



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE  
SUELO Y AGUA, PARA LA INSTALACIÓN DE  
RELLENOS SANITARIOS EN ALLENDE Y  
PARRAS DE LA FUENTE, COAHUILA.**

**TESIS**

**Profesional que se somete como requisito parcial para  
obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL**

**Por**

**JOSÉ ISRAEL LÓPEZ MARTÍNEZ**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Junio de 2011**

---

---

La presente tesis titulada: **Evaluación de los parámetros de suelo y agua, para la Instalación de rellenos sanitarios en Allende y Parras de la Fuente, Coahuila.** Misma que ha sido revisada y aprobada por los miembros del jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrícola y Ambiental.

**Presenta:**

**JOSÉ ISRAEL LÓPEZ MARTÍNEZ**

**Aprobada por:**

M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez  
**Presidente**

M.C. Juan Antonio Encina  
Domínguez  
**Vocal**

Dr. Juan Manuel Cepeda Dovala  
**Vocal**

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

Dr. Ángel Rómulo Cepeda  
Dovala  
**Vocal Suplente**

M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

**Coordinador de la División  
de Ingeniería**  
  
**Coordinación de  
Ingeniería**

## DEDICATORIA

**A MIS PADRES:           ÁNGEL LÓPEZ VALLE Y SOFÍA MARTÍNEZ  
JUÁREZ**

*Por el amor y el apoyo absolutos que siempre me han manifestado, sin ustedes esto no hubiera sido posible.*

**A MIS HERMANOS:       ÁNGEL, DULCE ROCÍO, LEONEL Y MAURICIO**

*Por los momentos tan felices que he compartido con ustedes, y el cariño de hermanos que siempre me han brindado.*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MI “ALMA MATER”**

Por haberme abierto las puertas al conocimiento y por la formación ética, moral y profesional, para ejercer algo que para mí había sido tan anhelado.

### **A MIS MAESTROS**

Por sus conocimientos transmitidos, experiencias y consejos brindados durante mi formación profesional dentro de la Universidad.

### **AL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

Por las facilidades prestadas a lo largo de mi trayectoria dentro de esta Institución.

### **A LA M.C. ALEJANDRA R. ESCOBAR SÁNCHEZ, DR. JUAN M. CEPEDA DOVALA, D.R. ÁNGEL R. CEPEDA DOVALA E ING. JUAN A. ENCINA DOMÍNGUEZ**

Por la magnífica asesoría, apoyo y valiosa aportación brindados para la realización de este trabajo de investigación.

### **A LA T.Q.L. MARTA PATRICIA HERRERA GAITÁN ENCARGADA DEL LABORATORIO DE EDAFOLOGÍA**

Por la ayuda brindada en la ejecución del trabajo hecho en laboratorio.

### **A LA ING. SASIROT KHAMKURE Y A LA LIC. YANIRA YABER PATIÑO**

Por la ayuda proporcionada en la traducción al inglés del compendio de la presente investigación.

### **A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE ESTUDIO**

Por los momentos y experiencias que vivimos juntos en el transcurso de la carrera.

**A TODAS LAS PERSONAS QUE CONTRIBUYERON EN EL CUMPLIMIENTO DE ESTA META, INFINITAS GRACIAS A TODOS USTEDES QUE HICIERON REALIDAD ESTE SUEÑO.**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, BUENAVISTA,  
SALTILLO, COAHUILA. JUNIO DE 2011.

LICENCIATURA EN  
INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

### **RESUMEN**

Evaluación de los parámetros de suelo y agua, para la Instalación de  
rellenos sanitarios en Allende y Parras de la Fuente, Coahuila.

POR

JOSÉ ISRAEL LÓPEZ MARTÍNEZ

M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez –Asesor-

M.C. Juan Antonio Encina Domínguez -Asesor-

Dr. Ángel Rumualdo Cepeda Dovala -Asesor-

Dr. Juan Manuel Cepeda Dovala -Asesor-

En los municipios de Allende y Parras de la Fuente, Coahuila, se realizaron los estudios de evaluación de suelo y agua para el sitio de instalación de rellenos sanitarios, tomando en cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Se determinó que el sitio de Parras de la Fuente, Coahuila destinado a la disposición final de residuos sólidos municipales presenta condiciones edafológicas e hidrológicas desfavorables para la construcción de un relleno sanitario. Las características del suelo no cumplen con los parámetros para la impermeabilización y compactación de celdas, puesto que este está compuesto por partículas minerales de textura gruesa (arenas) y partículas finas (limos). Lo ideal es que el material debe ser de textura arcillosa debido a las características físicas y químicas que posee. Allende, Coahuila, presenta las condiciones edafológicas e hídricas

ideales para la instalación de un relleno sanitario, debido a que cumple con los criterios establecidos en la NOM-O83-SEMARNAT-2003. El material que se utilizara para la compactación y cobertura parcial y final de las celdas presenta las condiciones más óptimas para dichas actividades, ya que este es suelo arcilloso.

Palabras clave: Evaluación, Análisis, Suelo, Agua, Residuos Sólidos, Disposición Final, Rellenos Sanitarios.

## **ABSTRACT**

Evaluation of soil and water parameters for installation of sanitary landfills in Allende and Parras de la Fuente, Coahuila.

BY

JOSÉ ISRAEL LÓPEZ MARTÍNEZ

DEGREE IN AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

M.C. Alejandra R. Escobar Sánchez -Advisor-

M.C. Juan Antonio Encina Domínguez - Advisor-

Dr. Ángel Rumualdo Cepeda Dovala - Advisor-

Dr. Juan Manuel Cepeda Dovala - Advisor-

In the municipalities of Allende and Parras de la Fuente, Coahuila, the study of evaluation of soil and water has been done for site installation of landfills, according to Mexican regulation NOM-083-SEMARNAT-2003. It was determined that Allende, Coahuila presents unfavorable soil and hydrological conditions for landfill construction. Soil characteristics do not meet the parameters for the sealing and compaction of cells, since they are composed of coarse mineral particles (sand) and fine particles (silt). Actually the

material should to be clay texture due to their physical and chemical characteristics. Parras de la Fuente, Coahuila has the suitable soil and hydrological conditions which is an ideal for landfill installation, because it achieves the criteria in the NOM-083-SEMARNAT-2003. The material as clay soil that uses for the compaction and partial coverage and the end of the cells provides the most optimal conditions for such activities.

Key words: Evaluation, Analysis, Soil, Water, Solid Waste, Disposal, Sanitary Landfill.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
Índice de Cuadros.....	xi
Índice de Figuras.....	xii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Hipótesis.....	5
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Definición de Residuos.....	6
2.1.1 Clasificación general de los Residuos.....	6
2.2 Residuos sólidos urbanos.....	7
2.2.1 Composición de los residuos sólidos urbanos.....	7
2.2.2 Generación per cápita en México y otros países.....	8
2.2.3 Generación nacional por zona geográfica.....	8
2.2.4 Manejo de los residuos sólidos urbanos.....	9
2.2.4.1 Producción.....	9
2.2.4.2 Recolección.....	9
2.2.4.3 Transferencia.....	10
2.3 Rellenos sanitarios.....	10
2.3.1 Objetivo de los rellenos sanitarios.....	10

2.3.2 Ventajas y limitaciones.....	11
	Página
2.3.2.1 Ventajas.....	11
2.3.2.2 Limitaciones.....	11
2.3.3 Métodos para construir y operar un relleno sanitario.	13
2.3.3.1 Método de trinchera o celda excavada.....	13
2.3.3.2 Método del área.....	14
2.3.3.3 Método de rampa.....	15
2.3.4 Producción de compuestos contaminantes en un relleno sanitario.....	16
2.3.4.1 Lixiviados.....	17
2.3.4.2 Gases.....	18
2.3.5 Principales obras para disminuir los riesgos por contaminación.....	18
2.3.5.1 Protección al subsuelo.....	18
2.3.5.1.1 Capa mineral de base.....	18
2.3.5.1.2 Capa de plástico.....	19
2.3.5.2 Control de lixiviados.....	19
2.3.6 Consecuencias de una mala ubicación de los rellenos sanitarios.....	19
2.3.6.1 Contaminación de acuíferos.....	19
2.3.6.2 Contaminación del suelo.....	20
2.3.7 Aspectos técnicos para la selección e instalación del sitio.....	20
2.3.7.1 Criterios de selección.....	20
2.3.7.2 Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003.....	21

2.3.7.2.1 Estudio geológico.....	21
	Página
2.3.7.2.1.1 Importancia del estudio geológico.....	22
2.3.7.2.2 Estudio hidrogeológico.....	22
2.3.7.2.3 Estudios y análisis, en el sitio, previos a la construcción y operación.....	23
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
3.1 Materiales de campo, laboratorio y gabinete.....	25
3.1.1 Ubicación de las áreas de estudio.....	26
3.1.1.1 Allende, Coahuila.....	26
3.1.1.2 Parras de la Fuente, Coahuila.....	27
3.1.2 Características geográficas de las áreas de estudio.....	27
3.1.2.1 Allende, Coahuila.....	27
3.1.2.2 Parras de la Fuente, Coahuila.....	28
3.2 Métodos de campo, laboratorio y gabinete.....	28
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Resultados.....	33
4.1.1 Allende, Coahuila.....	33
4.1.2 Parras de la Fuente, Coahuila.....	41
4.2 Discusión.....	49
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>

	Página
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO CARTOGRÁFICO.....</b>	<b>57</b>

### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Generación de residuos per cápita en México y otros países.....	8
Cuadro 2.	Generación de residuos en México de acuerdo a la zona geográfica.....	9
Cuadro 3.	Coordenadas de ubicación geográfica de Allende, Coahuila.....	26
Cuadro 4.	Coordenadas de ubicación geográfica de Parras de la Fuente, Coahuila.....	27
Cuadro 5.	Velocidades de infiltración obtenidas en Allende, Coahuila, punto # 1.....	34
Cuadro 6.	Velocidades de infiltración obtenidas en Allende, Coahuila, punto # 2.....	35
Cuadro 7.	Velocidades de infiltración obtenidas en Allende, Coahuila, punto # 3.....	36
Cuadro 8.	Concentración de datos obtenidos en el análisis granulométrico de Allende, Coahuila.....	37
Cuadro 9.	Textura obtenida a 1m de profundidad en Allende, Coahuila.....	39
Cuadro 10.	Textura obtenida a piso de celda en Allende, Coahuila.....	40
Cuadro 11.	Velocidades de infiltración obtenidas en Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 1.....	42
Cuadro 12.	Velocidades de infiltración obtenidas en Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 2.....	43

	Página
Cuadro 13. Velocidades de infiltración obtenidas en Parras de la Fuente, Coahuila, punto #3.....	44
Cuadro 14. Concentración de datos obtenidos en el análisis granulométrico de Parras de la Fuente, Coahuila.....	46
Cuadro 15. Textura obtenida a 1m de profundidad en Parras de la Fuente, Coahuila.....	48
Cuadro 16. Textura obtenida a piso de celda en Parras de la Fuente, Coahuila.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Método de trinchera para construir un relleno sanitario.....	13
Figura 2. Método del área.....	14
Figura 3. Operación de un relleno sanitario, método del área.....	15
Figura 4. Método de Rampa.....	16
Figura 5. Operación de un relleno sanitario, método de rampa.....	16
Figura 6. Realización de calas y medición de velocidad de infiltración por el método de la poceta.....	29
Figura 7. Determinación de granulometría.....	30
Figura 8. Curva de velocidad de infiltración de Allende, Coahuila, punto # 1.....	34
Figura 9. Curva de velocidad de infiltración de Allende, Coahuila, punto # 2.....	35



	Página
Figura 10. Curva de velocidad de infiltración de Allende, Coahuila, punto # 3.....	36
Figura 11. Curva de velocidad de infiltración de Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 1.....	43
Figura 12. Curva de velocidad de infiltración de Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 2.....	44
Figura 13. Curva de velocidad de infiltración de Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 3.....	45

El desarrollo de la sociedad de consumo implica la generación de residuos de toda clase, que por su volumen, variedad y dificultad de incorporarse a los ciclos biológicos, está convirtiendo a la tierra en un gran vertedero. De ello se derivan importantes consecuencias como son: contaminación del suelo, agua y atmósfera, los problemas sanitarios, la degradación de los espacios naturales, la producción de incendios y situaciones molestas que afectan a la calidad de vida, a causa de los malos olores, humos, entre otros, además de suponer un enorme despilfarro de los escasos recursos (Bautista, 1998).

Los Residuos Sólidos Urbanos (en lo sucesivo RSU), conocidos como basura, están compuestos por residuos orgánicos (producto de la comercialización, el transporte, la elaboración de los alimentos y excedentes de comida y restos de material vegetal), papel, cartón, madera y en general materiales biodegradables e inorgánicos como, vidrio, plástico, metales y material inerte. Los RSU provienen de actividades que se desarrollan en el ámbito doméstico, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como de residuos industriales que no se deriven de sus procesos (SEMARNAT, 2001a y 2001b).

Sin duda, la disposición no controlada de residuos sólidos es un problema que ha causado graves efectos ambientales y daños a la salud. Desde hace algunos años, los municipios del país se han abocado a la

procuración de alternativas para la disposición sanitaria de tales desechos; una de estas son los rellenos sanitarios, que permiten controlar efectos adversos por acumulación de residuos (SEDESOL, 2006a y 2006b).

Los vertederos controlados o rellenos sanitarios son lugares preparados a propósito, donde se depositan los RSU con garantía de no provocar problemas ambientales (Seoáñez, 2000).

Si bien los rellenos sanitarios son una de las opciones más recomendadas para la disposición final de los RSU, es necesario realizar la evaluación de los parámetros de suelo y agua de alternativas de los sitios destinados para estos fines, para minimizar los impactos negativos en factores ambientales como lo son aguas subterráneas y superficiales, además del suelo y subsuelo.

En México la Norma Oficial NOM-083-SEMARNAT-2003 es la que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio destinado a la disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Los municipios de Allende y Parras de la Fuente, Coahuila, carecen de sitios para disposición final de residuos, por lo que es de suma importancia realizar la instalación y construcción de rellenos sanitarios los cuales deberán contar con evaluación de estudios previos al establecimiento para evitar riesgos de contaminación, en los cuales estará enfocada la presente investigación.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Evaluar los parámetros ambientales suelo y agua para diferentes sitios destinados a la construcción de rellenos sanitarios bajo la NOM-083-SEMARNAT-2003.

### **ESPECÍFICOS**

- Analizar y evaluar las características del suelo de los sitios destinados para la disposición final de residuos sólidos en los municipios de Allende y Parras de la Fuente, Coahuila.
- Conocer los tipos de materiales utilizados en la impermeabilización y cobertura parcial o final de celdas.
- Evaluar las características hidrológicas de las dos áreas propuestas para el establecimiento de rellenos sanitarios.
- Conocer las ventajas de la evaluación de los parámetros ambientales suelo y agua, de áreas destinadas a la disposición final de residuos sólidos urbanos.

## JUSTIFICACIÓN

Conforme se incrementa la producción de residuos sólidos urbanos, también crecen los problemas para su adecuado manejo, a tal grado que en ocasiones resulta difícil de atender conforme a la demanda de la sociedad, aún para las autoridades encargadas de servicio de limpieza pública.

Estos problemas no son causados únicamente por la cantidad de los residuos generados sino también por la carencia de recursos y sistemas apropiados para su tratamiento y disposición final. En México se han realizado esfuerzos por mejorar el almacenamiento temporal y la recolección de los residuos sólidos urbanos, aunque no ha sucedido lo mismo con la disposición final de tales residuos.

Una técnica que ha resultado exitosa en los países en vías de desarrollo y que tiene diversos aspectos que son atractivos para las autoridades municipales mexicanas es la disposición de los residuos sólidos mediante el sistema de relleno sanitario. Este método, si se combina con sistemas de reciclaje y de compostaje, resulta el más adecuado para las condiciones de nuestro país (SEDESOL, 2001).

Si bien el relleno sanitario es una de las mejores opciones para la disposición final de los residuos sólidos, cabe señalar que si estos no son diseñados y operados adecuadamente se corre el riesgo de que impacten negativamente el ambiente. Un mal diseño o un manejo inadecuado puede ocasionar la contaminación del suelo, subsuelo y manto freático por la infiltración de lixiviados, además de la contaminación atmosférica por la

generación de gases de efecto invernadero (metano) y también puede ocasionar problemas a la salud en las comunidades adyacentes.

Para los municipios de Allende y Parras de la Fuente, Coahuila es de gran necesidad la instalación de un sitio de disposición final para los residuos que se generan por la población local, por lo que es necesario realizar las evaluaciones de los parámetros ambientales de suelo e hidrología de acuerdo a los criterios establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

## **HIPÓTESIS**

Al no aplicar la evaluación de los parámetros suelo y agua correspondiente a la localización de sitios para la construcción de rellenos sanitarios y el mal manejo del material utilizado en obras para la impermeabilización y cobertura de los mismos, se expone la mala disposición final de los residuos, generando contaminación en el ambiente.

### 2.1 Definición de Residuos

Los residuos están definidos como cosas, sustancias, desechos u objetos destinados al abandono, y en muchos de los casos a un abandono incontrolado y peligroso. Es imprescindible definir y caracterizar los residuos, además de cuantificarlos, con el objetivo de detectar su nivel de peligrosidad y proporcionarles el tratamiento y eliminación más adecuado. Se desconoce su peligrosidad hasta tal punto que en nuestros propios domicilios guardamos y arrojamos residuos a la basura altamente tóxicos y peligrosos sin saberlo; tal es el caso de medicamentos caducos, pinturas, plásticos, barnices, betunes, pilas, disolventes, entre muchos más, que nos sitúa en condiciones de riesgo para nosotros mismos y para el ambiente al ser trasladados a distintos medios receptores, sin olvidar los graves y costosos problemas que se originan en su recolección, tratamiento y en su destino final (Bautista,1998).

#### 2.1.1 Clasificación general de los Residuos

De acuerdo con Seoáñez (2000) los residuos se generan en casi todas las actividades humanas. A grandes rasgos, los residuos se agrupan en: residuos sólidos urbanos; residuos de industrias extractivas; residuos industriales; residuos hospitalarios; residuos especiales; residuos radioactivos; y, residuos agrarios.

El nivel general de producción de residuos y su composición varía considerablemente de un país a otro, y es función, básicamente, del grado de desarrollo del país de que se trate.

## **2.2 Residuos sólidos urbanos**

Son residuos cuya composición y volumen está determinado por el nivel de vida de la población donde se generan y por los hábitos de consumo. También están relacionados con las actividades de las industrias, comercios, servicios y con otras características específicas del centro de población (Bautista, 1998).

### **2.2.1 Composición de los residuos sólidos urbanos**

La composición de los residuos sólidos urbanos depende básicamente de los siguientes factores: nivel de vida de la población; actividad de la población; y, climatología general de la zona. En función de estos factores se consumirán y se utilizarán ciertos productos, que originan los correspondientes residuos (Seoáñez, 2000).

Los residuos sólidos urbanos están formados por un conjunto heterogéneo en el que están presentes principalmente tres tipos de materiales: combustibles; como son el papel y cartón, la madera, los plásticos, textiles, gomas; fermentables; como las materias orgánicas; y, inertes; como el vidrio, los metales, las escorias (Bautista, 1998).



### 2.2.2 Generación per cápita en México y otros países

A continuación se muestra la comparación de la producción per cápita de residuos sólidos urbanos en México y otros países. (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Generación de residuos per cápita en México y otros países.

<b>País</b>	<b>Generación per cápita (kg/hab./día)</b>
Estados Unidos de América	1.970
Canadá	1.900
Finlandia	1.620
Holanda	1.300
Suiza	1.200
Japón	1.120
<b>México</b>	<b>0.900</b>

Fuente: Secretaría de Desarrollo Social, 1999.

La generación de la basura continuara incrementándose de acuerdo con las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), y un crecimiento estimado de la generación por habitante del 1 por ciento anual, determinando en función de datos de la SEDESOL. Las proyecciones presentadas permiten visualizar la situación que deberá enfrentar el país en los próximos años, y pueden dar la pauta sobre el tiempo y dimensión de las acciones a desarrollar a largo y mediano plazo (Ríos, 2009).

### 2.2.3 Generación nacional por zona geográfica

En México la generación de residuos sólidos urbanos varía de un lugar a otro, en las diferentes regiones del país, esto se puede atribuir a los hábitos de consumo, la calidad de vida de la población, el incremento de la misma, entre otros factores.

De acuerdo a los datos proporcionados por la SEDESOL (2006a y 2006b) la región en la que se producía mayor cantidad de residuos por día fue la zona centro seguido de la Frontera Norte. (Ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Generación de residuos en México por zona geográfica.

<b>Zona geográfica</b>	<b>Ton/día</b>	<b>Per cápita (Kg/hab./día)</b>
Centro	48,755	0.882
Frontera Norte	15,465	1.048
Norte	10,720	0.774
Sur	9,680	0.697
Distrito Federal	12,465	1.414

Fuente: SEDESOL, 2006a y 2006b.

## **2.2.4 Manejo de los residuos sólidos urbanos**

### **2.2.4.1. Producción**

Al referirnos a la ciudad como un ecosistema urbano, inferimos que los seres vivos interactúan con su entorno, en donde desarrollan actividades relacionadas con su existencia, la cual requiere satisfacer sus necesidades, a través de un flujo persistente de energía y materia o de bienes y servicios. Este flujo genera una considerable variedad y cantidad de residuos, entre los cuales destacan los residuos sólidos urbanos, que tiene su origen en diversos medios, ya que provienen de las viviendas, comercios, mercados, parques y jardines, además de hospitales (Escamirosa, 2001).

### **2.2.4.2. Recolección**

En principio, y según la situación, la recolección, de los residuos urbanos debe hacerse reduciendo al mínimo las perturbaciones a la población y al ambiente. Por lo que se refiere al ambiente, está claro que ésta actividad debe realizarse mediante recipientes apropiados, y que estos deben tener un mantenimiento y sistemas de limpieza eficaces (Seoáñez, 2000).

### **2.2.4.3. Transferencia**

Se aplica el término estación de transferencia a las instalaciones en donde se hace el traslado de basura de un vehículo recolector a otro vehículo con mucha mayor capacidad de carga. Este segundo vehículo, o transporte suplementario, es el que transporta la basura hasta su destino final (SEDESOL, 2009).

## **2.3 Rellenos sanitarios**

Un relleno sanitario es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales (SEMARNAT, 2003).

### **2.3.1 Objetivo de los rellenos sanitarios**

El objetivo del relleno sanitario es establecer una barrera entre el ambiente y los residuos sólidos, reducir y controlar las emisiones gaseosas y evitar la infiltración y fugas de los líquidos lixiviados que contienen una combinación de microorganismos y sustancias tóxicas producidas durante la descomposición de los residuos. El objetivo final de la aplicación de esta técnica es lograr que los residuos no causen efectos nocivos en la salud pública ni en el ambiente (SEDESOL, 2001).

## **2.3.2 Ventajas y limitaciones**

### **2.3.2.1 Ventajas.**

De acuerdo con la SEDESOL (2006a y 2006b) entre las principales ventajas que tiene el uso de rellenos sanitarios se encuentran las siguientes:

- ✚ La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para la implementación de un sistema de tratamiento tal como la separación, composteo o incineración.
- ✚ Cuando se dispone de material para la cobertura de los residuos sólidos en el mismo sitio, esta condición es generalmente la más económica de las diferentes opciones para la disposición final.
- ✚ El relleno sanitario es un método final para la disposición de los residuos sólidos, que no requiere de operaciones adicionales, tal como el caso de la incineración o el composteo, los cuales requieren un sitio y de operaciones adicionales para la disposición de los productos finales.
- ✚ El gas metano generado por la descomposición de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, puede ser atractivo para su aprovechamiento como fuente de energía no convencional, dependiendo de las características del sitio.

### **2.3.2.2 Limitaciones**

Al igual que otros métodos de manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos, la práctica de relleno sanitario también puede tener sus limitaciones entre ellas se encuentran las mencionadas por Jaramillo (2002) y son las siguientes:

- ✚ La adquisición del terreno es difícil debido a la oposición de los vecinos al sitio seleccionado.
- ✚ El rápido proceso de urbanización, que limita y encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, lo que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.
- ✚ No se recomienda el uso del relleno clausurado para construir viviendas o escuelas.
- ✚ Puede ocasionar impacto ambiental de largo plazo si no se toman las previsiones necesarias en la selección del sitio y no se ejercen los controles para mitigarlos.

La SEDESOL (2006a y 2006b) menciona que una de las ventajas del relleno sanitario es que si se cuenta con el material de cobertura dentro del mismo predio esto permitirá que los costos de operación sean menos elevados, por lo que es importante determinar si el material que se encuentra dentro del sitio es adecuado para las actividades de impermeabilización de las celdas y recubrimiento de los residuos, además Jaramillo (2002) menciona que una de las limitaciones de esta actividad es que si no se toman las prevenciones necesarias en la selección del sitio esto puede ocasionar impactos ambientales a largo plazo, por lo que se debe tomar muy en cuenta la geología, hidrología, tipo de suelo, entre otras características del sitio, que analizándolas y evaluándolas nos permitan reducir este tipo de limitaciones.

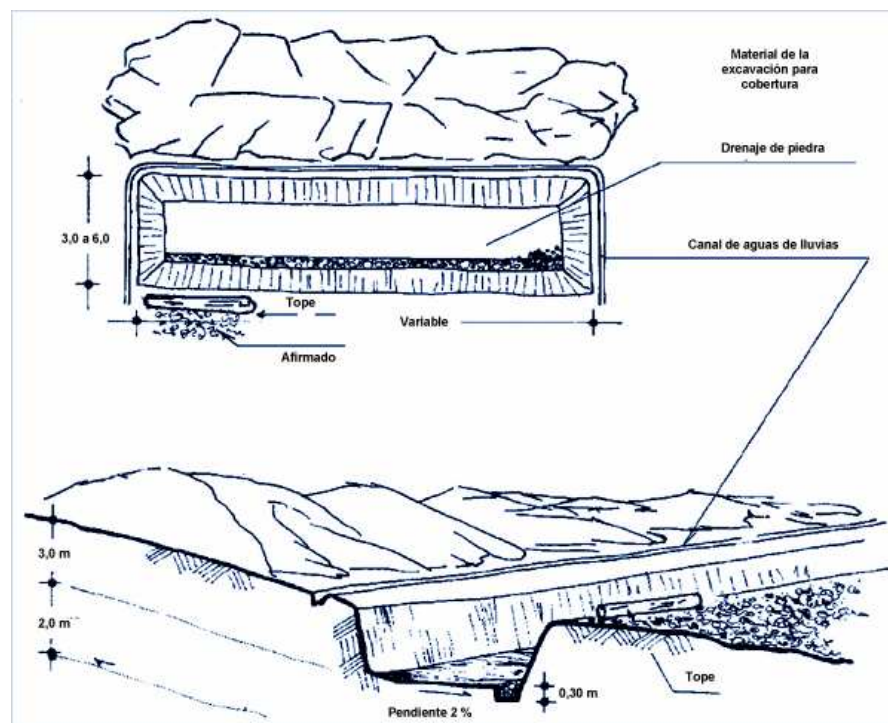
### 2.3.3 Métodos para construir y operar un relleno sanitario

El procedimiento de construcción y método de relleno sanitario se seleccionará una vez conocido el perfil del terreno disponible, que podrá ser de trinchera, de área y/o una combinación de ambos (SEDESOL, 2001).

#### 2.3.3.1 Método de trinchera o celda excavada

El método de trinchera toma su nombre del hecho de que los residuos son arrojados a una zanja y luego son cubiertos con el material de la excavación de la misma (Guyer, 2009).

Según Jaramillo (2002) este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de 2 a 3 m de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de excavación de trincheras de hasta de 7 metros de profundidad. (Ver Figura 1).

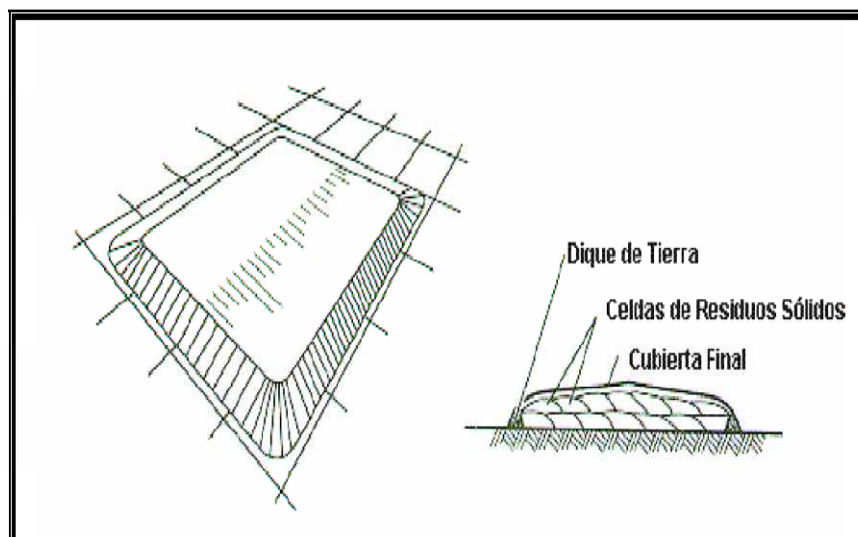


**Figura 1.** Método de trinchera para construir un relleno sanitario, según Jaramillo, 2002.

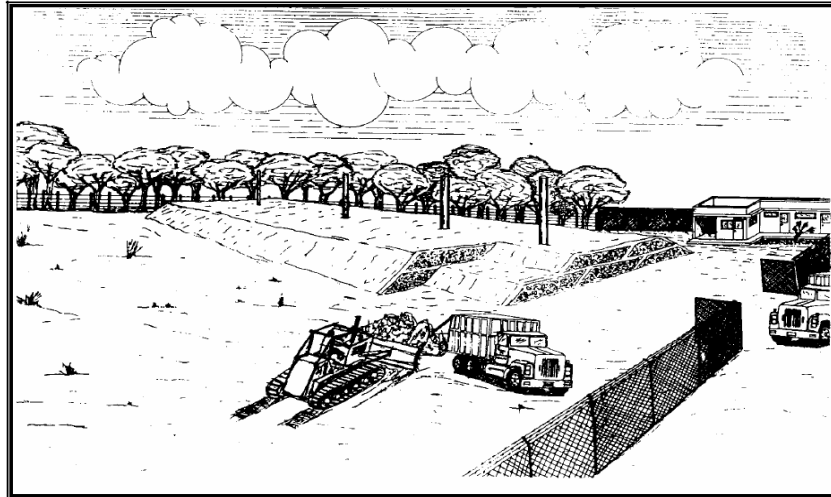
En la actualidad, ante la escasez de terreno y la necesidad de ampliar la vida útil de los rellenos sanitarios, este método considera la utilización íntegra del espacio disponible de los terrenos, utilizando la variante de la excavación de celdas, la cual se ha vuelto una práctica muy utilizada (SEDESOL, 2001).

### 2.3.3.2 Método de área

En áreas relativamente planas, donde no sea posible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, estas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras celdas se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el terreno. (Ver Figuras 2 y 3) (Jaramillo, 1991).



**Figura 2.** Método del área, acorde con Tchobanoglous G. Theisen H. and Vigil, S. (1993).



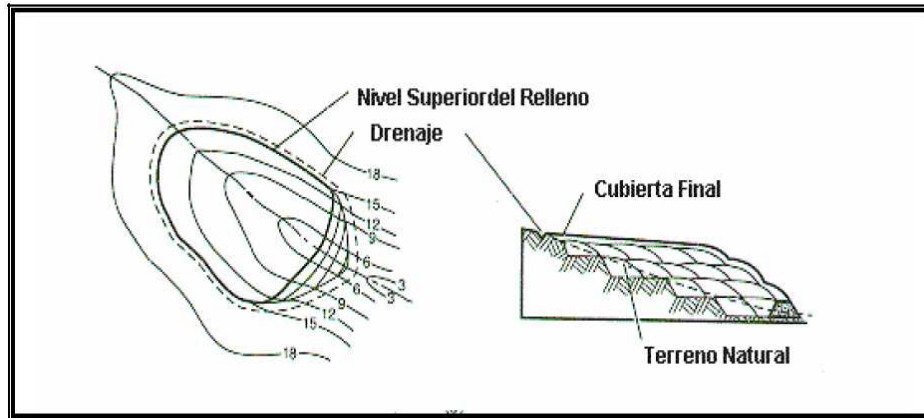
**Figura 3.** Operación de un relleno sanitario, método del área, según la SEDESOL (1996).

La operación del relleno comienza con la construcción de un dique de tierra, contra el cual los desechos son colocados en capas finas, las cuales se compactan a medida que se van depositando, hasta que se alcance un espesor del bloque de desechos de unos dos o tres metros. Posteriormente se coloca una capa de 15 a 30 cm de material de cobertura; la cual debe colocarse al terminar la jornada diaria, aunque no se alcance el espesor de bloque mencionado. Cada bloque de desechos compactado constituye una celda, las cuales se colocan una sobre otra, hasta que se alcanza la altura del diseño (Campos, 2003).

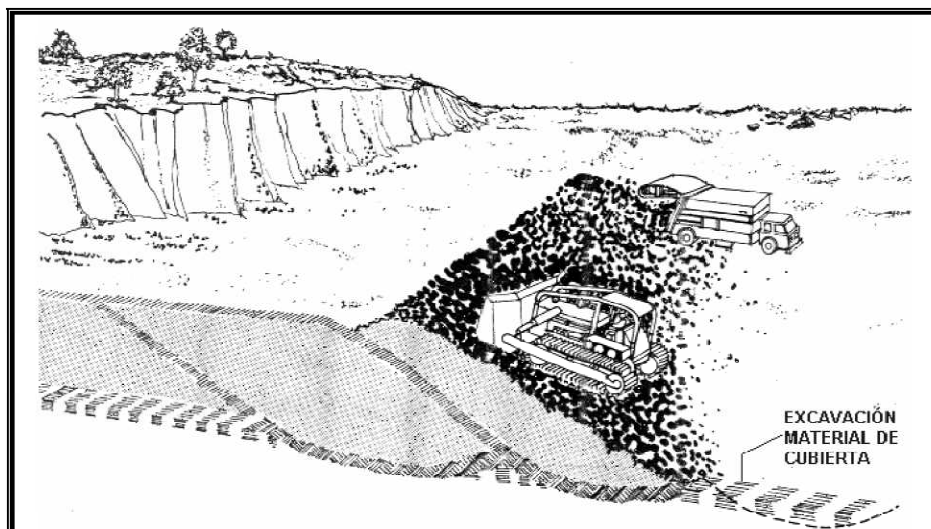
### **2.3.3.3 Método de rampa**

Según Jiménez (2001) se emplean las barrancas u hondonadas existentes en las cuales se colocan los desechos en las pendientes y se cubren con tierra en estos sitios, por lo general, las partes bajas son inundables por lo que es necesario contar con buenos sistemas de drenado. (Ver Figuras 4 y 5).





**Figura 4.** Método de Rampa, según Tchobanoglous G. Theisen H. and Vigil, S. (1993)



**Figura 5.** Operación de un relleno sanitario, método de rampa, acorde con Brunne D. and Keller D. (1972).

Los residuos son esparcidos y compactados en pendiente. El material de cubierta es obtenido directamente del frente de trabajo y compactado sobre los residuos sólidos conformados (SEDESOL, 2001).

### **2.3.4 Producción de compuestos contaminantes en un relleno sanitario**

De acuerdo con Campos (2003) después de que los desechos son colocados en el relleno, se producen diferentes procesos como los siguientes:

- La generación de gases y líquidos producto de la descomposición bacteriana de la materia orgánica.
- Oxidación química de los desechos, la disolución y el lixiviado de la materia orgánica producto de la acción del agua (escurrimiento superficial).
- Circulación de lixiviados y líquidos producto de las diferencias de nivel en el terreno, de la diferencia en concentraciones y por ósmosis.
- Asentamientos diferenciales causados por la consolidación del material de las celdas.

Dentro de los rellenos sanitarios los procesos anteriores forman gases y lixiviados, los cuales deben ser controlados y tratados.

#### **2.3.4.1 Lixiviados**

En gran parte de los residuos, cuando el agua interacciona con ellos se origina un líquido rico en elementos contaminantes denominado lixiviado.

De acuerdo con Seoáñez (1999) los lixiviados se pueden formar de cuatro formas diferentes.

- A partir del agua de precipitación que cae directamente sobre los residuos.
- Aguas de escorrentía superficial que llega directamente a la zona donde se ubica el vertedero.
- Contacto directo de las aguas subterráneas con los residuos sólidos, por ascensión del nivel piezométrico.
- Aporte o derrama de líquidos contaminantes en la zona de vertido.

#### **2.3.4.2 Gases**

Se producen diferentes tipos de gases, siendo los más importantes el dióxido de carbono y el metano; también se encuentran amoníaco, monóxido de carbono, hidrogeno, nitrógeno y oxígeno. La mayoría de los gases escapan a la atmosfera; sin embargo, se pueden encontrar concentraciones de algunos de ellos, superiores al 40%, a distancias que alcanzan hasta 120 m de los límites del relleno sanitario (Campos, 2003).

#### **2.3.5 Principales obras para disminuir los riesgos por contaminación**

A continuación se describen las obras que están enfocadas a la disminución de riesgos de contaminación por lixiviados, también se describen las propiedades que deben cumplir los materiales con los que deben realizarse las obras para la impermeabilización.

##### **2.3.5.1 Protección al subsuelo**

Todos los sitios de disposición final deben contar con una barrera geológica natural o equivalente, a un espesor de 1 m y un coeficiente de conductividad hidráulica, al menos de  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg sobre la zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final; o bien, garantizarla con un sistema de impermeabilización equivalente (SEMARNAT, 2003).

##### **2.3.5.1.1 Capa mineral de base**

Para una mejor protección de las aguas subterráneas, es muy importante que se construya una capa mineral impermeable al fondo del

relleno sanitario, a fin de impedir la filtración de las aguas lixiviadas hacia las capas freáticas. La mejor solución es una capa impermeable natural, es decir, la construcción del relleno sanitario en un terreno arcilloso (Roben, 2002).

#### **2.3.5.1.2 Capa de plástico**

Se debería poner una capa de plástico sobre la capa mineral. Se recomienda utilizar laminillas de PEHD (Polietileno de alta densidad) con un espesor no menor a 2 mm o un material equivalente. (Roben, 2002).

#### **2.3.5.2 Control de lixiviados**

La infraestructura necesaria para su captación incluye sistemas de impermeabilización colocados con cierta pendiente para conducir por gravedad el lixiviado a los tubos colectores. Este sistema colector extrae el lixiviado del cuerpo de basura y lo puede llevar directamente al tratamiento, o bien lo conduce a cárcamos de bombeo para su extracción y traslado a su tratamiento (SEMARNAT, 2006).

### **2.3.6 Consecuencias de una mala ubicación de los rellenos sanitarios**

#### **2.3.6.1 Contaminación de acuíferos**

Si el relleno sanitario se ubica sin considerar previamente las características hidrogeológicas de un área en particular y sin tomar las medidas apropiadas, existirá el peligro potencial de que los lixiviados se infiltren y contaminen el acuífero. Este riesgo siempre será mayor en suelos

permeables y desprovistos de una cubierta granular potente que actúe como filtro protector (Seoáñez, 1999).

### **2.3.6.2 Contaminación del suelo**

Los compuestos provenientes de residuos sólidos que entran en contacto con los suelos pueden ser relativamente inertes e inofensivos, pero existe un gran número de ellos que pueden causar serios daños a los seres vivos presentes en el suelo, aún en pequeñas concentraciones. Algunos de los efectos no deseables de la inadecuada disposición de los residuos sólidos en el suelo se resumen como sigue:

- Los organismos vivos presentes en el suelo pueden ser inhibidos o eliminados, rompiendo el equilibrio bioquímico del suelo.
- Los compuestos químicos pueden ser transportados del suelo al aire o a los cuerpos de agua y de esta manera entrar en contacto, en un área muy amplia, con un gran número de organismos produciendo efectos adversos a la salud humana y a los ecosistemas (SEMARNAT, 2001a y 2001b).

### **2.3.7 Aspectos técnicos para la selección e instalación del sitio**

#### **2.3.7.1 Criterios de selección**

De acuerdo con la SEDESOL (2001) algunos de los criterios de mayor importancia para la selección de sitios destinados a la disposición final de residuos sólidos urbanos y que permitan garantizar una buena disposición de los mismos se encuentran los siguientes:

- ✓ Estar ubicado a menos de 15 km de la zona urbana.
- ✓ Contar con una topografía tal que permita el mayor volumen aprovechable por hectárea.
- ✓ Tener condiciones y características tales que no afecten los recursos naturales.
- ✓ Ofrecer tierra para cobertura, en cantidad y calidad adecuada, dentro o muy cerca del sitio.

Las condiciones anteriores rara vez se encuentran en un terreno. El técnico debe clasificar los terrenos que reúnan las mejores características, analizando sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles, estableciendo un orden de preferencias para cada sitio.

### **2.3.7.2 Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003**

La norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. A continuación se mencionan algunos de los estudios que exige la mencionada norma.

#### **2.3.7.2.1 Estudio geológico**

Deberá determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución,

considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos perforados en la zona e informes realizados por alguna institución particular u oficial (SEMARNAT, 2003).

#### **2.3.7.2.1.1 Importancia del estudios geológico**

De acuerdo con Allende (2001) el conocimiento geológico permite:

- El reconocimiento de un material no consolidado y rocoso, y separa las condiciones favorables para implantar un relleno sanitario, siendo preferible el material suelto.
- Reconocer los fenómenos naturales que pueden afectar el proyecto cuando el área factible se define en el ámbito de la influencia de estos fenómenos.
- Determinar las propiedades físicas del suelo y la presencia de las aguas subterráneas, las cuales pueden influir en la ubicación del relleno.
- Determinar las características litológicas del suelo para relleno sanitario y definir el aprovechamiento como material de cobertura para el relleno sanitario.

#### **2.3.7.2.2 Estudio hidrogeológico**

De acuerdo con la SEMARNAT (2003) un estudio hidrogeológico incluye:

- a) Evidencias y uso del agua subterránea.

Definir la ubicación de las evidencias de agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, en la zona de influencia, para conocer el gradiente hidráulico. Asimismo, se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.

b) Identificación del tipo de acuífero.

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

c) Análisis del sistema de flujo.

Determinar la dirección del flujo subterráneo regional.

### **2.3.7.2.3 Estudios y análisis, en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final**

De acuerdo con la SEMARNAT (2003) la realización del proyecto para la construcción y operación de un sitio de disposición final debe contar con estudios y análisis previos.

a) Estudio geotécnico.

Se deberá realizar para obtener los elementos de diseño necesarios y garantizar la protección del suelo, subsuelo, agua superficial y subterránea, la estabilidad de las obras civiles y del sitio de disposición final a construirse, incluyendo al menos las siguientes pruebas:

b) Exploración y Muestreo:

- Exploración para definir sitios de muestreo.
- Muestreo e identificación de muestras.
- Análisis de permeabilidad de campo.



c) Estudios en laboratorio.

- Clasificación de muestras según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos.
- Análisis granulométrico.
- Límites de Consistencia (Límites de Atterberg).

#### 3.1 Materiales de campo, laboratorio y gabinete

Los materiales utilizados en esta investigación fueron los siguientes:

##### Materiales de campo:

Ubicación del sitio, realización de calas y medición de velocidad de infiltración (por el método de la Poceta)

Cartas geográficas: sobre geología, topográfica, uso potencial y uso del suelo, claves G13-D-39 (Parras de la Fuente, Coahuila) y H-14-C-74 (Allende, Coahuila). Escala 1:50,000 elaboradas por el INEGI, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), retroexcavadora, cinta métrica de 20 m, regla de 30 cm, pico, pala, barreta, garrafones de 20 L con agua y cronometro.

##### Materiales utilizados en laboratorio:

Análisis granulométrico (adaptación del método Tiulin, 1928, citado por Encyclopedia of Soil Sciences (2008) al de Juárez B. y Rico R., 2006):

Agua, tamices (6.35mm, 4.76mm, 2.36mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.21mm, 0.17mm y 0.10mm), base para tamices, toallas secantes y balanza.

Textura (método del hidrómetro de Bouyoucos):

Hidrómetro de bouyoucos, probetas de 1,000 ml, probetas de 100 ml, agitadores metálicos manuales, agitadores motorizados, termómetro, piseta y balanza.

Plasticidad (método de las cápsulas de porcelana):

Cápsulas de porcelana, espátula, estufa, balanza y recipientes metálicos de 35 cm<sup>3</sup>.

### Materiales utilizados en gabinete:

Cuaderno, calculadora, cartas geográficas: sobre geología, topográfica, uso potencial y uso del suelo, claves G13-D-39 (Parras de la Fuente, Coahuila) y H-14-C-74 (Allende, Coahuila). Escala 1:50,000 elaboradas por el INEGI, computadora, Sistema de Información Geográfica ArcView 3.3.

### **3.1.1 Ubicación de las áreas de estudio**

Los dos sitios destinados a la instalación de rellenos sanitarios y que se analizan en esta investigación se ubican en los municipios de Allende y Parras de la Fuente ubicados en el estado de Coahuila. A continuación se describe su ubicación.

#### **3.1.1.1 Allende, Coahuila**

El predio en el que se realizara la instalación del relleno sanitario se localiza al Noroeste de la cabecera municipal de Allende, en el estado de Coahuila. Se encuentra a una altitud de 350 m. (Ver Anexo 1).

La superficie en la que se realizaran dichas obras es de 4 ha las coordenadas del polígono se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Coordenadas de ubicación geográfica de Allende, Coahuila.

Vértice	Coordenadas geográficas (Datum WGS84)	
	x	y
1	100°49'24.71"	28°22'37.27"
2	100°49'27.84"	28°22'43.14"
3	100°49'20.78"	28°22'45.01"
4	100°49'17.36"	28°22'39.50"

### 3.1.1.2 Parras de la Fuente, Coahuila

El predio donde se instalará el relleno sanitario se ubica a 5 km Noroeste de la ciudad de Parras de la Fuente, Coahuila, situado en lo que fueron terrenos del Ejido Parras, al poniente del Cerro El Portezuelo a una altitud de 1450 m (ver Anexo 2). La superficie del polígono en el que se excavarán las primeras celdas es de 3 ha. Las coordenadas de los 4 vértices correspondientes del predio se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Coordenadas de ubicación geográfica de Parras de la Fuente, Coahuila.

Vértice	Coordenadas geográficas (Datum WGS84)	
	x	y
1	102°11'31.96"	25°28'58.69"
2	102°11'38.87"	25°28'59.66"
3	102°11'38.15"	25°29'4.92"
4	102°11'31.52"	25°29'3.95"

### 3.1.2 Características Geográficas de las áreas de estudio

#### 3.1.2.1 Allende, Coahuila

##### Fisiografía

- Provincia: Grandes Llanuras de Norteamérica.
- Subprovincia: Llanuras de Coahuila y Nuevo León.
- Sistema de topoformas: Llanura Aluvial con Lomerío.

##### Clima

- Rango de temperatura: 20 – 24 °C.
- Rango de precipitación: 300 - 500 mm.
- Clima: Seco semicálido.

##### Edafología

- Suelos Xerosol haplico, de textura fina.

### **3.1.2.2 Parras de la Fuente, Coahuila**

#### Fisiografía

- Provincia: Sierra Madre Oriental.
- Subprovincia: Pliegues Saltillo Parras.
- Sistema de topofomas: Llanura Aluvial con Lomerío.

#### Clima

- Rango de temperatura: 12 – 22 °C.
- Rango de precipitación: 100 - 600 mm.
- Clima: Muy seco semicálido.

#### Edafología

- Xerosol haplico.

### **3.2 Métodos de campo, laboratorio y gabinete**

Las metodologías en etapa de campo, laboratorio y gabinete fueron aplicables para ambos sitios estudiados.

#### Etapa de campo

Se ubicaron los vértices correspondientes a los polígonos en estudio. Se situaron los puntos a muestrear en cada uno de los dos sitios Allende, Coahuila y Parras de la Fuente, Coahuila los cuales fueron 3. Es importante mencionar que la distribución de los puntos de muestreo se hizo en base a las dimensiones que tendrán las primeras celdas y a las condiciones del terreno.

Se utilizó la maquinaria (retroexcavadora) para realizar las calas con dimensiones de 3 a 4 m de profundidad por 1 metro de ancho y 3 m de largo, la profundidad de las calas se realizó de acuerdo a la profundidad que

tendrán las celdas de los rellenos, para el caso de Allende, Coahuila la profundidad fue de 3 m, para el caso de Parras de la Fuente, Coahuila fue de 4 m. Se tomaron muestras de suelo a cada metro de profundidad.

En cada una de las tres calas se determino la velocidad de infiltración por el método de la poceta realizándose de esta manera una poceta con dimensiones de 30 cm de diámetro y 30 cm de profundidad la cual fue aforada con agua hasta su nivel máximo, este estudio se realizo en el fondo de la excavación. Posteriormente se tomaron mediciones de la columna de agua en intervalos de tiempo que variaron de acuerdo a la velocidad de infiltración que se presentó en cada una de las pocetas. (Ver Figura 6).



**Figura 6.** Realización de calas y medición de velocidad de infiltración por el método de la poceta.

### Etapas de laboratorio

En laboratorio se realizó lo siguiente:

Se Clasifico el suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos, Como lo establece la NOM-083-SEMARNAT-2003. En el caso de esta clasificación se tuvieron que realizar los siguientes estudios:

- Estudio granulométrico (adaptación del método de Tiulin, 1928, citado por la Encyclopedia of Soil Sciences (2008) al de Juárez B. y Rico R., 2006).

A grandes rasgos el método consistió en hacer un arreglo de tamices de diferentes aberturas acomodados de forma descendente en una base metálica formando un cilindro vertical (para este caso se usaron los tamices 6.35mm, 4.76mm, 2.36mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.21mm, 0.17mm y 0.10mm), se colocó la muestra de 100 g de suelo en el tamiz superior del cilindro, posteriormente la columna de tamices se aforo 10 veces, se secó el material retenido en cada tamiz para posteriormente ser pesado en la balanza, finalmente se realizaron los cálculos correspondientes de acuerdo a Juárez B. y Rico, R., (2006). (Ver Figura 7).

Dentro del estudio granulométrico se realizó la determinación de coeficiente de uniformidad el cual permite saber si el tamaño de las partículas es homogéneo o heterogéneo de acuerdo a lo propuesto por Allen Hazen mencionado por Juárez B. y Rico, R. (2006).



**Figura 7.** Determinación de granulometría.

- Análisis de plasticidad por el método de la cápsula de porcelana.

Este método consistió en humedecer 100 g de suelo en una capsula de porcelana, se mezcló la muestra hasta que esta tomó una apariencia suave y uniforme, se realizó una ranura transversal sobre la capsula y se golpeó cuidadosamente en la palma de la mano, se realizó esta acción varias veces hasta que en 5 golpes se uniera los dos extremos de la ranura, en este punto se tomó una porción de suelo y se metió a la estufa con esto se determinó el limite liquido, posteriormente se tomó otra porción de la mezcla y se realizó el amasamiento de la misma hasta formar un cilindro de 3 a 4 mm de diámetro sin romperse, el cilindro se introdujo a la estufa y con esto se determinó el limite plástico.

Para efecto de los estudios de clasificación del suelo mencionados anteriormente se utilizaron 3 muestras de suelo colectadas en campo correspondientes a cada una de las calas, a una profundidad de 3 m para el caso de Allende, Coahuila y 4 m para el caso de Parras de la Fuente, Coahuila. Se formó una muestras compuestas para cada uno de los sitios y de estas muestras compuestas se tomaron 100 g de suelo para realizar los análisis correspondientes.

Por otra parte se determinó la textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos. Para este caso las muestras se dividieron en dos partes, en la primera se colocaron las tres muestras pertenecientes al primer metro de profundidad, en la segunda se colocaron las tres muestras correspondientes al piso de las celdas (3 m para el caso de Allende y 4 m para Parras de la Fuente), en la primera parte las muestras se analizaron por separado, y en el



la segunda parte se tomó una muestra compuesta. La finalidad de separar las muestras en dos partes es para conocer por separado las texturas de ambas profundidades y tomar estos datos en consideración para una recomendación sobre impermeabilización, cobertura parcial y final de las celdas.

#### Etapas de gabinete

Se calcularon los datos obtenidos en campo y en el laboratorio, y se realizaron los análisis correspondientes a cada uno de los estudios hechos. Se investigó sobre los aspectos geográficos de las áreas de influencia en cada uno de los sitios, con las cartas territoriales: sobre geología, topográfica, uso potencial y uso del suelo, Claves G13-D-39 (Parras de la Fuente, Coahuila) y H-14-C-74 (Allende, Coahuila). Escala 1:50,000 elaboradas por el INEGI. Con la información obtenida se generó la cartografía correspondiente a la geología e hidrología de las áreas en estudio con el Sistema de Información Geográfica ArcView 3.3.

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Allende, Coahuila

- Velocidad de infiltración (método de la poceta)

El método de la poceta empleado en esta investigación nos permitió determinar las velocidades de infiltración que presenta el suelo, a través de las cuales se obtuvo la conductividad hidráulica como lo establece la NOM-083-SEMARNAT-2003, este método es una adaptación al método de los cilindros infiltrómetros de acuerdo a Gurovich (1985) citado por Pizarro (2004).

Para determinar la velocidad de infiltración se utilizó la fórmula siguiente de acuerdo con Pizarro (2004):

$$I = \frac{(dh)(600)}{t}$$

Dónde:

I: Velocidad de infiltración en mm/hr

dh: Diferencial de altura de agua (cm)

t: Diferencial de tiempo (min)

600: Constante

Los resultados se muestran a continuación para cada uno de los puntos de muestreo.

#### Punto # 1

El Cuadro 5 muestra los diferenciales de tiempo (t), diferencial de altura del agua (dh) y, las velocidades de infiltración (I) obtenidas con la fórmula anterior.

Cuadro 5. Velocidades de infiltración obtenidas en Allende, Coahuila, punto # 1.

(t) Tiempo (min)	(dh) Diferencial (cm)	(I) V. de infiltración (mm/hr)
10	13	780
20	2.5	75
30	2.5	50
40	3	45

$K_{\bar{x}}$  = Conductividad hidráulica promedio  $K_{\bar{x}} = 47.5 \text{ mm/hr}$

De acuerdo con Leitón (1985) la aplicación de este método para utilizarlo con propósitos de determinar la conductividad hidráulica está fundamentado en el hecho de que en un medio homogéneo la velocidad de penetración del agua es rápida al principio, para luego estabilizarse en un valor aproximado constante, que viene a corresponder a la conductividad hidráulica, por esta razón es que se tomaron las dos últimas velocidades de infiltración determinadas en el Cuadro 5 para obtener la conductividad hidráulica promedio ( $K_{\bar{x}}$ ), la cual fue de **47.5 mm/hr**.

En la Figura 8 se percibe como el comportamiento de las velocidades de infiltración obtenidas en el punto # 1 inicia muy rápido y disminuyen conforme pasa el tiempo.

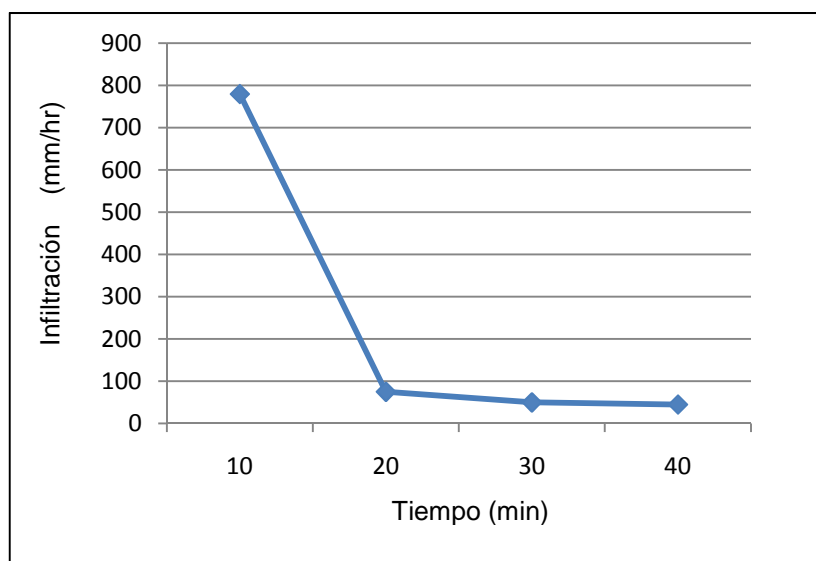


Figura 8. Curva de velocidad de infiltración de Allende, Coahuila, punto # 1.

Punto # 2

El Cuadro 6 muestra los diferenciales de tiempo (t), diferenciales de altura del agua (dh) y velocidades de infiltración correspondientes al segundo punto de muestreo de acuerdo a la fórmula ya mencionada. En la parte inferior del cuadro se muestra la conductividad hidráulica promedio la cual se determino tomando en cuenta el fundamento hecho por Leitón (1985) ya expuesto en el punto # 1.

Cuadro 6. Velocidades de infiltración obtenidas en Allende, Coahuila, punto # 2.

(t) Tiempo (min)	(dh) Diferencial (cm)	(I) V. de Infiltración (mm/hr.)
10	17	1020
20	10	300

$K_{\bar{x}}$  = Conductividad hidráulica promedio.

$K_{\bar{x}}=660$  mm/hr

Para el caso de la gráfica mostrada en la Figura 9 correspondiente a las velocidades de infiltración del punto # 2, la curva no es muy apreciable pues solo se percibe como la velocidad de infiltración es tan rápida que ya no se pudieron realizar más lecturas.

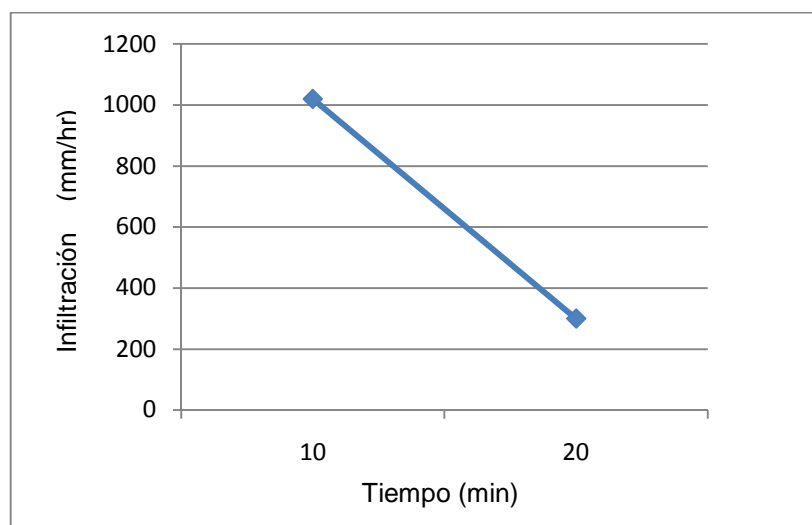


Figura 9. Curva de velocidad de infiltración de Allende, Coahuila, punto # 2.

Punto # 3

El Cuadro 7 muestra los diferenciales de tiempo (t), diferencial de altura del agua (dh) y las velocidades de infiltración (I) obtenidas aplicando la fórmula ya expuesta anteriormente. En la parte inferior de dicho cuadro se muestra la conductividad hidráulica de acuerdo al fundamento ya mencionado en el punto # 1.

Cuadro 7. Velocidades de infiltración obtenidas en Allende, Coahuila, punto # 3.

(t) Tiempo (min)	(dh) Diferencial (cm)	(I) V. de Infiltración (mm/hr)
10	12	720
20	4	120
30	3	60
40	2.5	37.5
50	2.5	30
60	2.5	25

$K_x$  = Conductividad hidráulica promedio  $K_x = 42.5$  mm/hr

La Figura 10 muestra como la velocidad de infiltración presente en el punto # 3 al principio es muy elevada y conforme pasa el tiempo esta empieza a disminuir y a hacerse constante.

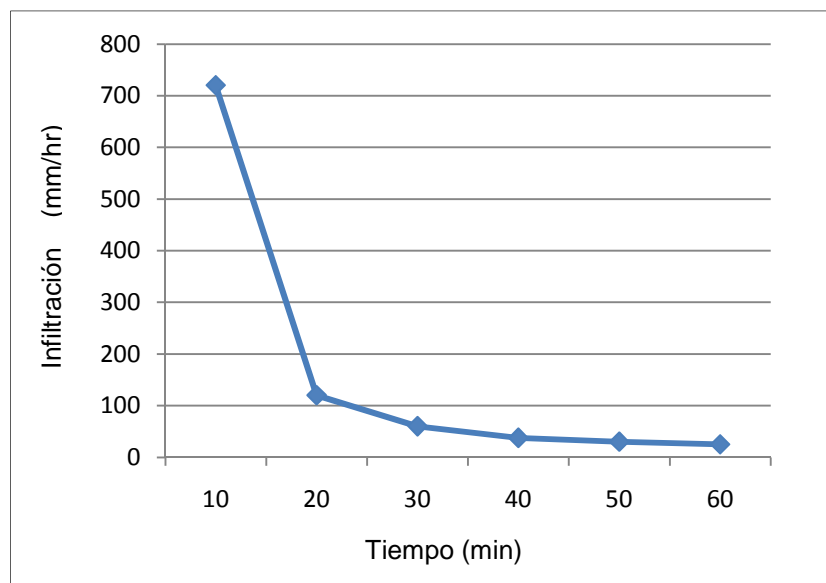


Figura 10. Curva de velocidad de infiltración de Allende, Coahuila, punto # 3.

Con las conductividades hidráulicas promedio en cada uno de los puntos se determinó una conductividad hidráulica promedio general la cual fue de  $7 \times 10^{-3}$  cm/seg.

- Clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos.

De acuerdo con Juárez y Rico (2006) el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, está basado en el tamaño de las partículas gruesas y la plasticidad de las partículas finas que constituyen al suelo, por esta razón, para efecto de esta clasificación se realizaron los estudios granulométricos y de plasticidad correspondientes.

El Cuadro 8 muestra los resultados del análisis granulométrico, en el cual se percibe como la cantidad de materiales finos (arcilla y limo) es ligeramente proporcional a la cantidad de materiales gruesos (grava y arena).

Cuadro 8. Concentración de datos obtenidos en el análisis granulométrico de Allende, Coahuila.

No. Tamiz y diámetro	Abertura de tamiz (mm)	* % retenido parcial	* <sup>1</sup> % retenido acumulado	* <sup>2</sup> % que pasa en cada tamiz
1/4"	6.35=D <sub>10</sub>	12.9	<b>12.9</b>	87.1
4	4.76	1.8	14.7	85.3
8	2.36	10.5	25.2	74.8
35	0.50	11.9	37.1	62.9
60	0.25= D <sub>60</sub>	7.7	44.8	<b>55.2</b>
70	0.21	0.4	45.2	54.8
80	0.17	0.1	45.3	54.7
140	0.10	9.6	<b>Gruesos 54.9</b>	<b>Finos 45.1</b>

\*Este porcentaje está referido a la cantidad de suelo retenido en cada tamiz con respecto al peso de la muestra total, la cual fue de 100g. \*<sup>1</sup> Se refiere a la suma del % de retenido acumulado en el tamiz anterior + el % parcial del tamiz en cuestión. \*<sup>2</sup>Se refiere a la diferencia de 100% - el porcentaje retenido acumulado.

Con los datos registrados en el cuadro anterior se determinó el coeficiente de uniformidad propuesto por Allen Hazen mencionado por Juárez y Rico (2006) el cual se calculó con la fórmula siguiente:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Dónde:

Cu = Coeficiente de uniformidad.

D60= Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor.

D10= Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo.

Aplicando la fórmula anterior el coeficiente de uniformidad fue el siguiente:

$$Cu = \frac{0.25}{6.35} = 0.39$$

Nota: el D60 y D10 se marcan en el **cuadro 8**.

Según Hazen mencionado por Juárez B. y Rico R. (2006), los suelos con  $C_u < 3$  se consideran muy uniformes o bien graduados, es decir con un amplio margen de tamaño de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño.

El coeficiente de uniformidad es menor que 3 por lo tanto **es un suelo muy uniforme o bien graduado**, como se puede observar en los datos granulométricos obtenidos y expuestos en el **cuadro 8**, hay un gran margen de tamaño de partículas y cantidades apreciables tanto de partículas gruesas como finas.

Para determinar el índice de plasticidad (IP), primero se determinaron los límites líquido (W) y límite plástico (W<sub>lp</sub>) por el método de la cápsula de porcelana. A continuación se muestra la fórmula aplicada y los datos obtenidos.

Fórmula aplicada de acuerdo a Atterberg mencionado por Juárez y Rico (2006):

$$IP = W - Wlp$$

IP=?

W= 22.74%

Wlp= 0.1%

$$IP = 22.74\% - 0.1\% = 22.64\%$$

El índice de plasticidad está por debajo del 50 %, aun así esto no deja de ser importante pues las características que tienen las arcillas por sus cargas eléctricas negativas influyen en el movimiento del agua, o cualquier otro material en estado líquido presente en el suelo.

Según los análisis de granulometría y plasticidad anteriores el suelo fue clasificado de acuerdo al S.U.C.S. Como un “**SC**” el cual se describe como:

**Arenas arcillosas.**

- Determinación de textura (método del hidrómetro de Bouyoucos)

Como se mencionó en la metodología para el caso de la determinación de textura las muestras se dividieron en dos partes, las pertenecientes al primer metro de profundidad y las pertenecientes al piso de la celda.

Para el caso de Allende, Coahuila se obtuvieron los siguientes resultados:

Primer metro de profundidad.

Cuadro 9. Textura obtenida a 1m de profundidad en Allende, Coahuila.

# de muestra	Profundidad	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
1	1 m.	36.6	28.4	35.0	<b>Migajón Arcilloso</b>
2	1m.	39.1	30.9	30.0	<b>Migajón Arcilloso</b>
3	1m.	41.6	28.4	30.0	<b>Migajón Arcilloso</b>



Piso de celda (profundidad 3m.)

Cuadro 10. Textura obtenida a piso de celda en Allende, Coahuila.

# de muestra	Profundidad	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
1	3 m.	40.0	32.5	27.5	<b>Migajón Arcilloso</b>

Con este tipo de textura obtenido a diferentes profundidades de las calas realizadas, se determina que este suelo no es adecuado para la compactación de celdas, ni para la cobertura parcial y final de las mismas, debido a que presenta arenas y limos en mayor proporción que arcillas.

- Estudios geohidrológicos

#### Geología

Según la información proporcionada por el INEGI se encontró que el primer sitio hablando en términos Geológicos, se encuentra situado en una entidad suelo de la era cenozoica y de un sistema cuaternario, Además se determinó que no se encuentran fallas ni fracturas geológicas dentro del área en estudio, la falla tectónica más cercana se localiza a una distancia de 12 km. (Ver Anexo 3).

#### Hidrología

El sitio en cuestión se encuentra dentro de la región hidrográfica Bravo-Conchos, en la cuenca Rio Bravo-Nuevo Laredo, se determinó que los cuerpos de agua que se encuentran circundando el área de estudio son de origen intermitente, el más cercano se halla a una distancia de 12.30 km hacia el Noroeste. También se encontró que al Sur del área en estudios se presenta una corriente de agua también de tipo intermitente a una distancia

de 145 m (ver Anexo 4). Es importante mencionar que la pendiente que se presenta en el terreno es nula a ligeramente inclinada de 1% a 2%.

#### 4.1.2 Parras de la Fuente, Coahuila

- Velocidad de infiltración (método de la poceta)

Como ya se había mencionado en el los resultados de Allende, Coahuila el método de la poceta empleado nos permitió determinar las velocidades de infiltración que presenta el suelo, las cuales por consiguiente nos permitieron determinar la conductividad hidráulica como lo establece la NOM-083-SEMARNAT-2003, este método es una adaptación al método de los cilindros infiltrómetros de acuerdo a Gurovich (1985) citado por Pizarro (2004). Los resultados para Parras de la Fuente, Coahuila se presentan a continuación

Para determinar la velocidad de infiltración se utilizó la fórmula siguiente de acuerdo con Pizarro (2004):

$$I = \frac{(Dh)(600)}{t}$$

Dónde:

I: Velocidad de infiltración en mm/hr

dh: Diferencial de altura de agua (cm)

t: Diferencial de tiempo (min)

600: Constante

Los resultados se muestran a continuación para cada uno de los puntos de muestreo, utilizando la formula anterior.

Punto # 1

El Cuadro 11 nos muestran los diferenciales de tiempo (t), diferenciales de altura del agua (dh) y las velocidades de infiltración (I)

obtenidas en el primer punto de muestreo utilizando la fórmula mencionada anteriormente.

Cuadro 11. Velocidades de infiltración obtenidas en Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 1.

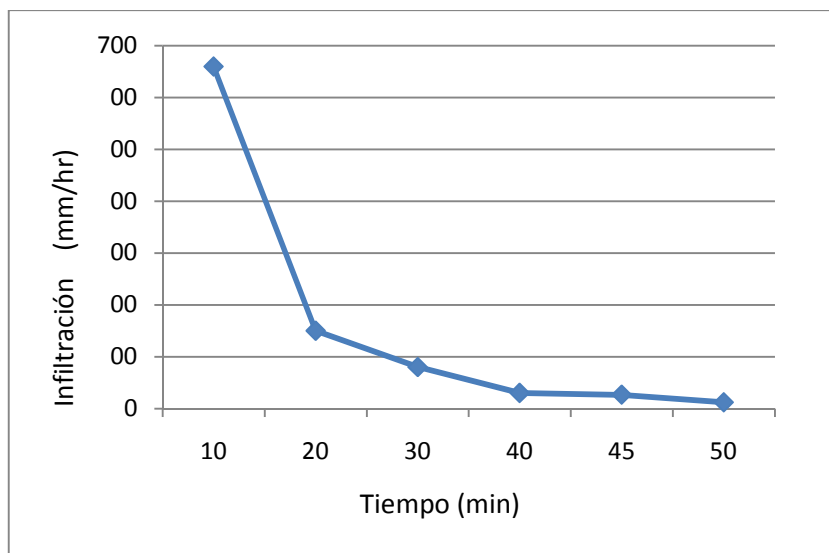
(t) Tiempo (min)	(dh) Diferencial (cm)	(I) V. de Infiltración (mm/hr)
10	11	660
20	5	150
30	4	80
40	2	30
45	2	<b>27</b>
50	1	<b>12</b>

$K_{\bar{h}}$  = Conductividad hidráulica promedio

$K_{\bar{h}}$  = 19.5 mm/hr

De acuerdo con Leitón (1985) la utilización de este método para manejarlo con propósitos de determinar la conductividad hidráulica está fundamentado en el hecho de que en un medio homogéneo la velocidad de penetración del agua es rápida al principio, para luego estabilizarse en un valor aproximado constante, que viene a corresponder a la conductividad hidráulica, por esta razón es que se tomaron las dos últimas velocidades de infiltración determinadas en el Cuadro 5 para obtener la conductividad hidráulica promedio ( $K_{\bar{h}}$ ), la cual fue de **19.5 mm/hr**.

La Figura 11 muestra la curva de velocidad de infiltración correspondiente a las velocidades registradas en el punto # 1. Se aprecia como la velocidad de infiltración del agua en el suelo es alta en los primeros lapsos de tiempo del proceso, tiende a decrecer en forma monótona, acercándose a una velocidad constante. Esto se atribuye a que el suelo se encuentra demasiado seco pero conforme pasa el tiempo los poros del mismo comienzan a saturarse, por lo que la velocidad de infiltración se ve disminuida.



**Figura 11.** Curva de velocidad de infiltración de Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 1.

#### Punto #2

El Cuadro 12 muestra los diferenciales de tiempo (t), diferenciales de altura del agua (dh) y las velocidades de infiltración (I) correspondientes al segundo punto de muestreo. En la parte inferior del cuadro se muestra la conductividad hidráulica promedio obtenida, solo que esta vez se toman las velocidades más bajas pues estas se consideran como constantes.

**Cuadro 12.** Velocidades de infiltración obtenidas en Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 2.

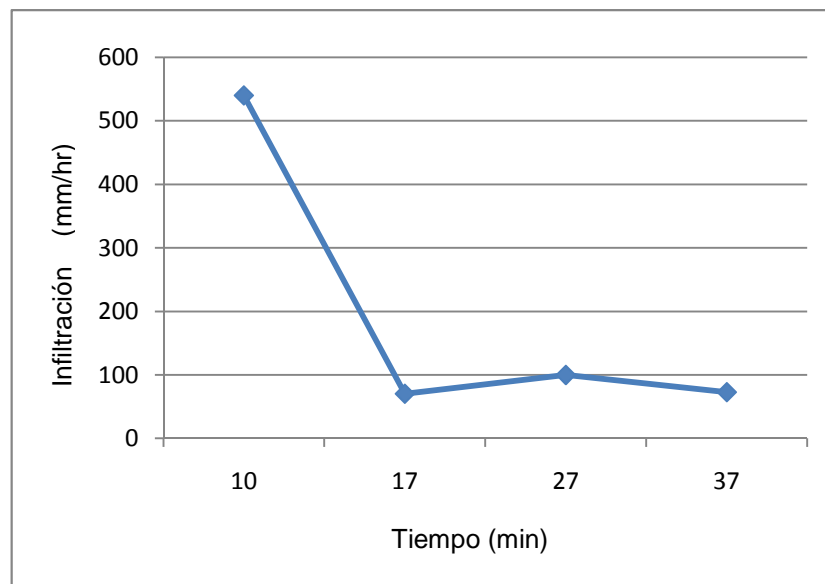
(t) Tiempo (min)	(dh) Diferencial (cm)	(I) V. de Infiltración (mm/hr)
10	9	540
17	2	<b>70.5</b>
27	4.5	100
37	4.5	<b>72.9</b>

$K_x$  = Conductividad hidráulica promedio

$K_x$  = 71.7 mm/hr

La Figura 12 muestra el comportamiento de las velocidades obtenidas en el punto # 2, la cual muestra una velocidad de infiltración muy acelerada al principio, pues el suelo se encuentra seco, y el consumo de agua es más

elevado, con forme este se satura la velocidad de infiltración disminuye o se hace constante.



**Figura 12.** Curva de velocidad de infiltración de Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 2.

### Punto # 3

El Cuadro 13 muestra los diferenciales de tiempo (t), diferenciales de altura del agua (dh) y las velocidades de infiltración (I) presentes en el punto # 3 obtenidas con la formula mencionada al principio de este apartado. La conductividad hidráulica promedio como se realizo en los puntos anteriores se muestra en la parte inferior del mismo cuadro.

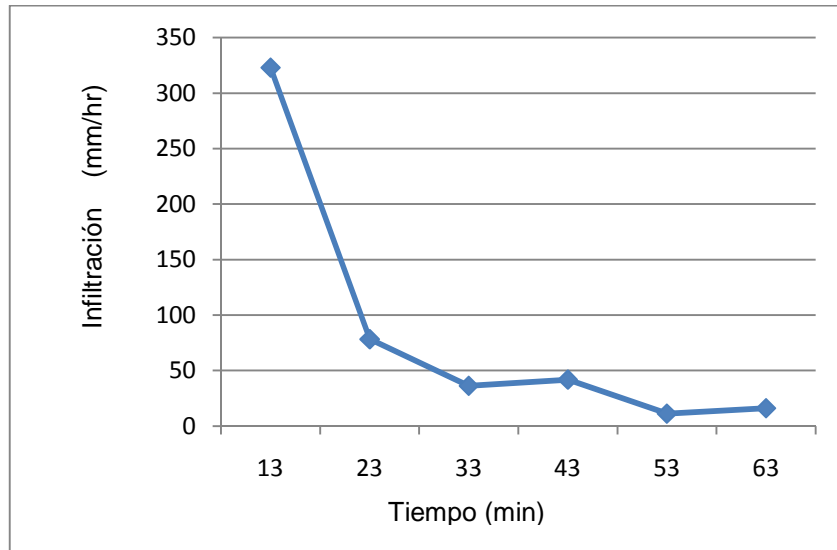
**Cuadro 13.** Velocidades de infiltración obtenidas en Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 3.

(t) Tiempo (min)	(dh) Diferencial (cm)	(I) V. de Infiltración (mm/hr)
13	7	323
23	3	78.3
33	2	36.4
43	3	41.9
53	1	<b>11.3</b>
63	1.7	<b>16.2</b>

$K_x$  = Conductividad hidráulica promedio

$K_x$  = 13.75 mm/hr

La Figura 13 muestra el comportamiento de las velocidades de infiltración que se presentaron en el punto # 3, en la cual se percibe que al igual que en los puntos anteriores la infiltración es elevada al inicio y conforme pasa el tiempo está disminuye.



**Figura 13.** Curva de velocidad de infiltración de Parras de la Fuente, Coahuila, punto # 3.

Se determinó que la conductividad hidráulica promedio general fue de  $1 \times 10^{-3}$  cm/seg.

- Clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos.

De acuerdo con Juárez y Rico (2006) el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, está basado en el tamaño de las partículas gruesas y la plasticidad de las partículas finas que constituyen al suelo, por esta razón, para efecto de esta clasificación se realizaron los estudios granulométricos y de plasticidad correspondientes.

El Cuadro 14 muestra los datos obtenidos en el análisis granulométrico en el cual se aprecia como el suelo presenta mayor cantidad de partículas

finas (arcilla y limo) y muy poco material grueso (grava y arena). Con los datos de textura presentados más adelante se podrá determinar el tipo de material fino predominante.

Cuadro 14. Concentración de datos obtenidos en el análisis granulométrico de Parras de la Fuente, Coahuila.

No. Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	* % retenido parcial	* <sup>1</sup> % retenido acumulado	* <sup>2</sup> % que pasa en cada tamiz
¼"	6.35	-----	-----	-----
4	4.76	-----	-----	-----
8	2.36	0.2	0.2	99.8
35	0.50	1.0	1.2	98.8
60	0.25	0.3	1.5	98.5
70	0.21	0.1	1.6	98.4
80	0.17	0.1	1.7	98.3
140	0.10	1.6	3.3	<b>96.7</b>

\*Este porcentaje está referido a la cantidad de suelo retenido en cada tamiz con respecto al peso de la muestra total, la cual fue de 100g. \*<sup>1</sup> Se refiere a la suma del % de retenido acumulado en el tamiz anterior + el % parcial del tamiz en cuestión. \*<sup>2</sup>Se refiere a la diferencia de 100%-el porcentaje retenido acumulado.

Con los datos registrados en el cuadro anterior se determinó el coeficiente de uniformidad propuesto por Allen Hazen mencionado por Juárez y Rico (2006) el cual se calculó con la fórmula siguiente:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Dónde:

Cu = Coeficiente de uniformidad.

D60= Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor.

D10= Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo.

Para este sitio el coeficiente de uniformidad fue el siguiente:

Según Allen mencionado por Juárez B. y Rico R. (2006), los suelos con  $C_u < 3$  se consideran muy uniformes o bien graduados, es decir con una gran variedad y tamaño de partículas y cantidades apreciables de cada uno de ellos.

Para este caso el coeficiente de uniformidad, no se alcanza a cumplir pues el **96.7 %** pertenece a un solo tamaño de partículas finas como lo son limos y arcillas menores a 0.10 mm. **Este suelo no es uniforme** pues está compuesto en su mayoría por partículas de un solo tamaño, arcillas y limos principalmente con ausencia de gravas y poca presencia de arenas.

Para determinar el índice de plasticidad (IP), primero se determinaron los límites líquido (W) y límite plástico (W<sub>lp</sub>) por el método de la cápsula de porcelana. A continuación se muestra la fórmula aplicada y los datos obtenidos.

Fórmula aplicada de acuerdo a Atterberg mencionado por Juárez y Rico (2006):

$$IP = W - W_{lp}$$

IP=?

W= 21.1%

W<sub>lp</sub>= 3.6 %

$$IP = 21.1\% - 3.6\% = \mathbf{17.5\%}$$

El índice de plasticidad obtenido indica que la plasticidad del suelo es relativamente baja, por lo que el contenido de arcillas también, lo cual significa que domina el contenido de limos, aun así esto no deja de ser importante pues las características que tienen las arcillas por sus cargas eléctricas negativas influyen en el movimiento de líquidos en el suelo.

Según los análisis de granulometría y plasticidad anteriores el suelo fue clasificado de acuerdo al S.U.C.S. Como un **“ML”** el cual se describe como: **limos orgánicos o arcillas ligeramente plásticas.**



- Determinación de textura (método del hidrómetro de Bouyoucos)

Como se mencionó en la metodología para el caso de la determinación de textura las muestras se dividieron en dos partes las pertenecientes al primer metro de profundidad y las pertenecientes al piso de la celda.

Para el caso de Parras se obtuvieron los siguientes resultados:

Primer metro de profundidad.

Cuadro 15. Textura obtenida a 1m de profundidad en Parras de la Fuente, Coahuila.

# de muestra	Profundidad	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
1	1 m.	16.6	40.9	42.5	<b>Arcillo limosos</b>
2	1m.	4.1	33.4	62.5	<b>Arcilla</b>
3	1m.	16.6	33.4	50.0	<b>Arcilla</b>

Piso de celda (profundidad 3m.)

Cuadro 16. Textura obtenida a piso de celda en Parras de la Fuente, Coahuila.

# de muestra	Profundidad	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
1	3 m.	22.5	47.5	30.0	<b>Migajón Arcilloso</b>

Con este tipo de textura obtenido en a diferentes profundidades de las calas realizadas, se determina que este suelo si es adecuado para la compactación de celdas, y para la cobertura parcial o final de las mismas, debido a que presenta en mayor proporción material fino de origen arcilloso, el cual por sus características físicas y propiedades de presentar cargas eléctricas negativas en su superficie, permite una mejor compactación y ayuda a la retención de líquidos en el suelo.

- Estudios geohidrológicos

## Geología

Se determinó que el segundo sitio se encuentra situado en suelos de origen aluvial, en los alrededores del área se encuentran rocas de tipo sedimentaria principalmente Lutita-Arenisca. No se presentan fallas ni fracturas dentro del polígono, la fractura más cercana se encuentra a 3 km del sitio. (Ver Anexo 5).

## Hidrología

La región hidrológica en la que se encuentra el sitio, pertenece a la región Nazas-Agua Naval, no se encontraron cuerpos de agua cercanos al área en estudio, pero sí una corriente de agua intermitente la cual se encuentra a 1.57 km del lado Oeste y otra a 3.87 km al Suroeste del polígono. (Ver Anexo 6).

## 4.2 Discusión

El sitio ubicado en Allende, Coahuila presenta una conductividad hidráulica general promedio de  $7 \times 10^{-3}$  cm/seg. Es una velocidad de infiltración mayor a la que exige la NOM-03-SEMARNAT-2003 la cual es de  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg, por lo que no cumple con ese aspecto.

De acuerdo a los resultados de granulometría e índice de plasticidad, el suelo se clasificó según el S.U.C.S. como lo indica la NOM-03-SEMARNAT-2003 como un suelo “**SC**” el cual se describe como: **Arenas arcillosas**. Es un suelo que cuenta en su mayoría con materiales gruesos (arenas) y tiene un gran contenido de poros por los que podrán lixiviarse más fácilmente los líquidos contaminantes.

La textura de este suelo fue **migajón arcillosa** en el primer metro de profundidad y en el piso de celda, por lo que el contenido de arcillas es menor en comparación al contenido de limos y arenas, obteniendo de esta manera un suelo en el que la velocidad de infiltración se verá incrementada.

La NOM-083-SEMARNAT-2003 especifica que los sitios no deben ubicarse en zonas de fracturas o fallas geológicas, por lo que este sitio cumple con estas especificaciones. También se menciona que la distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m como mínimo, por lo que el sitio no cumple con este aspecto pues se presenta una corriente intermitente que se encuentra a menos de 500 m.

Para el caso del sitio ubicado en Parras de la Fuente, Coahuila la conductividad hidráulica general promedio fue de  $1 \times 10^{-3}$  cm/seg, por lo que no cumple con la que exige la NOM-03-SEMARNAT-2003 la cual es de  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg. En comparación con la velocidad de infiltración obtenida en Allende, Coahuila es más adecuada y puede ser aceptable siempre y cuando se empleen actividades de compactación con material arcilloso o bien instalar una geomembrana que pueda garantizar la retención de lixiviados.

La clasificación del suelo en base al S.U.C.S. como lo exige la norma, se clasificó como un **“ML”** el cual se describe como: **limos orgánicos o arcillas ligeramente plásticas**. Para este caso se habla de partículas finas en mayor proporción por lo que esto ayudara a incrementar la impermeabilidad del piso de las celdas debido a que el tamaño de poros

es más pequeño, con esto los riesgos por contaminación de lixiviados hacia los cuerpos de agua subterráneos se verán disminuidos. Comparándola con la clasificación de Allende, Coahuila este tipo de material es más adecuado por las razones que se mencionan anteriormente.

La textura del suelo a un metro de profundidad para este sitio fue **arcillosa** y para el caso de la textura en el piso de celda fue **migajón arcilloso**. Esto es muy favorable pues este material puede ser utilizado para el recubrimiento e impermeabilización de las celdas, por sus características físicas y por la propiedad de tener cargas negativas, lo que influye en la retención de líquidos.

Las corrientes y cuerpos de agua más cercanas al sitio se encuentran a más de 500 m por lo que cumple con lo establecido en la norma. Además el sitio no se encuentra ubicado sobre fallas o fracturas por lo que también cumple con este requerimiento.

El sitio de Allende, Coahuila, por sus características edafológicas e hidrológicas se encuentra más expuesto a la contaminación de mantos friáticos a causa de los lixiviados que se puedan generar en el relleno sanitario. Además las características que presenta el material para la impermeabilización, cobertura parcial o final de las celdas, no son las adecuadas para estas actividades.

El sitio de Parras de la Fuente, Coahuila, por sus características edafológicas e hidrológicas se encuentra menos expuesto a la contaminación de mantos friáticos, por lo que es más adecuado para una buena disposición final de residuos sólidos urbanos. Las características que presenta el material que se utilizara en las obras de impermeabilización y cobertura parcial o final de las celdas son adecuadas para realizar estos trabajos.

La evaluación de los parámetros suelo y agua de las áreas destinadas a la disposición final de los residuos sólidos urbanos, permite tomar decisiones que nos ayuden a disminuir los riesgos de contaminación ambiental y realizar una buena disposición de los residuos. Además de que también permiten disminuir los gastos de operación en la instalación de rellenos sanitarios.

## VI. RECOMENDACIONES

---

Para el caso de Allende, Coahuila se recomienda, utilizar una geomembrana que impida la lixiviación de los líquidos contaminantes que se pudieran generar en el relleno y trasladar de otras partes cercanas al área de instalación del relleno material de textura arcillosa para la compactación y cobertura parcial de celdas. Cabe mencionar que si el banco de material del cual se trasladará el suelo se encuentra muy alejado incrementará los costos de operación por lo que esto no es recomendable. Se deben de realizar obras hidráulicas para el desvío de la corriente intermitente de agua que se encuentra próxima al sitio.

En Parras de la Fuente, Coahuila se presentan características edafológicas favorables en el primer metro de profundidad y de menor calidad en el piso de las celdas, por lo que se recomienda que el suelo que se extraiga del primer metro de profundidad en el que serán instaladas las celdas, sea utilizado en el piso de las mismas ya que este material presenta características arcillosas que acompañado con una buena compactación ayudaran a impedir el paso de los lixiviados generados en el relleno, también este material puede ser utilizado en la cobertura parcial y final de las celdas. Con esto se verán disminuidos los gastos de operación ya que el mismo material extraído se utilizará en el mismo sitio sin necesidad de acarreo de otros lugares. También se recomienda que el sitio cuente con una geomembrana en el piso de las celdas después de la compactación de las mismas, para una mayor garantía de que no habrá contaminación por lixiviados.

## VII. LITERATURA CITADA

---

- Allende, C., T. 2001.** Estudio Geológico - Geotécnico en los proyectos de Relleno Sanitario. Lima-Perú.
- Bautista, P., C. 1998.** Residuos. Guía Técnico-Jurídica. Ediciones Mundi-Prensa S.A. de C.V México, D.F.
- Bonifacio J., A. 2006.** Estudio de los factores físicos ambientales para estabilización de un relleno sanitario en Cuatro Ciénegas, Coahuila. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Agrícola y Ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Saltillo, Coahuila.
- Brunne, D. and Keller, D. 1972.** Sanitary Landfill Design and Operation; USEPA, Washington D.C.
- Campos R., J. U., Gómez C., S. E. y Torres F., W. J. 2006.** Tesis: Impermeabilización de Rellenos Sanitarios Utilizando Suelos Naturales aplicados a la ciudad de San Miguel y Lolotique. Universidad de Oriente, San Miguel el Salvador, Centro América.
- Campos, G., I. 2003.** Saneamiento Ambiental. 1er. Reimpresión de la 1er. Edición. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Encyclopedia of Soil Science. 2008.** Encyclopedia of Earth Sciences Series. Edited by Ward Chesworth. ISBN: 978-1-4020-3994-2. New York.
- Escamirosa, M., del Carpio P., Castañeda N., y Quintal F., 2001.** Manejo de los Residuos Sólidos Domiciliarios Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Primera edición, editorial Plaza y Valdez S.A de C.V. México, D.F.
- Gurovich, L. A. 1985.** Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego. Editado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Guyer, J., P. 2009.** An Introduction to Sanitary Landfills. Course № EN-3005. Disponible en: [http://www.pdhengineer.com/Authors/paul\\_guyer.htm](http://www.pdhengineer.com/Authors/paul_guyer.htm).
- INEGI. 2009.** Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Allende, Coahuila de Zaragoza. Clave geoestadística 05003.
- INEGI. 2009.** Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Parras, Coahuila de Zaragoza. Clave geoestadística 05024.

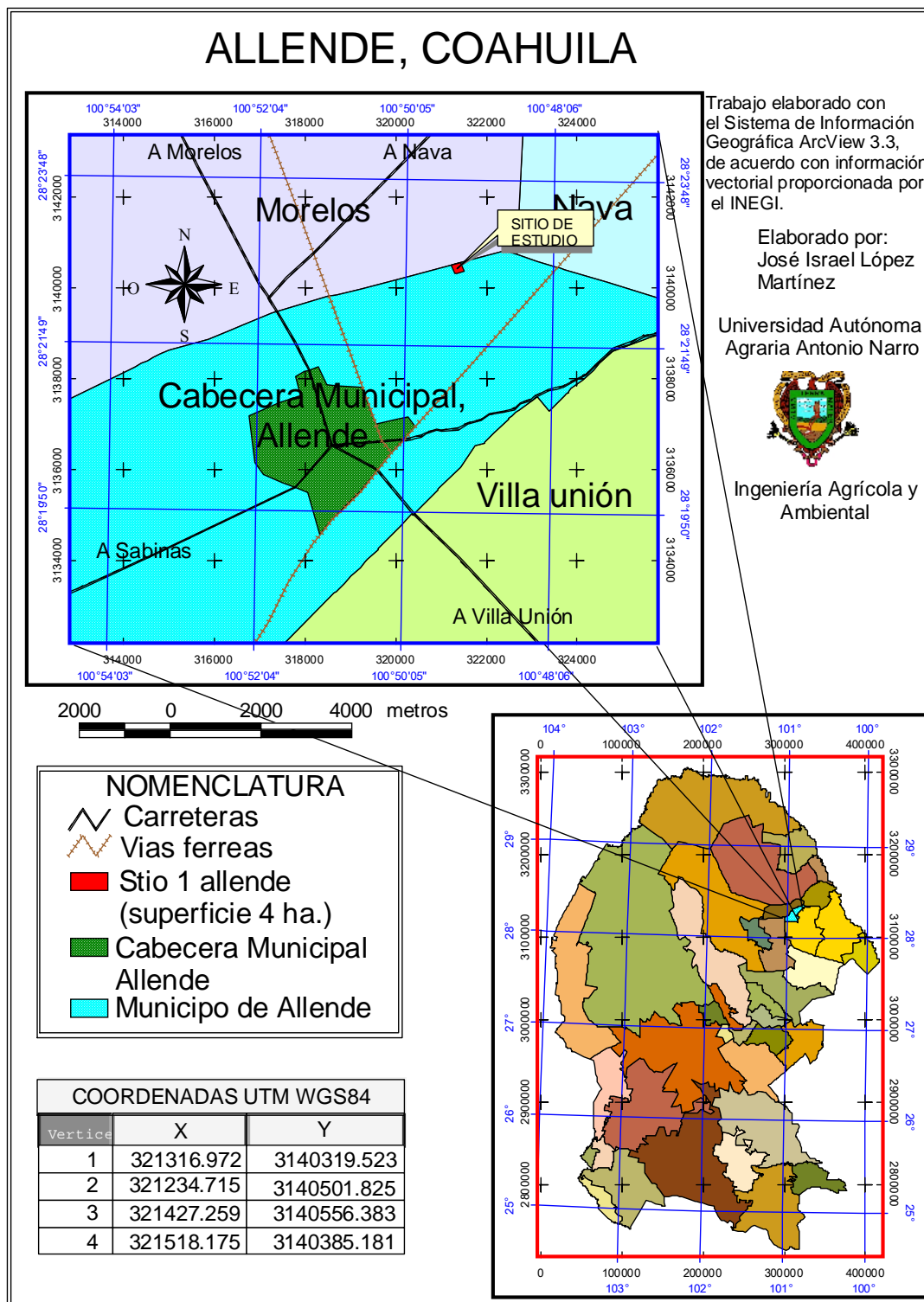
- Jaramillo, J. 2002.** Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, Perú.
- Jaramillo, J. 1991.** Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, Universidad de Antioquia, Colombia.
- Jiménez, C., B. E. 2001.** La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México. A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA.
- Juárez B., E y Rico R., A. 2006.** Mecánica de Suelos, Tomo 1 Fundamentos de la Mecánica de Suelo. Editorial Limusa, México, D.F.
- Leitón, S., J. S. 1985.** Riego y drenaje. Editorial Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.
- Mendoza, R. J. A., Montañés S., M. T., y Palomares G., A. E. 1998.** Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Pizarro, T. R., Flores, V. J. P., Sangüesa, P. C., Martínez, A. E. y García, R. J. L. 2004.** Diseño de Obras para la Conservación de Aguas y Suelos. Impresora Contacto Ltda. Talca, Chile.
- Roben, E. 2002.** Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, Ecuador.
- Ríos, H., A. 2009.** Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos. Tesis licenciatura en Ingeniero Civil, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.
- Secretaría de Ecología. 2002.** Alternativas de Rellenos Sanitarios, Guía de toma de decisión. Gobierno del Estado de México.
- Secretaria de Ecología. 2006.** Guía para el Desarrollo, Presentación y Evaluación de Proyectos Ejecutivos Para Rellenos Sanitarios. Gobierno del Estado de México.
- SEDESOL. 1996.** Manual Técnico Administrativo para el Servicio de Limpia Municipal. Primera edición. México, D.F.
- SEDESOL. 1999.** Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México.



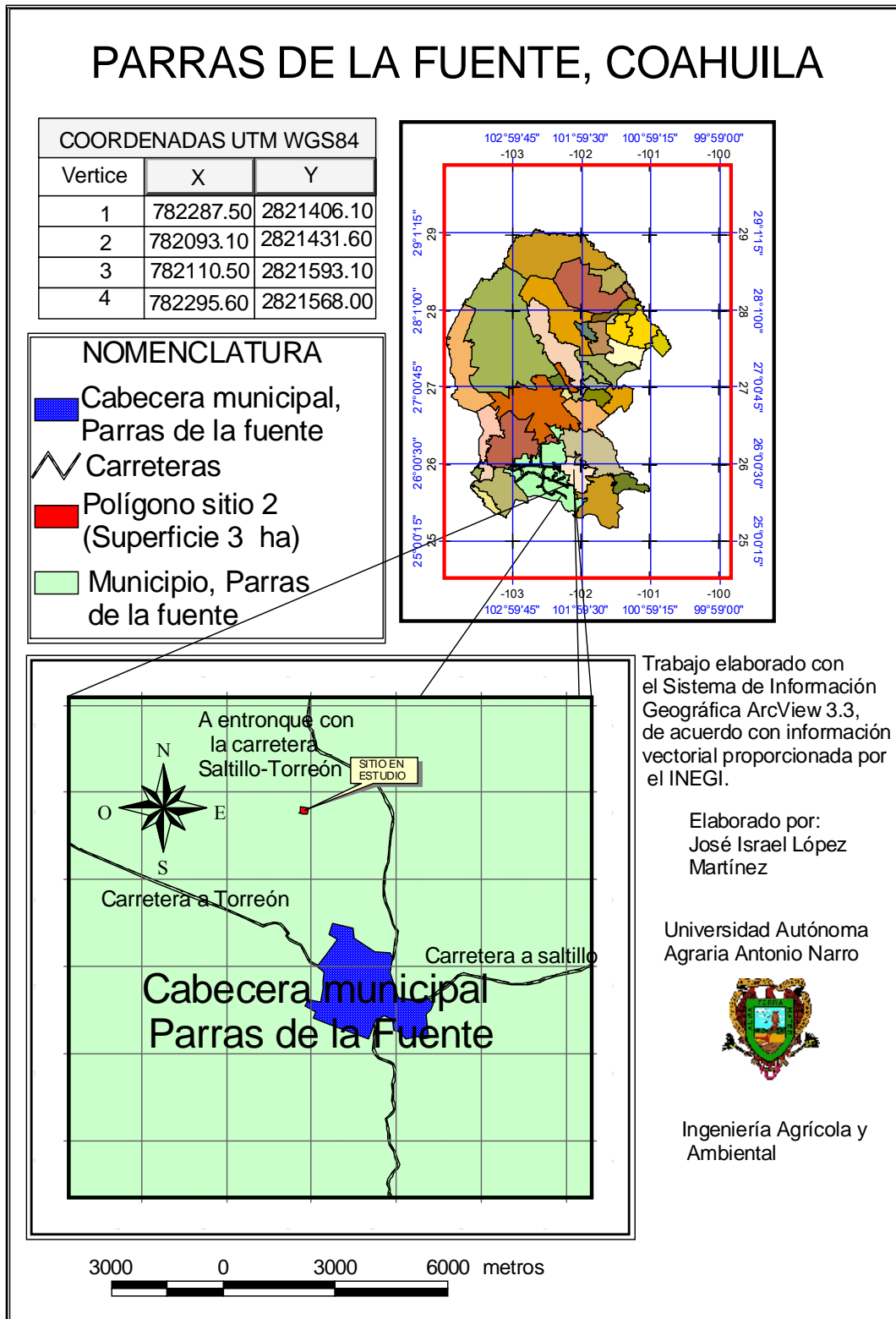
- SEDESOL. 2001.** Manual Técnico-Administrativo para el Servicio de Limpia Municipal. México, D.F.
- SEDESOL. 2006a.** Situación Actual en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos. México, D.F.
- SEDESOL. 2006b.** Indicadores Básicos y Manual de Evaluación Para Relleno Sanitario. México, D.F.
- SEDESOL. 2009.** Manual Técnico Sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales. México, D.F.
- SEMARNAT. 2001a.** Guía para la Gestión Integral de de los Residuos Sólidos Municipales, Primera Edición, México, D. F.
- SEMARNAT. 2001b.** Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos. Primera reimpresión, México, D.F.
- SEMARNAT. 2003.** Norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial, 20 de octubre de 2004, México, D.F.
- SEMARNAT. 2006.** Manual Para la Supervisión y Control de Rellenos Sanitarios. Tercera edición. Gobierno del Estado de México.
- Seoáñez, C., M. 2000.** Residuos. Problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción. Ediciones Mundi-Prensa, S.A. de C.V. México, D.F.
- Seoáñez, C., M. 1999.** Contaminación del suelo: Estudios, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi-Prensa, S.A. de C.V. México, D.F.
- Seoáñez, C., M. 2001.** Tratado de Gestión del Medio Ambiente Urbano. Ediciones Mundi-Prensa, S.A. de C.V. México, D.F.
- Tchobanoglous, G., Thesen, H. and Vigil, S. 1993.** Integrate Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill International Editions.
- Tyler M., G. Jr. 2007.** Ciencia Ambiental, Desarrollo Sostenible, un Enfoque Integral. 8ª Edición, International Thomson Editores S.A de C.V. México, D.F.

# ANEXO CARTOGRÁFICO

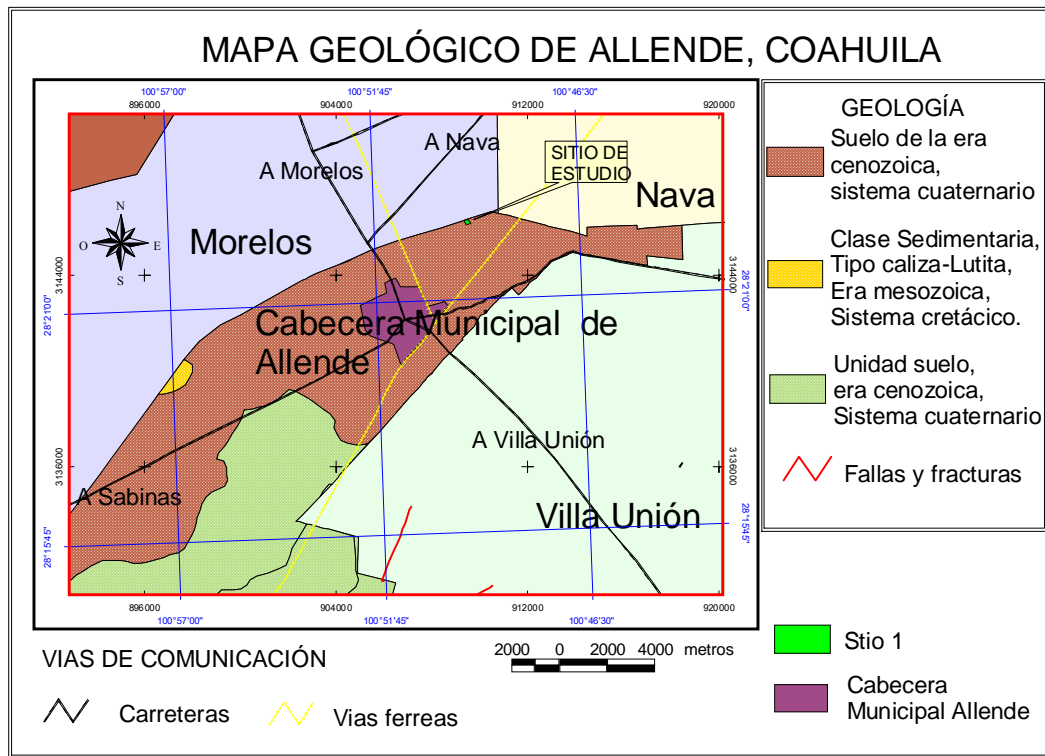
## Anexo 1. Localización Allende, Coahuila.



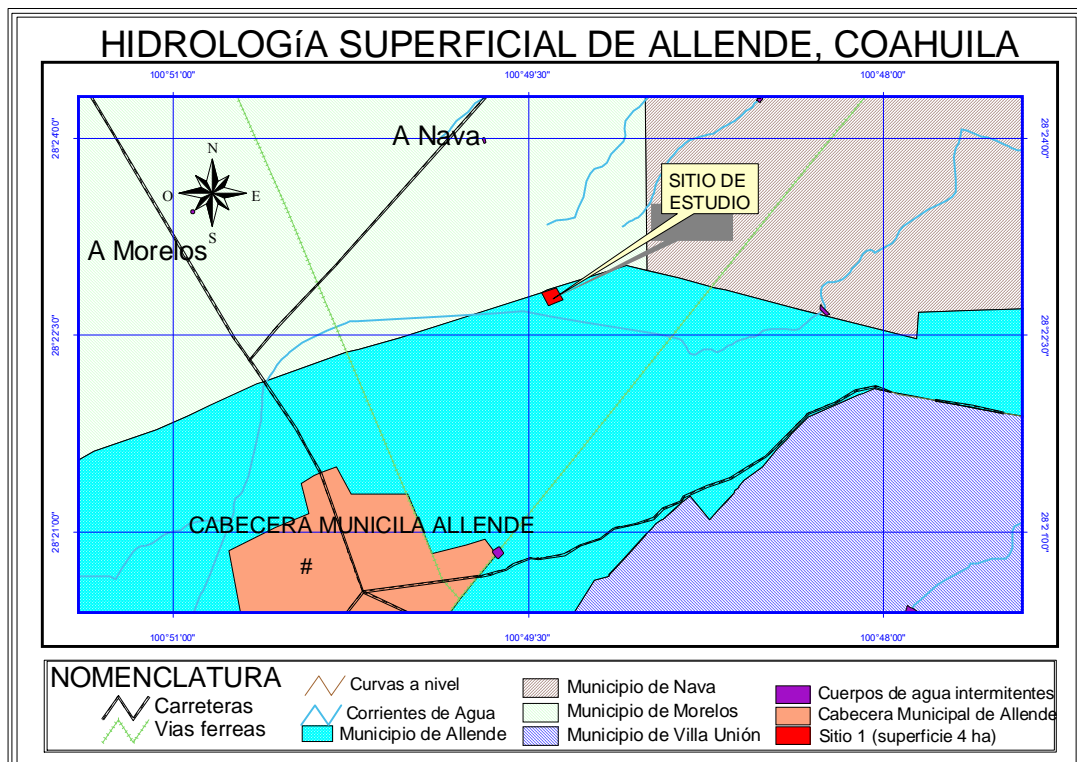
Anexo 2. Localización de Parras de la Fuente, Coahuila.



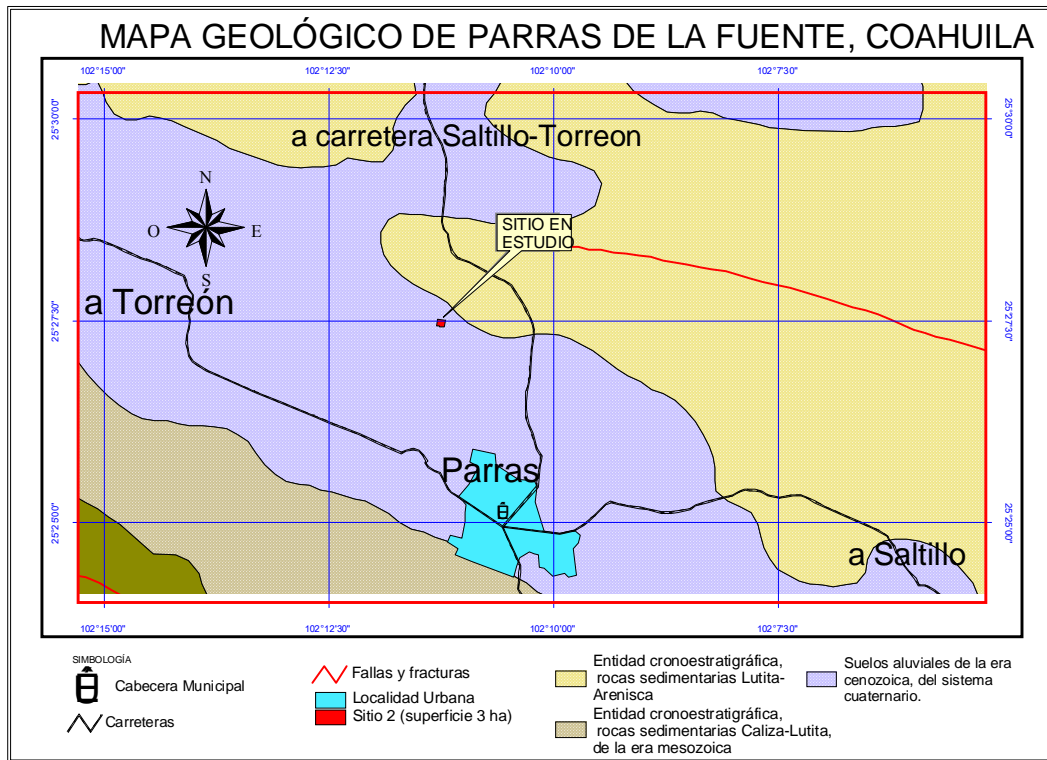
Anexo 3. Mapa geológico de Allende, Coahuila.



Anexo 4. Mapa de hidrología superficial de Allende, Coahuila.



Anexo 5. Mapa geológico de Parras de la Fuente, Coahuila.



Anexo 6. Mapa de hidrología superficial de Parras de la Fuente, Coahuila.

