientos de ambas pueden tener un aspecto similar, por el gran número de crecimiento demográfico, que provoca la construcción de viviendas a las afueras del centro del área de estudio. La figura 18 muestra las distancias a partir de las zonas rurales.

Figura 19: Mapa de distancia a partir de las localidades Rurales



La reclasificación del mapa permitió asignar valor de cero a las distancias de 250 m o menos (Figura 19).

Figura 20: Mapa de restricción por proximidad a localidades rurales



El área de estudio cuenta con 453 localidades, dispersas por toda el área, es una restricción ya que los habitantes generalmente se dedican a actividades primarias. La agricultura tiene un papel fundamental en las poblaciones rurales; muchas veces su economía depende completamente de ella. Otras actividades económicas importantes de las poblaciones rurales son la ganadería y la pesca. En cierta forma no afectaría a tanta población, pero en cuestión ambiental afectaría mucho al sector económico por la ya mencionado.

En cuestión de restricciones, los polígonos se distribuyen en gran parte en la zona norte del área de estudio, pero con superficies muy pequeñas, ya que se usaron muchas restricciones.

3.2 Factores de adecuación para la Identificación de zonas adecuadas para la localización de un sitio para la disposición final de Residuos Sólidos

Urbanos

La aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio (EMC) dentro del ambiente SIG implican, una vez eliminadas las zonas de restricción absoluta para el desarrollo de la actividad, llevar a cabo una valoración del territorio para determinar, en aquellas zonas viables, cuál es su nivel de adecuación para llevar a cabo la actividad. Para ello se definen una serie de criterios de tipo “factor”, expresados en una escala común. En el caso de la localización de un sitio para la gestión de los RSU se utilizaron las variables de litología, suelos y ocupación de suelo. La suma ponderada de estos tres factores permitió llegar a una valoración diferenciada del territorio.

Es importante señalar que las tres variables consideradas se expresan en escala nominal, su conversión a criterios, por tanto, implicó llevar a cabo un procedimiento mediante la comparación por pares y, finalmente, un ejercicio de normalización para que los tres criterios estuvieran a maximizar y dentro de la misma escala.

Una vez construidos los criterios, se procedió a definir un preorden de decisión lo que condujo a la construcción de un vector de pesos. Así, mediante una regla de decisión de suma ponderada, fue posible arribar al mapa final de adecuación.

3.2.1 Edafología

La zona de estudio cuenta con:

Andosol: localizados hacia el piedemonte del Volcán Xinantécatl, principalmente en el municipio de Zinacantepec. También se identifica su presencia en la parte noroeste de la región en colindancia a la Sierra de las Cruces (municipios de Lerma y Ocoyoacac). Se trata de suelos derivados de cenizas volcánicas que

poseen gran capacidad de retención de humedad y fijación de fósforo y resultan susceptibles a erosionarse. 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: Son de los suelos con mayor presencia en la región, distribuyéndose en la zona centro de la misma en los municipios de Toluca, Metepec, Calimaya, San Mateo Atenco, San Antonio la Isla, Rayón y Chapultepec. Se trata de suelos 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.

Luvisol: con mayor presencia en la zona oeste de la región, entre los municipios de Temoaya y Oztoltepec, 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.

Vertisol: este tipo de suelo se localiza en la parte Noreste del área de estudio en los Municipios de Almoloya de Juárez y Lerma, 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.

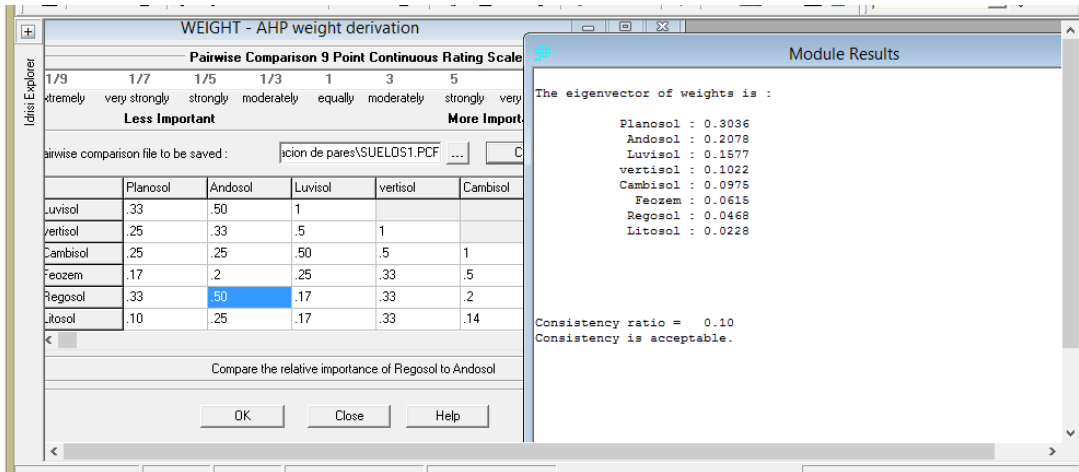
Un análisis de los diversos tipos de suelos permitió establecer su nivel de adecuación para la localización de un confinamiento de RSU (Tabla 10).

Tabla 10: Zonas restrictivas por Edafología

Tipo	Valor	Justificación
Planosol	1	Textura gruesa que permite la filtración
Luvisol	1	Textura franca, existe filtración
Andosol	0	Impermeabilidad del suelo, no obstante, se requiere la aplicación de membranas
vertisol	0	Textura franca, existe filtración
Cambisol	1	Menor capacidad de infiltración, se requiere complementar con membrana
Litosol	1	Textura franca, existe filtración
Regosol	0	Textura franca, existe filtración
Feozem	1	Textura franca, existe filtración

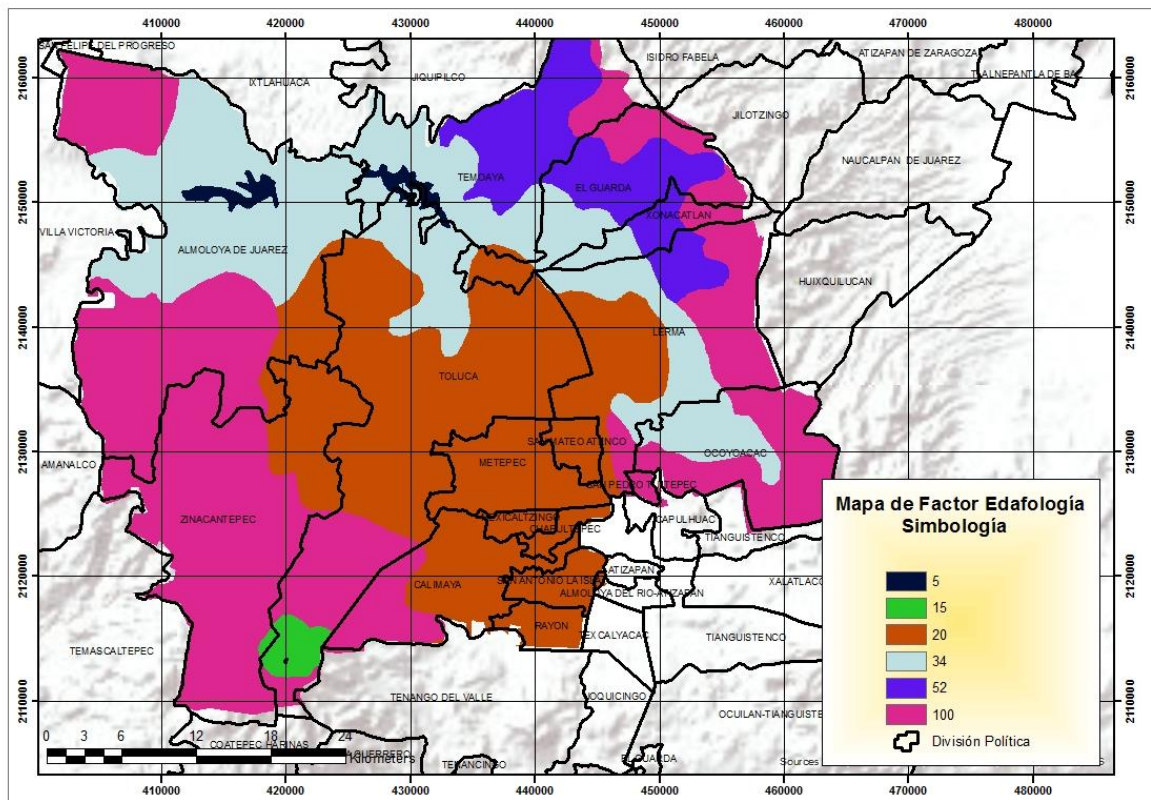
La reclasificación del mapa de unidades de suelo permitió generar el factor de adecuación correspondiente (Figura 21).

Figura 22: Matriz de comparación por pares de tipos de rocas



Se dio la prioridad las clasificaciones con una alta permeabilidad debida, principalmente, al grado de fracturación, así como a la presencia de derrames al ser un valle este están cubiertos de depósitos lacustres y aluviales, cuya permeabilidad es muy variable, niveles de material piroclástico tienen una alta porosidad, pero su permeabilidad es baja por lo que funcionan como acuitardos. Los materiales aluviales no consolidados (gravas, arenas, arcillas y limos) aparecer rocas andesíticas que actúan como impermeable de base.

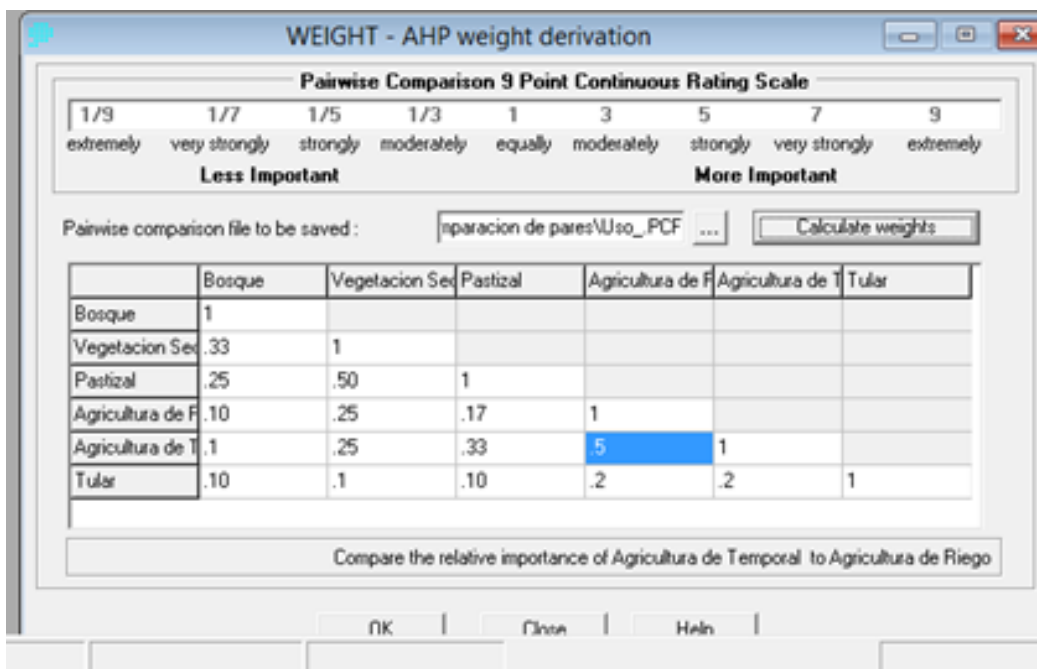
Figura 23: Mapa de factor de adecuación por tipo de suelo



3.2.2 Uso de suelo

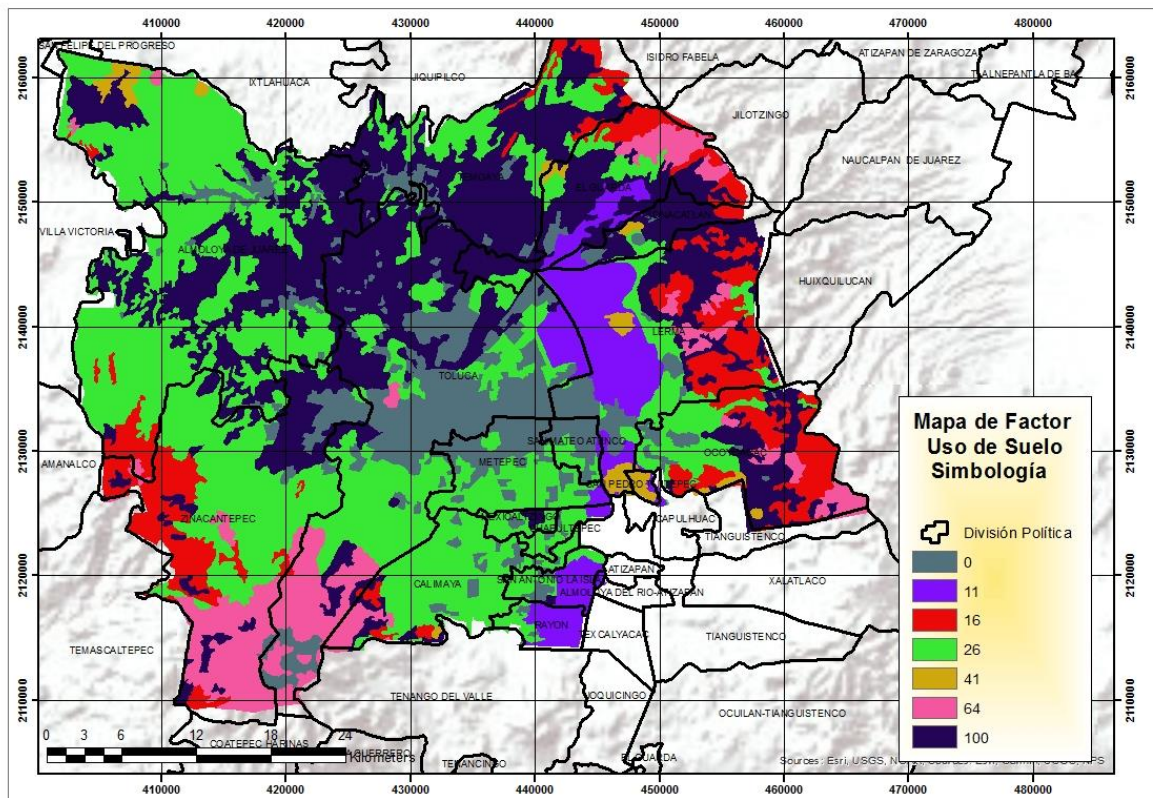
La localización de un confinamiento de residuos puede significar una fuerte presión sobre los ecosistemas naturales circundantes. Para definir el grado de dicha afectación se realizó, en el ambiente Idrisi, un ejercicio de comparación por pares (Figura 22).

Figura 24: Matriz de comparación por pares de tipo de cobertura



El análisis resultante arrojó valores entre 0 y 1 por tipo de cobertura, siendo las zonas agrícolas las más adecuadas para la localización del confinamiento y las zonas de humedal las menos adecuadas. Estos valores, multiplicados por 100 se aplicaron por reclasificación de la imagen para obtener el factor de adecuación por tipo de cobertura (Figura 23).

Figura 25: Factor de adecuación por tipo de ocupación

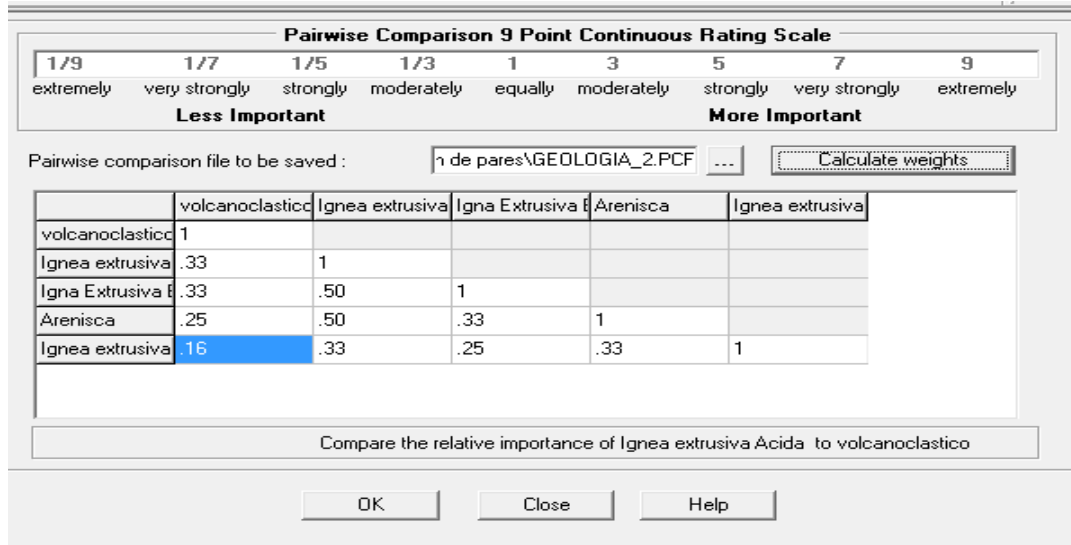


3.2.3 Geología

El relieve que constituye se caracteriza por estar formado de material volcánico, al estar ubicado dentro del Eje Neovolcánico, implica actividad volcánica reciente (Terciario Medio, 26 millones de años) constituido en sus partes altas por basaltos y andesitas, materiales piroclásticos bordean las sierras e incluyen tobas, aglomerados, brechas, cenizas volcánicas, conos cineríticos, derrames lávicos, y lahares. Las sierras orientales que limitan al valle de Toluca, están formadas por rocas andesíticas del Terciario Superior afectadas por procesos como intemperismo y erosión que han formado suelos residuales al pie de sus taludes como las Sierras Monte Alto, Las Cruces. Las planicies, como el Valle de Toluca, están formadas por materiales lacustres, producto de los lagos asentados en la cuenca, así como depósitos aluviales interdigitados con materiales piroclásticos.

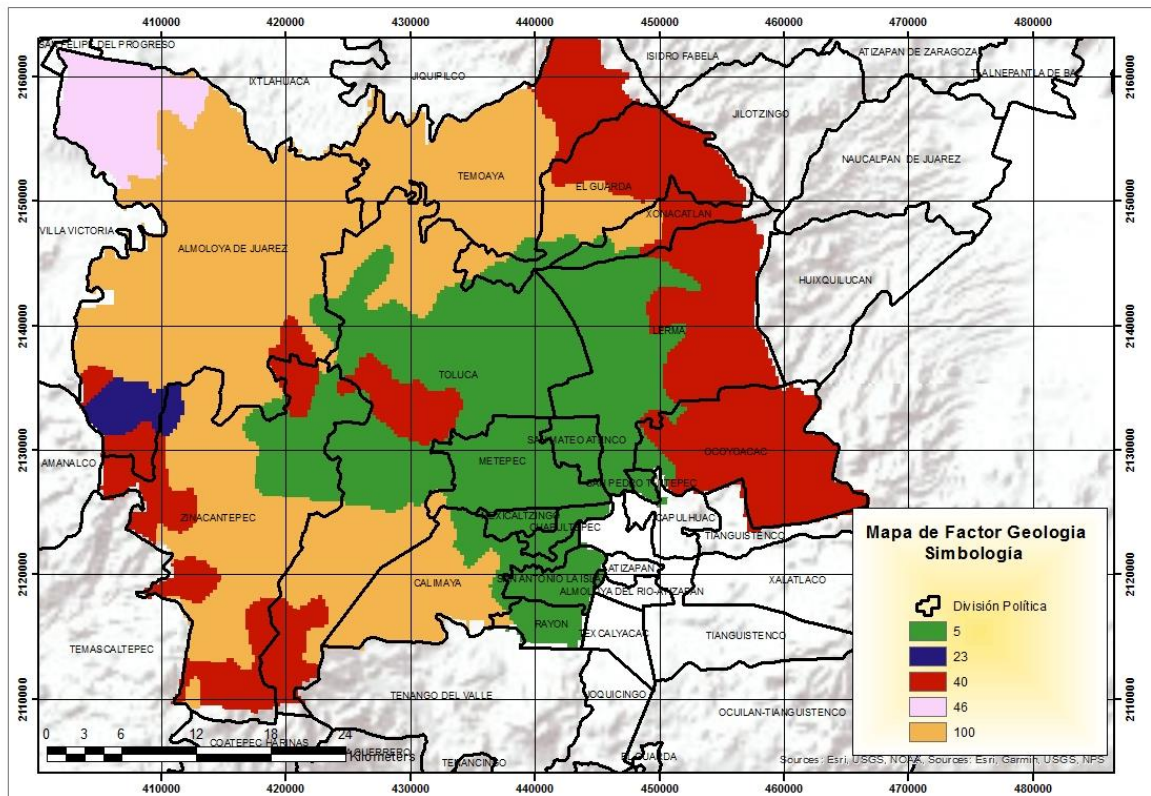
La aplicación del método de comparación por pares (Figura 24) permitió obtener el valor relativo de adecuación por tipo de roca.

Figura 26: Matriz de comparación por pares de tipos de rocas



Así, mediante un proceso de reclasificación del mapa geológico, fue posible derivar el mapa de nivel de adecuación por litología (Figura 25).

Figura 27: Factor de adecuación por tipo de roca

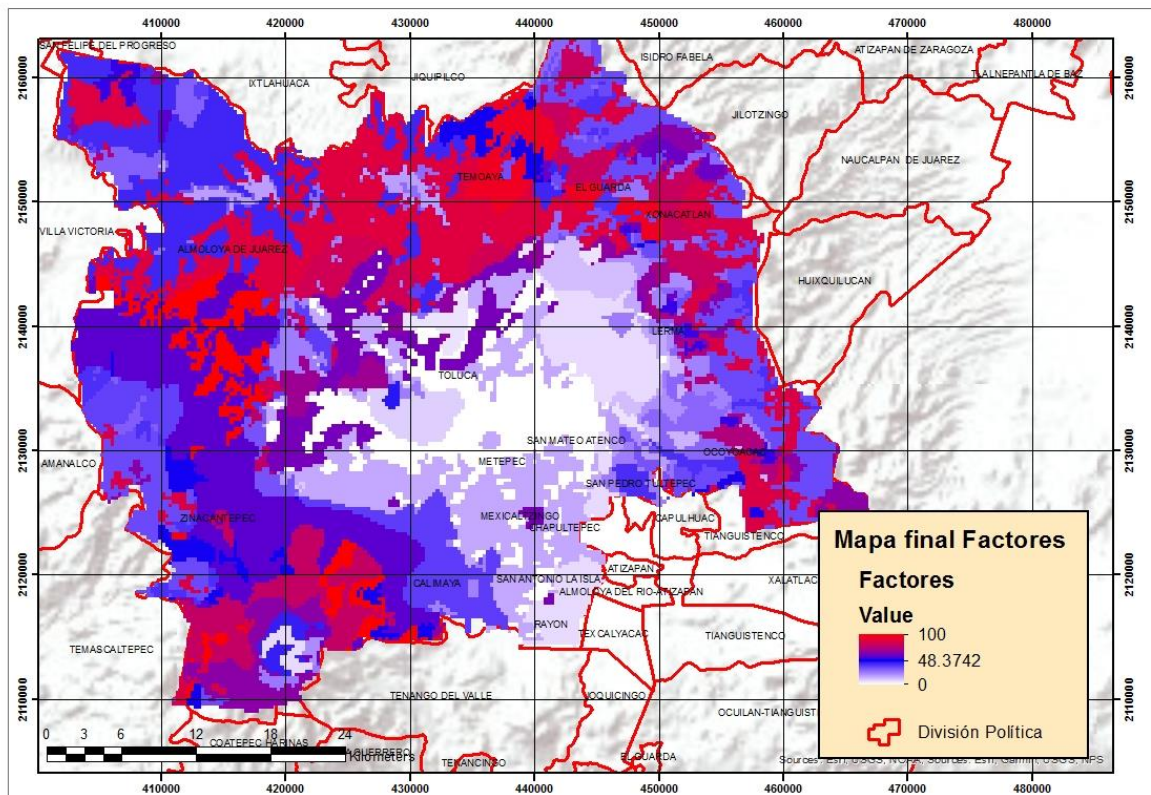


El sustrato geológico de la región corresponde a suelo aluvial. El tipo de suelo predominante es el feozem háplico asociado con vertisol pélico, cuyas características lo hacen apto, tanto para la agricultura como para el desarrollo urbano. La Región del Valle de Toluca se localiza dentro del Eje Volcánico del país. La región presenta una serie de fallas escalonadas y fracturas que son parte de las que atraviesan la Cuenca Alta del Río Lerma, en ese sentido. Las fallas más importantes observadas en la región son de sur a norte. La planicie del Valle de Toluca, se encuentra inclinada topográficamente hacia el oriente, desplazando tanto las lagunas como el cauce del Río Lerma hacia esa dirección. La inclinación puede ser reflejo de movimientos tectónicos, que probablemente la provocaron.

3.2.4 Mapa final de Factores

La suma lineal ponderada de las 3 coberturas de adecuación en el ambiente SIG permitió derivar el mapa final de adecuación (Figura 3.26). El vector de pesos utilizado para el análisis fue de: Geología = 0.59, Edafología = 0.27 y, Ocupación de suelo = 0.12.

Figura 28: Mapa final Factores



Dentro de la Región del Valle de Toluca, en cuanto al uso potencial, se consideran unidades de terreno cuyo máximo aprovechamiento se puede dar en actividad áreas actualmente agrícolas, principalmente por contar con zonas de amortiguamiento en pendientes más pronunciadas vecinas al bosque, y también por considerar que son zonas forestales. Por este motivo se le dio menor peso al uso de suelo y más a la geología.

3.2.5 Mapa Final

El mapa final se obtuvo mediante la multiplicación del mapa final de adecuación (Figura 26) con el mapa final de restricciones (Figura 20).

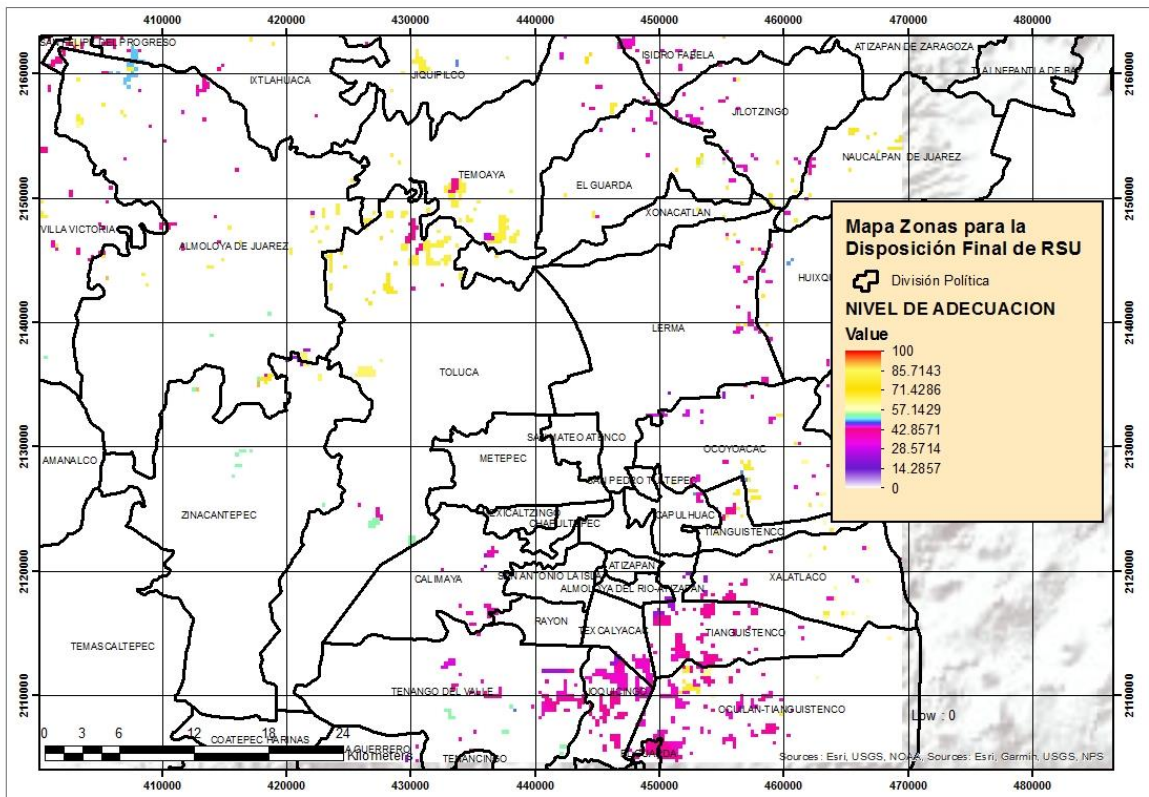
Un tema que es necesario para la gestión de residuos es su caracterización, y lo es porque aporta elementos para entender las dimensiones de la producción, el manejo y su disposición final; así como a sustentar cómo contribuye a la degradación ambiental. Por ello, se deben tener claros los volúmenes de residuos que se generan en una zona, los diversos materiales que los componen, los puntos de generación y su variabilidad, debidos, entre otros, al carácter estacional, el estilo de vida de los ciudadanos, composición de la familia y la forma como se manejan.

Con el volumen calculado, se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario, solamente si se puede estimar en forma aproximada la profundidad o altura del relleno. Esta solo se conocerá si se tiene una idea de la topografía de los alrededores.

El relleno sanitario debe proyectarse para un mínimo de cinco años, aunque preferiblemente debe ser suficiente para 10 años. Sin embargo, algunas veces es necesario proyectarlo incluso para menos de cinco años, ante la dificultad de encontrar terrenos disponibles.

Así, se obtuvieron una serie de polígonos con la superficie adecuada para la construcción del relleno y con una valoración media de su nivel de adecuación (Figura 28).

Figura 29. Zonas Posibles para la Disposición Final de RSU



Los sitios que cumplieron las menores externalidades negativas se ubican en los municipios de Metepec, San Antonio La Isla, San Mateo Atenco y Rayón.

La ubicación del terreno juega un papel importante en la explotación del sistema, por cuanto la distancia y más aún, el tiempo al centro urbano de gravedad (plaza principal) repercute en el costo de transporte de los desechos sólidos, debiéndose propender al uso económico de los vehículos recolectores.

En el valle de Toluca que es la zona de estudio se tiene un nivel de adecuación de 42/85 de una escala del 0 al 100.

3.3 Evaluación de sitios candidatos

Una primera formulación de este principio sería colocar las instalaciones no deseables lo más alejadas que sea posible de la población residente en la zona de estudio. Para ello basta, desde un punto de vista operativo, maximizar la distancia en línea recta (se supone que las molestias se difunden de este modo) entre las instalaciones y la población. Después de sacar los cálculos de los 16 polígonos se escogieron una mínima distancia de cada uno de ellos para de esta forma sacar el maximin y maxisum de cada una. La solución que obtiene maximiza la distancia mínima entre cualquier centro poblado rural y urbano y la o las instalaciones no deseables más próximas. En este caso los polígonos resultantes de restricciones y factores. Una segunda variante de este modelo de la maximización de las distancias mínimas de entre cada par de puntos del conjunto de posibles instalaciones, lo que permite una distribución más regular en la disposición final de las instalaciones y, por tanto, de mayor justicia espacial.

En la tabla 11 se resumen las valoraciones obtenidas de acuerdo a los diferentes procedimientos de cálculo con los modelos maximin y maxisum. En este sentido se han realizado diversas aproximaciones a este problema, precisamente partiendo de la idea de que muchas de estas instalaciones podrían considerarse no deseables y que, por tanto, deberían situarse lejos de las zonas pobladas para minimizar las molestias derivadas de su funcionamiento, resolver este problema basado en dos criterios a partir de la minimización de la suma ponderada de ambos. Aplicar el modelo Minisum. Los costes sociales son tratados como una suma ponderada de la función decreciente de la distancia euclidiana entre la instalación y los núcleos.

Tabla 11: Valoración obtenida para cada sitio candidato de acuerdo a los diferentes modelos

N°	Maximin Simple		Maximin*pob		Maximin Ponderado		Maxisum Simple		Maxisum*pob		Maxsum Ponderado	
	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U
19	0.7	1.1	521.5	242.0	1520.4	181.8	10.8	14.0	10296.6	24447.9	212740.8	3828.4
25	1.9	1.0	6032.5	3175.0	879.5	3175.0	21.9	25.2	10753.3	76574.4	1027.4	4983.2
20	1.1	2.8	819.5	10206.0	615.7	464.9	18.7	29.5	30087.9	64646.3	2229.8	1040.2
26	1.7	4.1	103.7	184.5	21.1	2.7	24.8	49.3	18243.1	163022.1	698.3	463.5
21	0.2	2.4	19.6	3654.0	2853.2	634.4	11.0	42.5	11261.4	144487.1	5013.4	1088.0
24	0.3	5.6	34.0	45.0	945.8	1.4	24.3	49.7	23364.8	91180.4	1373.3	244.1
23	0.6	1.1	387.0	5184.3	2089.9	3895.0	19.1	14.6	3904.8	47130.0	2622.1	8497.8
24	0.2	0.5	293.8	1429.0	31723.4	5716.0	11.5	16.5	13382.5	58338.0	34295.4	43746.3
6	2.5	5.1	42.5	16396.5	2.7	123.6	33.0	60.7	26176.0	224972.4	205.0	419.0
12	3.7	2.2	3241.2	3779.6	64.0	355.0	41.0	28.7	41564.5	60906.2	211.9	1973.5
9	0.5	3.2	52.5	252.0	420.0	24.6	14.0	43.0	198491.0	1198.0	4574.0	1014.0
11	0.5	0.5	314.5	2876.5	2516.0	23012.0	9.9	13.9	9741.1	59609.1	6857.5	31004.7
16	2.2	1.1	624.8	921.8	58.7	692.6	19.0	16.0	4074.8	25245.7	261.6	3820.9
13	1.7	1.5	2663.9	2077.0	542.2	923.1	19.2	28.5	18661.0	88905.3	1322.6	2175.7
4	0.2	0.5	293.8	714.5	31723.4	5716.0	11.5	16.5	1338.0	58338.9	32295.3	43746.3
8	0.5	3.6	408.0	5634.0	3264.0	120.8	10.7	46.5	7424.7	179038.4	5119.2	609.7
3	0.8	1.1	668.8	4485.8	1306.3	3370.2	11.8	20.6	8295.4	72040.2	3022.5	7703.3

Aplicar la metodología para seleccionar el conjunto de sitios candidatos fue una tarea compleja, sujeta a múltiples consideraciones y que a su vez dependiendo de dos enfoques población y medio ambiente mediante la aplicación de Análisis Multi criterio obtuvimos 17 alternativas considerando predios posibles, la aplicación de los modelos localización asignación. Una vez generada la base de datos fue posible aplicar dichos modelos. La tabla 11 como ya se menciona muestra las distancias maximin y maxisum entre la población y como se observa el orden de las alternativas varía.

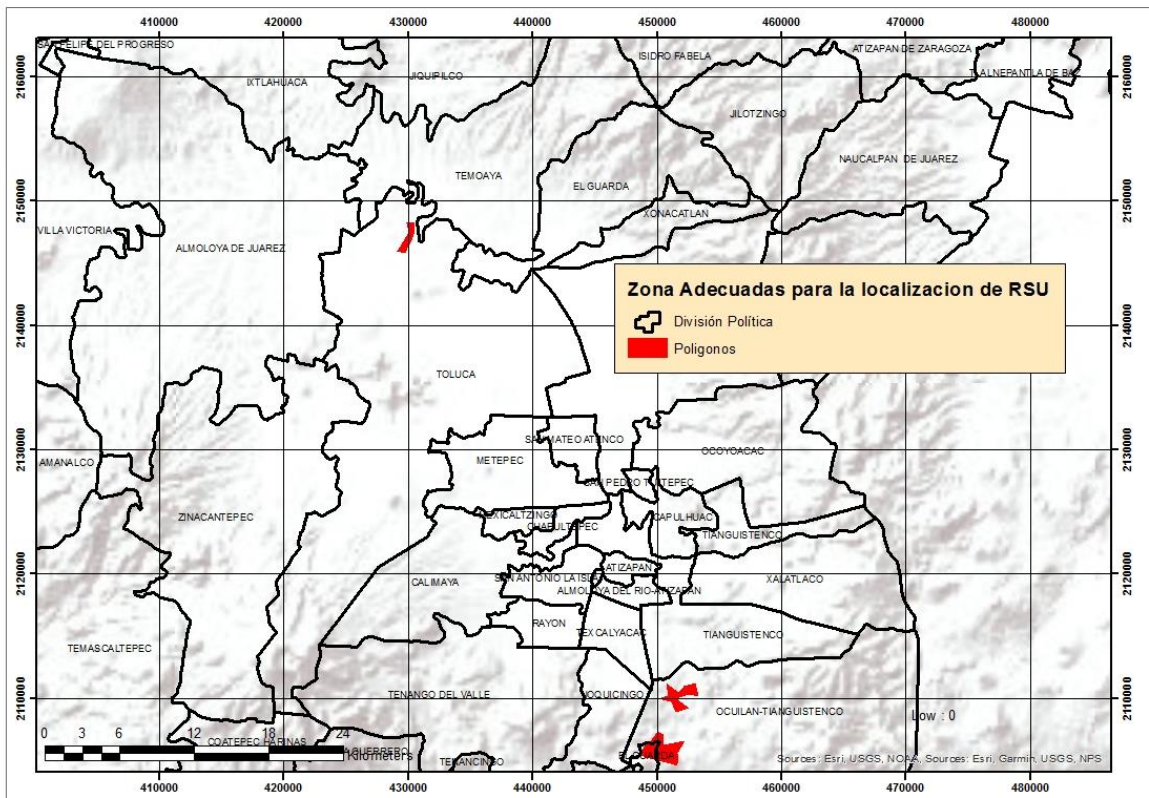
Desde un punto de vista optimista, se elige la opción que mejores resultados brinde. En el caso de beneficios, se utiliza el Maxisum, que representa el máximo de los máximos de población se utiliza el MiniMin, que significa el mínimo de los mínimos. El modelo adecuado es el MaxiMin, es decir se elige el valor máximo de entre los mínimos, con este modelo se buscó el equilibrio en la toma de decisiones, Poniendo peso Maxisum y Maximin, con el Nivel de adecuación.

La tabla 12 se basó en los resultados de la tabla 11 aplicando la ecuación de normalización explicada en la metodología, dando resultados de adecuación de 0, 100, al final se hizo una suma ponderada de todos los resultados dando un valor diferente es decir los niveles de adecuación considerando un peso de 0.5 para cada criterio de los modelos L-A y un peso de 0.4 para el nivel de adecuación derivado del análisis de los factores ambientales.

Tabla 12. Nivel de adecuación

N°	Maximin Simple		Maximin*pob		Maximin Ponderado		Maxisum Simple		Maxisum*pob		Maxsum Ponderado		Nivel de adecuación	
	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U		
19	14.3	11.8	8.3	1.2	4.8	0.8	2.9	0.2	4.5	10.4	100.0	8.2	0.0	8.4
20	25.7	45.1	13.3	62.1	1.9	2.0	28.3	33.3	14.6	28.4	1.0	1.8	2.9	14.0
21	0.0	37.3	0.0	22.1	9.0	2.8	3.5	61.1	5.0	64.0	2.3	1.9	10.5	14.7
26	42.9	70.6	1.4	0.9	0.1	0.0	47.9	75.6	8.6	72.3	0.2	0.5	3.1	17.3
24	2.9	100.0	0.2	0.0	3.0	0.0	46.3	76.5	11.2	40.2	0.5	0.0	11.5	18.6
23	10.6	11.8	6.1	31.4	6.6	16.9	29.5	1.5	1.3	20.5	1.1	19.0	14.9	13.8
25	48.6	9.8	100.0	19.1	2.8	13.8	38.6	24.1	4.8	33.7	0.4	10.9	2.9	16.5
16	57.1	11.8	10.1	5.4	0.2	3.0	29.3	4.5	1.4	10.7	0.0	8.2	42.6	24.1
9	8.6	52.9	0.5	1.3	1.3	0.1	13.2	62.2	100.0	0.0	2.1	1.8	33.7	25.7
13	42.9	19.6	44.0	12.4	1.7	4.0	29.9	31.2	8.8	39.2	0.5	4.4	44.6	29.8
24	0.3	0.0	4.6	8.5	100.0	24.8	5.2	5.6	6.1	25.5	16.0	100.0	24.1	24.5
12	100.0	33.3	53.6	22.8	0.2	1.5	100.0	31.6	20.4	26.7	0.0	4.0	32.7	32.8
6	65.7	90.2	0.4	100.0	0.0	0.5	74.3	100.0	12.6	100.0	0.0	0.4	24.9	37.1
8	8.6	60.8	6.5	34.2	10.3	0.5	2.6	69.7	3.1	79.5	2.3	0.8	93.7	51.4
3	17.1	11.8	10.8	27.2	4.1	14.6	6.1	14.3	3.5	31.7	1.3	17.1	100.0	48.0
4	0.3	0.0	4.6	4.1	100.0	24.8	5.2	5.6	0.0	25.5	15.1	100.0	79.3	46.0
11	8.6	0.0	4.9	17.3	7.9	100.0	0.0	0.0	4.3	26.1	3.1	70.7	35.0	26.1

Figura 30. Mapa Final zonas más adecuadas para la localización de un sitio para la Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos en la región del Valle de Toluca



Después de la depuración y de darle el peso correspondiente a cada criterio, el resultado fueron 3 polígonos. El factor ambiental es fundamental en la medida en que incide directamente en las características del emplazamiento y entorno circundante. Un ejemplo podría encontrarse en rellenos situados sobre terrenos yermos e improductivos, alejados de poblaciones y de infraestructuras, evidentemente estos no serán factores ambientales afectados por la instalación. Mediante la metodología empleada se pudo llegar a proponer un predio para la localización de un nuevo relleno sanitario. En factores de decisión macro organizados en niveles jerarquizados permitieron localizar zonas posibles. Estos se llevaron a cabo luego de una primera inspección visual y adicionando los datos.

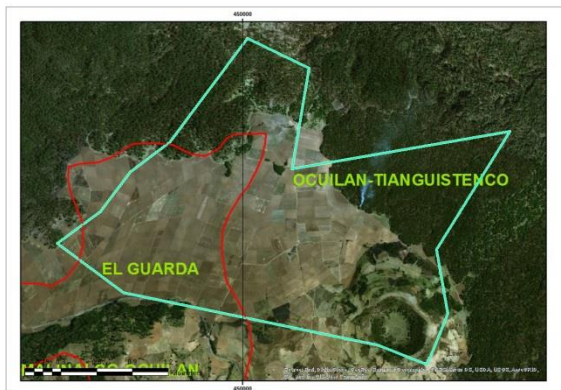
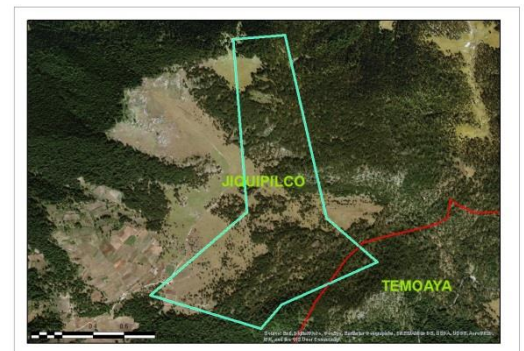
En los predios situados hacia el sur, ya no son parte de la zona de estudio valle de Toluca pero su formación tiene mayores posibilidades de contar con material de cobertura, finos y arenosos. En cualquiera de los escenarios puede recurrirse a afectaciones en actividad en las cercanías como fuente de material de relleno, etc.

El predio ubicado en la zona centro del área de estudio presenta mejores características en cuanto al suelo y la disponibilidad de materiales.

A continuación se describe los sitios que se obtuvieron como resultado que arrojó la metodología propuesta para esta investigación:

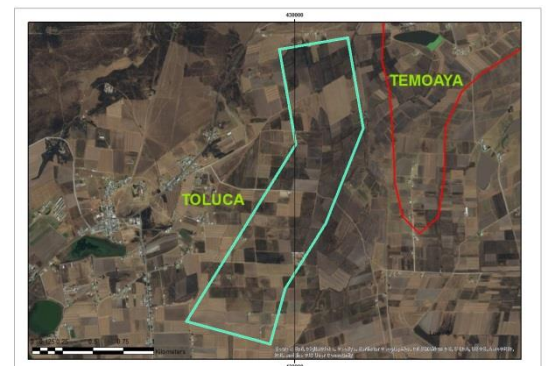
SITIO 1:

Se encuentra en el municipio de Jiquipilco; colindando un pequeño porcentaje en Temoaya que es parte de la zona de estudio con una superficie de 108.5 ha.



SITIO 2: Se encuentra en el municipio de Ocuilán con una superficie de 500.6 ha.

SITIO 3: Se encuentra en la zona de estudio en el municipio de Toluca colindado con Temoaya con una superficie de 145.8 ha.



CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se cumplieron con los objetivos, sin embargo no se tuvo el resultado esperado, ya que **no existe un lugar óptimo** para la disposición final de los residuos sólidos urbanos dentro de la región del valle de Toluca. Existen, sin embargo, lugares con menores externalidades negativas ambientales fuera del área de estudio.

Se consideraron las variables de la Norma Oficial Mexicana 083-SEMARNAT-2003 la cual fue parte fundamental 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. 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 manejará 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.

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 puede encontrar el sitio perfecto sino 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 planificadores y otros especialistas.

La mayoría de los criterios que fueron tomados para determinar los factores y restricciones se basaron en la norma oficial mexicana 083.SEMARNAT-2003. Existe, sin embargo, cierto nivel de 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 de 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 a una variable específica, pero esto dependerá en gran medida del enfoque del estudio.

La gestión de los residuos sólidos ha alcanzado en muchos países un alto rango de importancia, respondiendo a los llamados internacionales por alcanzar la sostenibilidad ambiental y proteger la salud pública, desde un enfoque de la economía de los recursos naturales.

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:

- ❖ Ampliar la zona de estudio, ya que fuera de la zona se encontraron los polígonos con mayor superficie.
- ❖ 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.

- ❖ Aplicar esta metodología en una primera fase para determinar los sitios candidatos ya que al implementarlo se optará solo por los sitios que ocasionarían el menor riesgo de contaminación hacia lo ambiental.
- ❖ 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. Ya que dentro de la zona existen vertederos poco contralados.
- ❖ 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.

Referencias

- Aguirre N; Arancibia H; Grandón C; Marchant; Andrade G (2006) "*Propuesta de optimización técnica de Rellenos Sanitarios, un acercamiento metodológico*" Revista de la Construcción, vol. 5, núm. 1, pp. 62-70. Consultado el 10 de marzo del 2016 en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619408008>
- Barredo I. (1996) "*Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*" Ed. RA-MA, 1996, MADRID pp 127
- Bosque J; Gómez M; Palm F (2006) "*Un nuevo Modelo para Localizar Instalaciones no Deseables: ventajas derivadas de la integración de modelos de localización-asignación y SIG*" Cuadernos Geográficos, núm. 39, 2006, pp. 53-68. Consultado el 05 de abril de 2016 en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17103904>
- Bosque J; Díaz C; Díaz M (2002) "*De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la comunidad de madrid*" Boletín de la Real Sociedad Geográfica, t. CXXXVII-CXXXVIII, pp.89-114. Consultado 06 de abril de 2016 en <http://geogra.uah.es/joaquin/pdf/justicia-espacial-ambiental.pdf>
- Bosque, J y Franco, S (1995) "*Modelos de localización-asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables*". Serie Geográfica, 5, 97-112. Consultado el 05 de abril de 2016 en <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/1042/Modelos%20de%20Localizaci%20?sequence=1>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2010) "*Delimitación de zonas urbanas 2010*" Consultado el 14 de marzo de 2016, en [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas metropolitanas 2010](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010)
- Colomer F; Altabella J; García D; Ferrán H; Prats L; Robles F (2013) "*Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental. Caso de España*" *Ingeniería*, vol. 17, núm. 2, mayo-agosto, 2013, pp. 141-151

Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México. Consultado el 09 de marzo del 2016 en <http://www.redalyc.org/pdf/467/46730913005.pdf>

Compromiso Empresarial Para el Reciclaje (CEPRE) (1997) “*Residuos Sólidos Urbanos. Manual de Gestión Integral*” Capítulo V, *DISPOSICION FINAL*. pp. 103-120. Consultado el 14 de marzo de 2016, en http://www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/capitulo_4.pdf

Delgado O; Mendoza M; López I (2005) ”Análisis comparativo de tres modelos de soporte de decisiones espaciales en la selección de sitios para rellenos sanitarios en la cuenca del lago de Cuitzeo, México” Investigaciones geográficas no.57 Consultado el 30 abril del 2016 en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112005000200003

García M (2003) “*La distinción alimentaria de Toluca. El delicioso valle y los tiempos de escases 1750-1800*” en María del Carmen León (2003) *Historia Mexicana* Vol. LII, Núm. 4, pp 1095-1108. El Colegio de México.

García I; Leyda E (2002) “*xxvi Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental*” Diagnóstico ambiental en una empresa consultado el 24 de mayo del 2017 en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/peru/veniaa028.pdf>

Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) (2003) “*Coordinación Ejecutiva para el Desarrollo Sostenible*” en *Generación Reduce Recicla Reutiliza* pp 11-30 Provincia de Buenos Aires. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU)

Honorable Ayuntamiento de Toluca (HAT) (2014) “*Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial de Toluca, Estado de México*”. H. Ayuntamiento de Toluca

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (1996) “Los instrumentos económicos aplicados al medio ambiente” Consultado el 18 de Marzo en http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=20

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2000) “Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas” Consultado el 1 de abril en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/105.pdf>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010) “*censo de población y vivienda 2010*” Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Consultado el 30 de marzo en <http://www.censo2010.org.mx/>

Jaramillo J (1991) “*Guía para el diseño, Construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*” BVSDE Desarrollo Sostenible pp 15-45. Consultado el 30 de marzo en <http://www.bvsde.paho.org/acrobat/relleno.pdf>

López I; Anido C; Borzacconi I (2000) “*Metodología para la localización de un relleno sanitario y su aplicación para una ciudad del Uruguay*” Memorias del XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Consultado el 10 de marzo en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-151.pdf>

Ley General para la Gestión integral de los Residuos y su reglamento (LGPGIR) (2001) “manejo integral de residuos peligrosos” Diario Oficial de la Federación.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.(LGEEPA)(2015) “Capítulo iii Política Ambiental” Diario Oficial de la Federación. Consultado el 20 de Mayo 2017 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/109439/Ley_General_de_Cambio_Clim_tico.pdf

Pérez I (2004) “*Elaboración de proyecto de inversión para la construcción de un relleno sanitario seco en el H. Ayuntamiento de Toluca de Lerdo Estado*”

de México." tesis de maestría en administración del a construcción" del Instituto tecnológico A.C.

Programa de Protección Civil para basureros (PPC) (2015) *"Residuos Sólidos Urbanos (RSU) "Gobierno del Estado de México consultado el 2 de abril 2016* en http://dgproteccion_civil.edomex.gob.mx/sites/dgproteccion_civil.edomex.gob.mx/files/files/programas%20de%20Prevencion/Programas%20pdf/PPC%20Basureros%202015.pdf

Sistema de Ingeniería y Control Ambiental (SICA) (2013) *"Situación Actual y Generación de Residuos Sólidos Urbanos"* Sistema de Ingeniería y Control Ambiental.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2006) Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado el 20 de marzo en <http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamiento-ecologico/programa-de-ordenamiento-ecologico-general-del-territorio-poegt>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2012) NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Consultado el 20 de marzo 2016 en http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004

Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDEMA) (2012) Sitios de disposición Final de Residuos Sólidos Municipales. Gobierno del Estado de Yucatán Consultado el 1 de abril en <http://www.seduma.yucatan.gob.mx/residuos-solidos/sdfrs.php>

ANEXOS

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		0.2	103.0	19.6	2853.2	2.4	3654.0	8769.6	634.4
21	289.481192	0.9	300.0	270.0	370.4	6.0	2168.0	13008.0	60.2
		1.8	1814.0	3265.2	559.9	6.8	4398.0	29906.4	95.1
		2.8	719.0	2013.2	91.7	7.4	1175.0	8695.0	21.5
		1.3	432.0	561.6	255.6	6.3	1811.0	11409.3	45.6
		1.7	2234.0	3797.8	773.0	6.8	4713.0	32048.4	101.9
		2.3	580.0	1334.0	109.6	6.8	5978.0	40650.4	129.3
		11.0	6182.0	11261.4	5013.4	42.5	23897.0	144487.1	1088.0

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		Distancia	PobTotal			Distancia	PobTotal		Fuerza
23	514.1198	0.57	679	387.0	2089.9	1.1	4713	5184.3	3895.0
		1	274	274.0	274.0	1.3	3001	3901.3	1775.7
		1.4	328	459.2	167.3	2.1	1881	3950.1	426.5
		1.9	262	497.8	72.6	2.5	1765	4412.5	282.4
		3.9	61	237.9	4.0	2.5	4713	11782.5	754.1
		4.9	125	612.5	5.2	1.7	3001	5101.7	1038.4
		5.4	266	1436.4	9.1	3.4	3764	12797.6	325.6
		19.07	1995	3904.83	2622.1357	14.6	22838	47130	8497.8054

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		1.9	3175	6032.5	879.5	1	3175	3175.0	3175.0
25	336.8756	2.5	266	665	42.6	3.1	5067	15707.7	527.3
		2.8	81	226.8	10.3	2.1	3001	6302.1	680.5
		3.2	424	1356.8	41.4	2.9	3175	9207.5	377.5
		4.2	274	1150.8	15.5	4.4	1575	6930.0	81.4
		2.9	266	771.4	31.6	5.4	45	243.0	1.5
		4.4	125	550	6.5	6.3	5557	35009.1	140.0
		21.9	4611	10753.3	1027.4	25.2	21595	76574.4	4983.2

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		1.7	1567	2663.9	542.2	1.5	2077.0	3115.5	923.1
		2.6	1500	3900.0	221.9	3.0	6460.0	19380.0	717.8
		3	32	96.0	3.6	3.9	1377.0	5370.3	90.5
13	300.866	2.6	1017	2644.2	150.4	4.4	1718.0	7559.2	88.7
		2.4	1455	3492.0	252.6	5.2	479.0	2490.8	17.7
		3	876	2628.0	97.3	4.5	3563.0	16033.5	176.0
		3.9	830	3237.0	54.6	6.0	5826.0	34956.0	161.8
		19.2	7277	18661.1	1322.6	28.5	21500.0	88905.3	2175.7

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		3.7	876	3241.2	64.0	2.2	1718	3779.6	355.0
		6.9	1455	10039.5	30.6	2.2	3573	7860.6	738.2
		8.8	65	572	0.8	2.3	479	1101.7	90.5
12	145.8345	8.5	2158	18343	29.9	2.3	2209	5080.7	417.6
		4.8	1879	9019.2	81.6	3.7	4330	16021	316.3
		4	53	212	3.3	7.8	2966	23134.8	48.8
		4.3	32	137.6	1.7	8.2	479	3927.8	7.1
		41	6518	41564.5	211.9	28.7	15754	60906.2	1973.5

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		0.21	1399	293.8	31723.4	0.5	1429.0	714.5	5716.0
		1	1108	1108.0	1108.0	0.3	3208.0	962.4	35644.4
		2.8	590	1652.0	75.3	4.3	5641.0	24256.3	305.1
4	229.7949	1.5	1429	2143.5	635.1	2.5	252.0	630.0	40.3
		1.6	285	456.0	111.3	2.1	4925.0	10342.5	1116.8
		2.4	2563	6151.2	445.0	2.2	3823.0	8410.6	789.9
		2	789	1578.0	197.3	4.6	2831.0	13022.6	133.8
		11.51	8163	13382.5	34295.3	16.5	22109.0	58338.9	43746.3

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		0.5	105.0	52.5	420.0	3.2	252.0	806.4	24.6
9	217.6657	1	254	356	130	4	3815	13353	311
		2	395	751	109	5	7331	35922	305
		2	301	632	68	7	7331	47652	174
		2	1131	1810	442	7	4925	34968	98
		2	72	173	13	8	3539	28312	55
		4	217	781	17	9	4030	37479	47
		14	2475	4554	1198	43	31223	198491	1014

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		0.5	629.0	314.5	2516.0	0.5	5753.0	2876.5	23012.0
11	217.3985	1.4	32.0	44.8	16.3	1.0	5713.0	5713.0	5713.0
		1.1	628.0	690.8	519.0	2.9	4381.0	12704.9	520.9
		0.5	644.0	322.0	2576.0	3.2	4352.0	13926.4	425.0
		1.2	841.0	1009.2	584.0	2.3	1384.0	3183.2	261.6
		2.1	2554.0	5363.4	579.1	1.7	733.0	1246.1	253.6
		3.1	644.0	1996.4	67.0	2.3	4330.0	9959.0	818.5
		9.9	5972.0	9741.1	6857.5	13.9	26646.0	49609.1	31004.7

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		1.1	745	819.5	615.7	2.8	3645	10206	464.9
20	190.158	1.5	472	708	209.8	4	1047	4188	65.4
		1.6	1814	2902.4	708.6	4.3	1765	7589.5	95.5
		2.3	2100	4830	397.0	4.7	1811	8511.7	82.0
		3.5	99	346.5	8.1	4.2	2168	9105.6	122.9
		4.1	4623	18954.3	275.0	4.5	679	3055.5	33.5
		4.6	332	1527.2	15.7	5	4398	21990	175.9
		18.7	10185	30087.9	2229.8	29.5	15513	64646.3	1040.2

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		3	185.1558	0.8	836	668.8	1306.3	1.1	4078
1.8	412			741.6	127.2	3.7	3215	11895.5	234.8
2.1	1232			2587.2	279.4	3.9	1565	6103.5	102.9
1.1	124			136.4	102.5	2.5	6455	16137.5	1032.8
1.8	397			714.6	122.5	2.1	5772	12121.2	1308.8
1.4	2078			2909.2	1060.2	1.4	3079	4310.6	1570.9
2.8	192			537.6	24.5	5.9	2879	16986.1	82.7
11.8	5271			8295.4	3022.5	20.6	27043	72040.2	7703.3

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		19	146.141	0.7	745	521.5	1520.4	1.1	220
0.1	2100			210	210000.0	1.4	4378	6129.2	2233.7
1	660			660	660.0	1.6	679	1086.4	265.2
1.7	563			957.1	194.8	2.1	1047	2198.7	237.4
1.6	109			174.4	42.6	2.6	1765	4589	261.1
2.9	2360			6844	280.6	3	1811	5433	201.2
2.8	332			929.6	42.3	2.2	2168	4769.6	447.9
10.8	6869			10296.6	212740.8	14	12068	24447.9	3828.4

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		8	118.9223	0.5	816	408	3264.0	3.6	1565
		0.6	150	90	416.7	4.7	3215	15110.5	145.5
		0.7	320	224	653.1	5.5	1938	10659	64.1
		1	380	380	380.0	6.8	4744	32259.2	102.6
		2.2	851	1872.2	175.8	7.6	3799	28872.4	65.8
		2.5	1121	2802.5	179.4	9.4	5829	54792.6	66.0
		3.2	515	1648	50.3	8.9	3563	31710.7	45.0
		10.7	4153	7424.7	5119.2	46.5	24653	179038.4	609.7

N°S	Área del Polígono	RURAL		Maxisum	MaxiMin	URBANA		Maxisum	MaxiMin
		16	111.3357	2.2	284	624.8	58.7	1.1	838
		2.3	7	16.1	1.3	1.9	3825	7267.5	1059.6
		2.3	280	644	52.9	1.3	2503	3253.9	1481.1
		2.6	156	405.6	23.1	2.1	832	1747.2	188.7
		2.5	562	1405	89.9	2.3	854	1964.2	161.4
		2.8	253	708.4	32.3	3.4	2313	7864.2	200.1
		4.3	63	270.9	3.4	3.9	571	2226.9	37.5
		19	1605	4074.8	261.6	16	11736	25245.7	3820.9