

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



UBICACIÓN DE SITIOS PARA ESTABLECER RELLENOS
SANITARIOS MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA (GIS)

POR

MARIO ALBERTO HERNÁNDEZ JAIMES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**UBICACIÓN DE SITIOS PARA ESTABLECER RELLENOS SANITARIOS
MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS)**

TESIS DEL C., MARIO ALBERTO HERNÁNDEZ JAIMES QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:



Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA
ASESOR PRINCIPAL



Ph. D. JUAN G. MARTINEZ RODRIGUEZ
COASESOR

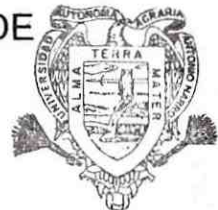


Dr. MARIO GARCIA CARRILLO
COASESOR

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS**



ING. ROLANDO LOZA RODRIGUEZ



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS
UAAAN UL

TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:


INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE: _____


Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

VOCAL: _____


Ph. D. JUAN GUILKERMO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

VOCAL: _____

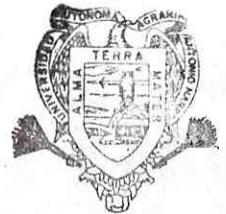

Dr. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL SUPLENTE: _____


Dr. HECTOR MADINAVEITIA RÍOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS


ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS
UAAVAAN UL

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila por otorgarme el estímulo de la “**Beca Tesis**”, que sirvió para costear los gastos ocasionados por la realización de la tesis, además de darme la oportunidad de participar en el “**5° Verano de la Ciencia en Coahuila 2003**”. Cabe destacar el valioso apoyo recibido del Lic. Andrés Farías Cortés, Director Regional y a la Lic. Maria de Lourdes Hernández Castillo, Jefa de Formación de Recursos Humanos, incansables promotores de estos importantes programas.

El presente trabajo de investigación se realizó en sus totalidad en las instalaciones del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relación Agua – Suelo – Planta – Atmósfera (CENID –RASPA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Gómez Palacio, Durango, bajo la dirección y asesoría del Ph. D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por darme la oportunidad de concluir satisfactoriamente mis estudios.

A MIS PADRES

Alejandro Hernández López y Sofía Jaimes Carbajal por su amor y cariño. Además de ser fuente de ejemplo y deseos de superación.

A MIS HERMANOS

Gilberto, Francisca, Maurilio, Juan Luís, Alejandro, Alma Angelina y Sabino por su cariño, confianza y apoyo incondicional a lo largo de mi Vida y mis estudios universitarios.

A MIS COMPAÑEROS

Por haber compartido grandes momentos a lo largo de la carrera.

A MIS AMIGOS

Por haberme brindado su amistad y confianza a lo largo de mis estudios profesionales

AGRADECIMENTOS

Al PUEBLO DE MÉXICO, porque gracias a sus aportaciones es posible que en nuestro país existan instituciones de educación superior como mi "ALMA TERRA MATER" que brinden la oportunidad para el desarrollo de una carrera universitaria.

A mi "ALMA TERRA MATER" por darme la oportunidad de concluir satisfactoriamente mis estudios y proporcionarme las herramientas necesarias para el desempeño de mi futura Vida Profesional.

A los integrantes del Departamento de Biología, Riego y Drenaje, Suelos y Socioeconómicas de mi "ALMA TERRA MATER" que de alguna manera intervinieron a lo largo de mis estudios.

Al Ph. D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez, por su amistad, apoyo incondicional y orientación, así como su colaboración durante todo el desarrollo de este trabajo.

Al Ph. D. Vicente de Paul Álvarez Reyna, por su amistad, orientación y colaboración a lo largo de este trabajo y durante mis estudios.

Al Dr. Mario García Carrillo por su amistad y colaboración para concluir este trabajo.

Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos por su amistad y apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Al CENID – RASPA (Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua – Suelo – Planta – Atmósfera, por su apoyo material al darme la oportunidad de integrarme en el desarrollo de este proyecto.

A todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron durante el desarrollo de mis estudios y en la realización de este trabajo.

INDICE GENERAL

PAGINA

ÍNDICE.....	I
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO.....	4
2.1 General.....	4
2.1 Específicos.....	4
2.HIPÓTESIS.....	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 Antecedentes.....	5
3.1.1Definición de relleno sanitario.....	5
3.2 Reacciones que se generan en un relleno sanitario.....	6
3.2.1 Cambios físicos, químicos y biológicos.....	6
3.2.1.1 Cambios físicos.....	6
3.2.1.2 Reacciones químicas.....	6
3.2.1.3 Reacciones biológicas.....	7
3.2.2 Composición del gas del relleno.....	7
3.2.3 Composición del lixiviado.....	9
3.3 Problemas ambientales en la disposición de residuos sólidos.....	9
3.4 Selección del sitio para el relleno sanitario.....	13
3.4.1 Metodología de selección del sitio.....	14
3.4.2 Identificación y evaluación de zonas de estudio.....	15
3.4.2.1 Identificación de sitios potenciales.....	16
3.4.2.2 Evaluación selección de sitios potenciales.....	17
3.4.3 Selección final del sitio.....	17
3.4.3.1 Vida útil del sitio.....	18

3.4.3.2 Tierra de cobertura.....	18
3.4.3.3 Topografía del sitio.....	18
3.4.3.4 Vías de acceso.....	18
3.4.3.5 Vientos dominantes.....	19
3.4.3.6 Geología e hidrogeología.....	19
3.4.3.7 Hidrología superficial.....	19
3.4.3.8 Tenencia de la tierra.....	20
3.5 Marco legal aplicable al manejo de los residuos sólidos municipales.....	20
3.5.1 Marco legal vigente.....	20
3.5.2 Normas relativas a los residuos sólidos.....	21
3.6 Sistemas de información geográfica.....	22
3.6.1 Introducción.....	22
3.6.2 Definición de GIS.....	22
3.6.3 Principios de la tecnología GIS.....	23
3.6.4 Modelo vectorial topológico.....	25
3.6.5 Uso del GIS en la modelación ambiental.....	26
3.6.6 Uso del GIS en la ubicación de rellenos sanitarios.....	27
3.6.6.1 Procedimientos de selección.....	28
3.6.7 Ventajas y limitaciones.....	29
3.6.7.1 Ventajas.....	29
3.6.7.2 Limitaciones.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
4.1 Descripción del área de estudio.....	31
4.2 Descripción de los datos y el sistema.....	32
4.2.1 Sistema de información geográfica (GIS).....	32
4.2.2 Descripción de datos.....	33
4.2.2.1 Modelo de elevación digital.....	34
4.2.2.2 Mapa digital geológico.....	35
4.2.2.3 Mapa digital edafológico.....	36
4.2.2.4 Mapa digital de poblaciones.....	37

4.2.2.5 Mapa digital de pozos profundos.....	38
4.2.2.6 Mapa digital de vías de comunicación e infraestructura.....	39
4.2.2.7 Mapa digital de hidrología de agua superficial.....	40
4.2.2.8 Mapa digital de uso de suelo y vegetación.....	41
4.2.2.9 Mapa digital de hidrología de agua subterránea.....	42
4.3 Manejo de la cartografía digital.....	43
4.3.1 Estimación de la población.....	48
4.3.2 Definición de variables.....	48
4.3.3 Establecimiento de condiciones para la selección de los sitios potenciales.....	50
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
5.1 Estimación de la población.....	52
5.2 Cruzamiento de la información.....	53
6 CONCLUSIONES.....	57
7 RECOMENDACIONES.....	58
LITERATURA CITADA.....	59
APÉNDICE A.....	63
APÉNDICE B.....	65
APÉNDICE C.....	67
APÉNDICE D.....	69
APÉNDICE E.....	71
APÉNDICE F.....	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
3.1	Componentes y características típicas encontradas en el gas del relleno.....	8
3.2	Composición química de los lixiviados de residuos sólidos municipales.....	10
5.1	Poblaciones mayores a 2500 habitantes.....	53
5.2	Distribución porcentual de sitios potenciales en la Comarca Lagunera de Coahuila.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
3.1	Entradas y salidas de un proceso de degradación del relleno sanitario.....	11
3.2	Principales medios ambientales susceptibles de ser contaminados por los rellenos sanitarios.....	11
3.3	3.3 Diagrama de exposición para un sitio contaminado en Italia.....	12
3.4	Superposición de planos con criterios de selección.....	16
3.5	Representación del mundo real, en formato vectorial y raster.....	24
3.6	Un Sistema de Información Geográfica (GIS) almacenado información posicional (x, y) y atributos (z) obtenidos en diferentes tiempos.....	25
3.7	Codificación de características utilizando una estructura de datos topológicos consistente en nodos, arcos y etiquetas....	26
4.1	Temperatura promedio anual de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	31
4.2	Precipitación total anual promedio de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	32
4.3	Modelo de Elevación Digital de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	35
4.4	Permeabilidad de acuerdo al tipo de roca de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	36
4.5	Textura de los suelos de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	37
4.6	Poblaciones de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	38
4.7	Pozos profundos de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	39
4.8	Vías de comunicación e infraestructura de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	40

4.9	Hidrología superficial de la Comarca Lagunera de Coahuila.	41
4.10	Uso del suelo en la Comarca Lagunera de Coahuila.....	42
4.11	Hidrología subterránea de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	43
4.12	Diagrama general del procedimiento empleado en el estudio	45
4.13	Formato raster del tema de edafología.....	46
4.14	Reclasificación del tema de edafología.....	47
4.15	Distribución de pendientes en la Comarca Lagunera de Coahuila.....	47
5.1	Sitios potenciales de acuerdo a la primera condición.....	53
5.2	Sitios potenciales de acuerdo a la segunda condición.....	54
5.3	Sitios potenciales de acuerdo a la tercera condición.....	55
5.4	Sitios potenciales de acuerdo a la cuarta condición.....	56

RESUMEN

La Comarca Lagunera de Coahuila experimenta un crecimiento económico importante, que trae consigo un incremento en la generación de residuos sólidos municipales, los cuales podrían repercutir negativamente sobre el medio ambiente, sino se les proporciona un manejo adecuado. En el pasado la ubicación de sitios permanentes para la disposición de residuos sólidos municipales empleaba técnicas que demandaban un gran cantidad de tiempo y recursos. Actualmente, existen herramientas que permiten detectar en forma sencilla y sistemática aquellos sitios que reúnen las características adecuadas para la ubicación de rellenos sanitarios.

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una metodología, utilizando sistemas de información geográfica (GIS), para determinar la ubicación de sitios potenciales de rellenos sanitarios, de acuerdo a lo establecido en la norma oficial vigente.

Dentro de los resultados obtenidos, se puede mencionar que: se diseñó un Sistema de Información Geográfica regional que permite detectar los sitios en los cuales establecer rellenos sanitarios, de acuerdo a diversos criterios de evaluación. Los municipios que presentan mayores áreas potenciales con respecto a su superficie territorial son: San Pedro con 38.04 %, seguido de Francisco I. Madero 36.19 %, Torreón 26.24 %, Viesca 16.55 % y por último Matamoros 4.46 % respectivamente. Se recomienda realizar un estudio de campo detallado de acuerdo con la norma oficial mexicana vigente en materia geológica, hidrogeológica con el fin de comprobar los resultados aquí expuestos, además de realizar un estudio de viabilidad económica para los sitios de interés.

SUMMARY

The Comarca Laguna of Coahuila experiment an important economic growth , that in turn brings an increment in the generation of municipal solid waste. This solid waste could impact negatively the environment if appropriate handling is not provided. In the past, the location of municipal waste disposal sites was made using both high time and resources demanding techniques. Currently, there are several tools that allow to determine the best location for those site.

The main objective of this research was to develop a methodology, using a geographic information system to determine the best location to establish municipal landfill, taking as a base line the NOM-083-SEMARNAT-1996. As results we can mention that a regional geographic information system was developed which allow determining the best location for municipal landfill sites. The counties that present bigger areas with regard to their territorial surface according to the four conditions employees in the study area were: San Pedro with 38.04 %, followed by Francisco I. Madero 36.19 %. Torreón, 26.24 %, Viesca 16.55 % and finally Matamoros 4.46 % respectively. With the purpose of checking the results here exposed, it is recommended to carry out both a field study according with the NOM-083-SEMARNAT-1996, and an economic viability study for the places of interest.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento poblacional y los patrones de producción y consumo han traído como consecuencia una serie de problemas a escala mundial, tanto por la falta de control ambiental en los procesos industriales, como por las instalaciones inadecuadas o insuficientes para un manejo seguro de los procesos. El crecimiento urbano ha propiciado un incremento en la generación de residuos provenientes de actividades que se desarrollan en casas-habitación, sitios de servicios privados y públicos, construcciones, demoliciones, establecimientos comerciales y de servicios.

Éstos son considerados como residuos sólidos municipales y su disposición final es la última etapa del sistema de aseo urbano de cualquier ciudad y está íntimamente relacionada con la preservación del ambiente, así como con la salud de la población, por lo que su control y tratamiento debe ser mediante un sistema adecuado que minimice los impactos negativos hacia los ecosistemas (INEGI, 1999).

México, al igual que muchos países en el mundo, enfrenta grandes retos en el manejo integral de sus residuos sólidos municipales (RSM). Esto se debe, principalmente, al elevado crecimiento demográfico e industrial del país, al cambio de hábitos de consumo de la población, elevación de los niveles de bienestar, y a la tendencia a abandonar las zonas rurales para concentrarse en los centros urbanos. Lo anterior ha modificado de manera sustancial la cantidad y composición de los residuos sólidos municipales, la generación aumentó de 300 gramos por habitante por día en la década de los cincuentas a más de 860 gramos en promedio para el año 2000. Asimismo, la

población se incrementó en el mismo periodo de 30 millones a más de 97 millones, contribuyendo a la fecha a una generación nacional estimada de 84,200 ton diarias (Bolaños-Cacho, *et al.* 2001).

De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), en cuatro décadas la generación de RSM se incrementó nueve veces y su composición cambio de ser mayoritariamente orgánica, fácilmente integrable a los ciclos de la naturaleza, a estar caracterizada por abundantes elementos cuya descomposición es lenta y requiere de procesos complementarios para efectuarse, a fin de reducir sus impactos al ambiente. Actualmente, la SEDESOL estima que se recolecta 83 % del total de los RSM generados, es decir 69,886 ton, y quedan dispersos diariamente 14,314 ton. Del total generado, sólo poco más de 49 % se deposita en sitios controlados, esto es, 41,258 ton por día, lo que quiere decir que 42,942 ton se disponen diariamente a cielo abierto, en tiraderos no controlados o en tiraderos clandestinos. Existen graves daños provocados al ambiente por el manejo inadecuado de los RSM, entendiendo manejo como las diferentes fases del ciclo de vida de los residuos desde que se generan, almacenan, transportan, tratan y disponen en algún sitio. Tal situación se debe a que por mucho tiempo en México, el control sobre los RSM ha sido inadecuado y aún no se logra, en todo el territorio nacional, la incorporación de técnicas modernas de administración para la solución de este problema que, en forma directamente proporcional al tiempo que pasa, se va agravando (Bolaños-Cacho, *et al.*,2001)

En la Región Lagunera de Coahuila, que comprende los municipios de Torreón, Matamoros, Francisco I. Madero, San Pedro de las Colonias y Viesca, no existen estadísticas publicadas de la generación de residuos sólidos municipales es por ello se toma como punto de referencia la proyección de la generación per capita de la Zona Norte para el año 2000, que es del orden 0.94 kg/hab/día (Pont, 1997). De acuerdo al XII Censo de Población y Vivienda 2000, la población de los cinco municipios es de 775,305 habitantes (INEGI, 2000), y

se estima que la generación anual de residuos sólidos municipales en el año 2000 fue de 266,007 toneladas.

OBJETIVOS

Objetivo general.

- Ubicar sitios potenciales para establecer rellenos sanitarios en la Región Lagunera, de acuerdo con la norma vigente, utilizando Sistemas de Información Geográfica (GIS).

Objetivos específicos.

- Desarrollar de una base de datos digital que comprenda los elementos climáticos, físicos y sociales incluidos dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996.
- Desarrollar de una metodología adecuada para la ubicación de los sitios potenciales a utilizarse como rellenos sanitarios.
- Desarrollar de un sistema de información geográfico, para la Comarca Lagunera de Coahuila, que permita un fácil acceso al análisis geográfico de problemas ambientales, específicamente, la localización de rellenos sanitarios.

HIPÓTESIS

El uso de un GIS permite el análisis espacial de grandes áreas y es de gran ayuda para determinar la ubicación más adecuada de sitios en los que se puedan establecer rellenos sanitarios.

REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Antecedentes

La disposición final de los residuos sólidos ha sido practicada por varios siglos. En realidad, hace 2000 años los griegos enterraban sus residuos sólidos sin compactar. En 1930, en la ciudad de Nueva York y Fresno, California, iniciaron la compactación de los residuos con equipo pesado y cubriéndolos, así el término de "Relleno Sanitario" fue inventado (SEDESOL, 2001).

Las prácticas modernas de vertido incluyen programas de seguimiento de los residuos entrantes, para gases, para lixiviados, etc. Con el fin de controlar la contaminación del entorno circundante, especialmente las aguas subterráneas, las superficiales y de la atmósfera (Kiely, 1999). En México, generalmente se han utilizado para la disposición de residuos sólidos, sitios inadecuados como: minas de materiales permeables, cauces de ríos, hondonadas y barrancas, principalmente; los cuales por el tipo de suelo, ubicación, etc., se han convertido en focos de contaminación de alto riesgo para los seres vivos.

3.1.1 Definición de relleno sanitario

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica (SEDESOL, 2001).

3.2 Reacciones que se generan en un relleno sanitario

Los RSM depositados en un relleno sanitario presentan una serie de cambios físicos, químicos y biológicos de manera simultánea e interrelacionada. Estos cambios se describen a continuación a fin de dar una idea de los procesos internos que se presentan cuando los residuos son confinados (Jaramillo, 2002).

3.2.1 Cambios físicos, químicos y biológicos

3.2.1.1 Cambios físicos

Los cambios físicos más importantes están asociados con la compactación de los RSM, la difusión de gases dentro y fuera del relleno sanitario, el ingreso de agua y el movimiento de líquidos en el interior y hacia el subsuelo, y con los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de la materia orgánica depositada (Jaramillo, 2002). El movimiento y las emisiones de gas del relleno necesitan una consideración en la administración del relleno. Mientras se está produciendo gas dentro del relleno, la presión interna puede crecer, causando roturas en la cobertura del relleno y por lo tanto los escapes. El agua que entra en el relleno sanitario a través de la cobertura rota puede aumentar la velocidad de producción del gas, causando todavía más fracturas. El gas de relleno que consiga escapar podría llevar al ambiente circundante oligocompuestos cancerígenos y taratogénicos (Tchobanoglous, *et al.* 1998)

3.2.1.2 Reacciones químicas

Las reacciones químicas más importantes que se producen dentro de un relleno incluyen: 1) la disolución y arrastre en suspensión de los materiales de los residuos y de productos de conversión biológica en los líquidos que se filtran a través de los residuos; 2) la evaporación de compuestos químicos y de agua en el gas de relleno; 3) la absorción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en el material vertido; 4) la deshalogenación y descomposición de

compuestos orgánicos, y 5) reacciones de oxidación-reducción que afecta a metales y a la solubilidad de las sales metálicas. La disolución en el lixiviado de productos de conversión biológicas y de otros compuestos, particularmente compuestos orgánicos, es de especial importancia porque estos pueden salir del relleno con el lixiviado. Estos compuestos orgánicos, a continuación, pueden entrar en la atmósfera, (cuando el lixiviado ha salido de un relleno sin revestimiento), o bien a través de instalaciones descubiertas para el tratamiento del lixiviado. Otras reacciones químicas importantes incluyen aquellas que se producen entre ciertos compuestos orgánicos y los revestimientos de arcilla, que pueden alterar la estructura y la permeabilidad del material de revestimiento. Las interrelaciones de las reacciones químicas que se producen dentro del relleno no se conocen bien (Tchobanoglous, *et al.* 1998)

3.2.1.3 Reacciones biológicas

Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son realizadas por los microorganismos aerobios y anaerobios, y están asociadas con la fracción orgánica contenida en los RSM. El proceso de descomposición empieza con la presencia del oxígeno (fase aerobia); una vez que los residuos son cubiertos, el oxígeno empieza a ser consumido por la actividad biológica. Durante esta fase se genera principalmente bióxido de carbono. Una vez consumido el oxígeno, la descomposición se lleva a cabo sin él (fase anaerobia): aquí la materia orgánica se transforma en bióxido de carbono, metano y cantidades traza de amoníaco y ácido sulfhídrico (Jaramillo, 2002). También se producen un gran número de reacciones bioquímicas. Por el numero interrelaciones, es difícil determinar las condiciones que existen en cualquier relleno o porción de relleno para un momento dado (Tchobanoglous, *et al.*, 1998).

3.2.2 Composición del gas de relleno

El gas de relleno esta compuesto de varios gases que están presentes en grandes cantidades (gases principales) y de varios gases que están

presentes en pequeñas cantidades (oligogases). Los gases principales proceden de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos. Algunos de los oligogases, aunque presentes en pequeñas cantidades, pueden ser tóxicos y podrían presentar riesgos para la salud pública. El metano y el dióxido de carbono son los principales gases procedentes de la descomposición anaerobia de los componentes biodegradables de los residuos orgánicos en los residuos sólidos. Cuando el metano está presente en el aire en concentraciones de entre 5 % y 15 % es explosivo. En el cuadro 3.1 se presentan las distribuciones porcentuales típicas de los gases que en un relleno sanitario.

Cuadro 3.1. Componentes y características típicas encontradas en el gas del relleno

Componentes	Porcentaje (base volumen seco)^a
Metano (CH ₄)	45 – 60
Dióxido de carbono (CO ₂)	40 – 60
Nitrógeno (N)	2 – 5
Oxígeno	0.1 – 1.0
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos, etc.	0 – 1.0
Amoniaco (NH ₃)	0.1 – 1.0
Hidrógeno (H)	0 – 0.2
Monóxido de carbono (CO)	0 – 0.2
Constituyentes en cantidades traza	0.01 – 0.6
Características	Valor
Temperatura (°C)	37 – 67 ° C
Contenido en humedad	Saturado
Poder calorífico superior, Kcal/m ³	890 – 1.223

^a La distribución porcentual exacta variara según la antigüedad del relleno. (Tchobanoglous, *et al.* 1998)

3.2.3. Composición del lixiviado

La generación de lixiviados se presenta como un inevitable consecuencia de la práctica de disposición RSM en rellenos sanitarios. La composición típica de los lixiviados es variable y dependerá del tipo y composición de los residuos a confinar, (cuadro 3.2).

3.3 Problemas ambientales en la disposición de residuos sólidos

Dada la complejidad y dinámica de evolución urbana han creado dificultades por la administración, esta situación origina una problemática que involucrará el desarrollo de nuevas herramientas de planificación, con métodos más sofisticados y eficazmente organizados para supervisar la evolución del sistema urbano y su expectativa a futuro y desempeño. El tratamiento y disposición de residuos son uno de los temas centrales de desarrollo sustentable (Leao, *et al.* 2001).

El tratamiento de los residuos sólidos y las metodologías de eliminación esta cargada de problemas. Los relleno sanitarios y los lugares de descarga, en particular producen contaminación de las aguas subterráneas si no se tratan adecuadamente. Los problemas ambientales adicionales a los rellenos sanitarios son los malos olores, desperdicios, animales carroñeros, fuego e infecciones por ratas (Kiely, 1999). El potencial de contaminación ambiental de un relleno sanitario puede ser comprendido considerando el proceso de degradación de los residuos. Los rellenos sanitarios pueden producir productos de desecho en tres fases:

Fase sólida, qué es básicamente degradación de desechos , fase líquida, llamado lixiviado, que es agua contaminada con desechos, y fase de gas, generalmente llamado gas de relleno sanitario o biogás.

Cuadro 3.2. Composición química de los lixiviados de residuos sólidos municipales

Parámetro	Concentración mg/l	Parámetro	Concentración mg/l
Alcalinidad (como CaCO ₃)	0 – 20,850	Nitrógeno (NH ₃)	0 – 12.50
Aluminio (Al)	0.5 – 85.0	Nitrógeno (NO ₃)	0 – 9.8
Antimonio (Sb)	0 – 3.19	Nitrógeno (NO ₂)	0 – 1.46
Arsénico (As)	0 – 70. 2	Nitrógeno (orgánico)	0 – 1,000
Bario (Ba)	0 – 12. 5	Nitrógeno (Kjeldahl)	0 – 3,320
Berilio (Be)	0 – 0.36	Níquel (Ni)	0 – 7.5
DBO ₅ ^a	480 – 72-500	Fenol	0.17 – 6.6
Boro (B)	0.413	Fósforo (total)	0 – 234
Cadmio (Cd)	0 – 1.16	Fosfato (PO ₄)	0.01 – 154
Calcio (Ca)	5 – 4,080	PH	1.5 – 9.5
Cloruro	11, 375	Potasio (K)	0.16 – 3,370
Cromo (Cr)	0 – 22.5	Selenio (Se)	0 – 1.85
DQO ^b		Plata (Ag)	0 – 1.96
Conductividad (µmho/cm)	480 – 72,500	Sodio (Na)	0 – 8,000
Cobre (Cu)	0 – 9.9	Talio(Tl)	0 – 0.32
Cianuro (CN)	0 – 6	Estaño (Sn)	0 – 0.16
Fluoruro	0.1 – 1.3	STD ^c	584 – 55,000
Dureza (como CaCO ₃)	0.1 – 225,000	UST ^d	140,9 00
Hierro (Fe)	0 – 42,000	COT ^e	335,000
Plomo (Pb)	0 – 14.2	AVT ^f (ácido acético)	0 – 19,000
Magnesio (Mg)	0 – 115,600	Turbidez	40 – 500
Manganeso (Mn)	0.05 – 1,400	Sulfatos (SO ₄)	0 – 1,850
Mercurio (Hg)	0 – 3	Zinc (Zn)	0 – 1,000

^a Demanda Bioquímica de Oxígeno

^b Demanda Química de Oxígeno

^c Sólidos Totales Disueltos

^d Unidades Suspendidas Totales

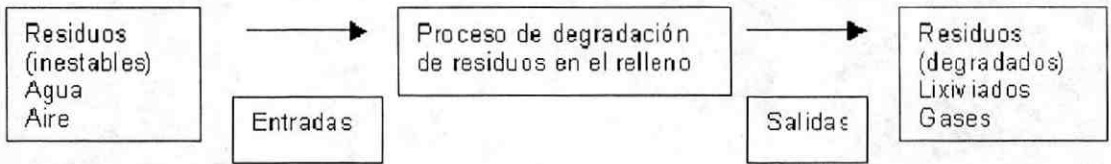
^e Carbono Orgánico Total

^f Ácidos Volátiles Totales

Fuente: (El-Fadel, *et al.*, 2002)

En la figura 3.1 se ilustra el proceso de degradación de residuos en un relleno sanitario típico, junto con varios reactantes y productos.

Figura 3.1. Entradas y salidas de un proceso de degradación del relleno



sanitario

Además, los rellenos sanitarios y sus productos de desecho tienen un inmenso potencial para contaminar las tres principales medios ambientales; la atmósfera, litosfera e hidrosfera (Figura 3.2).



Figura 3.2. Principales medios ambientales susceptibles de ser contaminados por los rellenos sanitarios

Tal contaminación se transmitirá a través de estos medios e impactará, directa o indirectamente, en humanos, la naturaleza (incluyendo flora y fauna, acuática y terrestre) y la construcción de ambientes (Butt and Oduyemi, 2003).

Critto, *et al.* (2003) desarrollaron un diagrama (Figura 3.3.) de exposición para un relleno sanitario ilegal en Italia, donde se muestran las fuentes, los mecanismos de transporte y los receptores de tal sitio

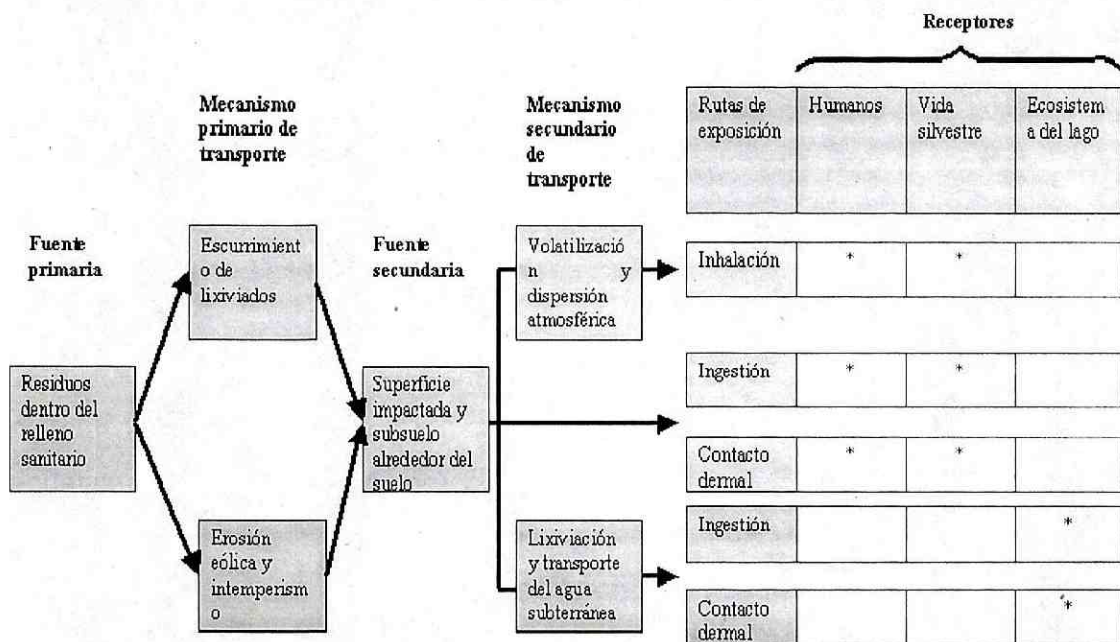


Figura 3.3. Diagrama de exposición para un sitio contaminado en Italia

Los problemas potenciales están relacionados con:

- 1) El escape incontrolado de los gases del relleno sanitario, que pueden migrar fuera del lugar y causar olores y otras condiciones potencialmente peligrosas.
- 2) El impacto de la descarga de los gases del relleno sobre el efecto invernadero de la empresa.
- 3) La salida incontrolada del lixiviado, que pueden migrar hacia aguas subterráneas o superficiales.
- 4) La reproducción de vectores sanitarios en los rellenos incorrectamente administrados.

5) Los impactos sobre la salud y el ambiente relacionados con el escape de gases en cantidades traza que surgen a partir de materiales peligrosos, que fueron colocados en el pasado dentro del relleno (Tchobanoglous, *et al.* 1998).

La finalidad del diseño y funcionamiento de un vertedero moderno es eliminar o minimizar los impactos asociados a estos problemas.

La disposición final necesita estar basada en mejores practicas que usen tecnología apropiada, los rellenos sanitarios son elementos esenciales en un sistema integrado de manejo de residuos sólidos, la búsqueda en la selección del sitio apropiado para la disposición final de los residuos sólidos municipales tiene que ser visto como punto central en el desarrollo integral de la protección al ambiente (Ojeda and Beraud, 2003).

3.4 Selección del sitio para el relleno sanitario

La selección de un sitio es el primer paso en el diseño de un relleno sanitario. La importancia de una adecuada planeación del proceso de selección es vital para asegurar que el diseño cumpla con todos los requerimientos que aseguren su adecuada ubicación y futura operación. El reconocimiento no solamente de factores técnicos, sino también de factores ambientales, económicos, sociales y políticos, es vital (SEDESOL, 2001). La selección final de un lugar de disposición normalmente se basa en los resultados de un estudio detallado del lugar, de estudios de ingeniería de diseño y de costos y de una valoración del impacto ambiental (Tchobanoglous, *et al.* 1998). En muy pocas ocasiones un terreno reunirá todas las condiciones ideales para la construcción de un relleno sanitario. Por lo tanto, se debe elegir aquellos que presenten las mejores características y analizar sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles (Jaramillo, 2002).

El objetivo del estudio de selección de sitios es encontrar un sitio donde la disposición de los RSM pueda realizarse económicamente con el mínimo

trastorno del ambiente y la salud humana. De forma general y a nivel internacional se ha establecido que un relleno sanitario ideal debe tener las siguientes características:

- ❖ Compatible con los planes de uso del suelo, del área en que se ubica.
- ❖ Fácilmente accesible en cualquier clima, para los vehículos esperados durante su etapa de operación.
- ❖ Contar con medidas de seguridad, contra la potencial contaminación del agua superficial y subterránea.
- ❖ Contar con medidas de seguridad, contra el movimiento incontrolado del gas originado por los residuos sólidos depositados.
- ❖ Contar con la cantidad adecuada de material de cobertura, de fácil manejo y compactación.
- ❖ Estar ubicado en un área donde la operación del relleno no impactará en forma negativa los recursos sensibles del ambiente.
- ❖ Ser lo suficientemente grande para recibir los residuos de la comunidad por servir durante un intervalo de tiempo razonable.
- ❖ Ser el sitio más económico disponible y cumplir con los requisitos para la disposición de residuos sólidos, conforme a las restricciones de la legislación aplicable o en su defecto conforme a los criterios internacionalmente aceptados (SEDESOL, 2001).

3.4.1 Metodología de selección del sitio

El uso de una metodología específica para la selección de un sitio para disposición final de residuos sólidos es benéfico, ya que de esta forma se puede mostrar que se analizó un buen número de sitios potenciales y con los criterios más significativos, antes de seleccionar un sitio en particular para los estudios detallados y la posible implementación del relleno. El proceso recomendado generalmente en la selección de sitios para la instalación de un relleno sanitario consiste en las siguientes etapas:

1. Identificación y evaluación de zonas de estudio

2. Identificación de sitios potenciales
3. Evaluación y cribado de los sitios potenciales
4. Selección final del sitio (SEDESOL, 2001).

3.4.2 Identificación y evaluación de zonas de estudio

En este caso se considera conveniente delimitar aquellas áreas que dentro de la extensión del territorio municipal, presentan las condiciones menos adversas para albergar un sitio de disposición final de RSM. El primer paso es la determinación del radio máximo del área de estudio, con base en las distancias de transporte desde las estaciones de transferencia y/o los centroides de las áreas potenciales de servicio; y el segundo paso, la determinación de las restricciones legales, físicas, demográficas, sociales, estéticas y sanitarias (SEDESOL, 2001).

En el pasado una forma de identificación de las zonas factibles es a través de la utilización de cubiertas (acetatos) que se sobreponen sobre un plano, cada acetato identifica las áreas con limitaciones moderadas o severas para determinado criterio. Dentro de los criterios que se utilizan, destacan los siguientes:

- Geología.
- Hidrología subterránea.
- Zonas de preservación ecológica.
- Topografía.
- Infraestructura de comunicación y conducción.
- Climatología lluviosa.
- Climatología en sequía.
- Zonas susceptibles de desarrollo urbano
- Hidrología superficial.
- Uso potencial del suelo.
- Importancia arqueológica e histórica.
- Edafología.

De esta manera, se eliminan las zonas menos deseables, por sus diversas características, que corresponderán a las áreas restringidas. Las investigaciones del subsuelo deben ser realizadas para aquellos sitios potenciales con las características mas deseables. Una vez, sobrepuestas las cubiertas con los criterios en donde se identifican aquellas áreas con limitaciones para ubicación de un sitio de disposición final, se procede a descartarlos y ha enfocar el análisis sobre aquellas zonas que tienen vocación para los fines perseguidos (SEDESOL, 2001). Un ejemplo de esta metodología se ilustra en la figura 3.4.

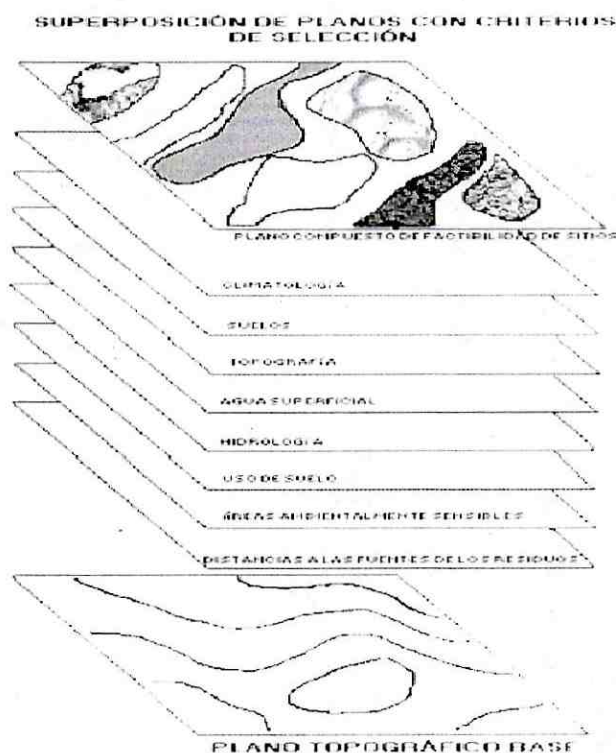


Figura 3.4. Superposición de planos con criterios de selección.

3.4.2.1. Identificación de sitios potenciales

Una vez conocidas las áreas que pueden ser estudiadas y después de establecer el tamaño del relleno requerido para recibir los residuos del área poblacional o urbana de interés, por un cierto número de años, la búsqueda de

sitios viables dentro de dichas áreas puede comenzar, manteniendo siempre presentes las restricciones tanto técnicas como legales, que se estudien para la ubicación de sitios (SEDESOL, 2001).

3.4.2.2 Evaluación y selección de los sitios potenciales

En la metodología para la selección de los sitios potenciales se toman en cuenta consideraciones técnicas, económicas y de aceptación pública. La metodología puede incluir diversos sistemas de calificación, así como algunos análisis de tipo subjetivo. Normalmente se recomienda realizar la investigación en 3 a 5 sitios potenciales e identificar los problemas de cada uno, ya que las investigaciones de campo pueden proporcionar información complementaria. Sin embargo, el grado de detalle y la intensidad de la investigación variará de un sitio a otro (SEDESOL, 2001).

Dentro de las consideraciones técnicas se tienen las siguientes :

- Distancia de transporte.
 - Tamaño y vida del sitio
 - Topografía
 - Agua superficial
 - Accesos al sitio.
 - Cantidad y compatibilidad del suelo (material de cobertura)
 - Suelos y geología
 - Agua subterránea
 - Vegetación
 - Áreas ambientalmente sensibles
 - Uso del suelo
 - Áreas de importancia arqueológica e histórica.
-
- ◆ Consideraciones económicas.
 - ◆ Consideraciones de aceptación pública.

3.4.3 Selección final del sitio.

En esta etapa final se debe considerar, además de los resultados del proceso de evaluación y clasificación de los sitios, las alternativas de uso del sitio terminado y determinar el uso para cada sitio potencial. El mejor sitio será aquel cuyo uso final sea acorde con los planes de desarrollo de la zona en que

se asienta y además presente la mayor prioridad en la clasificación realizada previamente (SEDESOL, 2001).

A continuación se describen los criterios para la selección de un relleno sanitario

3.4.3.1 Vida útil del sitio

En la selección de lugares potenciales de disposición es importante asegurar que hay suficiente terreno disponible. Aunque no hay normas estrictas, es deseable tener suficiente terreno para el funcionamiento durante por lo menos cinco años en un lugar determinado, a fin de que su vida útil se compatibilice con la gestión, los costos de adecuación y las obras de infraestructura (Jaramillo, 2002).

3.4.3.2 Tierra de cobertura

El terreno debe tener abundante material de cobertura de fácil extracción y con buen contenido de arcilla, dada su baja permeabilidad y elevada capacidad de absorción de contaminantes. Cuando esta sea escasa en el sitio, se deberá garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, tomando en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos en donde los costos de transporte no sean muy altos (Jaramillo, 2002).

3.4.3.3 Topografía del sitio

Se debe tener en cuenta la topografía local porque afectará al tipo de operación de disposición utilizada, a las necesidades de equipamiento y al trabajo necesario para hacer que el lugar sea utilizable (Tchobanoglous, *et al.* 1998)

3.4.3.4 Vías de acceso

El terreno deberá estar cerca de una vía principal para que sea de fácil acceso y resulten más económicos el transporte de los RSM y la construcción

de la vía de penetración interna. Esta deberá permitir el ingreso fácil, seguro y rápido de los vehículos recolectores en todas las épocas de año (Jaramillo, 2002).

3.4.3.5 Vientos dominantes

También deben tenerse en cuenta las condiciones del clima local en la evaluación de lugar potenciales. La dirección del viento predominante es importante debido a las molestias que puede ocasionar la descarga de los residuos y las labores de extracción de tierra y cobertura; a los papeles, el material liviano y el polvo que se levantan, y también al posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Por ello, el relleno sanitario deberá estar ubicado de tal manera que el viento circule desde el área urbana hacia él; en caso contrario, para contrarrestar esta molestia se deben sembrar árboles y vegetación espesa en toda la periferia del relleno o hay que construir cortavientos; estos dependerán de las condiciones locales. La vegetación, además, impide que los vecinos y transeúntes observen las operaciones de disposición de los RSM y le da una mejor apariencia estética a la obra (Jaramillo, 2002; Tchobanoglous, *et al.*, 1998).

3.4.3.6 Geología e hidrogeología

Estos quizás sean los factores más importantes para establecer la aptitud ambiental de un lugar para instalar un vertedero. Se necesitan datos sobre estos factores para valorar la contaminación ambiental potencial del lugar propuesto y para establecer lo que hay que hacer en el lugar, para asegurar que el movimiento del lixiviado o de los gases procedentes del relleno no dañaran la calidad de las aguas subterráneas locales o contaminaran subterráneos o lechos de rocas (Tchobanoglous, *et al.* 1998).

3.4.3.7 Hidrología superficial

La hidrología local de las aguas superficiales de la zona es importante para determinar las características de drenaje natural y de escorrentía

existentes. Deben identificarse también otras condiciones de inundación (e. g. periodos de retorno en 100 años). Como hay que desarrollar medidas para desviar la escorrentía superficial fuera del relleno, los planificadores deben tener mucho cuidado en el momento de definir los canales del flujo existente, el área y las características de la cuenca (Tchobanoglous, *et al.* 1998).

3.4.3.8 Tenencia de la tierra

Un proyecto de relleno sanitario deberá iniciarse solo cuando el municipio o ayuntamiento tenga en su poder el documento legal que acredite la propiedad sobre el terreno, cuando esté autorizado por las respectivas autoridades y, de otro lado, cuando sea aceptado por la mayoría de la comunidad vecina, teniendo en cuenta su utilización futura (Jaramillo, 2002).

3.5 Marco legal aplicable al manejo de los residuos sólidos municipales

3.5.1 Marco legal vigente

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece que corresponde los municipios la responsabilidad de prestar el servicio de limpia con el concurso del Estado. Generalmente esta atribución es ratificada por la Constitución Política de los Estados y sustentada en la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (Nava, *et al.*, 1999) , así mismo, el Honorable Congreso de la Unión (H.C.U), creo la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos , esta se publico recientemente en el Diario Oficial de la Federación (8 de octubre de 2003), misma que entrara en vigor el 8 de enero del 2004, la cual ratifica esta responsabilidad, además señala en el artículo 97 que “Las normas oficiales mexicanas establecerán los términos a que deberá sujetarse la ubicación de los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, en rellenos sanitarios o en confinamientos controlados” (H.C.U, 2003)

El marco legal bajo el cual se sustenta el manejo integral de los RSM incluye leyes, reglamentos y normas de los tres órdenes de gobierno e involucra a un número considerable de instituciones las cuales buscan el bien común mediante la disminución o eliminación de los efectos nocivos que puede causar el manejo inadecuado de los RSM (Nava, *et al.* 1999).

3.5.2 Normas relativas a los residuos sólidos

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de residuos sólidos previstas en la LGEEPA, a la fecha sólo se ha emitido la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-1996, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, algunos de los aspectos enunciados en la misma se presentan a continuación:

- a) Distancia mínima a aeropuertos
- b) Respetar derechos de vías
- c) No ubicarse dentro de áreas naturales protegidas
- d) Distancia mínima de poblaciones
- e) Aspectos hidrológicos
- f) Aspectos geológicos
- g) Aspecto hidrogeológicos

(SEMARNAT, 1996).

Además, existen normas mexicanas relacionadas con la determinación de la generación y composición de los residuos sólidos municipales y aquellas sobre las determinaciones en laboratorio de diferentes componentes, estas normas están en revisión por el Instituto Nacional de Ecología (INE) (Nava, *et al.* 1999).

3.6 Sistemas de información geográfica

3.6.1 Introducción.

Hace aproximadamente 30 años, se concibió un sistema para organizar y almacenar información espacial mediante el uso de una computadora. Dicho sistema, ha experimentado un gran auge en los últimos 10 años, y ha llegado a ser conocido como Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en Inglés). El interés y el uso de los sistemas de información geográfica (GIS) se ha acelerado de manera importante en los años recientes, especialmente con el avance del área de la informática. El procesamiento y manejo de datos referenciados geográficamente basados en técnicas computarizadas inicio propiamente en los años 60s y ha crecido rápidamente en la ultima década.

Con el desarrollo de la tecnología del GIS los planificadores tienen a su alcance un sistema de análisis de datos geográficos, en el cual la información es fácilmente accesada, leída, combinada y modificada, que auxilia en la toma de decisiones para lograr explotaciones racionales sustentables.

Esta tecnología permite además el análisis de un amplio rango de variables biofísicas que tienen injerencia en el uso y manejo del terreno, y que al analizarlas permiten un mejor entendimiento de la manera en que los ecosistemas funcionan e interactúan. Los científicos, los administradores de recursos naturales, y los políticos pueden auxiliarse en el uso de esta tecnología para tomar decisiones basadas en información real desde el punto de vista ambiental (Martínez, 2002).

3.6.2 Definición de GIS

ESRI (1999) establece que un sistema de información geográfica es una base de datos referenciada geográficamente, y que puede ser accesada y analizada mediante la manipulación de diversas capas de información temática. Un sistema GIS esta constituido por los siguientes componentes:

- a) **Subsistema de entrada de datos.** Se encarga de obtener y pre-procesar datos espaciales de diversas fuentes.
- b) **Subsistema de almacenamiento y búsqueda de datos.** Se encarga de organizar los datos espaciales de tal manera que permite su lectura, edición y actualización.
- c) **Subsistema de manipulación y análisis.** Realiza tareas en los datos, tales como agrupaciones, reclasificaciones, medición de distancia, estimación de parámetros y restricciones, además de ejecutar algoritmos de solución.
- d) **Subsistema de soporte.** Se encarga de mostrar todo o parte de la base de datos en formato tabular, gráfica o mediante mapas.

3.6.3 Principios de la tecnología GIS

Históricamente, el mapa analógico (impreso) fue el método más común para identificar patrones en el terreno con información espacial. Sin embargo, la aparición de computadoras de alta velocidad llevó al desarrollo de herramientas digitales que permitieron la captura, el almacenamiento y el análisis de información con capacidad de generar reportes en un sistema denominado como GIS.

La información almacenada dentro de un GIS puede guardarse de diversas maneras. Una categoría incluye información que puede ser referenciada espacialmente y puede ser representada por puntos (e. g. puntos de muestreo o ubicación de pozos), líneas (e. g. ríos) y polígonos (e. g. unidades de suelo, clases de uso de suelo, etc.). Esta información está referenciada a un sistema de coordenadas geográficas y es almacenada digitalmente tanto en formato "raster" (compuesto de píxeles o celdillas) como en formato "vectorizado" (unión de puntos mediante líneas). Figura 3.5.

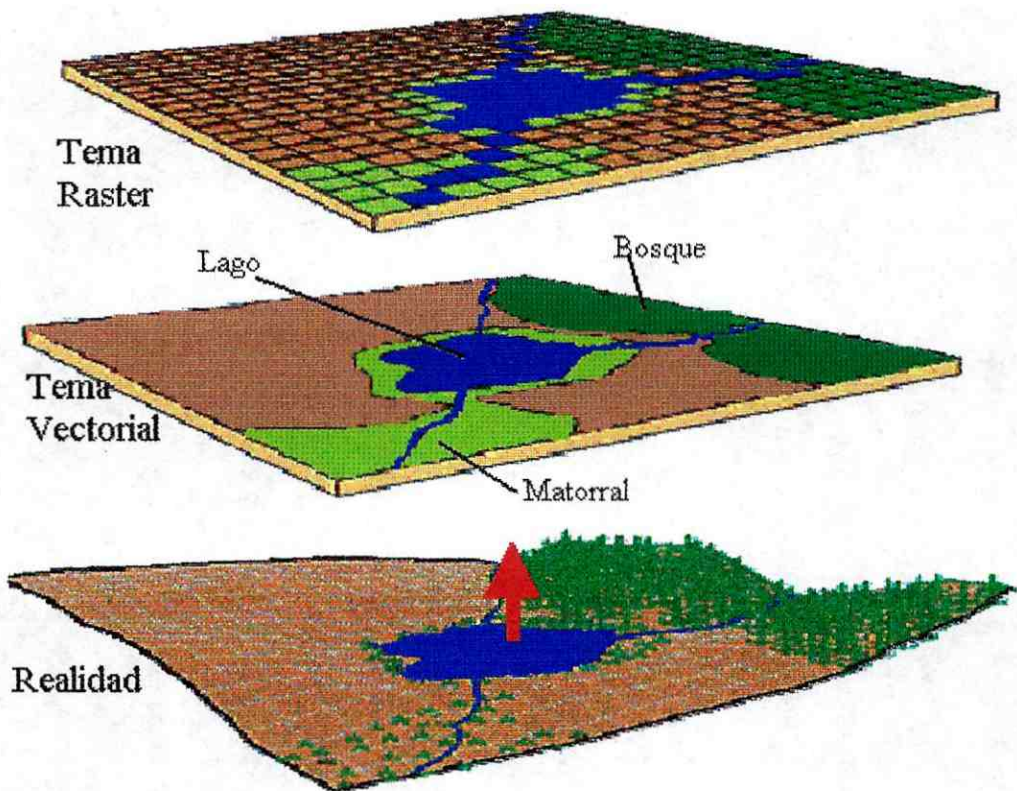


Figura 3.5. Representación del mundo real, en formato vectorial y raster

Tanto los formatos raster como los vectorizados requieren la creación de tablas de atributos, es decir, la generación de una tabla de información que describe las características o el significado de cada punto, línea o polígono en formato digital. Por ejemplo, la tabla de atributos para una unidad de suelos en el mapa puede incluir la serie de suelos que predomina, el tipo de drenaje y la textura del horizonte superficial del mismo. Además, los atributos locales pueden ser 'monitoreados' a través del tiempo (Figura 3.6). Los programas computacionales que manejan bases de datos relacionales son utilizados frecuentemente para analizar y manipular los datos de las tablas de atributos. Una característica única de los sistemas GIS es su habilidad para vincular la base de datos de los atributos con la base de datos de los elementos geográficos y realizar análisis espaciales (Martínez, 2001).

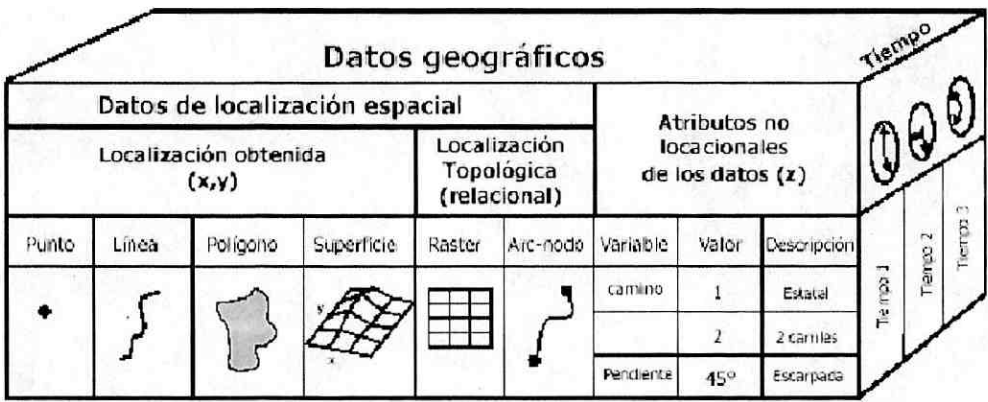


Figura 3.6. Un Sistema de Información Geográfica (GIS) almacenado información posicional (x, y) y atributos (z) obtenidos en diferentes tiempos.

3.6.4 Modelo vectorial topológico

En GIS, topología es un termino usado para describir las características geométricas de objetos que no cambian bajo transformaciones tales como estirar y doblar y son independientes de algún sistema de coordenadas. Las características topológicas de un objeto son también independientes de la escala de medida (Heywood, *et al.*, 1998). La codificación de datos espaciales en un GIS es posible mediante la topología, basados en los principios de la teoría gráfica. A manera de ejemplo, la figura 3.7 muestra como tres parcelas (45, 46 y 47) en un mapa parcelario subdividido puede ser topologicamente estructurado como un mapa digital tipo GIS basado en 11 "arcos" y 8 "nodos". Los polígonos se derivan de la topología polígono-arco, donde las características de cada polígono son almacenadas en una tabla de atributos del polígono.

Un nodo puede localizarse al inicio y al final de un arco, y esta ligado topologicamente a todos los arcos que lo encuentran. Igualmente, un arco inicia y termina en un nodo y define áreas geográficas tanto a su izquierda como a su derecha de la dirección de su trazo (esto se determina al momento de su digitalización, e.g. a favor del sentido de las manecillas del reloj). El software construye un polígono a partir del nodo y el arco topológico y se define como un objeto multilateral que representa áreas geográficas sobre un mapa el cual

esta delimitado por arcos. Cada polígono contiene un punto de etiquetación. Los atributos de un polígono son almacenados en una tabla (Figura 3.7) que puede ligarse a otras tablas mediante bases de datos relacionales como DBASE u ORACLE (Martínez, 2002).

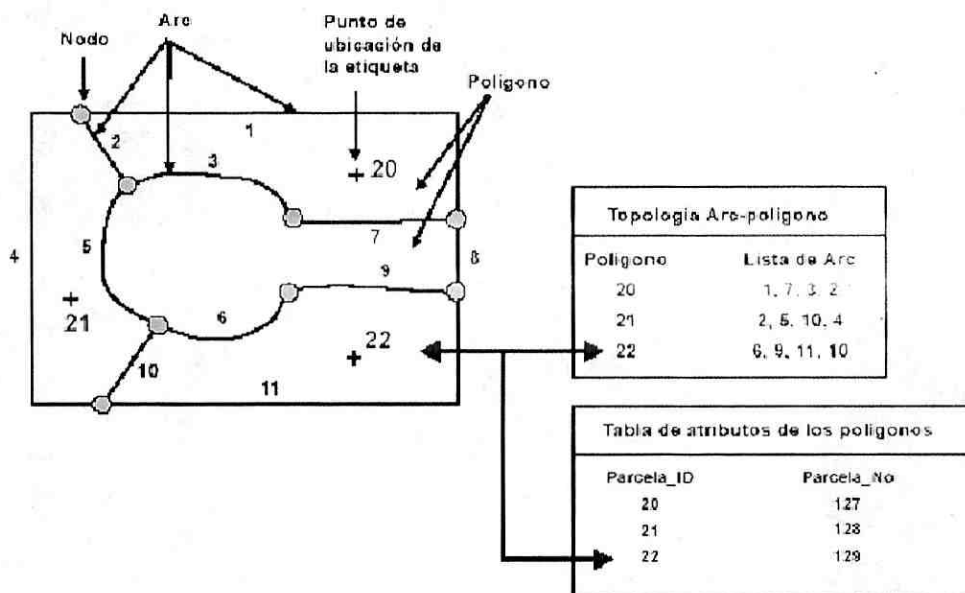


Figura 3.7. Codificación de características utilizando una estructura de datos topológicos consistente en nodos, arcos y etiquetas.

3.6.5 Uso del GIS en modelación ambiental

La aplicación de herramientas computacionales en la ingeniería ambiental tiende a la integración varias tareas. Dependiendo del tipo de tarea, el conocimiento y el procesamiento involucra el uso de modelos de simulación, sistemas de bases de datos, herramientas de visualización y modelos de toma de decisión para proporcionar soluciones a las necesidades humanas. Tal integración resultará en un sistema poderoso para proporcionar apoyo de decisión resolviendo complejos problemas de ingeniería o científicos usando software comerciales disponibles (Lukashev, *et al.* 2001).

Recientemente los investigadores se han acostumbrado al GIS para construir modelos dinámicos del crecimiento urbano para hacer predicciones en el futuro. Tales modelos se basaron en patrones históricos de crecimiento, junto con información de la dirección de los caminos, inclinación de la superficie inadecuada para el desarrollo, áreas protegidas del uso urbano y otros factores que influyen en el desarrollo urbano. Cada uno de estos factores se representan en forma de mapas y llega a ser una capa en el GIS, mientras el software se diseña para simular los procesos que manejan crecimiento. Estos modelos de crecimiento urbano son ejemplos de modelos de simulación dinámicos, o programas computacionales diseñados para simular el funcionamiento de alguna parte del sistema social o ambiental. Se han unido muchos modelos con GIS en la última década para simular procesos tales como erosión del suelo, crecimiento del bosque, movimiento del agua subterránea y escurrimientos (Longley, *et al.* 2001)

La mayoría de los problemas ambientales tiene una dimensión espacial obvia. Dentro del dominio de la modelación ambiental este es dirigido por modelos espaciales distribuidos que describen fenómenos ambientales en diferentes dimensiones. La habilidad del GIS para manipular, analizar y despliegue de datos georeferenciados hace a este una poderosa herramienta en la modelación ambiental. La aplicación del GIS en modelación ambiental puede encontrarse en modelación atmosférica, hidrológica, modelación de sistemas biológico / ecológica y modelación de riesgos (Lukashev, *et al.* 2001). Se acepta ampliamente el GIS como una herramienta indispensable en la gestión del medio ambiente (Goodchild, 2003).

3.6.6 Uso del GIS en la ubicación de rellenos sanitarios

El papel de Sistemas de Información Geográfica (GIS) en manejo de residuos sólidos es muy grande tanto en aspectos de planificación y operación y son dependientes de datos espaciales. En general, el GIS juega un papel importante manteniendo informes de datos para facilitar las operaciones de

recolección; servicio al cliente; analizando localidades optimas para estaciones de transferencia; planeando rutas para vehículos que transportan residuos de clientes residenciales, comerciales e industriales para transferirlos a estaciones y su traslado a rellenos sanitarios; localización de nuevos rellenos sanitarios y monitoreo del relleno. El GIS es una herramienta que no sólo reduce tiempo y costo en la selección del sitio, además proporciona una base de datos digital para el futuro programa de monitoreo del sitio (Yagoub and Buyong, 1998)

3.6.6.1 Procedimiento de selección

Uno de los problemas mayores en el manejo de residuos es el concerniente con la selección el sitio apropiado para la disposición de los residuos (Vatalis and Manoliadis, 2002). La ubicación de una relleno sanitario requiere un considerable proceso de evaluación en orden identificar los mejores sitios disponibles, esto es, un lugar que reúna los requerimientos gubernamentales y los mínimos costos, ambientales, de salud y sociales. Los procesos de selección o metodologías están estructuradas para tomar la mejor información disponible y para asegurar que los resultados obtenidos sean reproducibles, así para que los resultados puedan ser verificados y defendidos. Los procedimientos de ubicación pueden alcanzar desde aquellos que evalúan un solo parámetro del sitio de relleno sanitario, para ese que es muy general y puede ser adoptado por algún número de parámetros (Siddiqui, *et al.* 1996).

Diferentes métodos de evaluación manual han sido desarrollados para auxiliar en la evaluación de sitios potenciales para rellenos, estos métodos son clasificados dentro de los siguientes grupos: 1) método de chequeo de lista "Checklist method", 2) método de evaluación económica, 3) método cartográfico, 4) método de comparación apareado y 5) método de matrices (Basagaoglu, *et al.* 1997).

La técnica de restricción de mapas consiste en reducir el área de búsqueda y dejar sólo las áreas que son convenientes para el establecimiento

de un relleno sanitario. Esta metodología se presenta en los siguientes pasos: 1) Identificación del problema, 2) Objetivo de la investigación, 3) Selección de un área de estudio, 4) Criterios de decisión, 5) Adquisición de datos, 6) Convertir criterios dentro de una capa del GIS, 7) Ejecución de la función espacial, 8) Análisis de resultados y 9) Identificación de áreas potenciales de investigación (Lunkapis, *et al.* 2002).

3.6.7 Ventajas y limitaciones

3.6.7.1 Ventajas

La ventaja más importante de usar un programa GIS para la selección preliminar del sitio, es que es un proceso muy rápido y la salida gráfica resultante es fácil de entenderse por el público, además de la capacidad de globalización del programa así como el fácil acceso a los mapas. Ésta también podría ser una herramienta muy útil en la toma de decisiones gubernamentales, asimismo podría ser usada por compañías privadas para recomendar y ofrecer estructuras de disposición de residuos con exactitud (Lunkapis, *et al.* 2002; Sellers, 2002; Starrett, *et al.* 2001; Vatalis and Manoliadis, 2002).

El GIS como herramienta de apoyo en la toma de decisiones para establecer rellenos sanitarios, ha demostrado que es una técnica útil para identificar y establecer rellenos sanitarios. Éstos procesos tomaban en el pasado, mucho más tiempo para realizarse, pero con la introducción de esta herramienta, las decisiones se hacen de una manera más rápida y confiable, ahorrando con ello tiempo y dinero (Lunkapis, *et al.* 2002; Mongeon and Webb, 2002). Por lo tanto esta técnica podría aplicarse en análisis preliminares para identificar sitios en muchas regiones (Lowe and Mitchell, 2001)

3.6.7.2 Limitaciones

El problema principal con el GIS es la disponibilidad de información. Se necesitan mapas y datos para crear a un último mapa de GIS (Sellers, 2002).

La adquisición de información digital y el desarrollo de bases de datos son procesos costosos y que consumen tiempo. Se requieren datos espaciales específicos del lugar y la posición relativa de los objetos, tal como nombres de poblaciones, tipo de suelo, etc. (Basagaoglu, *et al.* 1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del área de estudio

La Comarca Lagunera de Coahuila comprende cinco municipios del estado, siendo estas, Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro de las Colonias, Torreón y Viesca. Las coordenadas geográficas extremas de esta zona son: Al norte $26^{\circ} 84'$, al sur $24^{\circ} 71'$ de latitud norte; al este $101^{\circ} 85'$, al oeste $103^{\circ} 50'$ de longitud oeste.

El clima de la región se clasifica como muy seco semicálido (BWh), la temperatura media anual es de 22.6°C (Figura 4.1), siendo el mes de Junio el mes más caliente en promedio con una temperatura de 29.0°C , y el mes más frío Enero con 14.1°C (INEGI, 2001).

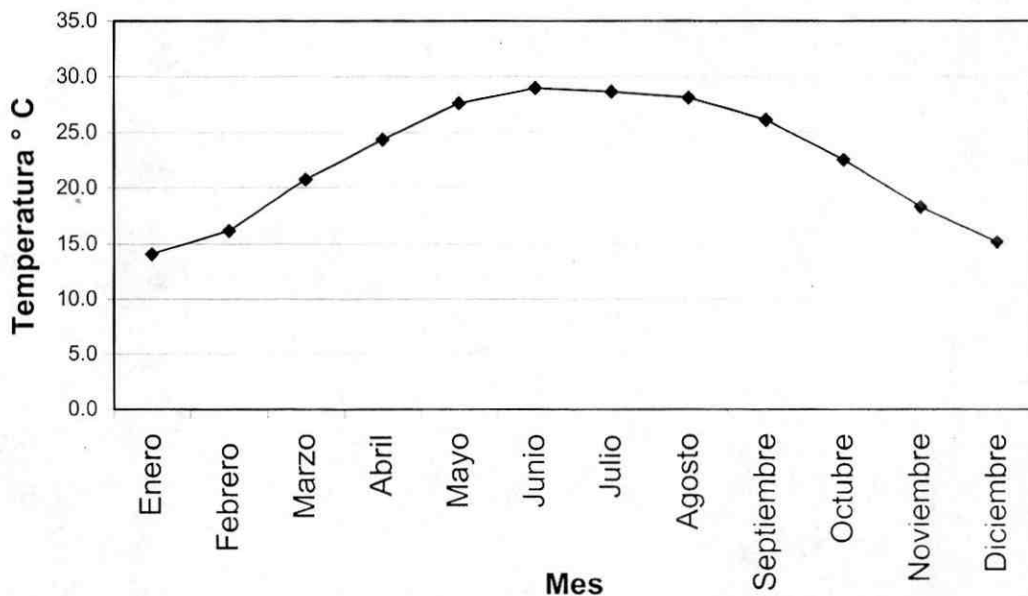


Figura 4.1 Temperatura promedio anual de la Comarca Lagunera de Coahuila

La precipitación promedio anual de la región es de 215.5 mm, siendo el mes de septiembre el más lluvioso con 44.9 mm y mes en el cual se presenta la menor precipitación es marzo con 1.5 mm, Figura 4.2, (INEGI, 2001).

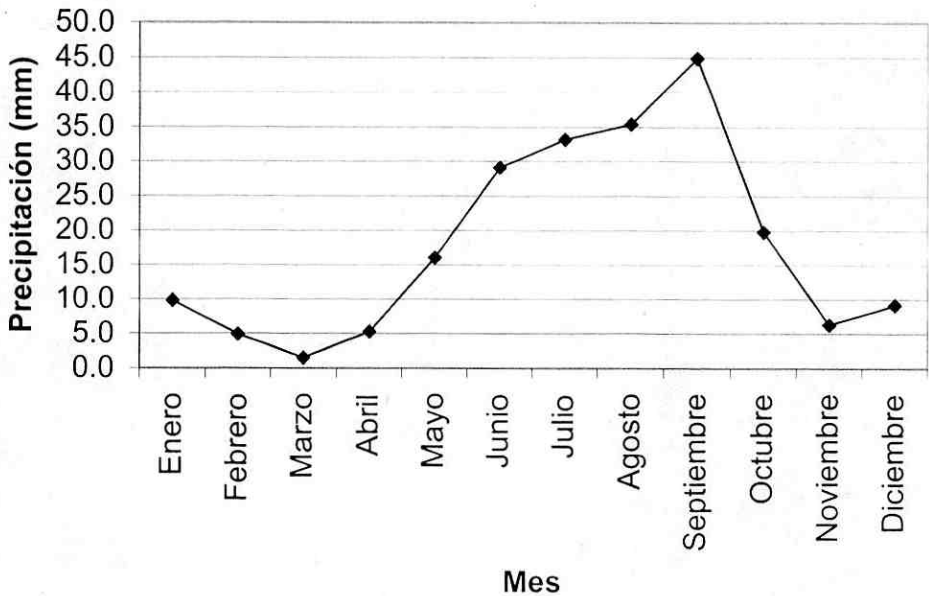


Figura 4.2 Precipitación total anual promedio de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2 Descripción de los datos y el sistema

Debido a la importancia que representa en este trabajo la información cartográfica digital y el GIS empleado, se considera pertinente describir las características del GIS, así como también los datos utilizados.

4.2.1 Sistemas de Información Geográfica (GIS)

El sistema de información geográfica que se utilizó en este estudio es el ArcView® GIS 3.2 desarrollado por Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI, 1999). ArcView es una herramienta poderosa y fácil de usar que permite acceder a información geográfica. Está basado cien por ciento en el Sistema Operativo Windows y las operaciones y comandos se realizan

básicamente a través de opciones de menú y programas (scripts) creados por el usuario. A continuación se mencionan algunas de las características del software.

- 1) Despliegue de imagen. Un tema representa un conjunto de elementos geográficos similares en una fuente particular de información.
- 2) Generación de nuevas variables. Esta se lleva a cabo a través de diversas operaciones empleando operadores aritméticos y booleanos.
- 3) Transformación de información vectorial a raster. La información almacenada dentro de Arc View 3.2 puede guardarse de diversas maneras. Esta información es referenciada a un sistema de coordenadas geográficas y es almacenada tanto en formato vectorizado (puntos, líneas y polígonos) ó en formato raster (píxeles ó celdas).
- 4) Álgebra de mapas. Incluye un amplio conjunto de operadores aritméticos y lógicos que se pueden aplicar sobre una o varias capas raster para generar una nueva capa raster.

Una vez que se ha manejado la información, se despliega en pantalla los resultados que se obtuvieron de este procesamiento, para posteriormente pasar a la etapa de interpretación.

4.2.2 Descripción de datos

Diferentes tipos de datos se requieren para un proyecto que pretende validar una metodología que involucra grandes áreas. Por lo tanto, es muy importante examinar en detalle cada uno de los datos. La siguiente lista contiene la información utilizada en nuestro estudio y que serán presentados en esta sección:

- Modelos de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés)
- Edafología
- Geología
- Uso del suelo y vegetación
- Localidades

- Pozos profundos
- Vías de comunicación
- Hidrología de aguas superficiales
- Hidrología de aguas subterráneas

Se empleó la cartografía digital disponible en dependencias gubernamentales como: la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). El sistema de proyecciones presenta a continuación:

Datum horizontal:	Norteamericano de 1927 (NAD27)
Zona:	13
Proyección:	Transversal de Mercator
Esferoide:	Clarke 1886
Meridiano central:	- 105
Escala empleada:	1: 250 000

4.2.2.1 Modelos de Elevación Digital

Una representación exacta de la superficie del suelo es uno de los más importantes datos para calcular las áreas de drenaje. Dentro del esquema de los GIS, un modelo de elevación digital (DEM) contiene dicha información. Un DEM consiste en un arreglo de elevaciones de puntos en la superficie que normalmente se encuentran espaciados a intervalos regulares.

El Modelo Digital de Elevación (DEM) es un registro de las elevaciones del terreno a intervalos espaciados. Se derivan de la carta topográfica o a partir de modelos estereoscópicos de fotografía aérea mediante métodos fotogramétricos digitales. A continuación se presenta la figura 4.3 que muestra el DEM empleado en este estudio.

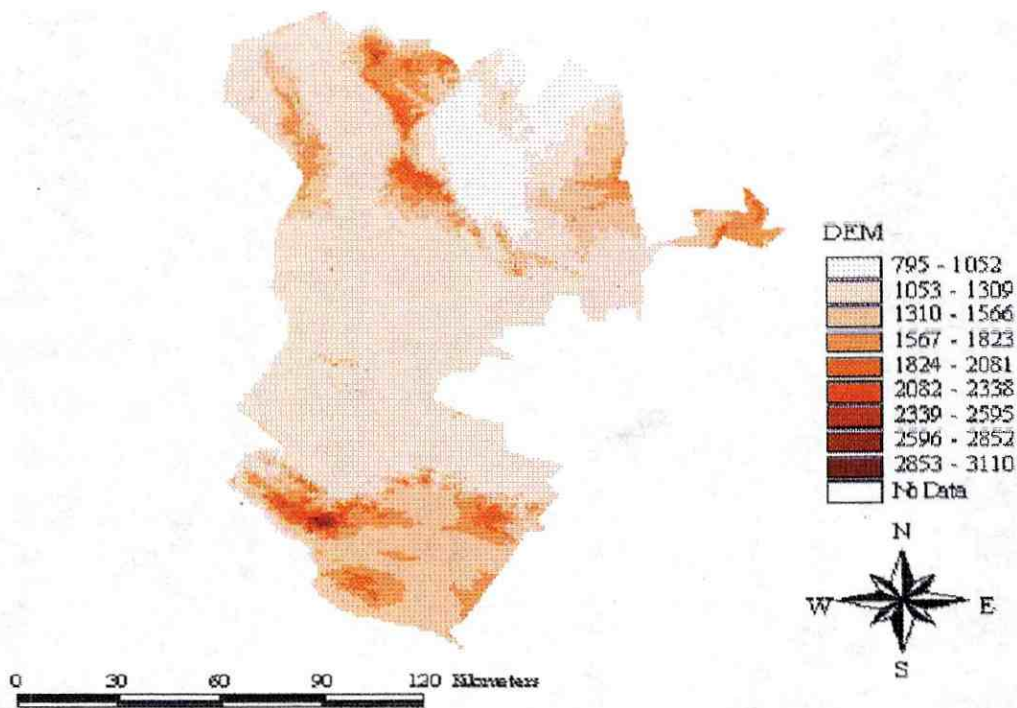


Figura 4.3 Modelos de Elevación Digital de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2.2.2 Mapa digital geológico

Proporciona información referente a la naturaleza, las características de las rocas y el origen de los suelos. Los afloramientos rocosos se clasifican en tres grupos principales: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Además, se incluyen datos sobre pozos, acuíferos y sus grados de explotación, manantiales y su temperatura; así como norias y minas. De estas últimas se indican los minerales que extraen; los bancos de materiales y la utilización de estos en la construcción.

La figura 4.4 presenta la distribución espacial de la permeabilidad de acuerdo al tipo de roca presente en el área de estudio, los porcentajes son los siguientes: alta 59.04 %, media 36.21 %, baja 4.60 %, cuarcita 0.06 %, gran odiorita 0.03 % y toba ácida 0.06% respectivamente, cabe aclarar que los valores de las rocas anteriores no fue posible encontrarlos. Cabe hacer la aclaración que la información acerca del tipo de permeabilidad de acuerdo al tipo de roca se obtuvo de los mapas de INEGI, lamentablemente no se

encontraron los valores para las rocas cuarcita, gran odiorita y toba ácida. La información de este mapa se presenta en el apéndice A:

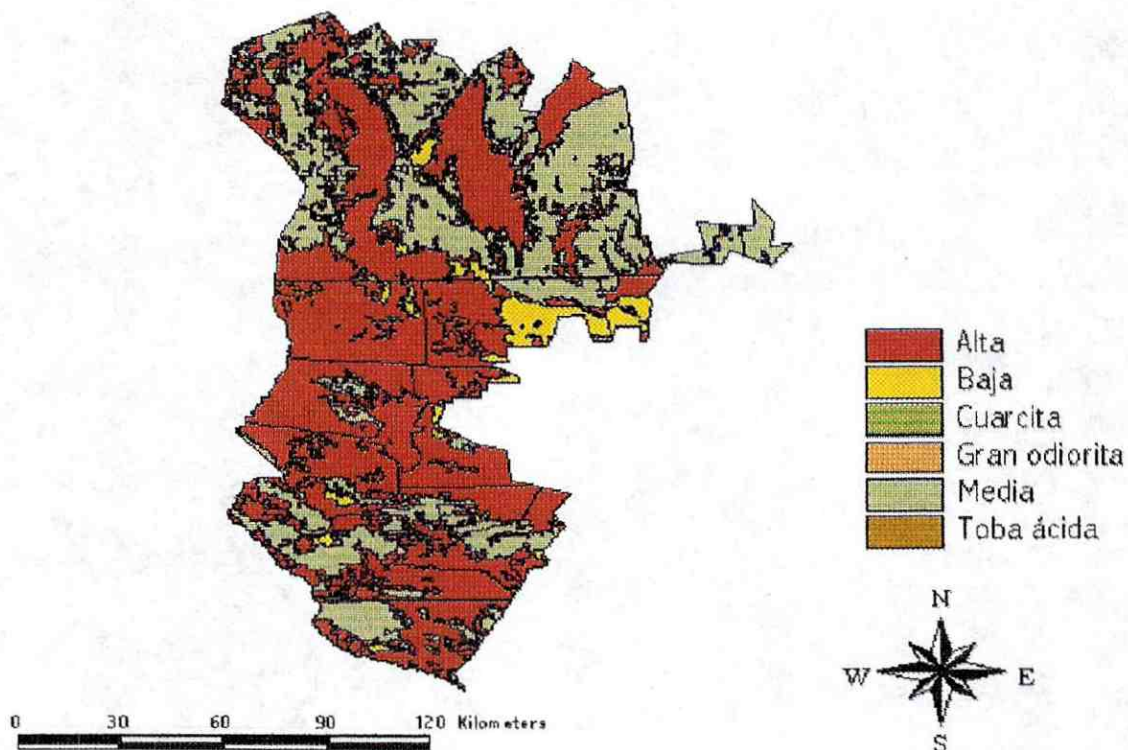


Figura 4.4 Permeabilidad de acuerdo al tipo de roca de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2.2.3 Mapa digital edafológico

Presenta información referente a las características morfológicas, físicas y químicas de los suelos. Por medio de colores y claves, indica el tipo de suelo existente, las fases salina, sódica y la textura superficial dominante. Señala, además, las fases físicas, como rocas, tepetates o caliches que limitan la profundidad del suelo, y la existencia de ellos en la superficie como fases pedregosas o gravosas. A manera de ejemplo se presenta parte de la información de este mapa en el apéndice B.

La distribución de los tipos de textura del suelo presentes en el área de estudio se presentan en la figura 4.5. Como puede observarse la textura predominante es la textura media con 95.48 %, seguida de la textura gruesa

con 4.52 % respectivamente,, mientras que textura fina no se presenta en el área de estudio.

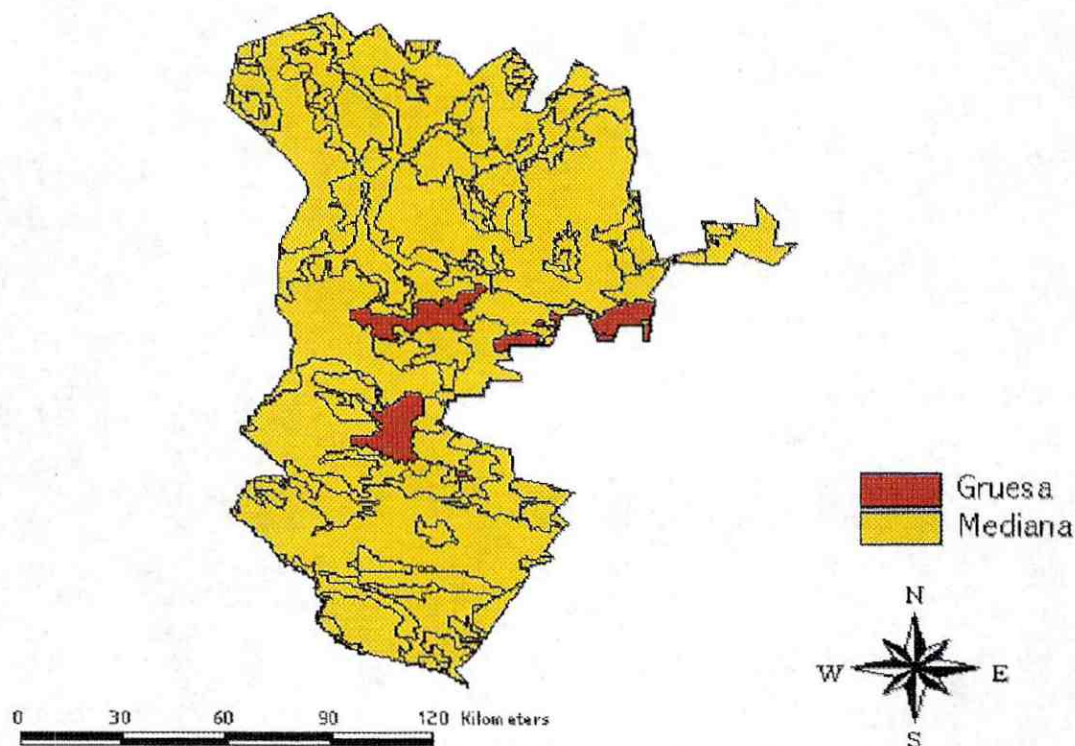


Figura 4.5 Textura de los suelos de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2.2.4 Mapa digital de poblaciones

Presenta información referente a las localidades de zona de estudio, entre la información que dispone esta carta se encuentra: nombre de la localidad, número de habitantes, coordenadas geográficas y altitud de las mismas, ver apéndice C. Esta carta empleó la base de datos Contar 2000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI, , que cuenta con el XII Censo General de Población y Vivienda 2000 (Figura 4.6).

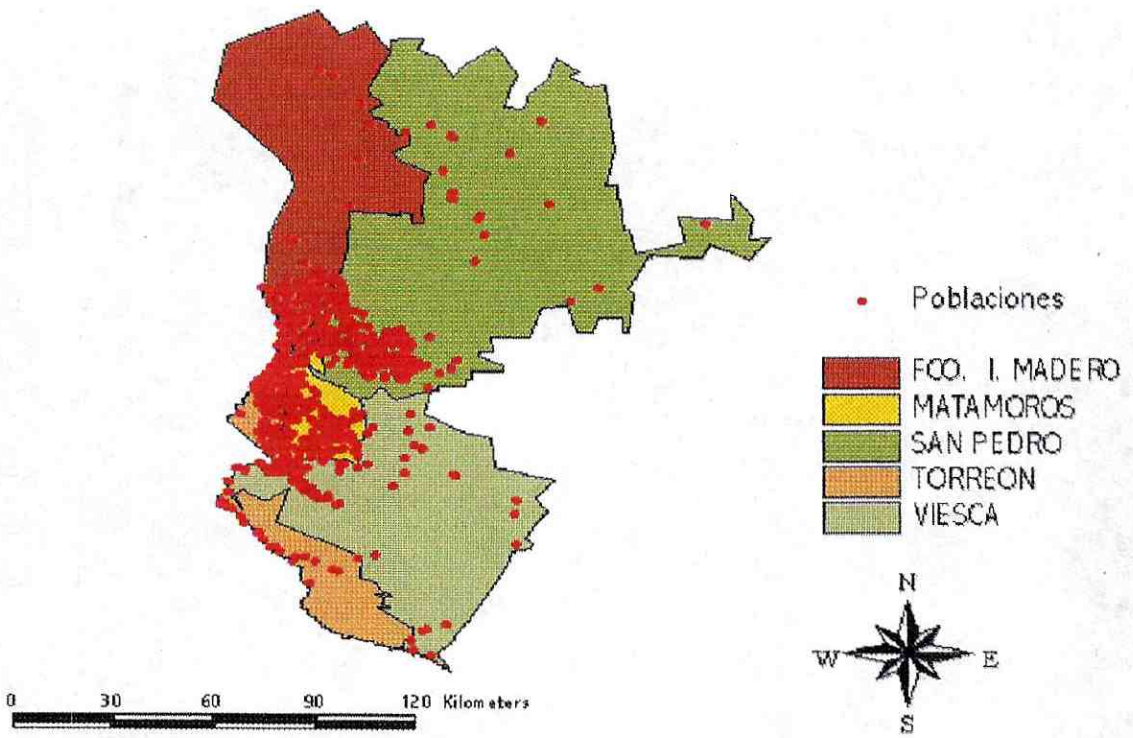


Figura 4.6 Poblaciones de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2.2.5 Mapa digital de pozos profundos

Proporciona información concerniente al tipo de uso del pozo (agrícola, domestico, industrial, pecuario, etc. ver apéndice D), tipo de bomba que emplea, tipo de energía empleada y coordenadas geográficas de cada pozo (Figura 4.7)

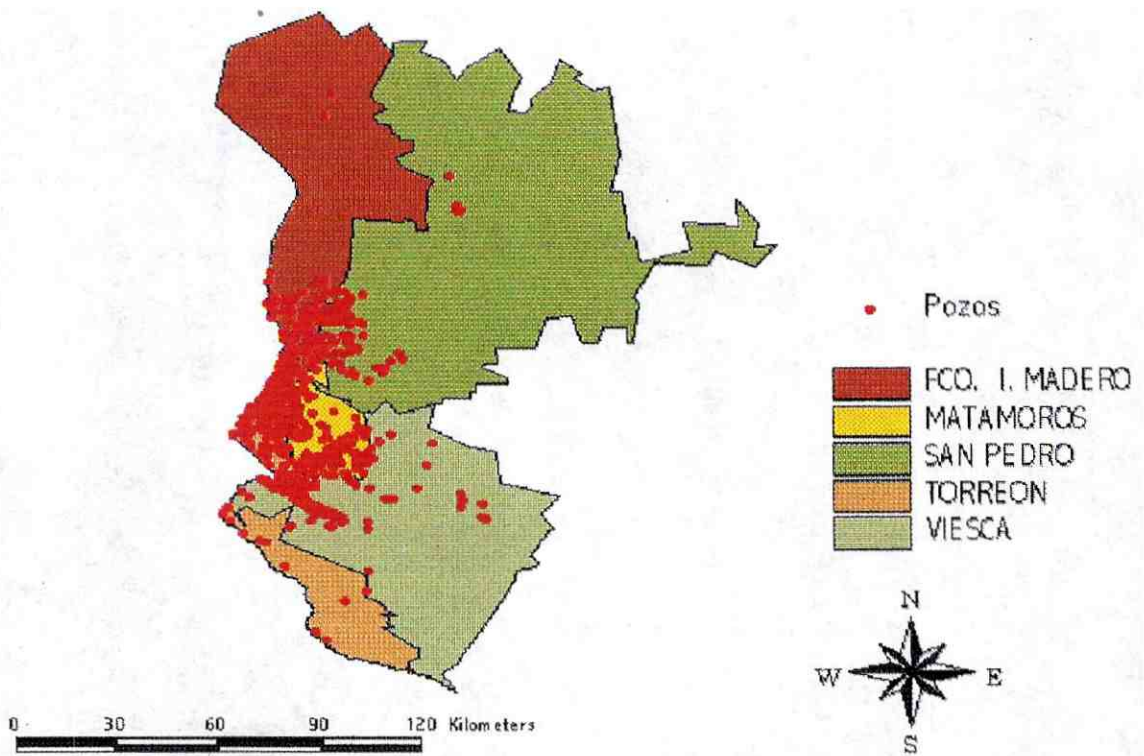


Figura 4.7 Pozos profundos de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2.2.6 Mapa digital de vías de comunicación e infraestructura

Esta carta aporta información correspondiente a las vías de comunicación disponibles para la zona de estudio, dentro de la información disponible en esta carta se encuentra la siguiente: brechas, carreteras pavimentadas, conductos subterráneos, vías del ferrocarril, líneas eléctricas, terracerías y veredas (Figura 4.8).

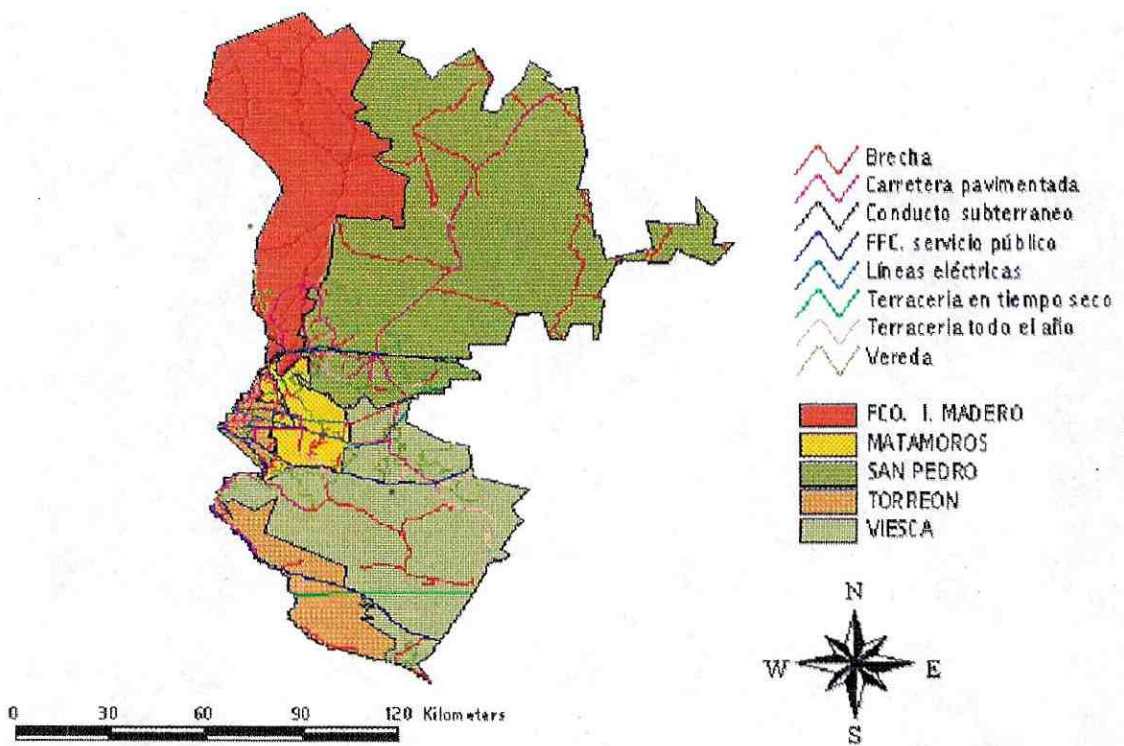


Figura 4.8 Vías de comunicación e infraestructura de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2.2.7 Mapa digital de hidrología de agua superficiales

Presenta información correspondiente de ríos y lagos que se encuentran en el área de estudio, tipos de corrientes (Figura 4.9).

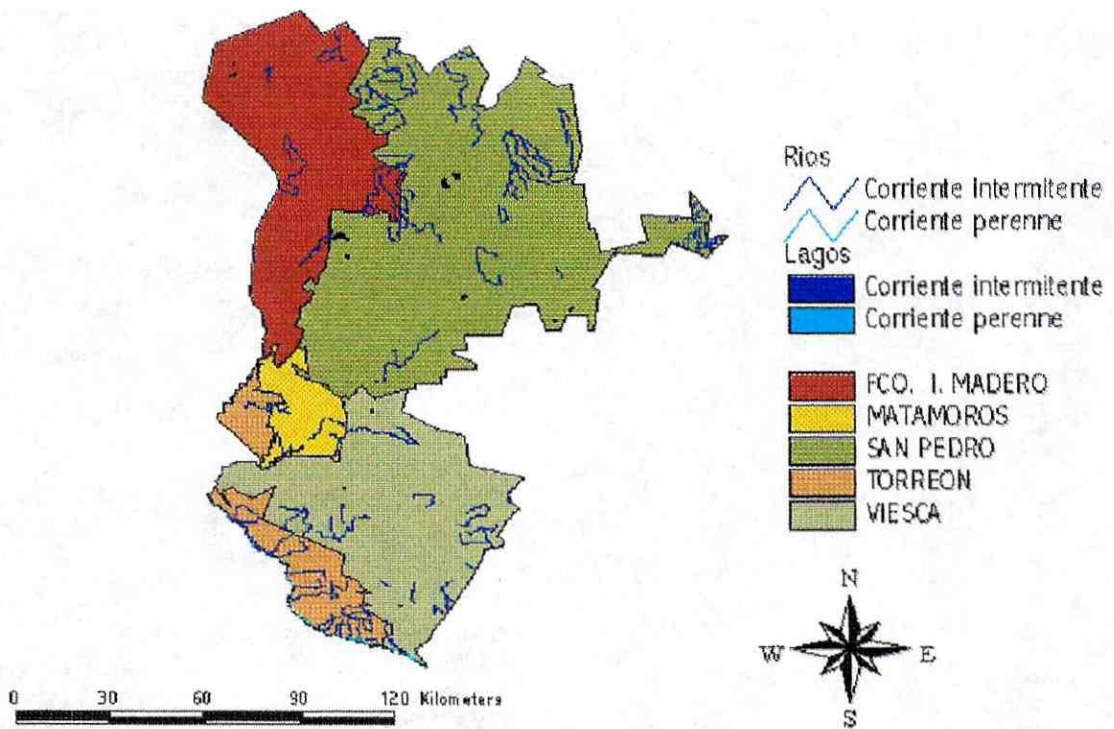


Figura 4.9 Hidrología superficial de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2.2.8 Mapa digital de uso del suelo y vegetación

Presenta información correspondiente a la distribución espacial del uso del suelo y vegetación predominante en el área de estudio. Como puede observarse en la figura 4.10, la distribución de la vegetación se encuentra de la siguiente manera: el matorral xerófilo ocupa el 67.30 %, vegetación halófila 12.04 %, pastizal 4.19 %, matorral submontano 1.36 %, vegetación compuesta por arbustos de mezquite y huizache 0.63 %, vegetación de desierto arenoso 0.64 %, bosque de pino 0.28 %, arbusto chaparral 0.19 %, vegetación de galería 0.03 %, áreas desprovistas de vegetación 1.24 % respectivamente, mientras que dentro de los principales uso se encuentra la agricultura de riego con 10.75 %, agricultura de temporal 1.25 % y la zona urbana de Torreón que ocupa el 0.10 % respectivamente. La información parcial de este mapa se presenta en el apéndice E.

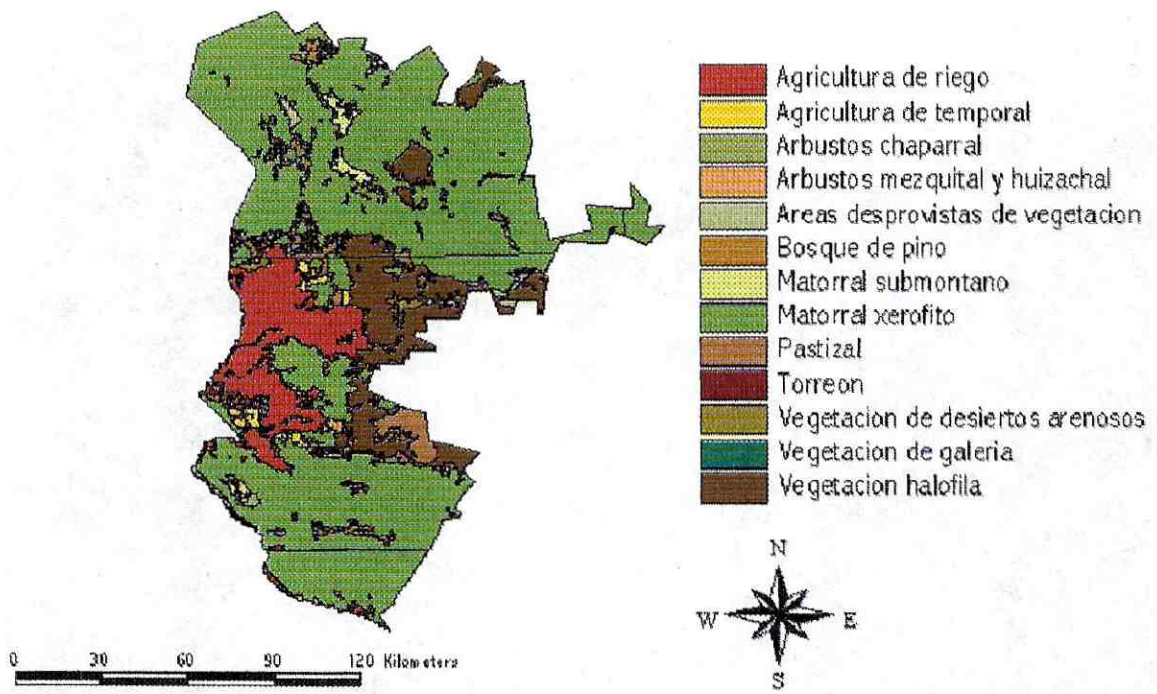


Figura 4.10. Uso del suelo en la Comarca Lagunera de Coahuila

4.2.2.9 Mapa digital de hidrología de aguas subterráneas

Esta carta presenta información correspondiente a la posibilidad de existencia de agua subterránea en un área determinada, así como también el tipo de material presente en la misma. La distribución de las posibilidades de existencia de agua subterránea de acuerdo al tipo de material existente presentes en el área de estudio se presentan en la figura 4.11. Los porcentajes son los siguientes: material consolidado con posibilidades bajas 40.98 %, material no consolidado con posibilidades medias 19.11 %, material no consolidado con posibilidades bajas 7.86 %, material no consolidado con posibilidades altas 32.04 % y laguna con 0.01 % respectivamente. La información parcial de este mapa se presenta en el apéndice F.

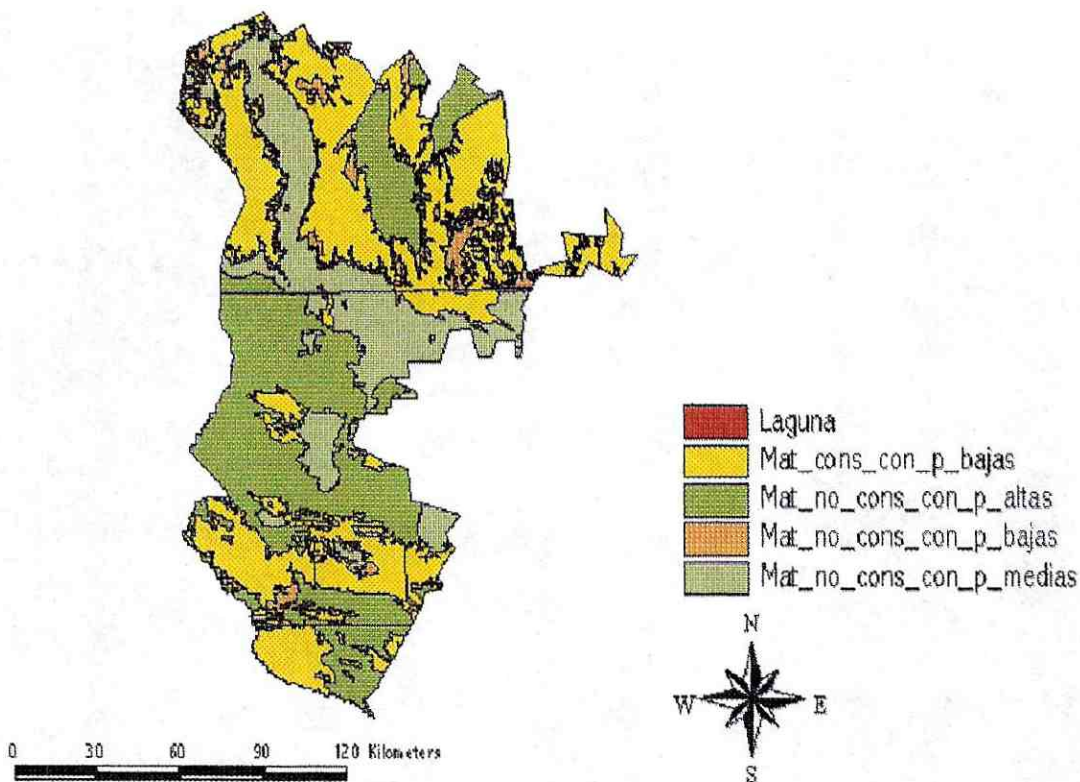


Figura 4.11 Hidrología subterránea de la Comarca Lagunera de Coahuila

4.3 Manejo de la cartografía digital

En este estudio se establecieron para los temas de ríos, vías de comunicación, poblaciones, pozos profundos y lagos zonas buffer o zonas de amortiguamiento, tal como lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-1996. A continuación se presentan los valores correspondientes a las zonas de buffer o zonas de amortiguamiento:

- Ríos y lagos: distancia de ubicación del sitio con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, debe ser de 1000 m (mil metros).
- Vías de comunicación e infraestructura: Respetar el derecho de vía de autopistas, ferrocarriles, caminos principales y caminos secundarios. También se deben respetar los derechos de vía de obras públicas federales, tales como oleoductos, gasoductos, poliductos, torres de energía eléctrica, acueductos, etc., la distancia considera para este estudio es de 200 metros.

- Poblaciones: Debe estar alejado a una distancia mínima de 1500 m (mil quinientos metros), a partir del límite de la zona urbana de la población por servir, así como de poblaciones rurales de hasta 2500 habitantes.
- Pozos profundos: distancia mínima del sitio a pozos para extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero tanto en operación como abandonados, debe estar a una distancia de la proyección horizontal por lo menos de 100 m (cien metros) de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, siempre que la distancia resultante sea menor a 500 m (quinientos metros), esta última será la distancia a respetar, para este estudio se consideraron los 500 metros como zona de amortiguamiento (SEMARNAT, 1996).

Así mismo se tuvo que convertir todos los temas de formato vectorial a formato tipo raster con el fin de realizar el análisis espacial, empleando la extensión Spatial Analyst® del programa computacional ArcView®. Una vez convertido los temas a formato raster se procedió a reclasificar los temas de geología, edafología, hidrología de aguas subterráneas y uso de suelo y vegetación, para posteriormente emplear la opción mapa de consulta para realizar el cruzamiento de la información y de esta manera obtener los resultados. La Figura 4.12 resume los pasos realizados durante este estudio.

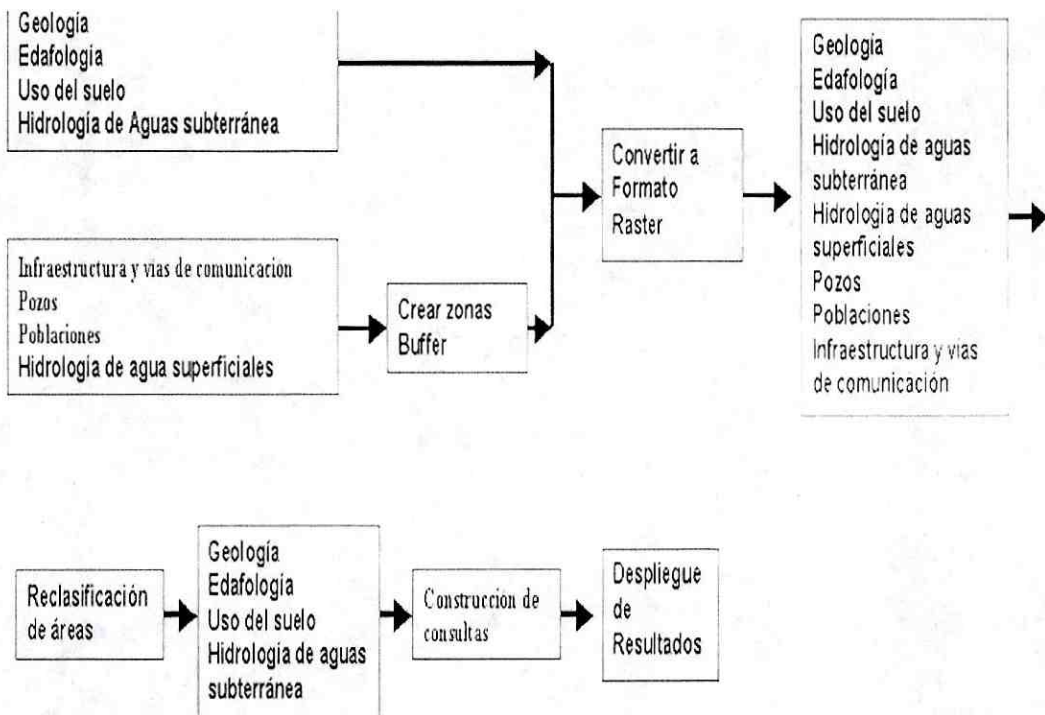


Figura. 4.12. Diagrama general del procedimiento empleado en el estudio

A manera de ejemplo se presentan a continuación las figuras correspondientes a los pasos anteriormente descritos a excepción del cruzamiento de la información que se verá en el siguiente capítulo.

La Figura 4.13 muestra el tema de edafología después de ser convertido de formato vectorial (Figura 4.5) a formato tipo raster, esta transformación se obtiene mediante el uso de la extensión “Spatial Analyst” , para posteriormente utilizar del menú tema “Theme”, la opción de convertir a grid “Convert to Grid” . El tamaño de celda empleado en todos los temas es de 100 x 100 metros, es decir cada celda equivale a una hectárea de terreno.

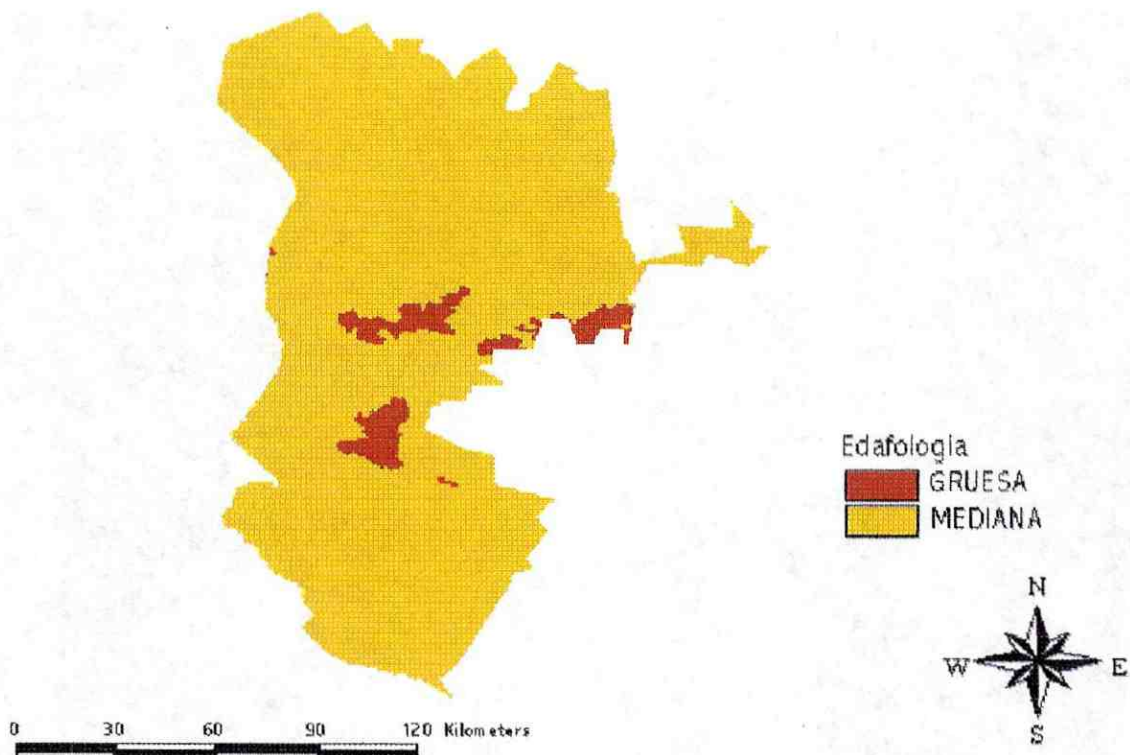


Figura 4.13. Formato raster del tema de edafología

Posteriormente se procedió a reclasificar el tema de edafología (figura 4.14), esta se obtiene del menú análisis, posteriormente se selecciona la opción reclasificar "Reclassify", es decir las áreas que presentan zonas de textura gruesa se les asigno cero, mientras que las zonas que presentan textura mediana se les asigno uno. Una vez obtenida la reclasificación para los temas de geología, edafología, hidrología de aguas subterráneas y uso de suelo y vegetación, se procedió a realizar el cruzamiento de la información de acuerdo a las condiciones establecidas en este capítulo, en este caso se utilizo la opción mapa de consulta "Map Query" del menú análisis. Por ultimo la Figura 4.15 muestra la distribución de pendientes en el área de estudio.

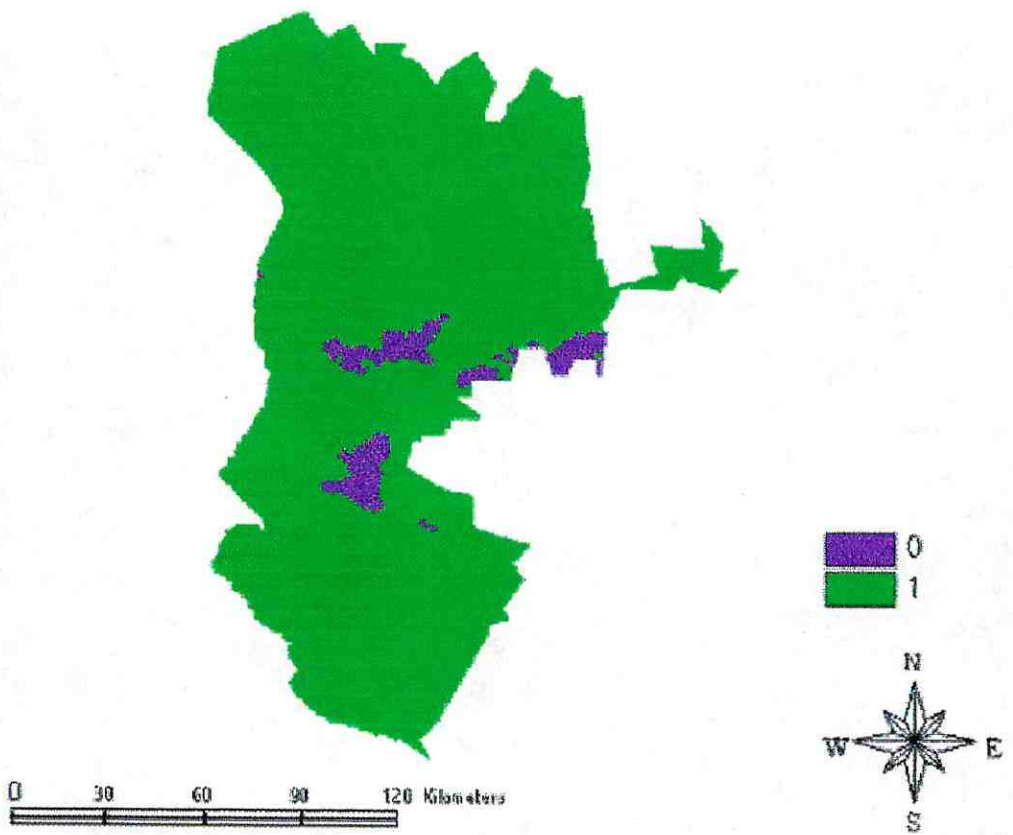


Figura 4.14. Reclasificación del tema de edafología

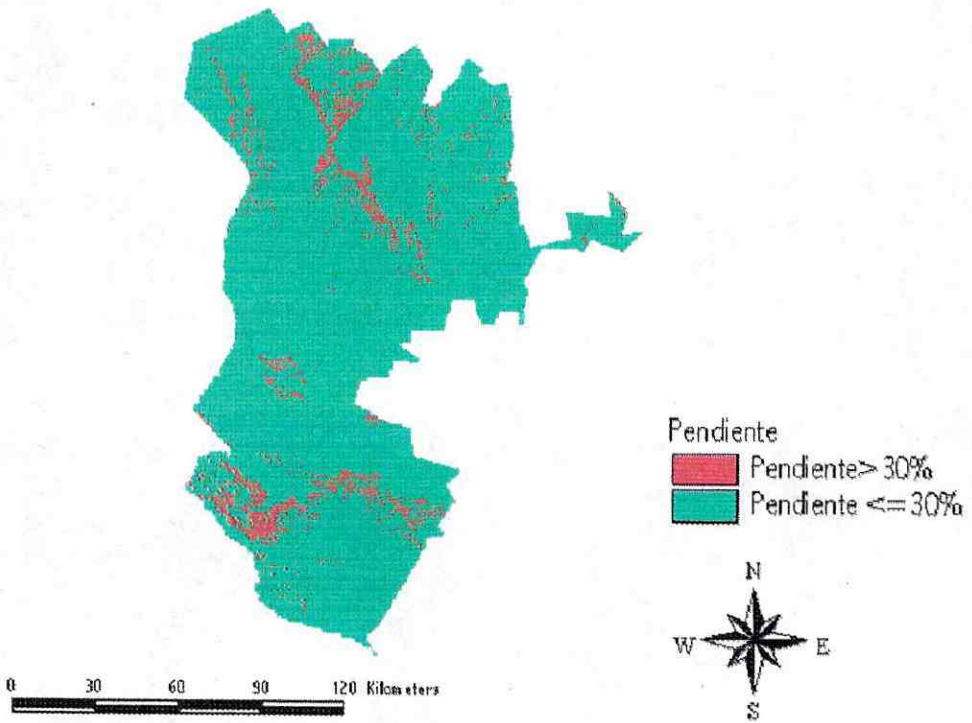


Figura 4.15. Distribución de pendientes en la Comarca Lagunera de Coahuila

4.3.1 Estimación de la población

Se estimó la población para el año 2020, tomando como base el conteo preliminar de población y vivienda de 1995 del Instituto Nacional de Geografía e Informática y el XII Censo General de Población y Vivienda 2000 de dicho instituto, con el fin de identificar las poblaciones rurales que presenten 2500 habitantes, como lo establece la Norma Oficial Mexicana correspondiente, la ecuación empleada se presenta a continuación:

$$TCMA = [(PFP / PIP)^{1/N} - 1] * 100$$

Donde:

TCMA = Tasa de crecimiento media anual (%)

PFP = Población al final del periodo

PIP = Población al inicio del periodo

N = Número de años considerados

Se modificó la ecuación anterior quedando de la siguiente manera:

$$(PFP * 1/N - 1) + PFP$$

Con el fin de facilitar el manejo de los datos de las diversas localidades que integran la Comarca Lagunera de Coahuila se empleó la hoja de cálculo Excel®. A continuación se presentan las variables empleadas en el mapa de consulta, estas definiciones de variables se establecieron para facilitar el manejo de los diversos temas empleados en el estudio.

4.3.2 Definición de variables

Agua subterránea (A)

Material consolidado con posibilidades bajas (A1)

Material no consolidado con posibilidades bajas (A2)

Material no consolidado con posibilidades medias (A3)

Material no consolidado con posibilidades altas (A4)

Edafología (E)

Textura fina (E1)

Textura media (E2)

Textura gruesa (E3)

Geología (G)

Permeabilidad baja (G1)

Permeabilidad media (G2)

Permeabilidad alta (G3)

Infraestructura y vías de Comunicación (C)

Carretera pavimentada (C1)

Conductos subterráneos (C2)

Vías del ferrocarril (C3)

Líneas eléctricas (C4)

Terrecería transitable todo el año (C5)

Uso de suelo y vegetación (SV)

Vegetación (SV1)

Agricultura de riego (SV2)

Torreón (SV3)

Pendiente

Se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) para estimar la pendiente de la zona de estudio. De acuerdo a la literatura se recomienda una pendiente no mayor al 30%. ($P \leq 30$)

4.3.3 Establecimiento de condiciones para la selección de los sitios potenciales

A continuación se presentan las condiciones que se establecieron para ubicación de los sitios, estas se escribieron en el Mapa de Consulta y de esta manera obtener los resultados.

Primera Condición

(A1) AND (E2) AND (G1) AND (P<=30) AND (SV1)

En esta primera condición se consideraron para el tema de aguas subterráneas la presencia de material consolidado con bajas posibilidades de agua, así mismo para el tema correspondiente a la edafología del sitio se considero una textura media, ya que no existe una textura fina en el área de estudio, por otro lado para el tema correspondiente a la geología se consideraron las rocas que presenten baja permeabilidad, en el caso del tema correspondiente a uso del suelo y vegetación se excluyeron las zona que comprende la ciudad de Torreón y zonas agrícolas de riego y por ultimo se consideraron las zonas que presentan pendiente iguales o menores a 30 %.

Segunda Condición

(A1) AND (E2) AND (G2) AND (P<=30) AND (SV1)

En esta segunda condición se consideraron para el tema de aguas subterráneas la presencia de material consolidado con bajas posibilidades de agua, así mismo para el tema correspondiente a la edafología del sitio se consideró una textura media, ya que no existe una textura fina en el área de estudio, por otro lado para el tema correspondiente a la geología se consideraron las rocas que presenten una permeabilidad media, en el caso del tema correspondiente a uso de suelo y vegetación se excluyeron nuevamente las zonas que comprenden la ciudad de Torreón y zonas agrícolas de riego y por ultimo se consideraron las zonas que presentan pendiente iguales o menores a 30 %.

Tercera Condición

(A2) AND (E2) AND (G1) AND (P<=30) AND (SV1)

En la tercera condición se consideraron para el tema de aguas subterráneas la presencia de material no consolidado con bajas posibilidades de agua, así mismo para el tema correspondiente a la edafología se considera nuevamente la textura media, por las razones expuestas con anterioridad, por otro lado para el tema correspondiente a la geología se consideraron las rocas que presenten una baja permeabilidad, en el caso del tema correspondiente a uso de suelo y vegetación se excluyeron las zonas de la ciudad de Torreón y áreas agrícolas de riego y por ultimo se consideraron las zonas que presentan pendiente iguales o menores a 30 %.

Cuarta Condición

(A2) AND (E2) AND (G2) AND (P<=30) AND (SV1)

En la cuarta condición se consideraron para el tema de aguas subterráneas la presencia de material no consolidado con bajas posibilidades de agua, así mismo para el tema correspondiente a la edafología se considero la textura media, por otro lado para el tema correspondiente a la geología se consideraron las rocas que presenten una permeabilidad media, para el tema de uso de suelo y vegetación se excluyeron las áreas que comprenden la ciudad de Torreón y la superficie agrícola de riego y por ultimo se consideraron las zonas que presentan pendiente iguales o menores a 30%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Estimación de la población.

Las localidades que componen la Comarca Lagunera de Coahuila son aproximadamente en 835, distribuidas principalmente en la parte central de la zona de estudio (Figura 4.6), las poblaciones que presentarán un población igual o mayor a 2500 habitantes para el año 2020 de acuerdo a la proyección, son 13, de las cuales cuatro poblaciones pertenecen al municipio de Torreón, cuatro a Matamoros, Francisco I. Madero y San Pedro cuentan con dos poblaciones respectivamente, mientras que Viesca solo cuenta con una población. La ciudad de Torreón contará con el mayor numero de habitantes 548,821, seguido de Matamoros con 49.378 habitantes, mientras que Lequeito contará con 2760 habitantes , esta población esta ubicada en el municipio de Francisco I. Madero. Cuadro 5.1

Cuadro 5.1. Poblaciones que mayores a 2500 habitantes

Nombre de la localidad	Población 2020
Torreón	548821
Matamoros	49378
San Pedro	40764
Francisco I. Madero	26663
San Antonio del Coyote	9468
Concordia (La Rosita)	6557
La Concha	4087
Hidalgo	3874
El Cambio	3844
La Partida	3377
Viesca	3300
Fracc. Nueva Merced (Col. Independiente)	3161
Lequeito	2760

5.2 Cruzamiento de la información

Utilizando la información de cartografía digital presentada anteriormente y siguiendo la metodología propuesta, se generaron los resultados que sirvieron como base para la conformación de la figura 5.1. en ella se observan los sitios que cumplen con los valores establecidos en la primera condición. Del total de la superficie que compone la Comarca Lagunera sólo el 1.03 % cumple con los parámetros establecidos en la primera condición, así mismo el municipio que cuenta con mayor porcentaje con respecto a su territorio es Torreón con 1.54 %, mientras que el municipio de Matamoros no cuenta con ningún sitios (Cuadro 5.2).

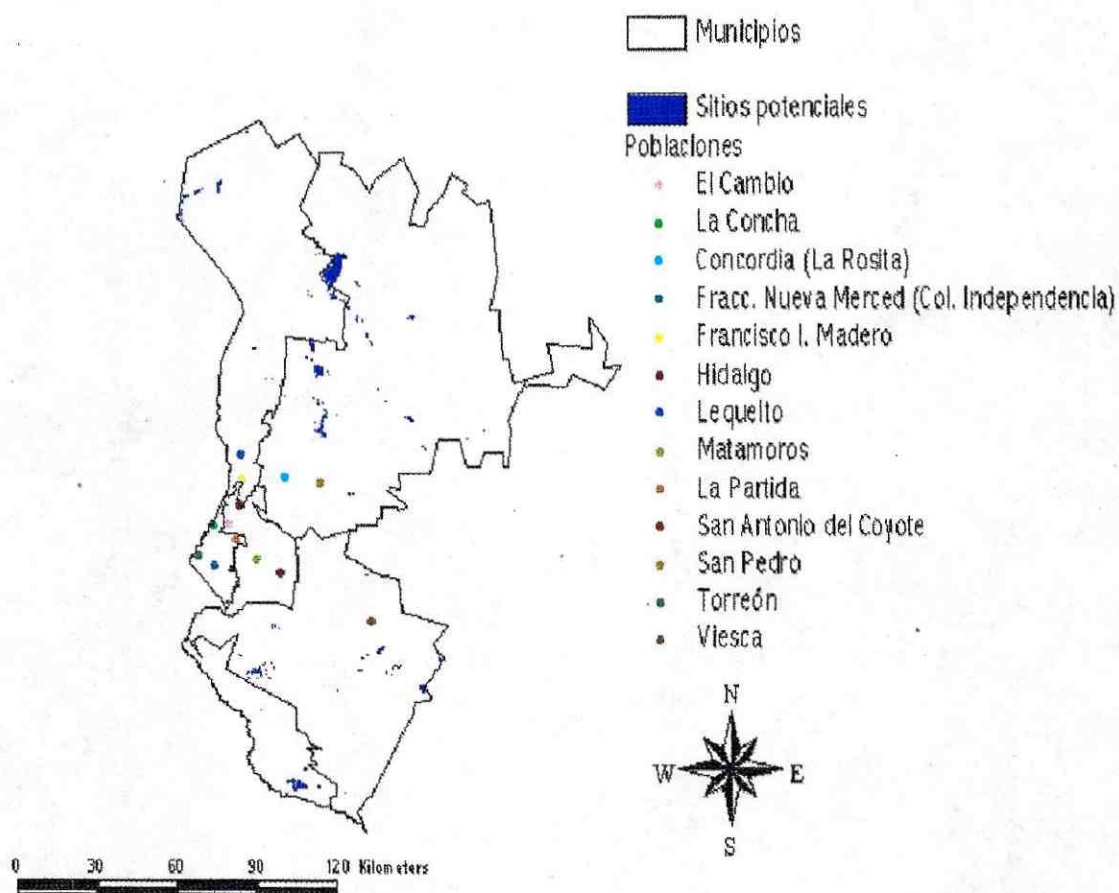


Figura 5.1. Sitios potenciales de acuerdo a la primera condición

A continuación se presenta la Figura 5.2 que muestra los resultados de la segunda condición establecida en el mapa de consulta, del total de la superficie sólo el 28.09 % que comprende la Comarca Lagunera cumple con los

parámetros establecidos en la segunda condición, por otro lado el municipio que mayor área presenta con respecto a su territorio es Francisco I. Madero con 33.67 %, seguido de Torreón con 24.16 %, mientras que Matamoros solo cuenta con el 4.46 % tomando como referencia a su territorio (Cuadro 5.2.).

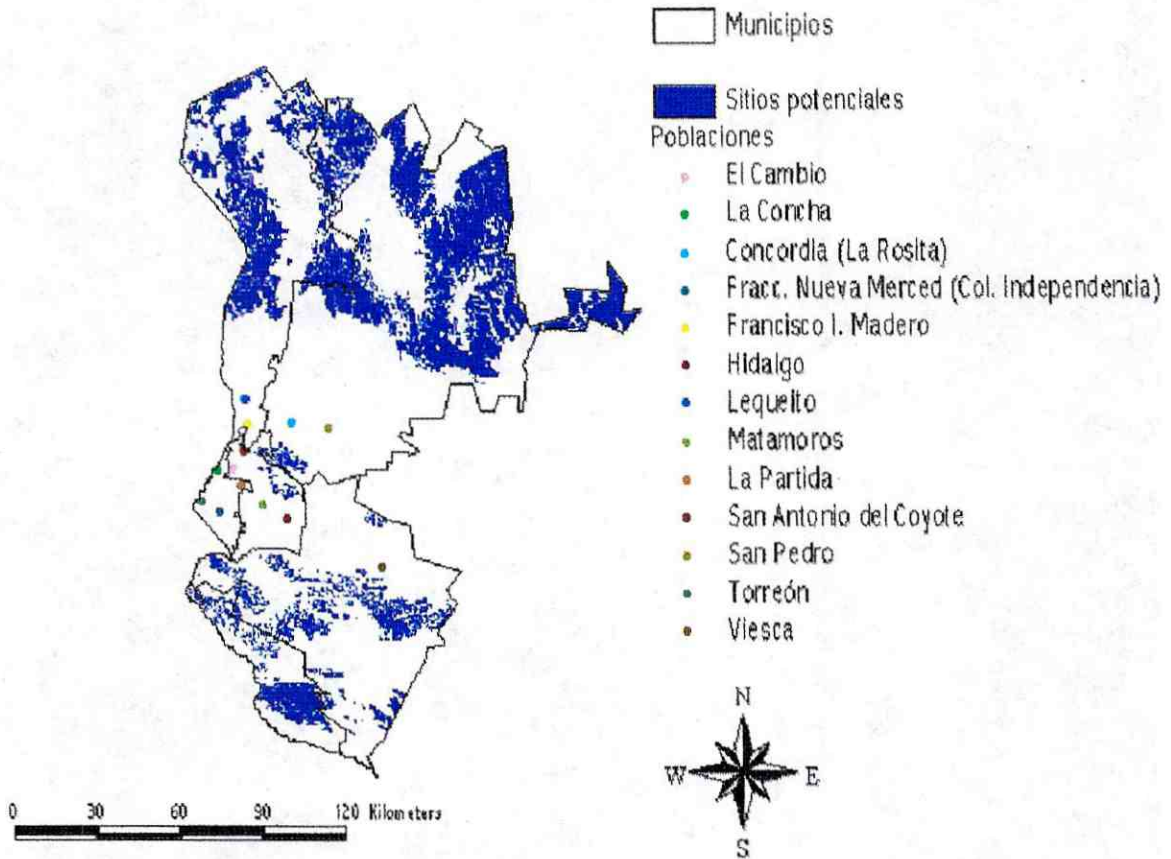


Figura 5.2. Sitios potenciales de acuerdo a la segunda condición

Los resultados que se muestran en la Figura 5.3 corresponden a la tercera condición establecida en el mapa de consulta, del total de la superficie, sólo el 0.09 % de la superficie de los cinco municipios cumple con los parámetros establecidos en la tercera condición, esto denota que existen muy poca superficie para el establecimiento de un relleno sanitario. El municipio de Francisco I. Madero y San Pedro cuentan con el 0.12 % y 0.13 % respectivamente con respecto a su territorio, entre tanto los municipios de Viesca y Matamoros no presentan sitio alguno (Cuadro 5.2).

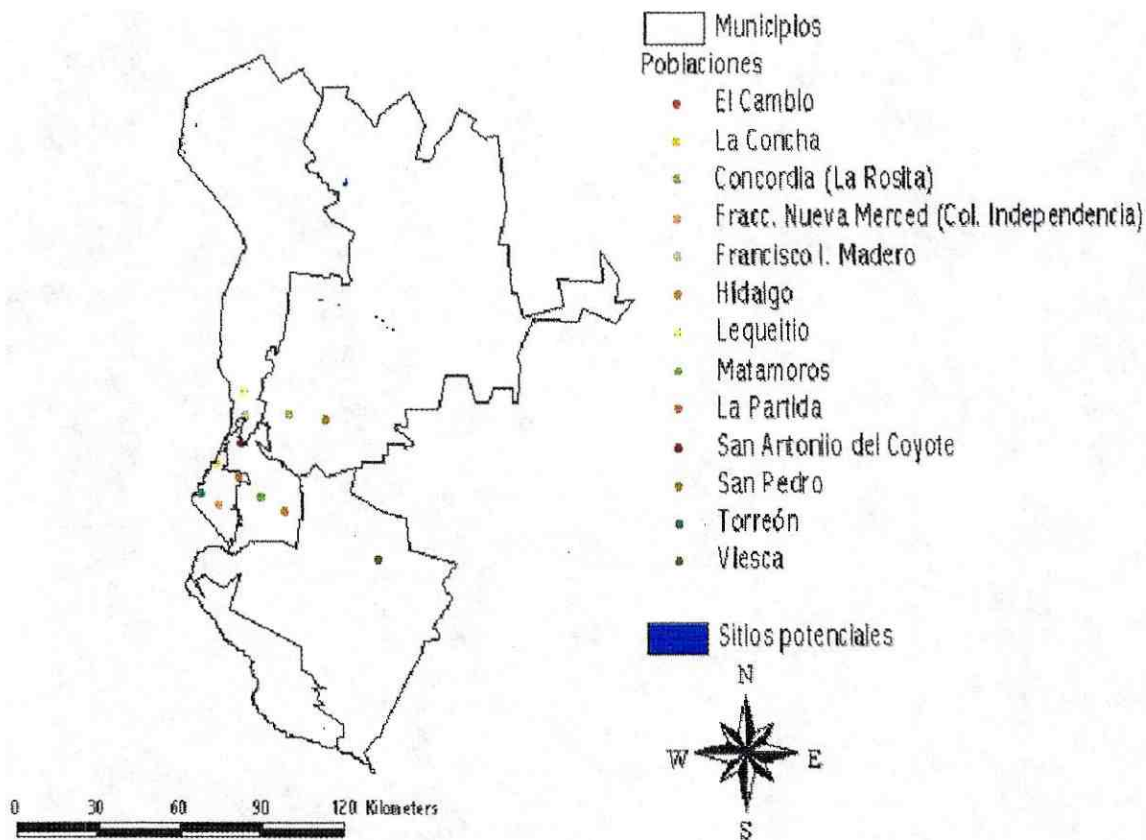


Figura 5.3. Sitios potenciales de acuerdo a la tercera condición

Por ultimo se presenta los resultados obtenidos para la cuarta condición, del total de la superficie de la zona de estudio sólo el 1.33 % cumple con los parámetros establecidos en la cuarta condición Figura 5.4. San Pedro y Francisco I. Madero cuentan con 2.10 % y 1.52 % respectivamente de la superficie para la instalación del relleno sanitario de acuerdo a la cuarta condición, para finalizar Matamoras no presenta ningún sitios disponible (Cuadro 5.2).

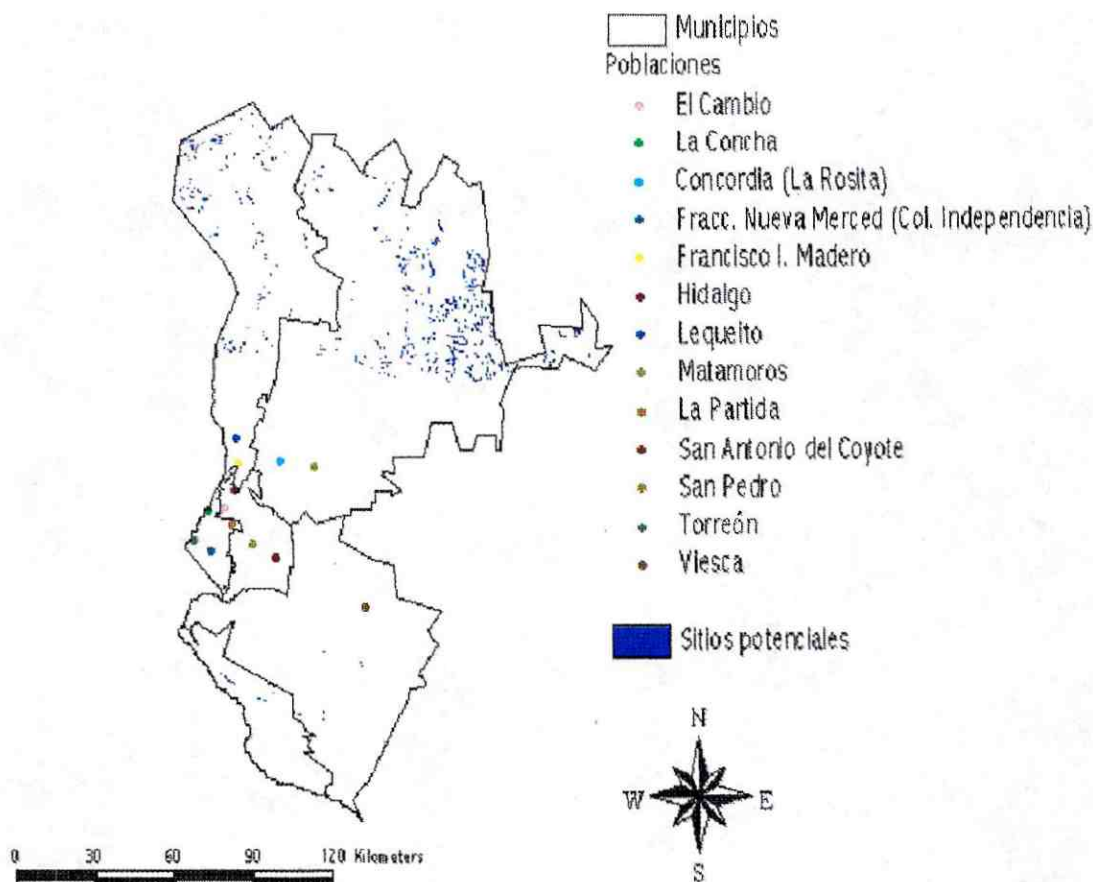


Figura 5.4. Sitios potenciales de acuerdo a la cuarta condición

Cuadro 5.2. Distribución porcentual de sitios potenciales en la comarca lagunera de Coahuila

Municipio	Superficie (Ha)	Superficie 1ª Condición (%)	Superficie 2ª Condición (%)	Superficie 3ª Condición (%)	Superficie 4ª Condición (%)
Francisco I. Madero	380,363	0.88	33.67	0.12	1.52
Matamoros	753,39	0	4.46	0	0
San Pedro	829,367	1.17	34.64	0.13	2.10
Torreón	135,126	1.54	24.16	0.05	0.49
Viesca	417,357	0.87	15.52	0	0.16

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se hacen las siguientes conclusiones:

- Se desarrolló una base de datos digital que comprende los elementos físicos y sociales que permite identificar sitios potenciales para el establecimiento de rellenos sanitarios en la Región Lagunera de Coahuila.
- Se desarrolló una metodología empleando el GIS para identificar sitios apropiados para establecer rellenos sanitarios.
- Se desarrolló un sistema de información geográfico que permite el análisis geográfico de problemas ambientales, específicamente la localización de rellenos sanitarios.
- Los municipios que presentan mayores áreas con respecto a su superficie territorial de acuerdo a las cuatro condiciones empleadas en el estudio son: San Pedro con 38.04 %, seguido de Francisco I. Madero con 36.19 %, Torreón 26.24 %, Viesca 16.55 % y por último Matamoros con 4.46 % respectivamente.
- El uso de los Sistemas de Información Geográfica permite el análisis de grandes áreas de terreno y nos permite identificar fácilmente los sitios que presentan posibilidades para albergar rellenos sanitarios.

RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones para los sitios identificados son las siguientes:

- Estudio de campo detallado de las condiciones geológicas, hidrológicas, tal como lo establece la NOM-083-SEMARNAT-1996 para los sitios de interés.
- Realizar un estudio de viabilidad económica para el establecimiento de relleno un sanitario.

LITERATURA CITADA

- Basagaoglu, H., E. Celenk, M. A. Mariño and N. Usul. 1997. Selection of waste disposal sites using GIS. *J. Amer. Water Reso. Assoc.* 33(2): 455-464.
- Bolaños-Cacho, R. J. A., J. A. Medina R., I. Jiménez Y., I. Aguirre G., S. A. Vallejo A., R. Tobón C. y. M. Rocha J. 2001. *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. 1 ed. Instituto Nacional de Ecología (INE). México, D. F. p.14
- Butt, T. E. and K. O. K. Oduyemi. 2003. A holistic approach to concentration assessment of hazards in the risk assessment of landfill leachate. *Environ. Int.* 28(7): 597– 608.
- Critto, A., C. Carlon and A. Marcomini. 2003. Characterization of contaminated soil and groundwater surrounding an illegal landfill (S. Giuliano, Venice, Italy) by principal component analysis and kriging. *Environ. Pollut.* 122(2): 235–244.
- El-Fadel, M., E. Bou-Zeid, W. Chahine and B. Alayli. 2002. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Manage.* 22(3): 269–282.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1999. ArcView ® GIS 3.2. Seattle, Washington. U.S.A.
- Goodchild, M. F. 2003. Geographic information science and systems for environmental management. *Annu. Rev. Energy Environ.* 28: 493 - 519.
- Heywood, I., S. Cornelius and S. Carver. 1998. *An introduction to Geographical Information Systems*. p.33
- Honorable Congreso de la Unión (H. C. U.). 2003. *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*. México, D. F. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de Octubre del 2003
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). 1999. *Estadísticas del Medio Ambiente*.
[En Línea]
http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_ambientales/compendio/03actividades_humanas/residuos.shtml (Revisado el 25 de Enero de 2003)

- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). 2001. Cuaderno estadístico municipal de Torreón Coahuila de Zaragoza. 1 ed. Aguascalientes, Aguascalientes. p. 6 - 7.
- Jaramillo, J. 2002. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. 1 ed. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Antioquia, Colombia.
- Kiely, G. 1999. Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. 1 ed. Mc-Graw Hill. Madrid, España. p.849, 909.
- Leao, S., I. Bishop and D. Evans. 2001. Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modelling in a GIS environment. *Resour. Conserv. Recycling*. 33(4): 289-313.
- Longley, P. A., M. F. Goodchild, D. J. Maguire and D. W. Rhind. 2001. *Geographic information systems and science*. 1 ed. Wiley. Chichester, England. p.52.
- Lowe, K. and B. Mitchell. 2001. Landfill site selection in a sub-section of Pine County, Minnesota. [En Línea]
http://www.uoguelph.ca/geography/filetran/geog4480_w2001/group20/index.htm (Revisado el 25 de Febrero de 2003)
- Lukashev, A. F., R. L. Droste and M. A. Warith. 2001. Review of Expert System (ES), Geographic Information System (GIS), Decision Support System (DSS), and their applications in landfill desing and management. *Waste Manage. Res.* 19:177-185.
- Lunkapis, G. J., N. Ahmad, A. R. M. Shariff, S. Mansor and M. R. Mispan. 2002. GIS as decision support tool for landfills sitting. [En Línea]
http://www.malaysiagis.com/gis_in_malaysia/articles/article20.pdf (Revisado el 25 de Marzo de 2003)
- Martínez, R., J. J. 2002. Introducción a la Percepción Remota y a los Sistemas de Información Geográfica. 1 ed. UJED/CONACYT. Gómez Palacio, Durango, México. p.99
- Mongeon, J. and M. Webb. 2002. Locating a municipal waste landfill site in ottonwood, Minnesota. [En Línea]
http://www.uoguelph.ca/geography/filetran/geog4480_w2002/Group05/index.htm (Revisado el 25 de Marzo de 2003)
- Nava, C. C. d., Y. Ordaz, I. Jiménez, J. A. Medina, I. Aguirre y A. Cebrián. 1999. Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. 1 ed. Insituto Nacional de Ecología (INE). México, D. F. p.108, 109, 111,122

- Ojeda, B. S. and J. L. Beraud L. 2003. The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal. *Resour. Conserv. Recycling*. 39:239-250.
- Pont, R. M. D. 1997. Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México. 1 ed. Instituto Nacional de Ecología (INE). México, D.F. p.31
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 1996 Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996. Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. México, D. F. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de Noviembre de 1996
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2001. Operación de rellenos sanitarios. CD (Cruzada por un México Limpio)
- Sellers, M. 2002. Landfill site selection in Ramsey County, Minnesota. [En Línea]
http://www.uoguelph.ca/geography/filetran/geog4480_w2002/Group20/index.htm (Revisado el 25 de Marzo de 2003)
- Siddiqui, M. Z., J. W. Everett and B. E. Vieux. 1996. Landfill Siting Using Geographic Information Systems: A Demonstration. *J. Environ. Eng.* 122(6): 515-523.
- Starrett, S., O. Itani, H. Davalos, Y. Najjar and L. Reddi. 2001. Locating waste management system sites using GIS technology. [En Línea] (Revisado el 28 de Abril de 2003)
- Tchobanoglous, G., H. Theisen y S. A. Vigil. 1998. Gestión integral de residuos sólidos. 1 ed. McGraw-Hill. México, D. F. p. 408 - 432
- Vatalis, K. and O. Manoliadis. 2002. A two-level multicriteria DSS for landfill site selection using GIS: case study in western Macedonia, Greece. *J. Geogr. Inf. Decis. Anal.* 6(1): 49-56.
- Yagoub and Taher Buyong. 1998 GIS Applications for Dumping Site Selection. 6th ESRI UsersConference.[En Línea]
<http://gis.esri.com/library/userconf/proc98/PROCEED/TO150/PAP107/P107.HTM>

APPENDICE A

Introducción.

Los siguientes apéndices contienen parte de las tablas a las que se hace referencia en el capítulo de materiales y métodos:

Geología

LAVE	ERA_GEOL	GEOLOGIA	TIPO_ROCA	PERMEABILIDAD
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Q(cg)	Cuaternario	Conglomerado	Sedimentaria	Alta
Ki(y)	Cretacico_inferior	Yeso	Sedimentaria	Media
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Q(cg)	Cuaternario	Conglomerado	Sedimentaria	Alta
Ki(cz-lu)	Cretacico_inferior	Caliza_lutita	Sedimentaria	Baja
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Q(cg)	Cuaternario	Conglomerado	Sedimentaria	Alta
K(al)	Cretacico	S_aluvial	Suelo	Alta
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Ki(cz)	Cretacico_inferior	Caliza	Sedimentaria	Media
Q(al)	Cuaternario	S_aluvial	Suelo	Alta
Q(cg)	Cuaternario	Conglomerado	Sedimentaria	Alta
Q(cg)	Cuaternario	Conglomerado	Sedimentaria	Alta

APÉNDICE B

EDAFOLOGIA

Símbolo	DESCRIPCION	TEXTURA	FASE FISICA	FASE QUÍMICA
I	LITOSOL	MEDIANA		
Yk	YERMOSOL CALCICO	MEDIANA	GRAVOSA	SALINA
Yk	YERMOSOL CALCICO	MEDIANA		SALINA
Yk	YERMOSOL CALCICO	MEDIANA		
Rc	REGOSOL CALCARICO	MEDIANA	LITICA	
I	LITOSOL	MEDIANA		
Rc	REGOSOL CALCARICO	MEDIANA	PEDREGOSA	
I	LITOSOL	MEDIANA		
I	LITOSOL	MEDIANA		
Yh	YERMOSOL HAPLICO	MEDIANA		
Rc	REGOSOL CALCARICO	MEDIANA	PEDREGOSA	
Rc	REGOSOL CALCARICO	MEDIANA		
Jc	FLUVISOL CALCARICO	MEDIANA	PEDREGOSA	
Xh	XEROSOL HAPLICO	MEDIANA		
Zo	SOLONCHAK ORTICO	MEDIANA		SODICA
Xh	XEROSOL HAPLICO	MEDIANA	GRAVOSA	
Rc	REGOSOL CALCARICO	MEDIANA	PEDREGOSA	
Yh	YERMOSOL HAPLICO	MEDIANA		SALINA
Rc	REGOSOL CALCARICO	MEDIANA	PEDREGOSA	
Zo	SOLONCHAK ORTICO	MEDIANA		SODICA
Yh	YERMOSOL HAPLICO	MEDIANA		SALINA
I	LITOSOL	MEDIANA		
Zo	SOLONCHAK ORTICO	MEDIANA		SODICA
So	SOLONETZ ORTICO	MEDIANA		SALINA
Xh	XEROSOL HAPLICO	MEDIANA	PETROCALCICA	
Zo	SOLONCHAK ORTICO	MEDIANA		
Zo	SOLONCHAK ORTICO	MEDIANA		
Yh	YERMOSOL HAPLICO	MEDIANA	GRAVOSA	
Xh	XEROSOL HAPLICO	MEDIANA		
Yh	YERMOSOL HAPLICO	MEDIANA		
Rc	REGOSOL CALCARICO	MEDIANA	PEDREGOSA	
Zo	SOLONCHAK ORTICO	MEDIANA		SODICA
Zo	SOLONCHAK ORTICO	MEDIANA		
Rc	REGOSOL CALCARICO	MEDIANA	PEDREGOSA	
Yk	YERMOSOL CALCICO	MEDIANA		
Zo	SOLONCHAK ORTICO	MEDIANA	LITICA	
Xh	XEROSOL HAPLICO	MEDIANA	PETROCALCICA	

APPENDICE C

Poblaciones

NOM_LOC	POBTOT	POB2000	POB2020
15 DE MAYO	32	28	21
ALAMITO	766	696	575
ALBIA	22	24	29
ALBIA	1345	1209	977
ALEJANDRIA	172	188	225
ALEJO GONZALEZ (BILBAO)	972	1075	1315
ALTO DE PALOMILLO	82	107	182
AMPUERO (ARENOSA, LA)	99	68	32
ANCORA, EL (INDEPENDENCIA, LA)	53	37	18
ANDALUCIA	106	125	174
AQUILES SERDAN	335	311	268
ATALAYA	668	598	479
BAJIO DE AHUICHILA (AHUICHILA)	185	144	87
BARREAL DE GUADALUPE	255	232	192
BATOPILAS	431	461	527
BELLA VISTA	50	19	3
BENAVIDES (MORELOS I)	118	151	274
BENITO JUAREZ	29	11	2
BENITO JUAREZ	472	436	372
BENITO JUAREZ	306	242	151
BETA SANTA MONICA	16	15	13
BOLIVAR	520	479	406
BOQUILLA DE LAS PERLAS	1353	1414	1544
BUENAVISTA	378	338	270
BUENAVISTA DE ARRIBA	887	798	646
CAMBIO, EL	3020	3273	3844
CAMPO SAGRADO	14	11	7
CANDELARIA	232	205	160
CANTABRO, EL	679	591	448
CARLOS SALINAS DE GORTARI (SAN SALVADOR)	42	45	52
CAROLINA, LA (NUEVA CAROLINA, LA)	312	207	91
CECILIA OCELLI DE SALINAS (SANTA CECILIA)	48	77	198

APPENDICE D

Pozos profundos

N1	N2	N3	USO	TIPO DE BOMBA	ENERGÍA	N7
2RLA102396/36	36	63928.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102321/36	36	90000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102092/36	36	101000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101753/36	36	120000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101460/36	36	168480.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101573/36	36	172000.00	AGRICOLA	SUMERGIBLE	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101307/36	36	180000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101867/36	36	180000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102096/36	36	180000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101261/36	36	180000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101528/36	36	180000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101528/36	36	180000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101484/36	36	187920.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101848/36	36	192000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102325/36	36	204000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101304/36	36	210000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101256/36	36	210000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102395/36	36	210000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101261/36	36	210000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102547/36	36	210000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101513/36	36	210000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102166/36	36	210000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101257/36	36	216000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101295/36	36	223776.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101794/36	36	228000.00	AGRICOLA	SUMERGIBLE	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA100943/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101535/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101543/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101854/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102165/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102320/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101261/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA103007/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101868/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101512/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101528/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101756/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA101792/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102570/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102972/36	36	240000.00	AGRICOLA	SUMERGIBLE	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102166/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO
2RLA102166/36	36	240000.00	AGRICOLA	VERTICAL	ELECTRICO	OBLIGATO

APPENDICE E E

Uso del suelo y Vegetación

CLASE	DESCRIPCIO	KM2
M(xe)	Matorral_xerofito	13465.512102
M(xe)	Matorral_xerofito	13465.512102
M(xe)	Matorral_xerofito	13465.512102
M(xe)	Matorral_xerofito	13465.512102
M(xe)	Matorral_xerofito	13465.512102
M(xe)	Matorral_xerofito	13465.512102
M(sm)	Matorral_submontano	65.570116
P	Bosque_pino	46.533914
Pz	Pastizal	5.223725
Pz	Pastizal	1.539227
M(xe)	Matorral_xerofito	3.056980
Pz	Pastizal	5.108746
Pz	Pastizal	1.543296
Pz	Pastizal	5.352208
Ar(c)	Arbustos_chaparral	3.845407
Ha	Vegetacion_halofila	1.626439
Ha	Vegetacion_halofila	219.811534
M(sm)	Matorral_submontano	2.698965
Pz	Pastizal	0.934986
Vg	Vegetacion_de_galeria	0.772369
Ha	Vegetacion_halofila	3.072264
Ha	Vegetacion_halofila	5.144466
Ha	Vegetacion_halofila	5.937104
P	Bosque_pino	1.038191
Vg	Vegetacion_de_galeria	0.955138
P	Bosque_pino	0.393834
M(sm)	Matorral_submontano	79.734930
Ad	Areas_desprovistas_de_vegetacion	38.353734
Ha	Vegetacion_halofila	8.804806
Ad	Areas_desprovistas_de_vegetacion	0.414856
Ad	Areas_desprovistas_de_vegetacion	1.152402
Pz	Pastizal	1.390894
Pz	Pastizal	0.998946
Pz	Pastizal	2.615844
P	Bosque_pino	2.661195

APPÉNDICE F

AGUA SUBTERRÁNEA

UPASUB	DESCRIPCIO	KM2
6	Mat cons con p bajas	3993.822182
6	Mat cons con p bajas	3993.822182
6	Mat cons con p bajas	3993.822182
6	Mat cons con p bajas	3993.822182
6	Mat cons con p bajas	3993.822182
6	Mat cons con p bajas	3993.822182
20	Mat no cons con p medias	424.220126
20	Mat no cons con p medias	424.220126
20	Mat no cons con p medias	424.220126
20	Mat no cons con p medias	424.220126
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
42	Mat no cons con p bajas	422.649696
62	Mat cons con p bajas	1.059412
64	Mat no cons con p medias	1390.838567
65	Mat cons con p bajas	943.815165
72	Mat no cons con p bajas	40.689327
72	Mat no cons con p bajas	40.689327
72	Mat no cons con p bajas	40.689327
78	Mat no cons con p bajas	90.995618
80	Mat cons con p bajas	7.910249
80	Mat cons con p bajas	7.910249
81	Mat cons con p bajas	9.924974
82	Mat cons con p bajas	1.402336
84	Mat cons con p bajas	77.493463
84	Mat cons con p bajas	77.493463
84	Mat cons con p bajas	77.493463
84	Mat cons con p bajas	77.493463
89	Mat cons con p bajas	18.983062
90	Mat no cons con p altas	731.313911