

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cautla

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del
Municipio de Cautla Morelos

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

INDICE

TEMA	PAGINA
INTRODUCCION	8
I. GENERALIDADES	8
I.1. Antecedentes	8
I.2. Definición de un relleno sanitario	9
I.3. Selección de sitios para ubicación de un relleno sanitario	9
I.4. Ventajas y desventajas	10
I.5 Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1994, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales	11
I.6 Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias	13
II. DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL SERVICIO DE DISPOSICION FINAL	21
II.1 Descripción de las características de la localidad, para valorar el dimensionamiento del servicio requerido	22
II.1 ^a) Estudio de investigación para conocer la generación de residuos sólidos domiciliarios en la región Oriente, realizado por la Secretaría de Desarrollo Ambiental del Estado de Morelos	23

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

II.2 Funcionamiento del servicio de limpia pública, operación y condiciones de la disposición final	24
a) Situación actual del servicio de limpia (basado en el estudio de investigación para conocer la generación de residuos sólidos domiciliarios en la región Oriente, realizado por la Secretaría de Desarrollo Ambiental del Estado de Morelos)	24
b) Costo de operación del servicio de limpia	37
c) Costo del proyecto	38
III. EVALUACION Y SELECCIÓN DE LOS SITIOS PARA EL RELLENO SANITARIO	38
III.1 Sitios propuestos anteriormente	38
IV. ESTUDIOS BASICOS Y ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO	49
IV.1 Informe Hidrogeológico-Geotécnico	49
a) Antecedentes	50
b) Objetivos del estudio	51
c) Recopilación y análisis de la información-método de trabajo	51
d) Localización y descripción del área de estudio	51
d.1) Localización Geográfica y extensión	51
d.2) Vías de comunicación	51
d.3) Clima	52
e) Fisiografía	53
e.1) Hidrografía	53
e.2) Morfología	53

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

f) Geología	54
f.1) Estratigrafía	54
g) Geofísica	55
g.1) Introducción	55
g.2) Fundamentos básicos del método	56
g.3) Características del equipo empleado	57
g.4) Metodología	57
g.5) Interpretación de datos geofísicos	58
g.5.1) Interpretación cualitativa	58
h) Hidrogeología	58
h.1) Censo de aprovechamientos	58
h.2) Unidades hidrogeológicas	60
h.3) Modelo de funcionamiento hidrogeológico	60
i) Geotecnia	60
i.1) Estratigrafía	61
i.2) Ensayes de laboratorio	61
i.3) Análisis de estabilidad de taludes	62
i.4) Análisis de capacidad de carga	63
i.5) Análisis de asentamiento	64
i.6) Bancos de material	64

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

IV.2 Uso del suelo	66
V) VINCULACION DE NORMAS Y REGLAMENTOS ACERCA DEL USO DEL SUELO	66
V.1) Generalidades	66
V.2) Marco normativo	67
VI) DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO EN EL SITIO ELEGIDO	69
VI.1) Caracterización detallada del sitio propuesto	69
VI.2) Balance Hídrico	80
VI.2.1) Balance hídrico de la cubierta diaria y final del relleno sanitario por mes	81
VI.2.1 ^a) Evapotranspiración	81
VI.2.1b) Escurrimiento	82
VI.2.1c) Infiltración	83
VI.2.1d) Variación de agua en el suelo	83
VI.2.1e) Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo	84
VI.2.1f) Cambio en el almacenamiento de humedad	85
VI.2.1g) Calculo de la evapotranspiración real	85
VI.2.1h) Calculo de la percolación	85
VI.2.2) Evaluación del potencial contaminante y determinación de su prevención	86
VI.2.2 ^a) Consideraciones generales	86
VI.2.2b) Método de celdillas	89

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

VI.2.2c) Aplicación del método de balance de agua para la estimación de lixiviados	90
VI.2.2.c.1) Primer etapa: Operación	90
VI.2.2.c.2) Segunda etapa: Menos de dos años después de la clausura	93
VI.3 Sistema de impermeabilización recomendado	94
VI.3.1) Factores de degradación de lixiviados	94
VI.3.2) Modelo de impermeabilización propuesto	95
VI.4 Posible impacto vial y rutas de transporte para descarga de residuos en el sitio	98
VI.5 Método de operación del relleno sanitario, con su correspondiente ingeniería básica y de detalle	98
VI.6) Sistemas de control de biogas y de lixiviados	100
VI.7) Obras y servicios complementarios	102
VI.8 Determinación de controles dentro del confinamiento	107
VI.9 Programas de monitoreo	107
VII. MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL	107
VIII. CATALOGO DE CONCEPTOS	107
BIBLIOGRAFIA	108

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

No FIGUR A	FIGURAS TEMA	PAGINA
1	GENERALIDADES DE UN RELLENO SANITARIO	ANEXO
1.1	Figura esquemática de un relleno sanitario	ANEXO
1.2	Sección esquemática de operación y construcción de un relleno sanitario	ANEXO
1.3	Sección esquemática de un tiradero a cielo abierto	ANEXO
2	LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL SITIO ELEGIDO PARA DEPOSITO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS	ANEXO
2.1	Localización geográfica del sitio y vías de acceso	ANEXO
3	CONDICIONES INICIALES DEL SITIO	ANEXO
3.1	Topografía inicial	ANEXO
3.2	Geología. Regional	ANEXO
3.3	Geología. Local	ANEXO
3.4	Provincias fisiográficas	ANEXO
3.5	Geofísica. Arreglo interelectrónico	ANEXO
3.6	Geofísica. Localización geográfica de los SEV's	ANEXO
3.7	Geofísica. Sección geoelectrica A-A'	ANEXO
3.8	Geofísica. Sección geoelectrica B-B'	ANEXO
3.9	Geofísica. Sección geoelectrica C-C'	ANEXO
3.10	Geofísica. Sección de isorresistividad real A-A'	ANEXO
3.11	Geofísica. Sección de isorresistividad real B-B'	ANEXO
3.12	Geofísica. Sección de isorresistividad real C-C'	ANEXO
3.13	Hidrogeología. Localización de aprovechamientos	ANEXO

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

3.14	Hidrogeología. Curvas de igual profundidad del nivel estático	ANEXO
3.15	Hidrogeología. Curvas de igual elevación del nivel estático	ANEXO
3.16	Hidrogeología. Hidrogeología regional	ANEXO
4b	Hidrogeología. Hidrogeología regional	ANEXO
3.17	Hidrogeología. Sección hidrogeológica regional	ANEXO
3.18	Hidrogeología. Sección hidrogeológica local	ANEXO
3.19	Hidrogeología. Química del agua subterránea	ANEXO
3.20	Geotecnia. Bancos de material	ANEXO
3.21	Geotecnia. Prueba de consolidación unidimensional	ANEXO
3.22	Geotecnia. Análisis granulométrico	ANEXO
3.23	Geotecnia. Informe de ensaye de materiales de base y sub-base	ANEXO
3.24	Uso del suelo	ANEXO
4	DISEÑO CONSTRUCTIVO DEL RELLENO	ANEXO
4.1	Celdas. Diseño de la primera y segunda celdas	ANEXO
4.2	Celdas. Diseño general de las celdas	ANEXO
4.3	Celdas. Secuencia de llenado de las celdas	ANEXO
4.4	Celdas. Construcción de taludes	ANEXO
4.5	Celdas. Método de área y trinchera	ANEXO
4.6	Celdas. Secciones transversales primera y segunda celdas B,C,D,E y F	ANEXO
4.7	Celdas. Secciones transversales primera y segunda celdas G,H y I	ANEXO
4.8	Celdas. Secciones transversales 4 ^a , 5 ^a y 6 ^a celdas B,C,D,E y F	ANEXO
4.9	Celdas. Secciones transversales 4 ^a , 5 ^a y 6 ^a celdas G,H y I	ANEXO
4.10	Celdas. Diseño celdas finales, 2da etapa	ANEXO
4.11	Celdas. Localización secciones, 2da etapa	ANEXO
4.12	Celdas. Secciones, 2da etapa	ANEXO
4.13	Camino perimetral. Localización	ANEXO

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

4.14	Camino perimetral. Diseño constructivo	ANEXO
4.15	Camino perimetral. Sección longitudinal	ANEXO
4.16	Camino perimetral. Secciones de descapote, camino perimetral oriente	ANEXO
4.17	Camino perimetral. Secciones de descapote camino perimetral oriente	ANEXO
4.18	Camino perimetral. Secciones de descapote camino perimetral oriente	ANEXO
4.19	Lixiviados. Localización de la fosa	ANEXO
4.20	Lixiviados. Diseño constructivo de la fosa	ANEXO
4.21	Lixiviados. Ubicación de canales	ANEXO
4.22	Lixiviados. Diseño constructivo de los canales	ANEXO
4.23	Lixiviados. Localización de pozos de monitoreo de suelo	ANEXO
4.24	Lixiviados. Diseño constructivo de los pozos de monitoreo de suelo	ANEXO
4.25	Aguas pluviales. Localización de los canales de aguas pluviales y bermas de contención	ANEXO
4.26	Aguas pluviales. Diseño constructivo de los canales	ANEXO
4.27	Aguas pluviales. Diseño constructivo de las bermas de retención de aguas pluviales	ANEXO
4.28	Biogas. Localización de los pozos de venteo	ANEXO
4.29	Biogas. Diseño constructivo de los pozos de venteo	ANEXO
4.30	Agua subterránea. Localización de los pozos de monitoreo	ANEXO
4.31	Agua subterránea. Diseño constructivo de los pozos de monitoreo	ANEXO
4.32	Servicios. Localización	ANEXO
4.33	Servicios. Planta general	ANEXO
4.34	Servicios. Area de servicio, área y volumen	ANEXO
4.35	Servicios. Caseta de vigilancia	ANEXO
4.36	Servicios. Oficinas administrativas	ANEXO
4.37	Servicios. Almacén	ANEXO
4.38	Servicios. Area de servicios	ANEXO

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

4.39	Servicios. Bascula	ANEXO
4.40	Servicios. Estructura de cubierta	ANEXO
4.41	Servicios. Area de amortiguamiento	ANEXO
4.42	Impermeabilización. Método de impermeabilización de las celdas	ANEXO
4.43	Impermeabilización. Método de impermeabilización de la fosa de lixiviados	ANEXO
4.44	Impermeabilización. Sistema de anclado de la geomembrana	ANEXO
4.45	Señalamiento. Localización de señales	ANEXO
4.46	Señalamiento	ANEXO
4.47	Señalamiento	ANEXO

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

INTRODUCCION

La generación de residuos sólidos es un proceso por demás inherente a cualquier actividad del ser vivo. El ser humano por su parte, ha generado deshechos sólidos desde su formación, alterando el medio ambiente natural ya sea con prácticas agrícolas, ganaderas, mineras, industriales o urbanas, ocasionando con ello la formación de residuos, algunos de origen orgánico biodegradable y muchos mas de origen inorgánico de difícil degradación. El cambio de costumbres, así como el incremento desproporcionado de la población, ha ocasionado el incremento de desperdicios de tal forma, que rebasa el poder degradacional de la naturaleza, ocasionando la estancia de los residuos sin degradarse durante muchos años. Se ha encontrado por ejemplo (A. Deffis Casso), la existencia de papel periódico moderadamente degradado de hace 30 años en tiraderos antiguos, en contraste de rellenos en donde un elemento biodegradable puede descomponerse en escasos días. Esta diferencia se basa esencialmente en el tipo de residuos y el medio en donde se depositen, ya que el proceso de degradación está en función de la humedad, temperatura, oxígeno, composición y dimensión de las partículas; si bien la mayor parte de los residuos, sean de origen inorgánico u orgánico, son disueltos durante el período de descomposición biológica, este dependerá en mayor proporción del grado de humedad que exista, el cual puede afectarse por el rango de precipitación promedio anual, tipo y espesor de cobertura, terreno y pendiente.

El humano ha tratado desde hace siglos de manejar su basura, ya sea enterrándola como lo llegaron a hacer los griegos, o depositándola en sitios preestablecidos como lo hacían los aztecas. Si bien existen antecedentes para el manejo de residuos desde los siglos XIII y XIV, es a mediados del siglo XX cuando comenzó a manejarse con una mejor técnica, ya que se preparaba el sitio para el depósito de los residuos, compactándolos y cubriéndolos con capas de tierra para evitar la proliferación de fauna nociva y malos olores. En la ciudad de México desde hace varias décadas ya se hablaba de reciclar o industrializar la basura, para evitar con ello los problemas de contaminación del suelo, aire y agua, y de la necesidad de que los tiraderos quedaran lo más

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

apartados posible de la ciudad sin embargo, la falta de recursos algunas de las veces y en otras, el incremento urbano desproporcionado, ha generado basureros al aire libre y en otras mas, el desarrollo de unidades habitacionales alrededor de estos.

Aun cuando la técnica de confinamiento de residuos ha mejorado, la normal carencia de financiamiento para lograr su correcto tratamiento ha impedido la proliferación de rellenos. A esto hay que agregar un acelerado cambio en los patrones de consumo, de una población a principios de siglo predominantemente agrícola y ganadera con un crecimiento urbano e industrial pobre, a un urbanismo acelerado en el que los productos plásticos desechables proliferan. Para muestra basta recordar que en las últimas tres décadas el incremento de basura ha aumentado en casi siete veces, decreciendo la proporción de elementos biodegradables y aumentando a residuos de lenta y difícil degradación. De estos últimos, se piensa que del volumen total que se genera, el 90% no cuenta con sitios adecuados para su almacenamiento, estimándose que solo el 2% de los desechos industriales recibe tratamiento.

I. GENERALIDADES

I.1 Antecedentes

De acuerdo al estudio sobre la recolección y tratamiento de la basura en la zona urbana de la CD de México realizado por DIMSA en 1972, se sabe que durante la época prehispánica la limpieza de la antigua Tenochtitlan era total, ya que estaba prohibido comer en las calles, así como tirar cáscaras u otros desperdicios que afectaran el medio ambiente, para lo cual se apoyaban de la educación implantada al indígena de no tirar basura y recolectarla en sitios preestablecidos para que un grupo de mas de mil personas que recorrían la ciudad, se la llevaran.

Los tiraderos se situaban desde entonces, en la periferia de la ciudad; el rápido crecimiento de la mancha urbana los fue absorbiendo, desplazándose continuamente hacia las orillas de las zonas habitadas. Según se sabe, el virrey Revillagigedo fue el primero desde la

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

conquista, que estableció el ordenamiento de la red de recolección de basura, misma que era recolectada en carretas tiradas por dos mulas y llevada a sitios cercanos, fuera de la mancha urbana. De esta forma proliferaron los tiraderos a cielo abierto, llegando a tal grado que para principios de los ochentas existían cerca de 25,000 tiraderos.

Durante el siglo XX se formaron cuatro de los mayores tiraderos que han existido: Sta Cruz Meyehualco, con una extensión de 160 hectáreas, llegando a presentar montañas de desechos de hasta 100 metros de altura (A. Deffis Caso); Santa Fe, con más de 50 hectáreas de barrancas y hondonadas; San Lorenzo Tezonco y Santa Catarina.

El estado de Morelos presenta condiciones similares; la proliferación de sitios o tiraderos a cielo abierto son comunes, lo que representa un preocupante problema de contaminación al medio ambiente. Es común la quema de la basura, en la cual incluyen hojas, papeles y plásticos altamente tóxicos que se integran en forma de humo al aire. En otras, tiran llantas, plásticos y materia orgánica en caminos vecinales, proliferando con ello la fauna nociva, malos olores y contaminación al suelo y acuíferos. Al sur de Cuautla se encuentra el tiradero en donde se depositan los residuos domésticos de la ciudad, sitio que representa al igual que todo tiradero a cielo abierto, un foco de contaminación muy preocupante.

Los tiraderos a cielo abierto se caracterizan por contaminar en un grado muy alto al medio ambiente que les rodea. Esto se basa en la premisa de que la basura contiene materiales putrescibles que se descomponen por la acción de las bacterias aerobias y anaerobias, produciendo para el segundo caso, gases altamente tóxicos como el metano, amoníaco y el ácido sulfhídrico. Puesto que las temperaturas en el tiradero se elevan, llegan a originarse incendios espontáneos que provocan la presencia de humo en grandes cantidades, lo que aunado al polvo y partículas desprendidas arrastradas por el viento, contaminan la atmósfera. Lo mismo sucede con el agua subterránea, ya que el agua de lluvia infiltrada dentro de los residuos arrastra gérmenes patógenos y sustancias tóxicas que pueden dañarlo. Se sabe por ejemplo que a lo largo de estudios realizados por el D.D.F. y la

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

UNAM, se detectó una pluma de contaminación generada en el tiradero de Sta Catarina, la cual se integró en el agua subterránea, afectando a un pozo cercano a este.

I.2 Definición de un relleno sanitario

Aun cuando en la terminología común se confiere a un depósito de residuos como basurero, este no es exacto, ya que un residuo es la resultante de la descomposición o destrucción de un objeto, acontecimiento que ocurre normalmente en un relleno sanitario. De esta forma, un relleno sanitario es una construcción técnicamente establecida para minimizar los impactos que se puedan generar al medio ambiente y a la salud pública, al depositarse los residuos en el suelo. Para ello es necesario que los desechos sólidos se esparzan y compacten a su mínima expresión, cubriéndolos con tierra en un frente de trabajo inclinado, para que la degradación de la basura se lleve anaeróbicamente. De esta forma se construyen una serie de celdas que se cubren al final, con mayores espesores de tierra para no dañar el medio ambiente superficial (ver figura 1.1 y 1.2).

I.3 Selección de sitios para ubicación de un relleno sanitario

La selección de un sitio es el primer paso en el diseño de un relleno sanitario; la 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. Para ello se conjugan factores técnicos, ambientales, económicos, sociales y políticos, con el fin de que la disposición de residuos afecte en lo menor posible el medio ambiente. De esta forma, existen disposiciones a nivel internacional que restringen la ubicación de estos sitios como sigue:

- Debe encontrarse en un sitio compatible con los planes de uso del suelo actual y potencial del área en que se asienta; de esta forma, el lugar debe ser poco adecuado al desarrollo agrícola, así como al asentamiento urbano.
- Debe ubicarse en un lugar que sea fácilmente accesible y transitable en cualquier temporada del año

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

- Debe contar con medidas de seguridad contra la potencial contaminación del agua superficial y subterránea; para ello, el agua subterránea debe encontrarse confinada o a profundidades mayores a los 50 metros. Por contraste, no deben existir escurrimientos de régimen perenne o en su defecto, escurrimientos intermitentes cuya morfología indique grandes avenidas.
- Debe presentar medidas de seguridad para evitar la concentración del gas metano originado por la descomposición de los residuos orgánicos
- Debe contar con la suficiente cantidad de material de cobertura, de fácil manejo y compactación
- Debe estar ubicado en un sitio en donde la operación del relleno no impacte negativamente los recursos sensibles del medio
- Debe ser lo suficientemente grande como para recibir los residuos de la comunidad por servir durante un intervalo de tiempo razonable
- Debe ser un sitio económico 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 internacionales

En relación a las características técnicas que debe cumplir, estas son las siguientes:

- a) Debe existir poca permeabilidad de la cubierta de las celdas para que los lixiviados drenen por pendiente, a zonas de captación.
- b) Tener accesibilidad fácil con cualquier tipo de vehículo de recolección en cualquier época del año
- c) Controlar los gases generados a efecto de la descomposición de la basura
- d) Presentar una cantidad adecuada de suelo en el material de cubierta, de tal manera que éste sea trabajable, compactable, de graduación especificada, sin materia orgánica que permita desarrollo de insectos, roedores o aves transmisoras de enfermedades
- e) Estar de acuerdo con la planeación y el uso de la tierra donde se localice

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

I.4 Ventajas y desventajas

a) Ventajas

- Inversión inicial menor a la que se necesita para la implementación de un sistema de tratamiento, tal como la separación, composteo o incineración.
- Es un método final para la disposición de los residuos sólidos que no requiere de operaciones adicionales, tal como la incineración o el composteo, los cuales requieren de un sitio y de operaciones adicionales para la disposición de productos finales
- Se recuperan terrenos antes considerados como improductivos o marginales, transformándolos en áreas útiles para la creación de parques, zonas recreativas y esparcimiento o simplemente áreas verdes
- Es un método flexible, ya que en caso de incrementar la cantidad de residuos por alojar, se requiere de un grupo de trabajo reducido tanto de equipo como de personal
- El gas metano generado por la descomposición de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos puede ser atractivo para su aprovechamiento como fuente de energía no convencional, dependiendo de las características del sitio

b) Desventajas

- La construcción de un relleno sanitario es normalmente opositora a los sentimientos de seguridad de la población, esto debido a tres factores fundamentales: uno, la falta de conocimiento acerca del peligro que redundo en la proliferación de tiraderos; dos, el desconocimiento de los alcances de un relleno sanitario y tres, la desconfianza en los servidores públicos, reflejo evidente de una sociedad en constante deterioro
- Se requiere de una supervisión permanente, para mantener un correcto manejo de las operaciones de depósito de residuos
- Cuando no existen terrenos cercanos a las fuentes de generación de residuos sólidos, el costo de transporte se verá afectado
- La cercanía de los rellenos sanitarios a las áreas urbanas provocan en general, problemas sociales
- En caso de que los recursos económicos disminuyan en grado tal, que la operación y mantenimiento se vean mermados, existe un alto

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

riesgo de que el relleno sanitario se convierta en tiradero a cielo abierto

- Si no se lleva a cabo un estricto control de la operación y mantenimiento del relleno, pueden presentarse a mediano y largo plazo la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales cercanas a este, así como la generación de olores desagradables, quemaduras, gases e incluso explosiones
- Los asentamientos diferenciales que sufren los rellenos sanitarios con respecto al tiempo, impide que estos sean reutilizados cuando se concluyen las operaciones

I.5 Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1994, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales

Para la evaluación, construcción y operación de un relleno sanitario, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, imprimió en el diario oficial dos proyectos de norma (la 083 y la 084), el día 22 de junio de 1994. A partir de este, se realizaron cambios leves a los proyectos, mismos que fueron publicados en el diario oficial, los días 1º de Diciembre de 1995 y 30 de mayo de 1996. De esta forma, se presenta a continuación el respaldo de lo presentado en el diario del 22 de junio de 1994, con la idea de establecer las condicionantes emitidas por el gobierno para la realización de un relleno y por ende, del proyecto ejecutivo del mismo (ver copias fotostáticas en el ANEXO).

a) OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados para relleno sanitario, para la disposición final de los residuos sólidos municipales

b) CAMPO DE APLICACION

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria en la instalación de rellenos sanitarios

c) DEFINICIONES

c.1 Banco de préstamo

El sitio del que se extraen materiales para diversas aplicaciones

c.2 Capacidad de intercambio catiónico del suelo

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

La suma total de cationes intercambiables que puede adsorber un suelo, expresado en miliequivalentes por unidad de peso del mismo

c.3 Cuerpos de agua

Los lagos, lagunas, acuíferos, ríos y sus afluentes, directos e indirectos, permanentes o intermitentes, presas o embalses, cenotes, manantiales, lagunas litorales, estuarios, esteros, marismas y en general las zonas marinas mexicanas y otras corrientes de agua

c.4 Descripción estratigráfica

La descripción de los estratos del suelo, en cuanto a su espesor y características físicas y químicas

c.5 Falla geológica

El área que presenta desplazamientos por una fisura longitudinal o transversal de origen sísmico o tectónico, las cuales producen porosidad y permeabilidad de tipo secundario, dependiendo de su origen

c.6 Geología

El estudio de la formación, evolución, distribución, correlación y comparación de los materiales terrestres

c.7 Geohidrología

El estudio del comportamiento de las aguas subterráneas y su composición química

c.8 Hidrología superficial

El estudio del comportamiento de las aguas superficiales de una cuenca hidrográfica

c.9 Nivel freático

La superficie de agua que se encuentra únicamente bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aireación, de la de saturación

c.10 Topografía

Las características del relieve que presenta el terreno natural

c.11 Permeabilidad

La propiedad que tiene una sección unitaria de terreno para permitir el paso de un fluido a través de ella, sin deformar su estructura, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico

c.12 Relleno sanitario

La obra de ingeniería que reúne características específicas para la disposición final y segura de residuos sólidos municipales

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

c.13 Desecho sólido municipal

El Desecho sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casas-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como los residuos industriales que no se deriven de su proceso

c.14 Zona de aireación

El área localizada debajo de la superficie del terreno, en la que las aperturas están parcialmente llenas de aire y parcialmente de agua retenida por atracción molecular

c.15 Zona fracturada

El área que presenta aperturas longitudinales en las rocas o en el suelo conocidas como fracturas sin desplazamiento (diaclasas), las cuales producen porosidad y permeabilidad de tipo secundario, dependiendo de su origen; se clasifican en fracturas de contracción, retención, enfriamiento, erupción, sísmicas o tectónicas

c.16 Zona de saturación

El área que se caracteriza por tener sus poros llenos de agua y sus límites se fijan inmediatamente debajo de la zona de aireación y arriba de alguna capa permeable en la profundidad

d) ESPECIFICACIONES

El sitio destinado a relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales deberá reunir las condiciones siguientes:

d.1 Profundidad del manto freático

Deberá estar ubicado a una profundidad vertical mayor de 10 m del nivel freático

d.1.1 Zona de recarga

Deberá estar ubicada a una distancia mayor de un kilómetro y aguas debajo de las zonas de recarga de acuíferos o fuentes de abastecimiento de agua potable

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

d.1.2 Ubicación con respecto a la zona de fracturación

Deberá ubicarse a una distancia horizontal de 100 m como mínimo del límite de la zona de fracturación o falla geológica

d.1.3 Características de los estratos del suelo

Las características físicas de los estratos del suelo se deberán conocer a través del estudio geofísico correspondiente, aplicándolo hasta una profundidad de 120 m

d.1.4 Características del suelo

Deberá reunir condiciones tanto de impermeabilidad como de remoción de contaminantes, representadas estas por el coeficiente de permeabilidad de 1×10^{-5} cm/seg y por la capacidad de intercambio catiónico de 30 meq/100 grs de suelo

d.2 Material para cobertura

Se deberá contar como mínimo con un 25% de material de cubierta en relación al volumen de los residuos municipales a disponer diariamente

d.3 Vida útil del sitio

Vida útil mínima de 7 años

d.4 Ubicación con respecto a cuerpos de agua

Deberá ubicarse a una distancia mayor de 1 km de las zonas de inundación, cuerpos de agua y corrientes superficiales

d.5 Ubicación con respecto a centros de población y vías de acceso

Estará ubicado a una distancia mayor de 500 m del área urbana; a una distancia mayor de 70 m de las vías de comunicación terrestre, a una distancia mayor de 3 km de áreas naturales protegidas y aeropuertos, así como respetar el derecho de vía de 20 m de cada lado de líneas de conducción de energía eléctrica, oleoductos, poliductos, gaseoductos y a una distancia mayor de 150 m de áreas de almacenamiento de hidrocarburos

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

d.6 Drenaje

El sitio referido en el punto 1 de esta norma oficial mexicana deberá permitir la salida de aguas de lluvia naturalmente

d.7 Topografía

El sitio destinado a relleno sanitario deberá tener:

d.7.1 La pendiente media en la base del terreno natural del sitio no mayor del 30%

d.8 Limitación

No se podrá operar un sitio destinado a relleno sanitario en zona fracturada

e) PROCEDIMIENTO

Para determinar las condiciones previstas en esta norma oficial mexicana se deberá realizar los siguientes estudios:

e.1 Estudio geofísico

Para determinar la estructura, zonas y capas acuíferas, así como la diferencia entre materiales permeables e impermeables y fijar espesores y posición de unos y otros, efectuando sondeos eléctricos verticales a una profundidad de 120 m; su número estará en relación a las hectáreas con que cuenta el sitio

hectáreas	No de sondeos eléctricos verticales
1-4	3
4-9	5
9-15	7
15-21	10
21-50	12
Más de 50	20

e.2 Estudio geohidrológico

Para conocer la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, así como la dirección, velocidad del escurrimiento, o flujo de la misma y su composición química

f) ACLARACIONES

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

Cuando el terreno donde se instalará el relleno sanitario no cumpla con las condiciones y características señaladas en los puntos 4.1 4.1.4, la autoridad competente podrá autorizar la realización de medidas y obras, cuyos efectos resulten equivalentes a los que se obtendría en el cumplimiento de los requisitos previstos en la presente norma oficial mexicana, cuando se le acredite técnicamente su efectividad

g) VIGILANCIA

Los gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y municipios en el ámbito de su jurisdicción y competencia, vigilarán el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana

h) SANCIONES

El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en cada entidad federativa y demás ordenamientos jurídicos aplicables

I.6 Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias

a) OBJETO

La presente norma oficial mexicana tiene como objeto establecer los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias

b) CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias

c) DEFINICIONES

c.1 Desecho sólido municipal

El desecho sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casas-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones,

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como los residuos industriales que no se deriven de su proceso

c.2) Generación

La cantidad de residuos sólidos originados por el componente unitario de una determinada fuente en un intervalo de tiempo

c.3) Peso volumétrico

El peso de los residuos sólidos contenidos en una unidad de volumen

c.4) Disposición

La descarga, depósito, inyección, vertido, derrame o colocación de cualquier tipo de residuo en o sobre el suelo o cualquier cuerpo de agua

c.5) Relleno Sanitario

La obra de ingeniería para la disposición final y segura de los residuos sólidos municipales

c.6) Celda

El bloque unitario de construcción de un relleno sanitario

c.7) Celda diaria

Las áreas definidas donde se esparcen y compactan los residuos sólidos durante un día, siendo cubiertos al final del mismo con una capa de algún material que en caso de ser suelo, también se compacta.

c.8) Material de cubierta

El material de origen natural o sintético utilizado para cubrir los residuos sólidos, con el propósito de controlar el ingreso de diversos organismos, así como controlar la humedad de los estratos de residuos, el movimiento de gas producido por la degradación de la materia orgánica, el inicio y propagación de incendios, la dispersión de residuos y también proporcionar al sitio una apariencia adecuada.

c.9) Cubierta diaria

La capa de material natural o sintético con que se cubren los residuos depositados durante un día de operación

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

c.10) Cubierta intermedia

El estrato de material natural o sintético con que se cubre una franja o capa de residuos en un relleno sanitario

c.11) Cubierta final

El revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario

c.12) Lixiviado

La solución resultante de la disolución y suspensión de algunos constituyentes de los residuos en el agua que los atraviesa

c.13) Biogás

La mezcla de gases producto de la descomposición biológica de la fracción orgánica de los desechos sólidos

c.14) Sistema pasivo de extracción

El sistema utilizado para controlar el movimiento del biogás a presión natural y mediante el mecanismo de convección

c.15) Sistema activo de extracción

El control de movimiento del biogás mediante una presión negativa inducida (vacío)

c.16) Zona de impacto sísmico

El área que tiene una probabilidad mayor o igual al 10% de que la aceleración horizontal en roca dura exceda el 10% de la aceleración de la gravedad (g) en 250 años

d) DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO

d.1) El diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales, deberá sujetarse al siguiente procedimiento:

d.1.1) Topografía

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

Información referente a la forma superficial y del perímetro (límites) del sitio, que deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

d.1.1.1) Planimetría

Tolerancia angular = $1 \text{ N } 1/2$

Tolerancia lineal = $1/3000$

Donde: N = Número de vértices de la poligonal

Ubicación de los límites del predio, cursos o cuerpos de agua superficial, áreas de inundación, caminos en servicio, líneas de conducción existentes en el sitio (luz, agua, drenaje, gas, teléfono, etc.), así como todo tipo de estructuras y construcciones existentes dentro del predio

d.1.1.2) Altimetría

Una vez establecido un banco de nivel fijo y de fácil localización, se deberá efectuar una nivelación a lo largo de las poligonales abierta y cerrada con puntos de nivelación a cada 20m. Como máximo y especificar la altura de los sistemas de conducción que atraviesen el sitio, incluyendo sus sistemas de sujeción

d.1.1.3) Secciones

Se deberán ubicar secciones a partir de la estación 0+ 000 del camino de acceso, debiendo referenciarse a las estaciones establecidas sobre el perfil del camino, las secciones serán siempre perpendiculares al eje del camino de acceso y abarcarán 20m, a cada lado de dicho eje. Para la poligonal cerrada, se establecerá un eje central que divida al predio en dos áreas aproximadamente iguales, debiendo definirse ejes paralelos a cada 50 m, mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25m aproximadamente, para superficies de 8 hectáreas o menos y a cada 50m en terrenos mayores a 8 hectáreas.

d.1.1.4) Configuración topográfica

Las curvas de nivel se trazarán de acuerdo a los siguientes requerimientos: a cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

d.1.2) Cantidades y características de los residuos sólidos

Se deberá recabar información referente a las cantidades y características de los residuos sólidos, tanto actuales como proyectadas para un período mínimo igual a diez años o bien igual al periodo de vida útil del sitio. En caso de que estos datos no se encuentren disponibles, se deberán realizar los muestreos correspondientes conforme a lo establecido en las siguientes normas mexicanas:

NMX-AA-61-1985 DETERMINACION DE LA GENERACION
NMX-AA-15-1985 MUESTREO-METODO DE CUARTEO
NMX-AA-22-1985 SELECCIÓN Y CUANTIFICACION DE
SUBPRODUCTOS
NMX-AA-19-1985 DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO
"IN SITU"

e) SELECCIÓN DEL METODO

La selección del método a utilizar para la operación del relleno sanitario, deberá realizarse con base a las condiciones topográficas, geomorfológicas y geohidrológicas del terreno elegido, seleccionando de entre los siguientes: trinchera, área y combinado

f) REQUERIMIENTOS VOLUMETRICOS

Los requerimientos volumétricos para el diseño del relleno sanitario, deberán obtenerse para los años estimados, mediante los volúmenes totales anuales y acumulados, tanto de los residuos sólidos municipales, como del material de cubierta, empleando para ello la proyección de generación de residuos y los pesos volumétricos establecidos en la tabla 1.

TABLA 1
RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

TAMAÑO DEL ASENTAMIENTO HUMANO	PARA DISEÑO DE LA CELDA DIARIA PESO VOLUMETRICO TON/M3	PARA EL CALCULO DE VIDA UTIL PESO VOLUMETRICO
--------------------------------------	--	---

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

		TON/M3
HASTA 500,000 HAB	0.500	0.750
MAYORES DE 500,000 HAB.	0.600	0.900

g) CALCULO DE LA CAPACIDAD VOLUMETRICA

El cálculo de la capacidad volumétrica del sitio, deberá realizarse considerando la configuración topográfica que presente el predio donde se alojará el relleno sanitario, así como sus niveles de desplante. Se deberá reportar por cada curva de nivel la capacidad volumétrica parcial y acumulada.

h) CALCULO DE LA VIDA DEL SITIO

El cálculo de la vida útil del sitio deberá obtenerse por medio de la capacidad volumétrica total del sitio, la cantidad de residuos a disponer y el volumen de material de cubierta requerido, conforme a la siguiente ecuación:

$$U = V / (365 Gt)$$

De Donde:

U= Vida útil del relleno sanitario, expresado en años

V= Volumen del sitio seleccionado, expresado en m³

Gt= Volumen ocupado por la cantidad total diaria de residuos sólidos a disponer, más la cantidad de material de cubierta demandado para cubrir esos residuos, expresado en m³/día.

i) DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA

i.1) Altura de la celda

La altura máxima de la celda deberá ser de 3.00 m, incluyendo el espesor de los residuos a disponer y el material de cubierta requerido.

i.2) Ancho de la celda

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

El ancho de la celda (frente de trabajo) deberá estar determinado por la longitud necesaria para el funcionamiento adecuado y ejecución de maniobras del equipo, tanto de compactación como de transporte

i.2.1) Para poblaciones de hasta 250,000 habitantes, el frente de trabajo se define conforme a la ecuación siguiente:

$$F=0.0333 \text{ NTX}$$

De donde:

F= Longitud del frente de trabajo, expresado en metros

N= Número de vehículos recolectores en la hora pico

T= Tiempo promedio de descarga de cada vehículo recolector, expresado en minutos

X= Ancho de los vehículos recolectores, expresado en metros

i.2.2) Para poblaciones mayores de 250,000 habitantes, el ancho mínimo del frente de trabajo debe calcularse conforme a la ecuación siguiente:

$$F= \Sigma(X_i)^2$$

De donde:

F= Longitud del frente de trabajo, expresado en metros

X_i = Ancho de la hoja topadora de cada una de las maquinas que se utilizarán simultáneamente, expresado en metros

i= Número de equipos

i.2.3) El largo de la celda se deberá calcular en función de la altura y el ancho previamente determinados, conforme a la ecuación siguiente:

$$L=V/WA$$

De donde:

L= Largo de la celda, expresado en metros

V= Volumen de la celda, expresado en M³

W= Ancho de la celda, expresado en metros

A= Altura de la celda, expresado en metros

i.2.4) Con base al método de área, las celdas se construirán inicialmente en un extremo del sitio y se avanza hasta terminar con el otro extremo, cuando existan ondulaciones y depresiones en el terreno deberán ser utilizadas como respaldo conforme a las primeras celdas de una determinada capa constructiva.

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

Criterio constructivo:

- I. Se prepara el terreno para trabajarlo a base de terrazas y al mismo tiempo extraer material para cubierta
 - II. El frente de trabajo o ancho de la celda se calculará de acuerdo a lo establecido en los puntos i.2.1) y i.2.2)
 - III. Los cortes al terreno se harán siguiendo la topografía del sitio para formar terrazas y aprovechar al máximo el terreno
 - IV. El talud de la celda diaria tendrá una relación de 1:3 ángulo de 18°
 - V. Cada celda del relleno será contigua con la del día anterior y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denominarán franjas. Estas celdas se construirán de acuerdo con la topografía del sitio
 - VI. Las franjas al irse juntando forman capas, estas se construirán considerando la altura del sitio disponible para el relleno y al ubicarse en el plano de construcción, se calendarizan y se enumeran de abajo hacia arriba usando 3 subíndices, uno indicando capa, el segundo indicará la franja y una tercera para la celda diaria
 - VII. Las cubiertas intermedias que sirven de separación de las celdas diarias serán de 30 cms, el espesor de cubierta será de 60 cms
 - VIII. La compactación de los residuos dependerá de su composición, del grado de humedad y del equipo utilizado. Para obtener entre un 50 a 70% de reducción de su volumen.
 - IX. Las cubiertas tendrán una pendiente del 2% para el drenado adecuado que impidan el paso del agua, para evitar la erosión se deberán revegetar con especies propias de la región
- i.2.5) Con base al método de trinchera, las celdas se construirán sobre la base del talud de la trinchera donde los residuos son compactados en capas inclinadas, posteriormente será cubierta con el material excavado de la futura trinchera

Criterio constructivo:

- I. La profundidad mínima de la trinchera será de 2.00 m, de los cuales 1.50m serán de residuos y el resto de material de cubierta
- II. La trinchera deberá de contar con una pendiente del 2%, que permita el drenado de la excavación a lo largo de toda su longitud

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

- III. El ancho de la trinchera será como mínimo de 9.00m, para facilitar la descarga de los y la operación de la excavación de la maquina
- IV. El procedimiento constructivo será el mismo a partir del punto IV de los criterios de construcción de las celdas por el método de área

j) OBRAS COMPLEMENTARIAS

El relleno sanitario deberá comprender además del diseño de las celdas de confinamiento, con las obras complementarias que correspondan de acuerdo a la densidad de población expresada en la tabla 2.

TABLA 2

INSTALACION DE:	RANGO DE POBLACION			
	No DE HABITANTES			
	HASTA 50,000	DE 50,001 A 200,000	DE 200,001 A 500,000	MAYOR DE 500,000
AREA DE ACCESO Y ESPERA		X	X	X
CERCA O AREA PERIMETRAL		X	X	X
CASETA DE VIGILANCIA	X	X	X	X
CASETA DE PESAJE Y BASCULAS		X	X	X
CAMINOS PERMANENTES	X	X	X	X
AREA DE EMERGENCIA DE DISPOSICION FINAL		X	X	X
DRENAJES PERIMETRALES E INTERIORES	X	X	X	X
INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA			X	X

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS		X	X	X
SEÑALAMIENTOS FIJOS Y MOVILES	X	X	X	X
SISTEMA DE CAPTACION DE BIOGAS	X	X	X	X
AREA DE AMORTIGUAMIENTO			X	X
ALMACEN Y COBERTIZO		X	X	X
AREA ADMINISTRATIVA		X	X	X
SERVICIOS SANITARIOS			X	X
SISTEMA DE MONITOREO DE BIOGAS			X	X
SISTEMA DE CAPTACION Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS		X	X	X

k) AREAS DE ACCESO Y ESPERA

k.1) Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y de los vehículos de recolección

k.2) El acceso al relleno sanitario debe tener un ancho de 8.00m como mínimo

k.3) Antes del acceso al frente de trabajo se deberá tener un área de espera con la capacidad suficiente para el estacionamiento de los vehículos recolectores y de transferencia en la hora pico

l) CERCA PERIMETRAL

El relleno sanitario deberá estar cercado como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50m de alto, a partir del nivel de suelo con postes de concreto o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 3m entre sí, para poblaciones de hasta 500,000

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

habitantes y como mínimo con maya ciclónica de 2.20 m de alto para poblaciones mayores

m) CASETA DE VIGILANCIA

Las dimensiones de la caseta de vigilancia tendrán como mínimo 4 m² y deberá instalarse a la entrada del relleno sanitario, pudiendo ser construida con materiales propios de cada región

n) CASETA DE PESAJE Y BASCULA

n.1) Las dimensiones de la caseta de pesaje tendrán como mínimo 16m² para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos

n.2) La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con:

n.2.1) Superficie de dimensiones suficientes para dar servicio a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga

n.2.2) Capacidad acorde a la unidad recolectora de mayor volumen de carga

n.2.3) La báscula deberá ser de una precisión de 5 kg y su instalación deberá apegarse a las especificaciones del fabricante

ñ) CAMINOS

ñ.1) Los caminos serán de dos tipos, exteriores e interiores

ñ.2) Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:

ñ.2.1) Ser de trazo permanente y

ñ.2.2) Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario

ñ.3) Cuando por volumen de tránsito y de la capacidad de carga de los vehículos se haga necesaria la colocación de la carpeta asfáltica, esta superficie de rodamiento deberá estar sobre el nivel de despalme, misma que definirá la subrasante, en este caso, para recibir la carpeta se deberá construir:

ñ.3.1) Una sub-base con espesor mínimo de 12 cm, formada de material natural producto de la excavación o explotación de bancos de materiales

ñ.3.2) Una base con espesor de 12 cm de grava controlada y arena compactada al 90% de la prueba proctor

ñ.3.3) El espesor de la carpeta asfáltica, cuya finalidad es proporcionar una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada,

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

se calculará en función del valor relativo de soporte del suelo, de la carga de diseño y del volumen de tránsito

ñ.4) los caminos internos deben cumplir las especificaciones siguientes:

ñ.4.1) Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores, hasta el frente de trabajo del relleno sanitario

ñ.4.2) Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayor del 5%

o) CRITERIOS PARA LA CONSTRUCCION DE LOS CAMINOS

Los caminos interiores y exteriores deberán ser diseñados y construidos conforme a los criterios básicos establecidos en la tabla 3

**TABLA 3
CRITERIOS BASICOS PARA CAMINOS**

CAMINOS EXTERNOS			CAMINOS INTERNOS		
CLASES DE CAMINOS					
CARACTERISTICAS	PLANO Y ONDULADO	MONTAÑOSO	MUY ACCIDENTADO	PLANO Y ONDULADO	ACCIDENTADO
VEL. DE DISEÑO EN KM/H	60	40	30	40	25
GRADO MAXIMO	11x00'	24x30'	44x00'	23x00'	57x00'
RADIO MINIMO (m)	105	47	26	50	20
ANCHO DE CORONA (m)	6	6	6	4	4
PENDIENTE MAXIMA (%)	8	9	10	5	5
CARGA PARA DISEÑO	HS-20	HS-20	HS-20	HS-10	HS-10
CARGA SUPERFICIAL DE RODAMIENTO	REVESTIDO	REVESTIDO	REVESTIDO	TRANSITABLE EN CUALQUIER EPOCA DEL AÑO	TRANSITABLE EN CUALQUIER EPOCA DEL AÑO

p) AREA DE EMERGENCIA

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

p.1) El área de emergencia será destinada para la recepción de los residuos municipales, cuando por situaciones climatológicas no permita la operación en el frente de trabajo, para facilitar la operación del relleno, además se deberá contar con lonas plásticas, residuos provenientes de demolición o del barrido de calles para cubrir los residuos

p.2) El área de emergencia deberá:

p.2.1) Estar ubicada en el área que presente las mejores condiciones para su operación

p.2.2) Que su capacidad sea suficiente para una operación ininterrumpida de 6 meses

p.2.3) Que exista material adecuado y en condiciones suficientes para cubrir diariamente los residuos

q) DRENAJE

q.1) Las obras de drenaje serán de tipo permanente y temporal

q.1.1) Las obras de drenaje permanentes se construirán en los límites del relleno que tienen como objeto la captación del escurrimiento de aguas arriba, los canales deberán revestirse con mortero: cemento-arena en proporción de 1:3 o mediante un sampeado de piedra junteada con mortero cemento-arena en proporción 1:5; la velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.60 m/seg ni mayor de 2.00 m/seg

q.1.2) Las obras de drenaje temporal deberán construirse mediante canales de sección triangular con taludes de 3:1, rellenos de grava de 3 cm de tamaño máximo para evitar socavones y captar las aguas pluviales para conducir las fuera del área de trabajo

q.1.3) Para los drenajes permanentes y temporales, el dimensionamiento de canales se deberá efectuar mediante la fórmula de Manning, obteniendo el gasto de diseño a partir del método racional americano o la fórmula de Burklieziegler

Formula del método racional americano:

$$Q=CiA/0.36$$

De donde:

Q= Gasto máximo expresado en l/seg

C= Coeficiente de escurrimiento

i= Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

A= Area por drenar expresado en ha

0.36= factor de conversión

Formula de Burklieziegler

$Q = 27.78 \text{ CiS} (1/4 A^{3/4})$

Donde:

Q= Gasto máximo expresado en l/seg

C= Coeficiente de escurrimiento (sin dimensiones)

i= Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr

S= Pendiente del terreno expresado en milésimas

A= Area por drenar expresado en ha

27.78= Factor de conversión

Estas obras de drenaje deberán diseñarse con capacidad para manejar caudales iguales o mayores al de una tormenta con periodo de retorno de 25 años

r) INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA

Las instalaciones de energía eléctrica deberán satisfacer las necesidades de iluminación y energía en señalamientos exteriores e interiores, requerimientos en oficinas e instalación de alumbrado en los frentes de trabajo

s) SEÑALAMIENTOS

Los señalamientos se dividirán en 3 géneros: informativos, preventivos y restrictivos, pudiendo ser de tipo móvil o fijo y deberán ajustarse a lo establecido en el "Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras", editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

t) SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION

t.1) El sistema de impermeabilización será utilizado para aquéllos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m de profundidad

t.2) El sistema de impermeabilización deberá diseñarse para toda la base del relleno y podrá ser de origen tanto natural como sintético o bien alguna combinación de estos, debiendo asegurar una permeabilidad mínima de 1×10^{-5} cm/seg. Se deberá demostrar que los materiales que integran dicho sistema no se deteriorarán ni perderán sus propiedades y ser resistentes a los esfuerzos físicos que

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

resulten del peso de los materiales y residuos que serán colocados sobre este sistema de impermeabilización

t.3) Los materiales de origen natural pueden ser importados o bien del mismo sitio y en ambos casos se deberá especificar el manejo o trato que deberá dárseles para reducir su permeabilidad a los límites establecidos o en su defecto se deberá demostrar que su espesor es capaz de absorber o atenuar la carga contaminante de los lixiviados, evitando su migración hacia los acuíferos

u) SISTEMAS DE CAPTACION Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

u.1) Deberá instalarse un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización

u.2) Los sistemas de captación de lixiviados deberán ser capas drenantes, ubicadas principalmente en la base del relleno y sobre cualquier capa superior donde se espere tener acumulación de líquidos y estar diseñados para conducir de la forma mas rápida posible el agua libre del relleno hasta cárcamos de colección. Estas capas drenantes podrán constituirse en forma de drenes (tuberías perforadas) o trinchera. Su pendiente mínima debe ser de 0.4% y su conductividad hidráulica de 1×10^{-5} m/seg para espesores de 0.3 m o bien una transmisibilidad hidráulica de 3×10^{-6} m²/seg para espesores menores

v) POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS

v.1) Los sistemas de monitoreo para lixiviados deberán contar por lo menos de 3 pozos de muestreo que se sitúen uno, en la dirección del flujo del agua subterránea a 500m antes de llegar al sitio del relleno sanitario; otro a 500 m aguas abajo del sitio y el último en el sitio del relleno

v.2) Los pozos que se ubican fuera del relleno sanitario deberán profundizarse a 2 m dentro del acuífero y el nivel o base del relleno

v.3) La construcción de los pozos de monitoreo para lixiviados deberán realizarse únicamente con materiales y técnicas que aseguren la no contaminación del acuífero y podrán ser de un diámetro mínimo, que permita la introducción y recuperación del sistema muestreador debiendo ser este último resistente a la corrosión

w) SISTEMA DE CAPTACION DE BIOGAS

w.1) Se deberán construir estructuras verticales de 60 a 100 cms de lado a manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con piedra, esta estructura se desplantará 30 cms abajo del fondo del relleno y en la

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

parte superior se cubre con una placa de concreto, dejando un tubo con cuello de ganso u otro sistema dependiendo de la cantidad generada de gas y el uso que se le de

w.2 se deberán instalar 2 pozos por hectárea de relleno

w.3 Independientemente del sistema de control que se use, el biogas que sea venteado o extraído, deberá ser quemado. El diseño de la instalación y del quemador deberá reunir las condiciones adecuadas para un óptimo funcionamiento

x) SISTEMA DE MONITOREO PARA BIOGAS

x.1 El sistema de monitoreo de biogas será utilizado para aquellos rellenos sanitarios que sean construidos en oquedades, barrancas, depresiones, zanjas, etc., o en el caso que exista el contacto directo de los residuos sólidos con paredes, en los cuales se pueda presentar la migración de biogas de forma horizontal

x.2 Los sistemas de monitoreo para identificar la migración de biogas estará integrado por pozos distribuidos a lo largo del perímetro del relleno sanitario

II. DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL SERVICIO DE DISPOSICION FINAL

II.1 Descripción de las características de la localidad, para valorar el dimensionamiento del servicio requerido

De acuerdo al estudio de generación de residuos sólidos domiciliarios realizado por la Dirección General de Manejo de Desechos Sólidos el año de 1997, se calculó que para ese año se generaban 1,625 toneladas en todo el estado de Morelos, de los cuales 680 correspondían a Cuernavaca y 223 a Cuautla. Así también, se estimó un incremento en la generación de residuos mayor al 250% de aumento en 5 años (de 1992 a 1997), que pasó de 80 ton diarias a 223, representando un incremento del 279%.

De acuerdo al anuario estadístico del INEGI 1998, la Cd de Cuautla contó con una población de 142,446 habitantes para mediados de 1997, misma que generaba según datos de la SEDAM, un promedio de 1.57 kg/hab/día es decir, 223.640 toneladas diarias, de las cuales 62.7323 correspondían a residuos orgánicos biodegradables, 126.2622 a residuos inorgánicos y 34.6455? a otro tipo.

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

Si bien el planteamiento inicial para la realización del proyecto se pensó en utilizarlo para alojar los residuos provenientes de otros tres municipios mas, se ha vislumbrado la posibilidad de que este se utilice solo para el municipio de Cuautla, esto en razón a los costos de inversión y al requerimiento de expansión territorial del mismo. En la tabla siguiente se presenta un resumen de los volúmenes supuestos calculados por la SEDAM y modificados por GPMA, S.C., de los desechos domiciliarios estimados sólo para el municipio de Cuautla. De este, y tomando en cuenta que el Municipio pretende adquirir solo 18 hectáreas de terreno, se evidencia la problemática de acumular los residuos de otras zonas.

TABLA II.1

AÑO	*PROMEDIO DIARIO DE DESECHOS GENERADOS EN TON.	DESECHOS GENERADOS AL AÑO EN TON.	TONELADAS ACUMULADAS	VOLUMEN ACUMULADO EN RELACION AL PESO VOLUMETRICO DE LOS DESECHOS
1999	261.50	95,447.50	95,447.50	127,263.33
2000	275.95	100,721.75	196,169.25	388,822.33
2001	291.22	106,295.30	302,464.55	792,108.40
2002	307.34	112,179.10	414,643.65	1,344,966.60
2003	324.35	118,387.75	533,031.40	2,055,675.13
2004	342.29	124,935.85	657,967.25	2,932,964.80
2005	361.24	131,852.60	789,819.85	3,986,057.93
2006	381.23	139,148.95	928,968.80	5,224,683.00
2007	402.32	146,846.80	1,075,815.60	6,659,103.80
2008	424.59	154,975.35	1,230,790.95	8,300,158.40
2009	448.08	163,549.20	1,394,340.15	10,159,276.60
2010	472.88	172,601.20	1,566,941.35	12,248,533.73

* Tomado del estudio de generación de desechos sólidos domiciliarios realizado por la Dirección General de Manejo de Desechos Sólidos el año de 1997.

En relación al volumen generado por los otros municipios, SEDAM los resume de la siguiente forma:

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

TABLA II.2

Localidad	Volumen de desechos diario generado por habitante (1997)	Numero de habitantes en 1997	Volumen diario generado	Volumen generado anual
Cuautla	1.5700 kg	142,446	223.640 ton.	81,628.68
Cd Ayala	1.000 kg	64,821	64.821 ton.	23,659.66
Tlayacapan	0.500 kg	11,864	5.9320 ton.	2,165.18
Yecapixtla	0.750 kg	33,578	25.1708 ton.	9,191.98
TOTAL	3.82 kg	252,709	319.5638 ton.	116,645.50

Si se toma en cuenta que el volumen efectivo (Ve) necesario para colocar los residuos, está en función de la aportación diaria (ad), el peso volumétrico compactado de estos (pvc) mas el volumen requerido de material de cubierta (20%) se establece la siguiente relación:

$$Ve=(ad/pvc)*1.2$$

Si la relación (ad/pvc) se iguala a Va, quedará la ecuación como $Ve=(Va)*1.2$

De esta forma, Va corresponde al volumen acumulado en relación al peso volumétrico de los residuos (Columna 5 de la tabla III.1), se tendrá por tanto:

TABLA II.3

AÑO	VOLUMEN ACUMULADO EN RELACION AL PESO VOLUMETRICO DE LOS RESIDUOS	VOLUMEN EFECTIVO PARA COLOCAR LOS RESIDUOS (Ve)	SUPERFICIE EN METROS REQUERIDA PARA EL DEPOSITO DE LOS RESIDUOS CON 9 METROS DE ESPESOR	SUPERFICIE EN METROS REQUERIDA PARA EL DEPOSITO DE LOS RESIDUOS CON 12 METROS DE ESPESOR
1999	127,263.33	152,715.996	16,969.55	12,727.1663
2000	388,822.33	466,586.796	51,842.977	38,882.23
2001	792,108.40	950,530.08	105,614.45	79,210.84
2002	1,344,966.60	1,613,959.92	179,328.88	134,496.66 (13.45 HAS)
2003	2,055,675.13	2,466,810.16	274,090.018	205,567.513 (20.55 HAS)
2004	2,932,964.80	3,519,557.76	391,061.97	293,296.48 (29.3 HAS)
2005	3,986,057.93	4,783,269.52	531,474.391	398,605.79 (39.87 HAS)
2006	5,224,683.00	6,269,619.60	696,624.4	522,468.3 (52.24 HAS)
2007	6,659,103.80	7,990,924.56	887,880.507	665,910.38 (66.59 HAS)
2008	8,300,158.40	9,960,190.08	1,106,687.79	830,015.84 (83 HAS)

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

2009	10,159,276.60	12,191,134.30	1,354,570.48	1,015,927.86 (101.59 HAS)
2010	12,248,533.73	14,698,240.50	1,633,137.83	1,224,853.38 (122 HAS)

Como podrá evaluarse en la tabla anterior, la capacidad volumétrica requerida para el primer año será de 1.27 hectáreas; para el segundo, de 3.88 hectáreas, incluyendo el anterior, lo que representaría una superficie adicional para el segundo año de 2.6 hectáreas (38,882.23-12,727.166). Para el tercero de 3.9 hectáreas ((79,210.84)-(38,882.233+12,727.166)) y así sucesivamente, implicando con ello, que el diseño de la primera celda podrá acumular exclusivamente los residuos generados durante el primer año, aumentando al nivel medio tres metros (12 metros de altura promedio). La segunda celda alcanzará su vida útil a mediados del segundo año, teniéndose que acondicionar la tercera celda para complementar el resto del segundo año. Lo anterior repercute en un problema importante de superficie a comprar extraordinaria, ya que de lo contrario, la vida útil del relleno será muy limitada.

II.1ª) Estudio de investigación para conocer la generación de residuos sólidos domiciliarios en la región Oriente, realizado por la Secretaría de Desarrollo Ambiental del Estado de Morelos

Al respecto, se presentarán los aspectos más relevantes del estudio realizado por la Secretaría de Desarrollo Ambiental del estado de Morelos (SEDAM) durante los años de 1997-1998:

Estudio socioeconómico

Objetivo: Determinar las características socioeconómicas del municipio de Cuautla, para conocer la influencia que las diversas actividades productivas y de población inciden en la generación de los residuos sólidos.

Población

El Municipio de Cuautla cuenta con una población de 142,446 habitantes (datos de 1997), lo que representa el 9.8738% sobre el total

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

de la población del Estado de Morelos, que es de 1, 442,662 habitantes. Su distribución es como sigue:

POBLACIÓN TOTAL POR SEXOS.

TOTAL	HOMBRE	MUJERES
142,446	68,702	73,744

Población económicamente activa

Nos sirve para determinar las características y el desarrollo económico de la localidad, la cuál es la actividad económica predominante y detectar las posibilidades de Desarrollo Económico.

Dentro del Municipio de Cuautla la Población Económicamente Activa es la siguiente:

TOTAL	HOMBRES	MUJERES
37,549	26,763	10,786

TOTAL POBLACIONAL.	SECTOR PRIMARIO	SECTOR SECUNDARIO	SECTOR Terciario
100%	14.1%	20.6%	63.0%

Nota: El Sector primario comprende la Agricultura, Silvicultura, Caza y Pesca; El Sector secundario comprende la Minería, Extracción de Petróleo y gas, Industrial, Manufacturera, Generación de Energía Eléctrica y Construcción; El Sector terciario comprende el Comercio.

II.2 Funcionamiento del servicio de limpia pública, operación y condiciones de la disposición final

II.2.a) Situación actual del servicio de limpia (basado en el estudio de investigación para conocer la generación de residuos sólidos domiciliarios en la región Oriente, realizada por la Secretaría de Desarrollo Ambiental del Estado de Morelos)

El municipio de Cuautla cuenta con un servicio de limpia manejado por el propio municipio, el cual se da a la tarea del barrido manual, recolección, transporte y disposición final. Sin embargo, cabe señalar

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

que dentro del municipio existen personas que prestan el servicio de recolección de forma particular sin contar con la autorización municipal, las cuales tiran en muchas ocasiones los desechos en lugares impropios como son terrenos baldíos, barrancas y carreteras existentes fuera del municipio.

A fin de reforzar la información de campo, se realizaron algunas encuestas a los habitantes del municipio, con la finalidad de conocer la opinión popular referente al servicio de limpia que se presta.

Generación

La generación de residuos sólidos se define como la acción de producir basura por unidad productora en determinado periodo de tiempo y está dada en kg./hab.-día o su equivalente.

Los residuos sólidos es el nombre técnico que se le da a la basura y es la unión de dos o más desperdicios que unidos entre sí producen hedor, contaminación y fauna nociva; son el resultado de las actividades que realiza el ser humano para su bienestar y subsistencia.

La generación de residuos sólidos municipales depende de varios factores, tales como nivel socioeconómico de la localidad, servicios, infraestructura industrial, comunicaciones etc. Los residuos sólidos municipales se dividen por fuente generadora en domiciliarios, comerciales, parques y jardines, áreas comunes, oficinas públicas, mercados, escuelas, centrales camioneras, entre otras.

La composición de los desechos depende particularmente de los siguientes factores:

- * Nivel de vida de la comunidad.
- * Mes, día de la semana.
- * Zona habitacional.
- * Costumbres y días festivos.

Así mismo, otro factor importante es el aumento o decremento del nivel de vida de la población, esto provoca un incremento de embalajes

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

de los productos, botes de plásticos, bolsas, papel y cartón, etc. Aunado a lo anterior, la rapidez con que los productos pasan a ser inservibles u obsoletos, trae como consecuencia el incremento de productos desechables.

El municipio de Cuautla, en coordinación con la Dirección General de Manejo de Desechos Sólidos de la Secretaría de Desarrollo Ambiental, llevó a cabo un estudio de generación de residuos sólidos municipales dentro de la cabecera municipal.

El estudio de generación comprende diversas etapas que se dividieron en visitas de campo, análisis de los planos urbanos, identificación de colonias por estratos y fuentes generadoras de residuos sólidos municipales (hoteles, mercados, comercios, terminales de autobuses, restaurantes, centros recreativos, oficinas públicas, etc.).

Alcances

El estudio de generación de residuos sólidos municipales en los centros urbanos, se determinó de acuerdo a las diversas fuentes generadoras que tienen influencia directa con la generación per capita total.

En este sentido, las principales fuentes generadoras de residuos sólidos municipales fueron:

- Casas habitación
- Parques y jardines
- Oficinas públicas y privadas
- Escuelas
- Comercios
- Mercados
- Central de abastos
- Hoteles y restaurantes
- Centrales camioneras
- Restaurantes
- Balnearios
- etc.

De acuerdo a las actividades de muestreo se obtuvieron los siguientes datos:

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

- Determinación de la generación diaria
- Peso volumétrico "IN SITU"
- Selección y Cuantificación de Subproductos

Marco normativo

El estudio de generación de desechos sólidos municipales debe contemplar lo establecido en las normas mexicanas que se han publicado para el efecto, indicadoras de los procedimientos para la elaboración de los trabajos de muestreo. Las principales normas utilizadas fueron:

NMX-AA-15-1985: Muestreo-Método de Cuarteo

NMX-AA-19-1985: Peso Volumétrico (IN SITU)

NMX-AA-22-1985: Selección y Cuantificación de Subproductos

NMX-AA-61-1985: Determinación de la generación

Equipo requerido

Para llevar a cabo el estudio de generación, es necesario contar con el equipo que se enlista en las normas correspondientes, facilitando el manejo de los desechos y la obtención de mejores resultados.

- Báscula de piso capacidad de 100 o 200 kg.
- Balanza granatoria con capacidad para 20 kg. y sensibilidad de 1 gr.
- Marcadores de tinta permanente color negro
- Bolsas de polietileno de 0.70 X 0.50 m calibre 200.
- Ligas de hule de 1.5 m de ancho
- Pintura de esmalte color amarillo
- Brochas de 0.025 m de ancho
- Guantes de carnaza
- Papelería y varios (lapiceros, lápices, gomas, sacapuntas, regla, paleta de madera, etc.)
- Tambos metálicos de forma cilíndrica con capacidad de 200 kg.
- Palas curvas
- Overoles
- Escobas
- Recogedores
- Botas de hule

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

- Mascarillas
- Criba M 2.00
- Bolsas de polietileno de 1.10 x 0.30 m calibre 200
- Bodega con techo y piso de cemento 4 x 4 m.

Resultados de la primer etapa

La primera etapa del estudio de generación comprende el muestreo del sector domiciliario, conformado por tres estratos socioeconómicos perfectamente definidos por la colonia Gabriel Tepepa para el estrato bajo, Pablo Torres Burgos estrato medio y Colonia Manantiales estrato alto, de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

Generación diaria de residuos domiciliarios

De acuerdo a las actividades de muestreo y después de haber realizado los cálculos de las estadísticas correspondientes se obtuvieron los siguientes datos.

Estrato alto (Col. Manantiales)	1.082 kg/hab.día
Estrato medio (Col. Pablo Torres Burgos)	0.549 kg/hab. Día
Estrato bajo (Col. Gabriel Tepepa)	0.688 kg/hab. Día
Promedio	0.773 kg/hab. Día

Los resultados enlistados anteriormente, muestran como es lógico una mayor generación en el estrato alto, sin embargo el estrato medio genera menos con respecto al estrato bajo, debido a que en este último, el peso de la generación estuvo influenciada por el tipo de residuos (muchas veces contenían tierra del barrido de patios y calles).

Peso volumétrico

Uno de los factores importantes en un muestreo es la obtención de los pesos volumétricos de los residuos sólidos con el objeto de determinar las características de los vehículos de recolección necesarios para eficientar el servicio de limpia, además de ser datos necesarios para el dimensionamiento del sitio de disposición final.

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

Como ya se menciona anteriormente, una vez obtenido el peso individual de cada muestra se procedió al mezclado homogéneo del volumen total de las muestras recolectadas con la finalidad de realizar el cuarteo correspondiente y poder determinar el peso volumétrico.

De esta actividad se obtuvieron los siguientes resultados, donde se muestra el peso de cada uno de los estratos.

Estrato alto (Col. Manantiales)	150.88 kg/m ³
Estrato medio (Col. Pablo Torres Burgos)	163.39 kg/m ³
Estrato bajo (Col. Gabriel Tepepa)	230.07 kg/m ³
Promedio	181.45 kg/m ³

De acuerdo a los resultados obtenidos, el peso volumétrico de los residuos sólidos generados por el estrato bajo es mayor con respecto a los otros estratos, lo cual se debe a las siguientes consideraciones:

- Mayor contenido de humedad, debido a que en este estrato se consume mayor cantidad de productos perecederos (verduras y frutas).
- Menor contenido de envolturas voluminosas debido al tipo de consumo desarrollado en este estrato.
- Mayor contenido de pañales desechables, lo anterior se debe a que en este estrato se tiene un alto índice de población infantil.
- Mezcla de los residuos sólidos generados con tierra producto del barrido de los patios y banquetas de la colonia, conformados generalmente de terracería.

Selección y cuantificación de subproductos

El último de los parámetros obtenido en las actividades del muestreo realizado, fue la determinación de los subproductos que conforman los residuos domiciliarios generados en la ciudad de Cuautla, para lo cual se realizó una selección detallada de estos subproductos.

Los subproductos determinados en el muestreo son en base a la lista que se solicita en la norma mexicana correspondiente, la cual tiene como finalidad determinar de una manera adecuado los diferentes

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

paramétros necesarios para implementar programas de tratamiento que disminuyan de manera considerable el volumen de residuos que se depositan en los sitios de disposición final a través de las estrategias de acopio y reciclamiento, así como producción de composta.

Subproducto	PORCENTAJES				
	Bajo	Medio	Alto	Suma	Promedio
Algodón	0.00	0.02	0.00	0.02	0.006
Cartón	2.63	3.63	4.62	10.88	3.627
Cuero	3.42	1.64	0.00	5.06	1.687
Residuo fino que pasa la criba 200	1.88	2.26	4.25	8.39	2.797
Envase de cartón encerado	1.74	0.93	0.92	3.59	1.197
Fibra dura vegetal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Fibras sintéticas	0.20	0.00	0.00	0.20	0.067
Hueso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Hule	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Lata	2.05	1.61	3.34	7.00	2.333
Loza y cerámica	0.17	0.00	0.45	0.62	0.207
Madera	0.00	0.25	0.00	0.25	0.083
Material de construcción	0.00	0.26	0.00	0.26	0.087
Material ferroso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Material no ferroso	0.01	0.00	0.24	0.25	0.083
Papel	3.13	4.22	6.24	13.59	4.530
Papel higiénico	4.82	8.29	5.93	19.04	6.347
Pañal desechable	6.08	3.20	3.76	13.04	4.346
Plástico película	5.27	6.71	4.47	16.45	5.483
Plástico rígido	5.00	5.03	4.02	14.05	4.683
Poliuretano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Poliestireno expandido	0.17	0.55	0.41	1.13	0.377
Residuos alimenticios	31.03	34.29	41.18	106.5	35.500
Residuos de jardinería	27.04	19.25	10.41	56.7	18.900
Trapo	1.53	2.92	2.06	6.51	2.170
Vidrio de color	0.00	0.49	0.29	0.78	0.260
Vidrio transparente	3.25	2.99	6.34	12.58	4.193
Otros	0.59	1.52	1.07	3.11	1.037
TOTAL	100	100	100	300	100.000

De la tabla anterior, se tiene que el porcentaje de materiales reciclables, residuos orgánicos susceptibles de ser utilizados para la producción de composta y residuos varios es el siguiente:

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

Subproductos reciclables	Porcentaje
Papel y cartón	8.16
Plástico	10.16
Vidrio	4.45
Metal	2.41
Subtotal	25.18
Materia orgánica	54.40
Otros	20.42
TOTAL	100.00

Segunda etapa: Centros de servicios y especiales

En la segunda etapa se realizó el muestreo en centros de servicios y especiales, como; Central Camionera "Pullman", Transportes Oro, Centro Vacacional "Los Limones", Centro Comercial "Lecaroz", Embotelladora "Pepsi" y Jardín de Niños "Marielena González", obteniéndose los siguientes resultados.

Generación percapita

Los resultados obtenidos en lo referente a la generación diaria de residuos se muestra a continuación; aclarando que los resultados de los mercados municipales, hoteles, restaurantes y central de abasto fueron obtenidos por el ayuntamiento municipal

(Servicios Públicos).

Camiones Pullman	0.07 kg/pasajero/día.
Transportes Oro	0.10 kg/pasajero/día.
Centro Vacacional "Los Limones"	0.28 kg/vacacionistas/día.
Centro Comercial "Lecaroz"	3.07 kg/empleado/día.
Embotelladora "Pepsi"	1.02 kg/trabajador/día.
Jardín de Niños	0.20 kg/docentes y alumnos/día.

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

Peso volumétrico

En lo referente a este parámetro, el peso de los residuos generados en los centros comerciales, vacacionales, transportes y de servicios es menor que el peso volumétrico de los residuos sólidos que son generados en las casas-habitación de la ciudad.

Sin embargo una excepción marcada es el peso volumétrico de los residuos generados por el Centro Comercial "Lecaroz", el cual se debe principalmente a que estos residuos están conformados principalmente por residuos propios de la materia prima en la elaboración de Pan, tales como cascara de huevo, masa, chantillí, restos de pan.

A continuación se muestran los diferentes pesos volumétricos obtenidos en estos estratos muestreados.

Camiones Pullman	47.04 kg/m ³
Transportes Oro	42.27 kg/m ³
Centro Vacacional "Los Limones"	55.90 kg/m ³
Centro Comercial "Lecaroz"	197.53 kg/m ³
Embotelladora "Pepsi"	58.57 kg/m ³
Jardín de Niños	33.08 kg/m ³

Selección y cuantificación de subproductos

Al igual que en las actividades de muestreo realizadas en las casas-habitación en esta segunda etapa se realizaron las actividades de selección y cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos, con la finalidad de conocer los datos cuantitativos y cualitativos.

En la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos en la realización de esta actividad.

ELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS

Subproducto	PORCENTAJES						Suma Total	Promedio
	Pullman	Oro	Limones	Jardín	Pepsi	Lecaroz		
Algodón	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Cartón	4.46	2.47	1.78	2.19	6.84	30.25	47.98	7.996
Cuero	0.29	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.117
Residuo fino que pasa la criba 200	3.58	3.20	0.00	0.00	0.72	0.16	7.66	1.277

Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla

Envase de cartón encerado	0.42	2.09	0.00	6.45	0.00	0.06	9.03	11.504
Fibra dura vegetal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Fibras sintéticas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Hueso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Hule	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	0.54	0.089
Lata	0.71	2.47	0.00	0.70	3.24	9.58	16.69	2.781
Loza y cerámica	00.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Madera	0.00	0.00	0.00	2.82	3.07	3.98	9.87	1.645
Material de construcción	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Material ferroso	0.35	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.192
Material no ferroso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Papel	24.16	10.94	1.47	8.05	26.30	20.90	91.83	15.304
Papel higiénico	15.25	6.51	2.17	3.88	3.04	0.00	30.85	5.142
Pañal desechable	2.68	2.15	0.00	0.00	0.00	0.00	4.84	0.806
Plástico película	6.09	6.08	0.81	3.10	49.97	2.01	68.05	11.341
Plástico rígido	12.70	13.12	4.67	5.52	2.11	1.45	39.57	6.596
Poliuretano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Poliestireno expandido	3.53	4.05	0.00	1.01	0.22	0.12	8.92	1.487
Residuos alimenticios	13.28	20.41	0.00	3.24	0.00	25.43	62.36	10.394
Residuos de jardinería	0.00	0.00	87.69	59.72	0.00	0.00	147.41	24.568
Trapo	3.00	4.62	0.00	0.00	0.19	0.00	7.81	1.302
Vidrio de color	0.79	1.97	0.00	0.00	0.00	2.82	5.58	0.930
Vidrio transparente	8.73	7.93	1.11	0.00	1.95	3.24	22.96	3.826
Otros	0.00	10.78	0.30	2.78	2.37	0.00	16.21	2.701
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	600.00	100.000

En términos de cuantificación de subproductos susceptibles de ser aprovechados tanto en la creación de centros de acopio y producción de compostas se tienen los siguientes resultados.

Subproducto	Porcentaje
Residuos reciclables	48.966
Papel y cartón	23.300
Plástico	17.937
Vidrio	4.756
Metal	2.973
Materia orgánica	34.962
Otros	16.072
TOTAL	100.000

1.6.4.4 Estadísticas

1.6.4.4.1 Estadísticas domiciliarias

Tomando en consideración la población total del municipio, la cual según el anuario estadístico de 1997 editado por el INEGI, asciende a un total de 142, 446 habitantes; distribuido en 66 Colonias existentes dentro del Municipio de Cuautla de los cuales el 15% se clasifican en el estrato alto, estrato medio 35% y bajo 50%. se tienen los siguientes resultados.

ESTRATO	GENERACIÓN Kg/hab/día	PORCENTAJE (Poblacional)	TOTAL Kg/estrato
Alto	1.082	0.15	23,119
Medio	0.549	0.35	27,371
Bajo	0.688	0.50	49,001
TOTAL			99491

De acuerdo a la tabla anterior, la generación de residuos sólidos domiciliarios en el municipio asciende 99.4910 toneladas por día.

Estadísticas de estratos de servicios y especiales.

Sector educación

En lo referente a los niveles de educación según el anuario estadístico dictado por INEGI se registro un número de alumnos registrados son de 44,302 y un total de personal docente de 2,051, siendo un total de 46,353.

CLASIFICACIÓN	No. PER./ALUM	GENERACIÓN	TOTAL Kg
Preescolar	4,838	0.20	967.60
Primaria	23,155	0.20	4631.00
Cap. para/ el Trabajo	1,952	0.20	390.40
Secundaria	9,355	0.20	1871.00
Profesional	518	0.20	103.60
Normal	546	0.20	109.20
Bachillerato	5,162	0.20	1032.40
Superior	827	0.20	165.40
TOTAL	46,353	0.20	9270.60

Hoteles y restaurantes

Lo referente a Hospedaje, Alimentos y Bebidas existen un total de 43 establecimientos de hospedaje temporal con un promedio de 149, 614 huéspedes anuales teniendo 410 huéspedes promedio diarios, generando 0.424 toneladas diarias y un total de 125 restaurantes con un promedio de 18,750 comensales, generando 15.937 toneladas diarias. Haciendo un total generado de 16.361 toneladas diarias.

No. DE ESTABLECIMIENTOS	No. DE HUÉSPEDES Y COMENSALES	GENERACIÓN Kg/HUÉSPED/COMENSAL/DÍA	TOTAL GENERADO (kg)
HOTELES			
43	410	1.035	424.248
RESTAURANTES			
125	18,750	.850	15,937.500
TOTAL			16,361.748

En lo referente a la generación de residuos sólidos en los Hoteles y Restaurantes en el municipio asciende a un total de 16.3617 Ton/día.

Mercados

Los mercados existentes en el municipio de Cuautla generan 93.9398 toneladas diarias, con un promedio de generación de 22.8954 Kg/puesto, clasificados de la siguiente forma:

MERCADOS	NÚMEROS DE PUESTOS	DE	GENERACIÓN kg/puesto/día
Mercado Cuautla		305	6983.0970
Mercado Galeana		593	13576.9722
Mercado Plan de Ayala		107	2449.8078
Centro Comercial		1,141	26123.6514
Mercado Torres Burgos		398	9112.3692
Plaza Solidaridad		1,162	26604.4548
Central de Abastos		146	3342.7284
Unión de Propietarios de Bodegas		251	5746.7454
TOTAL		4103	93939.8262

Centros comerciales

En el Municipio de Cuautla existen 4 centros comerciales de importancia los cuales generan un promedio de 3.07 kg/persona. día, lo que nos da un total de 2.8059 toneladas diarias de residuos sólidos no peligrosos.

CENTRO COMERCIAL	No. DE PERSONAS	TOTAL GEN. POR PERSONAS	TOTAL GEN. POR PERSONAS
C. COM. LECAROZ	104	3.07	319.28
C. COM. AURRERA	210	3.07	644.700
C. COM. MEXICANA (P. LOS ARCOS)	300	3.07	921.00
C. COM. MEXICANA (PLAZA FIESTA)	300	3.07	921.00
TOTAL	914	PROM 2.0994.	2805.98

Centrales camioneras

En lo referente a los servicios de transporte en el municipio, se obtuvieron los resultados de las siguientes centrales camionera.

CENTRALES	No. DE USUARIOS	GENERACIÓN KG/PASAJERO/DÍA	TOTAL GENERADO EN KG.
ORO	327	.0970	31.719
PULLMAN	408	.0656	26.765
ESTRELLA ROJA	10,138	.0813	824.220
CRISTÓBAL COLON	7,250	.0813	589.425

TOTAL	18123	PROM.	.0813	1,472.1288
-------	-------	-------	-------	------------

Los resultados obtenidos nos indican una generación promedio de 1.4721 toneladas por día de residuos sólidos en todas las centrales camioneras.

Centros recreativos

Cuatla también cuenta con Centros Recreativos (Balnearios) los cuales tienen una generación total de 0.3139 toneladas diarias.

BALNEARIOS	No. VACACIONISTAS	GENERACIÓN KG	TOTAL KG.
Los Limones	221	0.28	61.88
Agua Hedionda	300	0.28	84
El Almeal	250	0.28	70
Agua Linda	150	0.28	42
Las Tazas	200	0.28	56
TOTAL	1121	0.28	313.88

Generación total de residuos

El número total de toneladas generadas por día de residuos sólidos en el Municipio de Cuatla es de 223.6550 toneladas diarias las cuales son generadas de la siguiente forma.

• Estratos domiciliarios	99.4910
• Sector educativo	9.2706
• Hoteles y Restaurantes	16.3617
• Central de Abastos y Mercados	93.9398
• Centros Comerciales	2.8059
• Centrales Camioneras	1.4721
• Centros Vacacionales (Balnearios)	0.3139
TOTAL	223.6550

Cuantificación de subproductos generados diariamente

Estrato domiciliario

De las 99.4910 toneladas generadas diariamente por el estrato domiciliario se tienen los siguientes subproductos generados.

Tipo de desecho	Porcentaje	Total
Desecho reciclables	25.18	25.0518
Toneladas		
• Papel.		
• Cartón.		
• Vidrio.		
• Metal.		
• Plástico.		
Materia orgánica	54.40	54.1231 Toneladas
• Residuos Alimenticios.		
• Residuos de Jardín.		
Otros	20.42	20.3161 Toneladas

Estratos de Servicios y especiales (Excepto mercados)

De las 30.2242 toneladas por día generadas por los diferentes centros de servicios y especiales que fueron muestreados nos arrojan un total de subproductos de la siguiente forma:

Tipo de Desecho	Porcentaje	Total
Subproductos reciclables	48.966	14.7996
Toneladas.		
• Papel.		
• Cartón.		
• Vidrio.		
• Metal.		
• Plástico		
Materia orgánica	34.962	10.5670 Toneladas.
• Residuos Alimenticios.		
• Residuos de Jardín		
Otros	16.072	4.8576 Toneladas.

Mercados

De las 91.9400 toneladas de residuos generados diariamente por los mercados se tiene los siguientes resultados en la cuantificación de subproductos.

Tipo de Desechos	Porcentaje	Total
Subproductos reciclables 9.1940 Toneladas	10.000	
• Papel		
• Cartón		
• Vidrio		
• Metal		
• Plástico		
Materia orgánica	80.000	73.5520 Toneladas
• Residuos Alimenticios		
• Residuos de Jardín		
Otros	10.000	9.1940 Toneladas

Almacenamiento temporal

Se llama almacenamiento temporal de los residuos a la acción de poder retener por un tiempo determinado los residuos sólidos, hasta que pase el camión a realizar la recolección.

En el municipio de Cuautla, se cuenta con contenedores de 12 m³ de capacidad donde se almacenan los residuos que son recogidos durante las actividades de barrido manual, así mismo en los mercados municipales, central de abastos, bodegueros existen contenedores con las mismas características donde son depositados los residuos generados para posteriormente ser trasladados hacia el sitio de disposición final.

Por otro lado en las áreas públicas, como parques y jardines se cuenta con contenedores metálicos de 0.02 m³ de capacidad donde los transeúntes depositan sus desechos que son retirados posteriormente por las cuadrillas de barrido manual, (ver foto en anexo fotográfico). Debido a los problemas de pepena que se presentan en los contenedores que se ubican dentro de la zona urbana para el

almacenamiento temporal de los residuos sólidos generados por fuentes puntuales (central de abastos, mercados, oficinas), el municipio a decidido realizar la recolección de los residuos domiciliarios con una frecuencia generalizada de 3/7 en toda la cabecera municipal, por lo que esta etapa no se realiza con frecuencia dentro del municipio.

Barrido

Es el procedimiento del tipo manual o mecánico que sirve para retirar los residuos depositados en la vía pública y áreas comunes.

El tipo de residuos en las vías públicas son muy diversos, y estos varían de acuerdo al tipo de clima o temporada, al número de peatones; entre los principales componentes están: polvo, colillas de cigarros, envolturas, envases de plásticos, cartón, padecería de vidrio, periódicos, revistas, propaganda, etc.

Un factor importante por el cuál se realiza el aseo en las vías publicas es por la conservación de la salud de los habitantes, los desperdicios biodegradables, afectan considerablemente la salud pública, y es porque propicia la proliferación de fauna nociva entre los que podemos mencionar, las moscas, mosquitos, roedores y perros; los cuáles son portadores de enfermedades transmisibles a los habitantes.

Otro problema, el cual es característico en épocas de lluvias es la obstrucción de redes de alcantarillado y drenaje por la acumulación o vertimiento, arrastre de residuos sólidos en estos sistemas, los cuáles por lo general carecen de cribados o rejillas, y en los casos en donde existen son insuficientes.

Por lo anterior, los lugares en donde debe efectuarse el barrido son aquellos donde el publico o la comunidad tiene un acceso frecuente, como son; las vías de circulación peatonal, parques públicos, mercados, áreas de esparcimiento, ferias.

Con excepción de los arroyos, barrancas y el río Cuautla (los cuales entran en otro tipo de programas de saneamientos), el resto de los

sectores de la población, y en especial los de la afluencia peatonal es barrido por cuadrillas del personal de limpieza del municipio, con una eficiencia del 75%, siendo esta, el centro de la ciudad, las veces entre que las cuadrillas de limpieza realizan su trabajo depende de la cantidad de basura que debe ser retirada, por lo general es necesario realizar dos veces la limpieza, por estas cuadrillas las cuales trabajan en turnos matutinos y vespertinos.

El tipo de barrido manual, se realiza, principalmente en el primer cuadro del municipio por que nada mas cuenta con un contenedor destinado a esa área y no cuentan con centros de almacenajes ya mencionados anteriormente; además utilizan herramientas como son: los carritos de mano con uno o dos tambos de 200 Lts, recogedores, palas, y el escobillón (escoba extraída de arbusto).

Como existe un déficit considerables de carritos manuales, el Ayuntamiento también utiliza cuadrillas y un vehículo, con el cuál realiza barridos en los cuales el personal va haciendo montones en las cunetas, para que posteriormente el vehículo recolector, los recoja; este tipo de barrido tiene algunos inconvenientes debido a que esta expuesto a ser derramado por el trafico y en consecuencia volver a ensuciar.

Por ello que los servicios de limpieza de la ciudad, no podrán al cansar de manera eficaz sus metas si no se tiene la colaboración de la ciudadanía, de ahí la necesidad de implementar las campañas educativas dirigidas a la población en general, instancias educativas, grupos sociales, agrupaciones, comercios, áreas de servicios etc., campañas destinadas a sensibilizar a la comunidad en general con el fin de conseguir su concientización para mantener la ciudad limpia.

El barrido de las cuadrillas se lleva acabo en los camellones, cada tercer día, y en las vialidades se efectúan diariamente, con relación a las calles transversales no se le va ningún tipo de barrido ya que actualmente el municipio esta realizando campañas con la finalidad de mantener limpio el frente de su domicilio ó negocio.

A continuación se muestra un croquis del municipio de Cuautla en el cuál se muestra las calles en las cuáles se lleva acabo el barrido manual.

Para llevar acabo el barrido manual el municipio tiene a su cargo 19 personas las cuáles están divididas en dos turnos, como son: en el turno matutino existen 11 personas y para el turno vespertino cuenta con 8 personas, las cuáles recorren un total de 9'295 mts. Con su barrido el cuál se lleva acabo principalmente en las calles centrales a la ciudad, como se muestra en el croquis anterior.

Recolección

En el municipio de Cuautla, la etapa de recolección se realiza mediante dos técnicas; la primera es a través de camiones recolectores que realizan la recolección de los residuos domiciliarios con una frecuencia de tres veces por semana, utilizando para esta actividad el método de "parada fija".

El otro método de recolección es realizado mediante la utilización de "Contenedores", los cuáles tiene una capacidad de 20 m³, para lo cuál el servicio de limpia destina 8 unidades especiales, dotadas de equipo para cargar y descargar el contenedor, en determinados sitios estratégicos, dentro de la esfera municipal, estando ubicados en forma accesible tanto para el vehículo receptor como para la comunidad en general, este método es ideal para operar en lugares o centros de gran generación de basura, y como consecuencia exige que la recolección sea mas continua, ya que de lo contrario generaría focos de contaminación al tener grandes cantidades de basura almacenada, en lugares como:

- Mercados.
- Central de Abastos.
- Escuelas.

Los vehículos con que cuenta el departamento de servicios públicos del H. Ayuntamiento para llevar acabo el servicio de limpia son los siguientes:

UNIDAD	MARCA	MODELO	COMBUSTIBLE	CARACTERÍSTICAS
L-01	DINA	1990	140LTS diesel	Trae carrocería metálica de volteo capacidad 9 ton.
L-02	DODGE	1978	70LTS diarios por dos turnos	Trae carrocería metálica de volteo capacidad 9 ton.
L-03	DODGE	1978	70LTS diarios por dos turnos	De volteo capacidad de carga 9 Ton, trae carrocería metálica.
L-04	DODGE	1978	70LTS diarios por dos turnos	De volteo capacidad de carga 9 ton. trae carrocería metálica.
L-05	DINA	1982	140LTS diesel	De volteo capacidad de carga de 10 Ton, trae carrocería metálica.
L-06	DINA	1976	110LTS diesel	De volteo capacidad de carga 10 Ton. trae carrocería metálica.
L-07	FORD	1979	90LTS cada dos días	Camión compactador sistema hidráulico capacidad 9 Toneladas.
L-08	FORD	1978	90LTS cada dos días	Camión compactador sistema hidráulico tiene sistema hidráulico, capacidad 9 Toneladas.
L-09	FORD	1979	70LTS diarios por dos turnos	Cuenta con caja de cilindro tiene sistema hidráulico capacidad 9 Toneladas.
L-10	FORD	1978	70LTS diarios por dos turnos	Trae carrocería metálica de volteo, capacidad de carga 9 Toneladas.
L-11	CHEVROLE T	1988	90 Diarios por dos turnos	Cuenta con 14 contenedores de 2.50 x 2 m de ancho. 250X2 MTS. DE ANCHO
L-12	DODGE	1990	100LTS por semana (MA-VE)	Cuenta con 7 Contenedores de 250X2 MTS. DE ANCHO
M-01	CAMIÓN MERCEDEZ BENZ	1995	250 LTS por semana	Capacidad de carga 20 Toneladas trae un contenedor cuenta con 6 contenedores.

L-11	CAMIÓN MERCEDEZ BENZ	1995	250 por semana	Capacidad de carga 20 Toneladas trae un contenedor cuenta con 6 contenedores.
------	----------------------------	------	----------------	---

Transporte

El transporte es de suma importancia, ya que es indispensable para la recolección y traslado de los desechos sólidos generados dentro del Municipio.

Para la recolección de los residuos se lleva acabo a través de rutas diseñadas especialmente para realizar los recorridos en una forma más rápida y eficiente.

La distancia del recorrido que se lleva a cabo desde la zona de recolección hasta el tiradero Municipal es aproximadamente de 4 Km.

Tratamiento y reciclaje

El tratamiento de los residuos sólidos no peligrosos, es cualquier procedimiento al que se someten los residuos sólidos urbanos, mediante el cuál se modifican sus características fisicoquímicas y/o biológicas para aprovecharlos, estabilizarlos, reducir su volumen o facilitar su manejo y disposición final.

El Municipio de Cuautla no lleva acabo ningún tratamiento, ni reciclamiento dentro de su tiradero, el cual se hace a "cielo abierto".

Disposición final

La disposición final de los residuos sólidos es la etapa final de su ciclo; en el municipio de Cuautla esta etapa se lleva a cabo en un sitio ubicado al este de la cabecera municipal aproximadamente a 5 km del centro de la ciudad.

El sitio cuenta con una superficie aproximada de 2 hectáreas y se encuentra en las márgenes de la barranca "Los Guayabos", en suelos que presentan una permeabilidad aproximada de 1×10^{-3} cm/seg.

La zona donde se localiza actualmente el tiradero es utilizada con fines agrícolas de temporal con rendimientos medios, aunque en sus cercanías ya se encuentran influencias de asentamientos urbanos que limitan el buen funcionamiento de este tipo de obras.

Para la operación del tiradero el H. Ayuntamiento renta equipo pesado consistente en un tractor bulldócer D7H y un cargador frontal, que tienen como principal actividad el acomodo, acarreo, compactación y cubierta de los desechos sólidos que son depositados en este lugar.

El sitio cuenta con algún tipo de infraestructura, como una caseta de control y algunos pozos de venteo de biogás, sin embargo no se cuenta con infraestructura para la captación y tratamiento de los lixiviados, desvío de aguas pluviales, cercado perimetral y cubierta diaria.

Por otro lado, aunque se cuenta con caseta de control en el lugar no se lleva ningún control de acceso, por lo cual no se cuenta con datos para la obtención de estadísticas correspondientes al adecuado tratamiento y disposición final de los residuos.

Otro problema importante dentro del sitio que afecta su imagen operativa es la práctica de la pepena insalubre de subproductos reciclables que son acumulados en las áreas que no se encuentran operando y que la acumulación de subproductos afecta considerablemente su operación

II.2.b) Costo de operación del servicio de limpia

El servicio de limpia en el municipio de Cuautla al igual que en todos los municipios del Estado, representa grandes costos y es indispensable.

El H. Ayuntamiento de Cuautla gasta en el servicio de limpia un promedio de \$10,740.71 al día, para prestar un mejor servicio a la ciudadanía pero sobre todo para mantener un Municipio Limpio.

De acuerdo a los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Cuautla, el departamento de servicios públicos, encargado del servicio de limpia realiza diariamente actividades de barrido manual,

recolección de los residuos sólidos municipales, transporte y disposición final; para lo cuál destina para cumplir sus metas, los siguientes recursos económicos de \$251,834.60 mensuales (Anexo 6), los cuales se encuentran distribuidos en:

CONCEPTOS	COSTOS
Combustible	35,580.70
Mano de Obra	\$107,944.00
Lubricantes	10,596.20
Equipo Pesado	70,000.00
Mantenimiento y Reparación de vehículos.	27,713.70
TOTAL	251,834.60

Desglose de conceptos

Combustibles

El Departamento de Servicios Públicos, en el Anexo VII, proporcionó el consumo diario de combustibles de las unidades destinadas a la recolección de los residuos sólidos domiciliarios, la cual se eleva a \$105,967.50 mensualmente por concepto de combustibles, lo cual no concuerda con el concepto enlistado anteriormente (\$35,580.70).

Los combustibles mencionados anteriormente, son utilizados para prestar el servicio de recolección de residuos domiciliarios y su transporte al tiradero municipal localizado a 8 km aproximadamente del área de generación. Por lo que tomando el dato mencionado anteriormente, el costo total del servicio de limpia sería de \$322,221.10 mensuales, (TRESCIENTOS VEINTIDOS MIL DOSCIENTOS VEINTIÚN PESOS 10/100 M.N.).

Mano de obra

Por lo que se refiere a la mano de obra empleada para la prestación del servicio de limpia, se cuenta en el municipio con total de 124 empleados, clasificados de la siguiente forma:

- 1 Jefe de departamento
- 3 Secretarias
- 1 Empleado de confianza

26 Choferes
35 Macheteros
2 Vigilantes
56 Barrenderos

Equipo pesado

En cuanto al equipo pesado que es utilizado para realizar trabajos de acarreo, acomodo, compactación y cubierta de residuos sólidos en el tiradero municipal; además de actividades de excavación y movimiento de tierras, está conformado por un D7H y un cargador frontal 967.

Análisis financiero

De acuerdo a los resultados obtenidos durante el muestreo de generación de residuos sólido domiciliario realizado en la ciudad de Cuautla, donde se determino una generación diaria 223.655 toneladas por día, el costo por tonelada recolectada y dispuesta será el siguiente:

$$\text{Costo/ton} = (\$10,740.70) / 223.655 = \$ 48.023 / \text{Tonelada}$$

II.2.c) Costo del proyecto

c.1) Recursos económicos con los que cuenta el municipio

El costo total del proyecto durante toda su vida útil estimada en no menos de 10 años, según datos proporcionados por el H. Ayuntamiento Constitucional de Cuautla, Morelos, asciende a \$74'430,781.49 (setenta y cuatro millones, cuatrocientos treinta mil setecientos ochenta y un pesos 49/100 Mon. Nal). De esta cantidad, se cuenta con un total de \$8'097,166.50 (ocho millones, noventa y siete mil ciento sesenta y seis pesos 50/100 Mon. Nal.) Para la primera etapa, lo que incluye la compra del equipo pesado, estudios previos, construcción de la primera celda del relleno sanitario y costo del terreno. La participación Federal, estatal y municipal se acredita de la siguiente manera:

EJERCICIO PRESUPUESTAL	ORIGEN DE LOS RECURSOS			SUMA
CICLO	Federal (50%)	Estatal (5%)	Municipal (Crédito Banobras por 45%)	
Total	37'215,390.75		37'215,390.75	74'430,781.49
1998-1999	4'048,583.25	404,858.325	3'643,724.925	8'097,166.50

III. EVALUACION Y SELECCIÓN DE SITIOS PARA EL RELLENO SANITARIO

III.1 Sitios propuestos anteriormente

A principios de 1998, el H. Ayuntamiento de Cuautla propuso al Gobierno del Estado de Morelos y a la Dirección de Desarrollo Urbano, Obras y Servicios Públicos Municipales, la ubicación del relleno en un sitio conocido como Col. Agrícola Paulino Navarro, localizado en la periferia sur del municipio de Yecapixtla. Los resultados técnicos preliminares mostraron incomodidad a resultas de encontrarse al Noreste de Cuautla, en la zona conurbada a esta. Puesto que toda la región oriental de Cuautla se encuentra sobre materiales granulares (conglomerados) de permeabilidad media, se pensó en el peligro que podría existir a efecto de que algún lixiviado se infiltrase al acuífero y que por la dirección de flujo preferencial tendiente en la zona (sureste), afectase a los manantiales que surten a esta ciudad. De esta forma se buscaron otros sitios, entre otros, la del arroyo Los Papayos. Al igual que en el sitio anterior, los materiales detectados eran conglomerados de permeabilidad media, los cuales sustentan un sistema acuífero de gran potencial, cuya recarga principal proviene de la sierra del Chichinautzin y de los grandes estratovolcanes conocidos como Popocatépetl e Iztaccíhuatl. Para el caso, la profundidad del agua subterránea era menor de los 20 metros, aunado a la existencia de un arroyo cercano al sitio, de régimen intermitente pero con un potencial de escurrimiento en tiempos extraordinarios mayor al 1/2 m³/seg. Aunado a esto, las autoridades municipales vislumbraron problemas sociales y económicos muy altos, por lo que se desechó.

Otra propuesta más fue la de Hospital, denominada así por encontrarse el sitio a escasos 2 km al poniente de esta localidad, inmerso en una zona arcillosa de gran espesor. Los resultados técnicos mostraron la existencia de un sistema acuífero confinado por al menos 25 metros en su porción oriental, de arcillas plásticas; si bien impactaría el medio ambiente superficial, ya que en el se cultivaba sorgo y trigo de temporal, las condiciones hidrogeológicas eran propicias. De esta forma se realizaron 2 sondeos exploratorios a 20 metros y 4 pozos a cielo abierto, con lo cual se determinó que la arcilla encontrada, del tipo CL, presentaba una conductividad hidráulica cercana a 1×10^{-7} , ideal para las necesidades del proyecto. Lamentablemente cuando llegaron los trascabos para iniciar los trabajos de descapote, la población de Hospital manipulada por unos cuantos políticos locales, se manifestaron en contra de la obra, desechándose.

Se visitaron otros sitios más; la colonia Iztaccíhuatl fue uno de ellos sin embargo, la existencia de un pozo que extrae agua potable a escasos 200 metros de distancia del límite poniente del terreno, anuló el sitio. Por último, el lugar ubicado en Ampliación Sur Hermenegildo Galeana, fue a través de arreglos sustancialmente mas costosos pero menos conflictivos al de los sitios que le antecedieron, convenido para aceptarse para el relleno, consientes del incremento en costos que habría de inyectarse al sitio, para acondicionarlo y contrarrestar el impacto ambiental asociado a la obra. De igual forma, aun cuando se tuvo conciencia plena de la existencia de sitios técnicamente propicios al poniente de Cuautla (sierra calcáreo-terrígena), estos fueron desechados por las complicaciones político-sociales que implicaban.

A continuación se presenta un resumen de las consideraciones técnicas detectadas para los diversos sitios a utilizarse para la construcción del relleno. Para el caso, se tomó en cuenta la norma NOM-083-ECOL-1994, emitida por la entonces Secretaría Social complementada con la presentada por la SEDAM.

a) Sitio Col. Agrícola Paulino Navarro

Concepto		Calidad		Resultado
	Excelente 1.00	Buena 0.85	Regular 0.70	
Profundidad del manto freático	A mas de 30 m	Entre 10 y 30m de profundidad	Menor de 10m de profundidad	Excelente (1.00)
Zona de recarga	A una distancia mayor de un kilómetro y aguas abajo de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia entre 1 y 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia menor de 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a la zona de fracturación	A una distancia horizontal mayor de 100 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia entre 100 y 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia menor a 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	Excelente (1.00)
Litología	Roca metamórfica arcillosa, sedimentaria cementada o arcillosa y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas sin fracturar (impermeable)	Roca metamórfica en general, sedimentaria cementada o muy compactada y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas moderadamente fracturadas (semipermeable)	Material volcanoclástico, clástico y piroclástico sin consolidar, roca ígnea extrusiva vesicular y/ó fracturada (permeable)	Buena (0.85)
Características del suelo	$K=1 \times 10^{-5}$; capacidad de intercambio catiónico=30 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-4}$; capacidad de intercambio catiónico=15 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-3}$; capacidad de intercambio catiónico=menor a 15 meq/100 grs de suelo	No se sabe

Material para cobertura	Autosuficiente (100%)	Acarreo cercano (50%)	Acarreo lejano (25%)	Excelente (1.00)
Vida útil	Mayor de 10 años	5 a 10 años	Menor de 5 años	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a cuerpos de agua	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales	Cerca de corrientes superficiales	Regular (0.70)
Cercanía con la mancha urbana	De 3 a 12 km de la mancha urbana	Entre 1 y 3 km de la mancha urbana	Menor de 1 km y mayor de 12 km de la mancha urbana	Excelente (1.00)
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros	Regular (0.70)
Vías de acceso	Cercanas y pavimentadas	Cercanas y transitables	Lejanas y transitables	Buena (0.85)
Vientos dominantes	En sentido contrario de la mancha urbana	En ambos sentidos de la mancha urbana	En sentido de la mancha urbana	Regular (0.70)
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo	Excelente (1.00)

Calificación: 10.35

b) Sitio: Hospital

Concepto		Calidad		Resultado
	Excelente 1.00	Buena 0.85	Regular 0.70	
Profundidad del manto freático	A mas de 30 m	Entre 10 y 30m de profundidad	Menor de 10m de profundidad	Excelente (1.00)
Zona de recarga	A una distancia mayor de un kilómetro y	A una distancia entre 1 y 600 metros de la	A una distancia menor de 600 metros de la	Excelente (1.00)

	aguas abajo de la zona de recarga de acuíferos	zona de recarga de acuíferos	zona de recarga de acuíferos	
Ubicación con respecto a la zona de fracturación	A una distancia horizontal mayor de 100 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia entre 100 y 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia menor a 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	Excelente (1.00)
Litología	Roca metamórfica arcillosa, sedimentaria cementada o arcillosa y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas sin fracturar (impermeable)	Roca metamórfica en general, sedimentaria cementada o muy compactada y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas moderadamente fracturadas (semipermeable)	Material volcanoclástico, clástico y piroclástico sin consolidar, roca ígnea extrusiva vesicular y/ó fracturada (permeable)	Buena (0.85)
Características del suelo	$K=1 \times 10^{-5}$; capacidad de intercambio catiónico=30 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-4}$; capacidad de intercambio catiónico=15 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-3}$; capacidad de intercambio catiónico=menor a 15 meq/100 grs de suelo	No se sabe
Material para cobertura	Autosuficiente (100%)	Acarreo cercano (50%)	Acarreo lejano (25%)	Excelente (1.00)
Vida útil	Mayor de 10 años	5 a 10 años	Menor de 5 años	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a cuerpos de agua	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales	Cerca de corrientes superficiales	Regular (0.70)
Cercanía con la	De 3 a 12 km de	Entre 1 y 3 km	Menor de 1 km	Excelente (1.00)

mancha urbana	la mancha urbana	de la mancha urbana	y mayor de 12 km de la mancha urbana	
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros	Regular (0.70)
Vientos dominantes	En sentido contrario de la mancha urbana	En ambos sentidos de la mancha urbana	En sentido de la mancha urbana	Regular (0.70)
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo	Excelente (1.00)

Calificación: 11.10

c) Sitio Los Papayos

Concepto		Calidad		Resultado
	Excelente 1.00	Buena 0.85	Regular 0.70	
Profundidad del manto freático	A mas de 30 m	Entre 10 y 30m de profundidad	Menor de 10m de profundidad	Buena (0.85)
Zona de recarga	A una distancia mayor de un kilómetro y aguas abajo de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia entre 1 y 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia menor de 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a la zona de fracturación	A una distancia horizontal mayor de 100 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia entre 100 y 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia menor a 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	Excelente (1.00)
Litología	Roca	Roca	Material	Buena (0.85)

	metamórfica arcillosa, sedimentaria cementada o arcillosa y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas sin fracturar (impermeable)	metamórfica en general, sedimentaria cementada o muy compactada y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas moderadamente fracturadas (semipermeable)	volcanoclástico, clástico y piroclástico sin consolidar, roca ígnea extrusiva vesicular y/ó fracturada (permeable)	
Características del suelo	$K=1 \times 10^{-5}$; capacidad de intercambio catiónico=30 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-4}$; capacidad de intercambio catiónico=15 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-3}$; capacidad de intercambio catiónico=menor a 15 meq/100 grs de suelo	No se sabe; tentativamente Regular (0.70)
Material para cobertura	Autosuficiente (100%)	Acarreo cercano (50%)	Acarreo lejano (25%)	Regular (0.70)
Vida útil	Mayor de 10 años	5 a 10 años	Menor de 5 años	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a cuerpos de agua	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales	Cerca de corrientes superficiales	Regular (0.70)
Cercanía con la mancha urbana	De 3 a 12 km de la mancha urbana	Entre 1 y 3 km de la mancha urbana	Menor de 1 km y mayor de 12 km de la mancha urbana	Excelente (1.00)
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros	Regular (0.70)
Vientos dominantes	En sentido contrario de la mancha urbana	En ambos sentidos de la mancha urbana	En sentido de la mancha urbana	Buena (0.85)
Tenencia de la	Terreno propio	Terreno rentado	Terreno rentado	Buena (0.85)

tierra		a largo plazo	a corto plazo	
--------	--	---------------	---------------	--

Calificación: 10.20

d) Sitio: Huexca

Concepto		Calidad		Resultado
	Excelente 1.00	Buena 0.85	Regular 0.70	
Profundidad del manto freático	A mas de 30 m	Entre 10 y 30m de profundidad	Menor de 10m de profundidad	Buena (0.85)
Zona de recarga	A una distancia mayor de un kilómetro y aguas abajo de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia entre 1 y 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia menor de 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a la zona de fracturación	A una distancia horizontal mayor de 100 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia entre 100 y 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia menor a 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	Excelente (1.00)
Litología	Roca metamórfica arcillosa, sedimentaria cementada o arcillosa y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas sin fracturar (impermeable)	Roca metamórfica en general, sedimentaria cementada o muy compactada y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas moderadamente fracturadas (semipermeable)	Material volcanoclástico, clástico y piroclástico sin consolidar, roca ígnea extrusiva vesicular y/ó fracturada (permeable)	Buena (0.85)

Características del suelo	K=1x10 ⁻⁵ ; capacidad de intercambio catiónico=30 meq/100 grs de suelo	K=1x10 ⁻⁴ ; capacidad de intercambio catiónico=15 meq/100 grs de suelo	K=1x10 ⁻³ ; capacidad de intercambio catiónico=menor a 15 meq/100 grs de suelo	No se sabe; tentativamente regular (0.70)
Material para cobertura	Autosuficiente (100%)	Acarreo cercano (50%)	Acarreo lejano (25%)	Regular (0.70)
Vida útil	Mayor de 10 años	5 a 10 años	Menor de 5 años	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a cuerpos de agua	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales	Cerca de corrientes superficiales	Regular (0.70)
Cercanía con la mancha urbana	De 3 a 12 km de la mancha urbana	Entre 1 y 3 km de la mancha urbana	Menor de 1 km y mayor de 12 km de la mancha urbana	Excelente (1.00)
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros	Regular (0.70)
Vientos dominantes	En sentido contrario de la mancha urbana	En ambos sentidos de la mancha urbana	En sentido de la mancha urbana	Buena (0.85)
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo	Buena (0.85)

Calificación: 10.20

e) Sitio: Iztaccíhuatl

Concepto	Calidad			Resultado
	Excelente 1.00	Buena 0.85	Regular 0.70	
Profundidad del manto freático	A mas de 30 m	Entre 10 y 30m de profundidad	Menor de 10m de profundidad	Excelente (1.00)

Zona de recarga	A una distancia mayor de un kilómetro y aguas abajo de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia entre 1 y 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia menor de 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a la zona de fracturación	A una distancia horizontal mayor de 100 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia entre 100 y 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	A una distancia menor a 50 metros del límite de la zona de fracturación o falla geológica	Excelente (1.00)
Litología	Roca metamórfica arcillosa, sedimentaria cementada o arcillosa y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas sin fracturar (impermeable)	Roca metamórfica en general, sedimentaria cementada o muy compactada y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas moderadamente fracturadas (semipermeable)	Material volcanoclástico, clástico y piroclástico sin consolidar, roca ígnea extrusiva vesicular y/ó fracturada (permeable)	Buena (0.85)
Características del suelo	$K=1 \times 10^{-5}$; capacidad de intercambio catiónico=30 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-4}$; capacidad de intercambio catiónico=15 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-3}$; capacidad de intercambio catiónico=menor a 15 meq/100 grs de suelo	No se sabe; tentativamente regular (0.70)
Material para cobertura	Autosuficiente (100%)	Acarreo cercano (50%)	Acarreo lejano (25%)	Regular (0.70)
Vida útil	Mayor de 10 años	5 a 10 años	Menor de 5 años	Excelente (1.00)
Ubicación con	No hay	Lejano de	Cerca de	Regular (0.70)

respecto a cuerpos de agua	corrientes superficiales	corrientes superficiales	corrientes superficiales	
Cercanía con la mancha urbana	De 3 a 12 km de la mancha urbana	Entre 1 y 3 km de la mancha urbana	Menor de 1 km y mayor de 12 km de la mancha urbana	Regular (0.70)
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros	Regular (0.70)
Vientos dominantes	En sentido contrario de la mancha urbana	En ambos sentidos de la mancha urbana	En sentido de la mancha urbana	Regular (0.70)
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo	Buena (0.85)

Calificación: 10.05

e) Sitio: Hermenegildo Galeana Ampliación Sur

Concepto		Calidad		Resultado
	Excelente 1.00	Buena 0.85	Regular 0.70	
Profundidad del manto freático	A mas de 30 m	Entre 10 y 30m de profundidad	Menor de 10m de profundidad	Buena (0.85)
Zona de recarga	A una distancia mayor de un kilómetro y aguas abajo de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia entre 1 y 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	A una distancia menor de 600 metros de la zona de recarga de acuíferos	Excelente (1.00)
Ubicación con respecto a la zona de fracturación	A una distancia horizontal mayor de 100 metros del límite de la zona de	A una distancia entre 100 y 50 metros del límite de la zona de fracturación o	A una distancia menor a 50 metros del límite de la zona de fracturación o	Excelente (1.00)

	fracturación o falla geológica	falla geológica	falla geológica	
Litología	Roca metamórfica arcillosa, sedimentaria cementada o arcillosa y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas sin fracturar (impermeable)	Roca metamórfica en general, sedimentaria cementada o muy compactada y/ó roca ígnea intrusiva o extrusiva lávica, todas ellas moderadamente fracturadas	Material volcanoclástico, clástico y piroclástico sin consolidar, roca ígnea extrusiva vesicular y/ó fracturada (permeable)	Buena (0.85)
Características del suelo	$K=1 \times 10^{-5}$; capacidad de intercambio catiónico=30 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-4}$; capacidad de intercambio catiónico=15 meq/100 grs de suelo	$K=1 \times 10^{-3}$; capacidad de intercambio catiónico=menor a 15 meq/100 grs de suelo	Regular (0.70)
Material para cobertura	Autosuficiente (100%)	Acarreo cercano (50%)	Acarreo lejano (25%)	Buena (0.85)
Vida útil	Mayor de 10 años	5 a 10 años	Menor de 5 años	Buena (0.70)
Ubicación con respecto a cuerpos de agua	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales	Cerca de corrientes superficiales	Regular (0.70)
Cercanía con la mancha urbana	De 3 a 12 km de la mancha urbana	Entre 1 y 3 km de la mancha urbana	Menor de 1 km y mayor de 12 km de la mancha urbana	Buena (0.85)
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros	Regular (0.70)
Vientos dominantes	En sentido contrario de la	En ambos sentidos de la	En sentido de la mancha urbana	Buena (0.85)

	mancha urbana	mancha urbana		
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo	Excelente (1.00)

Calificación: 10.20

SITIO	SUSCEPTIBILIDAD DEL SITIO PARA UTILIZARSE COMO RELLENO SANITARIO
* Col. Agrícola Paulino Navarro	10.35
** Hospital	11.10
*** Los Papayos	10.20
*** Huexca	10.20
**** Iztaccíhuatl	10.05
Hermenegildo Galeana	10.20

Como puede notarse en la tabla anterior, el sitio de Hermenegildo Galeana es visto como uno de los menos adecuados para la ubicación del relleno sin embargo, es necesario añadir los siguientes comentarios:

- *Este sitio se encuentra al NE de Cuautla, lugar que en el sentido del flujo del agua subterránea queda a escasa distancia de los manantiales que surten a la ciudad de Cuautla. Para un caso extremo en que algún lixiviado llegase a migrar hasta el agua subterránea, por el gradiente hidráulico existente y la dirección del flujo del agua, podría afectar en poco tiempo a los aprovechamientos anteriormente mencionados, por ello se desechó.
- ** Este sitio fue abandonado por problemas sociales, aun cuando era el mas adecuado para utilizarse como depósito de residuos
- *** Estos lugares eran potencialmente problemáticos para la compra de los terrenos
- **** Existe un pozo de agua potable a escasos 200 metros de distancia del terreno, lo que podría provocar en algún momento la contaminación del agua extraída, en razón del radio de influencia generada cuando se explotara la obra.

IV. ESTUDIOS BASICOS Y ESTUDIOS PREVIOS AL DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

IV.1 Informe Hidrogeológico-Geotécnico

TEMA

- a) Antecedentes
- b) Objetivos del estudio
- c) Recopilación y análisis de la información-método de trabajo
- d) Localización y descripción del área de estudio
 - d.1) Localización Geográfica
 - d.2) Vías de comunicación
 - d.3) Clima
- e) Fisiografía
 - e.1) Hidrografía
 - e.2) Morfología
- f) Geología
 - f.1) Estratigrafía
- g) Geofísica
 - g.1) Introducción
 - g.2) Fundamentos básicos del método
 - g.3) Características del equipo empleado
 - g.4) Metodología
 - g.5) Interpretación de datos geofísicos
 - g.5.1) Interpretación cualitativa
- h) Hidrogeología
 - h.1) Unidades hidrogeológicas
 - h.2) Modelo de funcionamiento hidrogeológico
- i) Geotecnia
 - i.1) Estratigrafía
 - i.2) Ensayes de laboratorio
 - i.3) Análisis de estabilidad de taludes
 - i.4) Análisis de capacidad de carga
 - i.5) Análisis de asentamientos
 - i.6) Bancos de material

a) Antecedentes

El ser humano siempre se ha encontrado ante la disyuntiva de abastecerse de las necesidades primarias requeridas para su supervivencia. La lucha ante un ámbito que muchas veces le ha resultado hostil, le ha procurado un sentido de lucha basado en el entendimiento de su entorno. De esta forma, la explotación de los recursos ancestralmente utilizados ha mejorado pero también aumentado, ante el incremento paulatino en la densidad de la población. La falta de planeación en el aprovechamiento de los recursos naturales ha provocado a su vez, la sobreexplotación y contaminación de estos, por lo que algunos se están agotando, entre ellos el del agua. Superficialmente este líquido normalmente se encuentra contaminado por residuos industriales u orgánicos, lo que limita drásticamente su uso; subterráneamente, la lixiviación de la basura y de residuos tóxicos como son los pesticidas, ha provocado que los acuíferos cercanos a la superficie se encuentren frecuentemente contaminados, a efecto de no realizar obras que las contrarresten. Aunado a esto, la sobreexplotación del agua subterránea por medio de pozos profundos está sobrepasando constantemente la recarga por precipitación. Por todo esto, la exploración del agua subterránea se encuentra actualmente encaminada no tan solo a la detección de acuíferos, sino también a la cuantificación y cualificación de los mismos.

Cuautla, ciudad de arraigo histórico, social y económico, ha sido parte esencial de los eventos históricos que han afectado al país desde tiempos de la Independencia. De entre los acontecimientos históricos recordados está el sitio instaurado por Calleja a Morelos y sus principales lugartenientes, el cual incorporó al movimiento independentista un sentido de fortaleza, al ser transgredido el sitio. De igual forma, durante la época revolucionaria Cuautla fue renombrada por las actividades que ahí se llevaron a cabo: en 1911, el Ejército Libertador del Sur tomó Cuautla, localidad defendida por las fuerzas rurales; en 1919, el cadáver de Zapata fue llevado desde Chinameca a esta localidad, para así ser expuesto en la esquina del palacio municipal; ese mismo año, Cuautla se convirtió por segunda ocasión en capital del estado.

En cuanto a la actividad económica, Cuautla se ha desarrollado ampliamente en el cultivo de la caña de azúcar, siendo a partir del siglo XVI uno de los centros de mayor producción de ésta. La inversión instaurada por las órdenes religiosas, permitió la compra de tierras, fincas y construcción de haciendas como la de Hospital. Actualmente, las actividades preponderantes son la agricultura, floricultura, ganadería y el turismo. De la primera, la caña de azúcar, el arroz, sorgo, maíz, jitomate, tomate y las hortalizas. De la segunda, las plantas y flores de ornato y de la tercera, el ganado bovino, porcino, caprino y caballar.

A todo esto, el incremento demográfico a la que se ha visto envuelta la ciudad, ha conferido un importante aumento de la proliferación de residuos sólidos desde hace pocos años. Basta relacionar el aumento generado en solo 6 años: durante 1992, Cuautla desechaba cerca de 80 toneladas diarias, en 1997, 230 toneladas, lo que representó un incremento de más del 200 % para este lapso. De esta forma, y aun cuando el municipio ha pretendido controlar la generación de sitios de abandono de residuos, estos han proliferado, ocasionando con ello problemas de contaminación. Así, el gobierno municipal se ha visto en la necesidad de instaurar un sitio que reúna las condiciones técnicas necesarias para cuidar el medio ambiente, disminuyendo en una gran proporción el riesgo contaminante y con ello, utilizar en forma más aceptable los residuos generados del consumo humano. Para ello se requiere establecer el impacto que pueda ocasionarse al medio ambiente, entre los que se cuentan el aire, suelo y agua; dentro de los dos últimos conceptos, el presente estudio habrá de establecer las características técnicas del terreno para con ello establecer el diseño constructivo más apropiado de la obra, teniendo en cuenta que este, aún cuando no reúne las condiciones técnicas idóneas para su adecuación, los criterios de construcción deberán ser más estrictos a los que se establecieron en el sitio de El Hospital.

b) Objetivos del estudio

El estudio de Prospección Hidrogeológico-Geotécnica tiene los objetivos principales siguientes:

-
- a) Conocer el modelo de funcionamiento hidrogeológico de la zona de estudio
 - b) Definir las características mecánicas del terreno en estudio

c) Recopilación y análisis de la información-método de trabajo

Para alcanzar los objetivos antes señalados, el proyecto se programó de la siguiente manera: primeramente se recopiló información geológica e hidrogeológica tanto en la CNA de Morelos, preferentemente en relación a pruebas de aforo de pozos, cortes litológicos, REV's, análisis químicos de las aguas de las obras cercanas al predio, pruebas de bombeo y SEV's realizados en la periferia del mismo. Así también se consiguió la cartografía topográfica de la zona a escala 1:50,000 y se consultaron estudios hidrogeológicos previos realizados por compañías especializadas.

Durante la segunda etapa se realizó un recorrido de campo con el fin de conocer la geología de la zona, así como la presencia de aprovechamientos en y alrededor de la zona de estudio. Las obras identificadas se ubicaron por GPS (geoposicionador Garmin modelo 45) y se censaron.

La tercer etapa consistió en realizar 10 sondeos eléctricos verticales con aberturas de $AB/2=400m$, distribuidos en todo el terreno de estudio.

La cuarta etapa fue la de procesar y analizar toda la información recopilada y definir los sitios mas apropiados para la perforación de los pozos de índole geotécnico.

La quinta etapa consistió en el análisis de campo in situ con penetrómetro de bolsillo y torcómetro, para con ello evaluar la capacidad de carga y resistencia al corte respectivamente.

La sexta y última etapa fue la de procesar y analizar toda la información recopilada, definir las características hidrogeológico-geotécnicas del terreno y designar los diseños mas propicios para la obra en estudio.

d) Localización y descripción del área de estudio

d.1) Localización Geográfica y Extensión

La zona de estudio se encuentra al sur de Cuautla, en la colonia Ampliación Sur Hermenegildo Galeana (Ampliación Pedregosa). Su delimitación fue cartografiada por medio de geoposicionador, misma que comprende dos terrenos cuyo total suman 120,000 m² (ver figura no. 2.1), las coordenadas de las esquinas de la zona están definidas como sigue:

N18°46'57.7"; W98°55'06.5"

N18°46'59.2"; W98°55'15.3"

N18°47'07.1"; W98°54'54.8"

N18°47'11.3"; W98°55'02.8"

d.2) Vías de comunicación

El área de estudio se encuentra moderadamente comunicada, ya que cuenta con un camino de terracería que la comunica; para ello es necesario tomar la carretera federal no 160 que va a Izúcar de Matamoros y desviarse a la altura de fertilizantes Tikal, sobre un camino de terracería a través del cual se recorren 1,600 metros para llegar al sitio (ver figura 2.1).

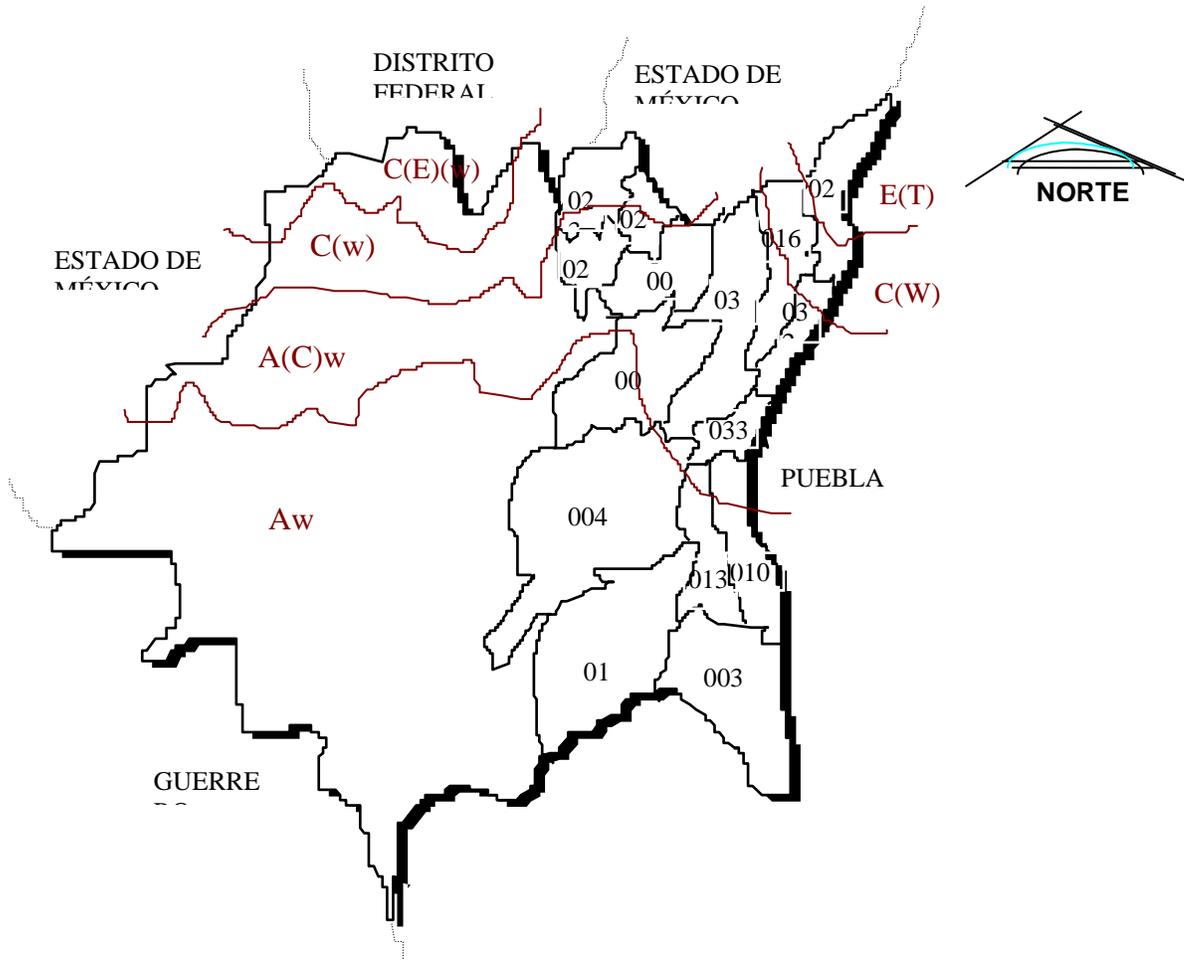
d.3) Clima

De acuerdo al sistema de clasificación climática de Koppen, modificada por Enriqueta García (1988), el clima detectado en la zona, con apoyo de la estación climatológica Cuautla no. 17-004 localizada al Sureste de la localidad, es cálido húmedo y subhúmedo semicálido, con temperatura media del mes mas frío mayor a 18° y relación P/T>55.3; el porcentaje de precipitación invernal respecto a la total anual menor a 5; la temperatura media anual varía entre 18° y 22°, siendo la temperatura del mes mas frío mayor de 18°C.

En la tabla d.1 se presenta un resumen basado en datos recopilados a lo largo de 42 años, datándose el promedio mensual anual de precipitación y temperatura en mm y °C. En la figura d.3, tomada del estudio de residuos domiciliarios de la SEDAM, se presenta en forma gráfica las variedades climáticas a nivel estatal.

Tabla d.3

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual	P/T	% P. Inv	Os c.	Clima
T	18.8	20.1	22.4	23.6	23.8	22.9	21.9	22.1	21.5	21.0	20.1	18.9	21.4	43.6	2.1	5.0	A(C)w1(w)igw
P	13.9	2.3	3.7	12.1	77.6	192.1	186.9	166.2	195.0	67.4	13.7	3.4	934.3				



SIMBOLOGIA

A _w	CÁLIDO SUBHUMEDO
A(C) _w	SEMICALIDO SUBHUMEDO
C(w)	TEMPLADO SUBHUMEDO
C(E)(w)	SEMI FRIO SUBHUMEDO
E(T)	FRIO

*Tomado del estudio de residuos domiciliarios de la SEDAM, 1997-1998

e) Fisiografía

El área de estudio se encuentra dentro de la subprovincia fisiográfica denominada como Cuenca Balsas-Mexcala, misma que pertenece a la Provincia conocida como Sierra Madre del Sur. Vecina de ésta, la provincia conocida como Cordillera Volcánica Transmexicana (C.V.T.) afecta en parte con sus productos el noreste de Cuautla.

La Sierra Madre del Sur está definida por una cadena montañosa con crestas generalmente uniformes y con picos o cumbres aisladas que delimitan a una serie de cuencas con depresiones centrales, drenadas por una gran cantidad de arroyos. Gran parte de la provincia está constituida por rocas metasedimentarias, cubiertas por depósitos continentales terciarios y marinos mesozoicos, así como por materiales volcánicos que cubren grandes extensiones con piroclastos.

La CVT en su caso, se inicia en la porción centro-oeste de la República Mexicana con gran actividad volcánica; en esta se encuentran mesetas de basalto, tobas y conos de composición media a básica, aflorando solo pequeños manchones de rocas sedimentarias dentro de la masa ígnea. El gran número de aparatos volcánicos formados han generado diversas sierras y cadenas montañosas, entre las cuales se encuentran valles intermontanos, llanuras y cuencas (como la de México), constituidos en gran parte por rellenos aluviales o lacustres que contienen gran variedad de rocas mezcladas con cenizas volcánicas (ver Fig. 3.4).

e.1) Hidrografía

El patrón de drenaje en la zona es de tipo subparalelo, con una densidad moderada y talwegs poco profundos. Los escurrimientos son en general de tipo intermitente, que han erosionado materiales granulares moderadamente permeables, ubicados en pendientes prolongadas de poca inclinación.

El sitio de estudio se encuentra entre dos barrancas una de las cuales presenta una profundidad de 14 metros y la otra, escaso 1 metro. La primera representa un volumen de escurrimiento en tiempos extraordinarios importante, pudiendo subir las aguas hasta 1.5 o 2 metros de altitud.

e.2) Morfología

El sitio se encuentra sobre una loma subredondeada con talwegs rectos de poca profundidad, producto del escurrimiento de arroyos de régimen intermitente; esta conformada por materiales volcanoclásticos bien compactados.

La expresión superficial de la región, se caracteriza por su marcado contraste de elevaciones, abruptas sierras con alturas desde 3200 m.s.n.m. (Sierra del Chichinautzin, Zempoala, Las Cruces, Tepozteco y volcanes como el Popocatepetl, hasta planicies y colinas onduladas de 900 m.s.n.m. por donde drenan sinuosos y extensos ríos, tales como Yautepec, Apatlaco y Cuautla entre otros, que fluyen de norte a sur, sobre las secuencias clásticas cuaternarias. Además, en la porción norte, la sierra del Chichinautzin se encuentra en una etapa de juventud, mismo que se inclina hacia su vertiente sur y, localmente, se interrumpe por promontorios de forma cónica (conos volcánicos), con un sistema hidrográfico de tipo radial en su área de influencia, aunque se presenta una red hidrográfica del tipo subparalelo, a mayor escala. Hacia el oriente de la zona se encuentra un área caracterizada por un sistema hidrográfico del tipo subparalelo y profundo, generando la presencia de profundas barrancas que drenan hacia el valle de Cuautla.

Por el contrario, en la Sierra Madre del Sur, la tectónica de los sedimentos cretácicos es bastante compleja. En general, predomina una serie de pliegues asimétricos, alargados, con los ejes orientados noreste - sureste; asimismo, se observan deformaciones tectónicas, enmarcando depresiones de valles angostos con topografía plana. Se supone que

aquellos tienen una correlación con los sinclinales sepultados por los depósitos del Terciario continental y Cuaternario antes mencionados.

f) Geología

La historia geológica de la zona de Cuautla y por ende, de la zona de estudio, está inmersa en una serie de acontecimientos que fueron generados por los diversos procesos orogénicos que se dieron lugar a lo largo del tiempo. De esta manera, coexisten tanto rocas ígneas como sedimentarias formadas en distintas épocas y medios ambientes de formación diferentes (ver figs. 3.2 y 3.3). Por ello, y teniendo como prerrogativa la importancia litoestratigráfica de las unidades existentes en la zona para correlacionarse con su permeabilidad, se indica a continuación la estratigrafía de la región:

f.1) Estratigrafía

PT Formación Tlayecac

Esta formación está constituida por material volcánico piroclástico y volcanoclástico proveniente del volcán Popocatepetl, compuesto por riodacitas, latitas y andesitas; el tamaño de los fragmentos varía desde un metro hasta escasos milímetros, normalmente bien compactados pero sin consolidación.

Esta formación descansa en forma discordante sobre las calizas de la Formación Morelos, sobreyaciéndole los depósitos clásticos continentales del Holoceno.

En el sitio de estudio pueden corroborarse una serie de clásticos subredondeados a subangulosos inmersos en una matriz areno-limosa, bien compactados pero sin consolidar.

Qal Aluvión

Con este termino se cartografió a los materiales existentes en las porciones bajas de la zona, los cuales incluyen arcillas, limos y arenas que cubren a los depósitos conglomeráticos de la formación Tlayecac (porción oriental del área cartografiada) o al Grupo Balsas al sur y poniente de la misma. En algunas de las zonas, se piensa que estos materiales descansan en forma directa sobre los depósitos arenosos y lutíticos de la Fm Mexcala.

En la zona de interés y sus alrededores se realizó una inspección Geológica con objeto de reconocer las unidades de roca que afloran en el área y establecer sus características litológicas. Para lograr dicho propósito se efectuaron una serie de caminamientos que cubrieron la totalidad del predio y sus alrededores. El primer caminamiento se realizó a lo largo del lecho del arroyo que se sitúa en el lindero oriental del predio, desde las proximidades de la carretera federal hasta unos 150 metros más allá de su intersección con la vía del tren. En este caminamiento se observaron varios afloramientos en ambos márgenes del arroyo, de los cuales se presenta a continuación la descripción del más representativo de ellos

Estación de inspección Geológica No. 1. Se presenta un afloramiento bien expuesto en la margen derecha del arroyo, en el se reconoce una secuencia de conglomerados dispuestos en pseudoestratos gruesos de 2.0 m aproximadamente de espesor, los cuales se presentan en posición subhorizontal. La formación presenta un color café grisáceo a la intemperie en tanto que al fresco muestra un color principalmente gris. La pared no indica fracturamiento alguno en el material, el cual se encuentra bien compactado. Consiste de un conglomerado con clastos derivados de rocas volcánicas principalmente de basalto y andesita, los cuales presentan diferentes tamaños, predominando los de 15 a 20 cm. Presenta de igual manera fragmentos de más de 80 cm, los cuales en general se encuentran subredondeados o redondeados. Lateralmente pueden presentarse subangulosos, a medida que se dirija hacia el noreste.

La unidad se encuentra en una matriz arenosa con poco limo. Puesto que en general se presenta bien compactada, la excavación con la ayuda de pico y pala es muy difícil.

g) Geofísica

g.1) Introducción

En general, la finalidad de la prospección geofísica, es la detección de estructuras a través del análisis de sus propiedades físico-químicas como son resistividad, densidad y magnetismo entre muchas mas; si bien el número de estas pueden ser muy variadas, los métodos desarrollados para estudiarlas son igualmente variados. De esta manera existen métodos eléctricos, gravimétricos, sísmicos, etc.

En la prospección hidrogeológica el método mas comúnmente utilizado ha sido el eléctrico, el cual ha probado sus bondades en la prospección de medios estratificados, especialmente horizontales. Este método ha sido ampliamente desarrollado, de tal manera que a partir de la emisión de corrientes eléctricas pueden evaluarse una o varias características de los materiales terrestres a través de distintas formas: Sondeos eléctricos verticales (SEV), Sondeos con polarización inducida (PI), Sondeos magnetotelúricos (SMT), Sondeos por frecuencia (SF), Sondeos por transitorio electromagnético (TEM), Seudosondeos electromagnéticos aéreos (PSEA), Calicatas electromagnéticas, aéreas y terrestres (CEMA) y Registros geofísicos de pozos (REV).

La pretensión del método eléctrico es la valoración de respuesta de los materiales al paso de una corriente eléctrica, misma que puede ser manipulada en el tiempo y ritmo de frecuencia de la onda. De esta forma, es posible encontrar arreglos usados dentro del método eléctrico que varían exclusivamente el ritmo de frecuencia (polarización inducida) y otros mas, el tiempo del mismo (Sondeos eléctricos verticales, sondeos Wenner, calicatas y dipolos), cuya diferencia dista en la forma del arreglo de los electrodos y por ende, del objetivo del estudio.

Todos los métodos eléctricos funcionan a raíz de la emisión de una corriente eléctrica a través de dos o mas electrodos puntiformes y de su recepción a través de otros dos electrodos adyacentes receptores del potencial inducido. Su arreglo es lo que marca la diferencia entre ellos, utilizándose para la prospección de agua subterránea los sondeos eléctricos verticales y los de polarización inducida, para la determinación de cavernas y contaminación las calicatas y los arreglos dipolares, para la prospección de tierras físicas el arreglo Wenner o el Lee, para la prospección minera los sondeos de polarización inducida o de bloques etc.

De entre los métodos mencionados se encuentra el sondeo eléctrico vertical, el cual ha probado su certidumbre en la prospección de agua subterránea. De entre estos se encuentran los arreglos denominados Schlumberger, Wenner y Lee, de los cuales el primero, es el que ha sido mayormente utilizado. El método parte del principio de que el agua es por naturaleza conductora de la electricidad, por lo que la humedad

contenida en los materiales alterará la respuesta al paso de una corriente eléctrica. Por supuesto, la conductividad y por ende, la resistencia de los materiales al paso de la corriente no solo dependerá de la humedad existente, sino de la compacidad, cementación, mineralogía, granulometría y fracturamiento que presenten estos. Por ello es de vital importancia la correlación hidrogeológica de los resultados, para con ello definir con una mayor certidumbre a los mismos. De esta manera y de acuerdo con los objetivos del estudio, se empleó un método geoelectrico de resistividad en la modalidad de sondeo eléctrico vertical (S.E.V.), utilizando un dispositivo tetraelectrónico tipo "Schlumberger". El número de sondeos se limitó a diez, distribuidos a lo largo del terreno (ver figura 3.6).

La ubicación de los sondeos se realizó por medio de geoposicionador marca Garmin modelo 45, cuyos datos están referenciados en la tabla no g.4). Las conclusiones obtenidas en éstos permitieron una penetración teórica promedio de 50m, ya que se utilizó una abertura interelectrónica de $AB/2= 150m$.

g.2) Fundamentos básicos del método

El modelo conceptual del S.E.V. se fundamenta en la distribución del potencial eléctrico en un medio homogéneo, cuando por medio de un generador y dos electrodos puntiformes anclados a la superficie del terreno, se induce un campo eléctrico en el subsuelo, cuyas líneas equipotenciales se van profundizando a medida que se separan los electrodos de corriente y se mide la resistividad en el terreno.

Consideremos el caso general de cuatro electrodos colocados arbitrariamente sobre la superficie plana de un semiespacio eléctricamente homogéneo e isótropo. Los electrodos de corriente se designan como A y B, los de potencial como M y N y ρ se designa a la resistividad del medio.

El potencial "V" a la distancia "r" de un electrodo único y puntual colocado en la superficie de un semiespacio uniforme es:

$$V= I/2 \times 3.1416r \text{ -----(1)}$$

Como los potenciales producidos por dos fuentes pueden sumarse algebraicamente, la diferencia de potencial que se observa entre M y N será:

$$V = IK/2 \times 3.1416 \text{ -----(2)}$$

donde $K = (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)$ al cual se le conoce como factor geométrico, dependiente del arreglo eléctrico utilizado.

Despejando de la ecuación (2) se obtiene:

$$a = K(V/I) \text{ -----(3) donde } K = 2 \times 3.1416 / K'$$

Por otra parte, si se utiliza el mismo dispositivo eléctrico para efectuar mediciones sobre un medio no homogéneo, la diferencia de potencial será diferente a la medida en un medio homogéneo. Sin embargo, podemos seguir utilizando la ecuación (3) y obtener con ella un valor "ficticio" de Rho a al que se denominará resistividad aparente. Este es el que se obtiene en campo y se grafica en papel Bilogarítmico en función del espaciamiento eléctrico de corriente $(AB/2)$, obteniendo con ello la curva de resistividad aparente de campo del S.E.V. (Ver gráficas en el anexo)

g.3) Características del equipo empleado

El equipo utilizado en la prospección geofísica fué:

Transmisor Scintrex TSQ-3 con una potencia de salida de hasta 3000 watts de potencia y corriente de salida máxima de 10 amperes.

Receptor Fluke

Supresor de potencial natural

Motor Scintrex de 8 H.P.

Como equipo complementario se utilizaron electrodos de cobre para AB y electrodos impolarizables para MN; cable de cobre acerado necesario para las conexiones, carretes móviles y herramienta accesoría.

g.4) Metodología

El levantamiento de campo se inició con el registro de datos para cada S.E.V. Posteriormente, se obtuvieron los valores de resistividad aparente en cada estación y se graficaron los valores de Rhoa en papel bilogarítmico (ver gráficas en el ANEXO).

En gabinete se procedió al procesamiento de la información de acuerdo con lo siguiente:

- a) Verificación de los valores de resistividad aparente para cada S.E.V.
- b) Análisis gráfico de las curvas de campo con objeto de suavizarlas y hacerlas continuas.
- c) Interpretación cuantitativa de cada S.E.V. por medios automáticos (Zohdy Inverse).

Localización SEV's

Tabla g.4

No	Ubicación	Observaciones
SEV 1	N18°46'57.7"; W98°55'06.5"	Ubicado en el extremo Sureste del terreno
SEV 2	N18°46'58.0"; W98°55'12.0"	Ubicado en el extremo centro sur del terreno
SEV 3	N18°46'59.2"; W98°55'15.3"	Ubicado en el extremo occidental sur del terreno
SEV 4	N18°47'09.2"; W98°55'10.1"	Ubicado en la porción centro-occidental del terreno, afuera del límite de las 12 hectáreas pero dentro de las 8 hectáreas restantes que piensan comprarse a futuro
SEV 5	N18°47'03.8"; W98°55'02.8"	Ubicado en la porción central del terreno, afuera del límite de las 12 hectáreas pero dentro de las 8 hectáreas restantes que piensan comprarse a futuro
SEV 6	N18°47'03.4"; W98°54'57.2"	Ubicado en la porción centro-oriental del terreno, afuera del límite de las 12 hectáreas pero dentro de las 8 hectáreas restantes que piensan comprarse a futuro
SEV 7	N18°47'07.1"; W98°54'54.8"	Ubicado en el extremo norte oriental del terreno, afuera del límite de las 12 hectáreas pero dentro de las 8 hectáreas restantes que piensan comprarse a futuro Ubicado en el límite central del terreno
SEV 8	N18°47'09.3"; W98°54'58.8"	Ubicado en el extremo norte central del terreno, afuera del límite de las 12 hectáreas pero dentro de las 8 hectáreas restantes que piensan comprarse a futuro Ubicado en el límite sur del terreno
SEV 9	N18°47'11.3"; W98°55'02.8"	Ubicado en el extremo norte occidental del terreno, afuera del límite de las 12 hectáreas pero dentro de las 8 hectáreas restantes que piensan comprarse a futuro
SEV 10	N18°47'14.0"; W98°54'23.1"	Realizado en el pozo Empleados Municipales como calibración

g.5) Interpretación de datos geofísicos

g.5.1) Interpretación cualitativa

El análisis gráfico de los diez S.E.V's conjugado con la información geológica del área, permitió diferenciar las unidades geoeléctricas siguientes:

U1. Unidad con resistividades entre 4 y 46 ohm-m; se relaciona con materiales de origen residual, los cuales se presentan tanto arcillosos (valores menores a los 10 ohm-m), como conglomeráticos, con fragmentos redondeados menores a los 10 cm de diámetro de roca volcánica en matriz limosa (valores entre 11 y 46 ohm-m)

U2. Unidad con resistividades mayores a los 36 ohm-m; se relaciona con material conglomerático cuyos valores mas altos deben corresponder a la existencia de fragmentos volcánicos de gran tamaño en matriz limosa y arenosa de origen piroclástico y los valores mas bajos, como se identifica casi en general en todos los sondeos a profundidad, a una preponderancia de los piroclastos sobre los fragmentos volcánicos que deben presentar tamaño reducido. En esta unidad debe encontrarse el agua subterránea, cuya profundidad varía en relación a la topografía sin embargo, podría establecerse un promedio de entre 18 o 20 metros en el extremo sur del terreno.

h) Hidrogeología

h.1) Censo de aprovechamientos

El censo realizado abarcó un área aproximada de 3 km² alrededor del terreno de estudio (ver figura 3.13), esto con la idea de conformar el modelo hidrogeológico de la zona con mayor certidumbre; los resultados de este indicaron lo siguiente:

La región de Cuautla es una zona rica en agua tanto superficial como subterránea, la cual proviene en su mayor parte de la recarga subterránea proveniente de la sierra volcánica existente al norte de Cuautla y que delimita a esta zona con la Cuenca de México. Tanto la Sierra de Zempoala al norte de Cuernavaca, como las Sierras del Chichinautzin, Popocatépetl e Iztaccíhuatl al norte y noreste de Cuautla, representan una enorme importancia para la existencia del agua subterránea en la zona. Los manantiales de la región, implican un

evidente desahogo del sistema acuífero, los cuales se manifiestan mayormente en las zonas centrales y meridionales a esta ciudad, debido ello a la aproximación del acuífero a la superficie.

Puesto que en sistemas acuíferos libres el gradiente hidráulico representa un porcentaje de la pendiente topográfica, resulta notorio que al existir un sistema acuífero que se interrelaciona desde Tepetlixpa y Atlatlahucan en el extremo septentrional de la región, hasta la zona de Cuautla al sur de ella, la profundidad del agua decrezca en proporción al desnivel topográfico, de tal forma que en el extremo norte se encuentra por los 500 y 550 metros de profundidad, variando a escasos 20 metros en la zona de Hermenegildo Galeana. o a 6 metros en la localidad de Niños Héroeos e incluso, que existan en la región una gran cantidad de manantiales que sean producto del acuífero.

De acuerdo al censo realizado, pudo corroborarse la evaluación realizada por estudios hidrogeológicos precedentes, mismos que indican un flujo subterráneo evidente hacia el SW. Puesto que se tomaron los niveles estáticos de las obras, se correlacionaron con sus alturas topográficas, determinándose una dirección de flujo preferencial en la dirección antes mencionada, además de notar un gradiente hidráulico cercano al 0.014, cercano a la mitad de la pendiente topográfica en la zona (0.027).

Las obras censadas se presentan a continuación, algunas de las cuales no pudieron medirse sus niveles en razón o a que estaban trabajando o a que estaban obstruidas.

Tabla h.1

NO OB RA	NO CNA	USO	UBICACIÓN	PTO en metros	NE en metros	ND en metros	Q en lps	Qe en lps/m	LITOLOGIA
1	CNA 537, La Trinchera	Potable	N18°49'19.5"; W98°55'42.4"	+ - 96	+ - 23		+ - 56		
2	Puxtla	Potable							
3	Iztaccíhua	Potable	N18°48'04.1	+ - 140	48.31		+ - 3		Material

	tl	le	"; W98°53'54. 0"						volcanosedime ntario consistente de conglomerados en matriz limo- arenosa, bien compactado
4	CNA 442, Col. Hermene gildo Galeana	Riego (ya no trabaj a)	N18°47'28.5 "; W98°55'01. 0"		NSPS				Material volcanosedime ntario consistente de conglomerados en matriz limo- arenosa, bien compactado
5	CNA 329, Col. Empleado Municipal	Potab le	N18°47'14.0 "; W98°54'23. 1"		27.18		+ - 7		Material volcanosedime ntario consistente de conglomerados en matriz limo- arenosa, bien compactado
6	Cementer io	Dom estico	N18°47'13.7 "; W98°54'12. 8"		NSPS				Material volcanosedime ntario consistente de conglomerados en matriz limo- arenosa, bien compactado
7	Niños Heroes	Potab le	N18°45'50.2 "; W98°57'51. 0"		+6		+ - 7		

h.2) Unidades Hidrogeológicas

Relacionando la información geológico-estructural de los materiales cartografiados con la geofísica realizada, pudieron definirse 2 unidades hidrogeológicas que se describen a continuación:

- a) UI. Unidad compuesta de arcillas, limos, arenas y gravillas de origen palustre, fluvial y residual, ligeramente compactados, de permeabilidad cualitativa alta; en superficie actúa como zona de

recarga del sistema acuífero existente en los materiales volcanoclásticos

- b) Ull. Unidad consistente de material volcánico piroclástico y volcanoclástico fuertemente compactado, en matriz arenosa y limosa, de permeabilidad cualitativa media. En superficie actúa como zona de recarga del sistema acuífero existente a profundidad en la misma unidad.

h.3) Modelo de funcionamiento Hidrogeológico

Las obras existentes en la zona son pozos profundos y manantiales; los primeros se han perforado en promedio entre los 100 metros, encontrándose el nivel del agua entre los 48 y 5 metros de profundidad, dependiendo de la altura topográfica en la que se encuentren.

Se evidencia un gradiente hidráulico para el sitio del relleno de 0.014, representando la mitad de la pendiente del terreno. El flujo del agua subterránea tiende hacia el SW, conformándose un sistema acuífero de tipo libre radicado en materiales volcanoclásticos de permeabilidad cualitativa media. Lateralmente, estos materiales gradúan a arenas, limos y arcillas al poniente, producto de las antiguas zonas palustres de la región. Al norte, reminiscencias de las coladas lávicas de basalto del Chichinautzin se hacen presentes por Calderón, a través de las cuales se descargan importantes volúmenes de agua de la sierra.

La mayor recarga del acuífero se genera por el flujo subterráneo proveniente de las Sierras de Chichinautzin, Popocatépetl e Iztaccíhuatl, aun cuando se piensa deban existir recargas provenientes de las sierras calcáreas del poniente y sur de Cuautla, lo que ocasiona la mezcla de aguas al sur de dicha localidad.

La descarga por su parte, se realiza a través de los manantiales y pozos existentes en la región.

i) GEOTECNIA

Con el objeto de conocer la estratigrafía detallada de los materiales que constituyen el subsuelo del sitio, así como sus propiedades índice y mecánicas, se desarrolló una campaña de trabajos de exploración y muestreo que pudiesen, dentro del presupuesto tan limitado que se dispuso, valorar las características mecánicas del sitio. Para ello se realizaron análisis de campo in situ con penetrómetro de bolsillo y torcómetro, para con ello evaluar la capacidad de carga y resistencia al corte respectivamente, así como recorridos de campo a detalle en las barrancas aledañas, una de las cuales logra taludes de 0.2 a 1 (margen meridional izquierda) con alturas de hasta 3 metros de profundidad. A esto se sumaron análisis de laboratorio del material natural (conglomerado) y de dos bancos de material susceptibles para usarse dentro del proceso constructivo del relleno. Así también trataron de realizarse dos sondeos con muestreador manual, el cual trae consigo un martinete con tubo partido para extracción de muestras inalteradas sin embargo, esto no fue posible debido a la fuerte compactación del material. Lo mencionado va en correspondencia con el martinete de 64 kg utilizado en forma normativa para evaluar el módulo de compactación del terreno, ya que para el sitio en estudio se agotaría el máximo número de golpes mediante el cual se determina la capacidad de carga de este.

i.1) Estratigrafía

Con base en los resultados obtenidos de los trabajos de campo, se elaboraron los perfiles estratigráficos siguientes:

PERFIL ESTRATIGRAFICO No 1

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION
0.00 a 0.45	Arcilla con arena fina, de consistencia firme y plasticidad media de color negro
0.45-1.2+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica de hasta 0.25m de diámetro, en matriz areno-limosa, bien compactado.
1.20 a 2.50+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica mayores a 0.25m de diámetro promedio, en matriz areno-limosa, bien compactado. Predomina la matriz en un porcentaje de hasta 60% aproximadamente.

PERFIL ESTRATIGRAFICO No. 2

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION
0.00 a 0.40	Arcilla con arena fina, de consistencia firme y plasticidad media de color negro
0.40-0.8+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica de hasta 0.25m de diámetro, en matriz areno-limosa, bien compactado.
0.80-2.30+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica mayores a 0.25m de diámetro promedio, en matriz areno-limosa, bien compactado. Predomina la matriz en un porcentaje de hasta 60% aproximadamente.

PERFIL ESTRATIGRAFICO No. 3

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION
0.00 a 0.40	Arcilla con arena fina, de consistencia firme y plasticidad media de color negro
0.40-2.00+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica mayores a 0.25m de diámetro promedio, en matriz areno-limosa, bien compactado. Predomina la matriz en un porcentaje de hasta 60% aproximadamente.

i.2) Ensayes de laboratorio

Los ensayos efectuados a las muestras obtenidas en la campaña de exploración y muestreo fueron enfocadas a determinar las características granulométricas, resistencia al corte y compactación, permeabilidad e intercambio catiónico presente en los materiales del terreno prospectado. Para ello se realizaron las siguientes pruebas:

- a) En campo, resistencia al corte con torcómetro de bolsillo y modulo de compactación con penetrómetro manual (ver equipo utilizado en el ANEXO)
- b) En laboratorio, granulometría, humedad, peso volumétrico, permeabilidad y capacidad de intercambio catiónico

i.3) Análisis de estabilidad de taludes

Modelo de falla:

De acuerdo con las observaciones Geológicas efectuadas en el predio y sus alrededores, se observa homogeneidad en la unidad litoestratigráfica, consistente de fragmentos subredondeados a redondeados de basalto y andesita, en matriz limo-arenosa, bien compactado pero sin cementar. No se observan fracturas ni deslizamientos provocados por la inconsistencia del material. De acuerdo a la correlación con la geofísica, se detecta a profundidad una disminución en la cantidad de fragmentos o boleos de gran tamaño, por un incremento de arenas, limos e incluso arcillas, basado esto en la respuesta geoelectrica de campo, especialmente en el límite noroeste y central del terreno, en donde se evidenció un incremento en la intensidad de corriente utilizada, característica normal de la presencia de material arcilloso, aun cuando las resistividades obtenidas no lo demostraran, esto a efecto de la existencia de fragmentos grandes que lo enmascaran.

No se identifica estratificación alguna sin embargo, es posible adecuar al modelo existente uno de tipo horizontal, lo que permite descartar al modelo de falla por planos predispuestos y sí en cambio asociarlo con el modelo de falla tipo circular (desconchamiento).

Tomando en cuenta las características que muestra el material (compactación intensa) le confieren al material propiedades muy

favorables desde el punto de vista mecánico es decir, un ángulo de fricción interna superior a los $\phi = 35^\circ$ y una cohesión superior a las 25 ton/ m², determinadas en campo mediante penetrómetro de bolsillo y torcómetro. Estas dos propiedades le imponen al macizo rocoso una alta resistencia a la compresión así como al esfuerzo cortante, lo cual se traduce en una alta capacidad de carga así como un ángulo de reposo muy grande (vertical) a los taludes.

El análisis de estabilidad de taludes se realizó bajo las siguientes características de excavación:

- Taludes con altura máxima de 15 metros.
- Inclinación vertical (para maximizar el volumen de la celda de confinamiento).
- Los taludes presenten una longitud infinita.

El método utilizado, de las dovelas, considera que la falla se produce al pie del talud.

Las características físicas del material con las especificaciones anteriormente citadas indican:

- Cohesión $c = 25 \text{ ton/m}^2$
- Ángulo de fricción interna $\phi = 35^\circ$
- Peso volumétrico natural $\gamma_{\text{nat.}} = 2.1 \text{ ton/m}^3$

FACTOR DE SEGURIDAD CONSIDERANDO FALLA POR ARRIBA DEL PIE DE TALUD

$$C = 25 \text{ ton/m}^2; g = 2.1 \text{ ton/m}^3; F = 35^\circ, 0.6108652 \text{ RADIANES}$$

DOVE LA	AREA	PESO	q	RADIANES	SEN q	COS q	WSEN q	WCOS q	DLi
1	3.75	7.88	70	1.22173	0.9397	0.3420	7.4001	2.6934	5.40
2	13.00	27.30	58	1.01229	0.8480	0.5299	23.1517	14.4668	3.70
3	18.00	37.80	46	0.80285	0.7193	0.6947	27.1910	26.2581	3.10
4	22.00	46.20	38	0.66323	0.6157	0.7880	28.4436	36.4061	2.70
5	25.00	52.50	30	0.52360	0.5000	0.8660	26.2500	45.4663	2.40
6	27.00	56.70	26	0.45379	0.4384	0.8988	24.8556	50.9616	2.30

sn	stan	Si	SiLi
0.4988	0.3492	25.3492	136.8859
3.9099	2.7378	27.7378	102.6298
8.4704	5.9310	30.9310	95.8861
13.4837	9.4414	34.4414	92.9918
18.9443	13.2649	38.2649	91.8359
22.1572	15.5147	40.5147	93.1837
		F. RES=	613.4132

FS= 4.4679

i.4) Análisis de capacidad de carga

El análisis de capacidad de carga se realizó utilizando la teoría de Meyerhof, para cimentaciones superficiales mediante la siguiente ecuación:

$$Q_c = 1/3 (c N_c + \gamma_m D_f N_q + 1/2 \gamma_m B N_\gamma)$$

Donde:

Q_c = capacidad de carga (ton/ m²).

C = cohesión del material (ton/ m²).

γ_m = peso volumétrico del material (ton/ m³).

D_f = profundidad de desplante (m).

B = ancho del cimiento (m).

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga.

1/3 = factor de seguridad.

Sustituyendo los valores en la ecuación y resolviéndola se obtiene:

$$Q_c = 750.00 \text{ ton/m}^2$$

Para suelos cohesivos, Karl Terzaghi ideó el cálculo siguiente:

$$q_{adm} = CN_c/F.S. + \gamma D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma$$

En donde:

q_{adm}	=	Capacidad de carga admisible (Ton/m ²)
C	=	Cohesión del material (Ton/m ²)
γ	=	Peso volumétrico del suelo (Ton/m ³)
D_f	=	Profundidad de desplante (m)
B	=	Ancho del cimiento (m)
N_c, N_q y N_γ	=	Son factores adimensionales que dependen del ángulo de fricción interna del suelo de cimentación.
$F.S.$	=	Factor de seguridad = 3

i.5) Análisis de asentamientos

Para conocer la distribución de esfuerzos que se presentará por la carga que transmitirá el relleno en el subsuelo, se utilizó la teoría de Boussinesq; de esta manera se calculó el incremento de presiones y empleando la teoría de la consolidación se determinó la magnitud de los asentamientos mediante la siguiente expresión:

$$H = (Re/1 + e_0) H$$

Donde:

H	=	Magnitud de los asentamientos (cm)
Re	=	Variación de la relación de vacíos
e_0	=	Relación de vacíos inicial
H	=	Espesor del estrato (cm)

El análisis de asentamientos se desarrolló considerando una área uniformemente cargada con alturas de relleno de 5.0 y 9.0 m, las cuales nos dan las presiones de contacto de 6.5 y 11.8 Ton/m² respectivamente; los asentamientos se habrán de dar uniformemente debido ello a la homogeneidad del terreno

ALTURA DE RELLENO	PRESIÓN DE CONTACTO	ASENTAMIENTO
m	Ton/m ²	Cm
5.0	6.50	30.0
9.0	11.80	24.0

i.6) Bancos de material

En relación a estos, se tienen dos que bien pueden ser usados para la impermeabilización del relleno sanitario, como parte del diseño global del mismo. El primero se encuentra al poniente de Hospital, en la porción baja de la sierra calcárea; en esta se encuentran arcillas plásticas tipo CH y CL muy propicias para la impermeabilización del terreno, detectándose espesores mayores a 20 metros en la zona en donde se forma un pliegue sinclinal (ver figura 3.20).

El otro sitio se encuentra en la periferia poniente de Cuautla, en donde se detectan materiales arcillo-limosos menormente propicios que el anterior, pero propicios para usarse como complemento de cubierta de las celdas diarias o en su defecto, para la impermeabilización del relleno.

Las características de las arcillas que componen el primer sitio (Hospital) se presentan a continuación, basadas estas en los trabajos realizados anteriormente en el sitio:

SONDEO MIXTO N° 1

PROF.	SUCS	CLASIFICACIÓN
0.00 a 1.80	CH	Arcilla poco arenosa, de consistencia muy blanda a muy firme, (0<N<32), con un contenido de agua (w) de 39 a 41%, límite líquido (LL) de 74.20% y un límite plástico (LP) de 31.91%; con un porcentaje de arena de 18.85 a 21.56%, color gris claro.
1.80 a 4.20	CH	Arcilla de alta plasticidad, de consistencia dura, (30<N<50), con un contenido de agua (w) de 39.25 a 52.21%, límite líquido (LL) de 60.0 a 77.00%, y un límite plástico (LP) de 30.79 a 31.48%; con un porcentaje de arena de 2.03 a 19.18%, color gris claro.
		Arcilla de baja plasticidad, de consistencia muy firme,

4.20 a 7.20	CL	(15<N<28), con un contenido de agua (w) de 19.92 a 69.30%, límite líquido (LL) de 46.20%, límite plástico (LP) de 20.56%, y un porcentaje de arena de 1.05 a 24.19%, color gris claro.
7.20 a 11.40	CL	Arcilla limosa de baja plasticidad, de consistencia dura, (N>50), con poca arena fina, con un contenido de agua (w) de 2.58 a 36.10%, límite líquido (LL) de 38.50%, límite plástico (LP) de 24.14%; porcentaje de arena de 0.32 a 23.35%, color café claro y gris verdoso
11.40 a 16.20	ML	Limo arcilloso de baja plasticidad, de consistencia dura, (N>50), con arena fina, contenido de agua (w) de 9.62%, límite líquido (LL) de 27.80%, límite plástico (LP) de 11.48%; porcentaje de arena de 1.32 a 26.49%, color café y café parduzco
16.20 a 20.00	ML	Limo de baja plasticidad, de consistencia dura, (N>50), con poca arena fina, contenido de agua (w) de 15.25 a 16.93%, porcentaje de arena de 0 a 8.45%, color gris claro y gris aperlado

SONDEO MIXTO No. 2

PROFUNDIDAD (m)	SUCS	CLASIFICACIÓN
0.00 a 5.00	CH	Arcilla de alta plasticidad, con arena fina de consistencia firme a dura, (8<N<37), con contenido de agua (w) de 29.01 a 44.01%, límite líquido (LL) de 102.0%, límite plástico (LP) de 38.46% porcentaje de arena de 1.63 a 13.0%, color gris claro
5.00 a 8.21	CH	Arcilla arenosa de plasticidad media a alta, de consistencia dura (N>50), contenido de agua (w) de 18.08 a 33.22%, límite líquido (LL) de 54 a 60%, límite plástico (LP) de 23.05 a 25.11% y porcentaje de arena de 1.76 a 36.66%, color gris claro
8.21 a 8.75	SP	Suelo residual producto de la intemperización de la roca caliza existente, arena mal graduada muy compacta (N>50) contenido de agua (w) de 18.08 a 19.72%, y porcentaje de finos de 23.16 a 47.62%.
8.75 a 13.20		Roca caliza fracturada de color café claro

De las materiales detectados en ambos sondeos, existen al menos 300,000 m³ para uso del relleno como material impermeabilizante secundario. Esto representa cerca de 366,000 toneladas, tomando en consideración que el peso volumétrico de la arcilla seca ronda por los 1.22 ton/m³.

IV.2 Uso del suelo

El terreno detenta un uso agrícola de temporal, siendo el sorgo y maíz los cultivos principales. El período normal de barbecho comienza en marzo y de cosecha en septiembre. La capa de suelo es limo-arcillosa, cuyo espesor promedio es de 40 cm.

V. VINCULACION DE NORMAS Y REGLAMENTOS ACERCA DEL USO DEL SUELO

De igual manera que en el capítulo II, se presenta a continuación parte del estudio realizado por la Secretaría de Desarrollo Ambiental para el Municipio de Cuautla, dentro del cual se mencionan las normas y reglamentos estipulados para el uso de suelo:

V.1) Generalidades

“En las últimas décadas, el problema de la explosión demográfica y el desarrollo tecnológico de todo el país ha estimulado un cambio en los hábitos de consumo de la población, incidiendo en la generación de grandes cantidades de residuos sólidos, en los centros poblacionales, rebasando la capacidad de la naturaleza para neutralizar los problemas de contaminación ambiental que se asocian con la disposición final de los mismos, siendo esta última la etapa final del proceso de manejo de los residuos sólidos y que se presenta generalmente en cualquier ciudad. En lo que respecta a esta última etapa del proceso de los residuos sólidos, el manejo de los mismos adquiere una relevancia aún mayor, dada su incidencia directa en la salud de la población y en los diferentes elementos del ambiente (aire, agua, suelo), incluyendo los problemas de queja pública y del deterioro de la estética, cuando no se cumple con los requerimientos que permitan controlarlos adecuadamente”.

Continúa: “En el estado de Morelos esta etapa representa un grave problema, ya que actualmente existe en cada municipio un tiradero a cielo abierto de residuos sólidos domiciliarios, que generalmente esta siendo ocupado únicamente por la cabecera municipal; además de aquellos tiraderos clandestinos que van surgiendo por la falta de cobertura del servicio de limpia de las colonias marginadas o por la falta de parque vehicular que cumpla con el servicio municipal en un

Dichos desechos se deben depositar en el correspondiente relleno sanitario regional y autorizado por la Secretaría.”

En cuanto a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, editado por la Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, menciona, “mediante el diario oficial de la Federación de fecha 28 de enero de 1988. (Anexo I), la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Morelos, publicado en el Periódico Oficial Tierra y Libertad con fecha 9 de Agosto de 1989 (Anexo II), el Reglamento de la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Morelos en Material de Residuos Sólidos Municipales y Especiales (Industriales no Tóxicos), publicada en el periódico oficial del gobierno del Estado de Morelos con fecha 7 de Mayo de 1997. (Anexo III), la 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. Publicado en el diario oficial de federación con fecha lunes 25 de Noviembre de 1996. (Anexo IV) y el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-084-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y construcción de sus obras complementarias, se analizaron los artículos referentes a la contaminación del suelo por efecto de residuos sólidos no peligrosos, resumiendo lo siguiente:

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE, CAPITULO IV, PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Artículo 134. Para la prevención y control de la contaminación del suelo se consideran los siguientes criterios:

- a) Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos.
- b) Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su rehuso y reciclaje, así como, regular su manejo disposición final eficiente.

Artículo 135.- Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se considerarán en los siguientes casos.

- a) La operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios.
- b) La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.

Artículo 136.- Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar.

- a) La contaminación del suelo
- b) Las alteraciones nocivas en el proceso biológico del suelo
- c) Las alteraciones en el suelo que alteren su aprovechamiento, uso o explotación.
- d) Riesgos y problemas de salud

Artículo 137.- Queda sujeto a la autorización de los Municipios, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, rechazo, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales. La secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.

Artículo 138.- La secretaría promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para:

- a) La implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.
- b) La identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadores.

LEY DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE DEL ESTADO DE MORELOS, CAPITULO VIII; MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS.

Artículo 72.- Queda sujeto a la autorización del Gobierno del Estado y de los municipios, con arreglo a las disposiciones que para tal efecto es

expidan, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, recuperación, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, ya sean operados por los propios municipios ó concesionados a particulares.

Artículo 73.- El ejecutivo del Estado propondrá la celebración de acuerdos de coordinación con el Ejecutivo Federal y con los gobiernos municipales para:

- a) La implementación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos
- b) La identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos no peligrosos, incluyendo la elaboración del inventario de los mismos.

Artículo 74.- Para el manejo de los residuos sólidos no peligrosos se consideran los siguientes criterios:

- a) Los residuos sólidos constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos, de ahí que sea ineludible su control.
- b) Los residuos sólidos municipales y especiales (industriales no tóxicos), contienen materiales reutilizables y reciclables, cuya recuperación, mediante técnicas y procedimientos adecuados, contribuye a disminuir el volumen para su disposición final.

Artículo 75.- Los residuos sólidos no peligrosos que se acumulan ó puedan acumularse y se depositen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

- a) La contaminación del suelo.
- b) Las alteraciones nocivas a los procesos biológicos que tienen lugar en los suelos.
- c) Las alteraciones de las características del suelo que limiten ó impidan su aprovechamiento, uso o explotación y
- d) Riesgos y problemas a la salud pública.

Artículo 76.- Las atribuciones del Gobierno del Estado y de los Municipios, en las materias objeto del presente capítulo, pueden ser ejercidas entre otras, a través de los siguientes instrumentos:

- a) La operación de los sistemas de limpieza de disposición final de residuos sólidos no peligrosos en rellenos sanitarios.
- b) El otorgamiento de autorizaciones para la instalación y operación de depósitos de residuos sólidos no peligrosos.

Artículo 77.- Toda descarga o depósito de residuos sólidos no peligrosos en los suelos, se sujetará a lo que disponga esta Ley, sus disposiciones reglamentarias y las normas técnicas ecológicas que para el efecto se expidan

REGLAMENTO DE LA LEY DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE DEL ESTADO DE MORELOS EN MATERIA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y ESPECIALES (INDUSTRIALES NO TÓXICOS).

PROYECTO DE 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 (ver capítulo 1.5, pag. 11)

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-084-ECOL-1994, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO Y LA CONSTRUCCIÓN DE SUS OBRAS COMPLEMENTARIAS (ver capítulo 1.6, pag. 13)

VI. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL RELLENO SANITARIO EN EL SITIO ELEGIDO

VI.1 Caracterización detallada del sitio propuesto

VI.1a) Localización Geográfica y Extensión

La zona de estudio se encuentra al sur de Cuautla, en la colonia Ampliación Sur Hermenegildo Galeana (Ampliación Pedregosa). Su delimitación fue cartografiada por medio de geoposicionador, misma que comprende dos terrenos cuyo total suman 120,000 m² (ver figura no. 2.1); las coordenadas de las esquinas de la zona están definidas como sigue:

N18°46'57.7"; W98°55'06.5"

N18°46'59.2"; W98°55'15.3"

N18°47'07.1"; W98°54'54.8"

N18°47'11.3"; W98°55'02.8"

VI.1b) Vías de comunicación

El área de estudio se encuentra moderadamente comunicada, ya que cuenta con un camino de terracería que la comunica; para ello es necesario tomar la carretera federal no 160 que va a Izúcar de Matamoros y desviarse a la altura de fertilizantes Tikal, sobre un camino de terracería a través del cual se recorren 1,600 metros para llegar al sitio (ver figura 2.1).

VI.1c) Clima

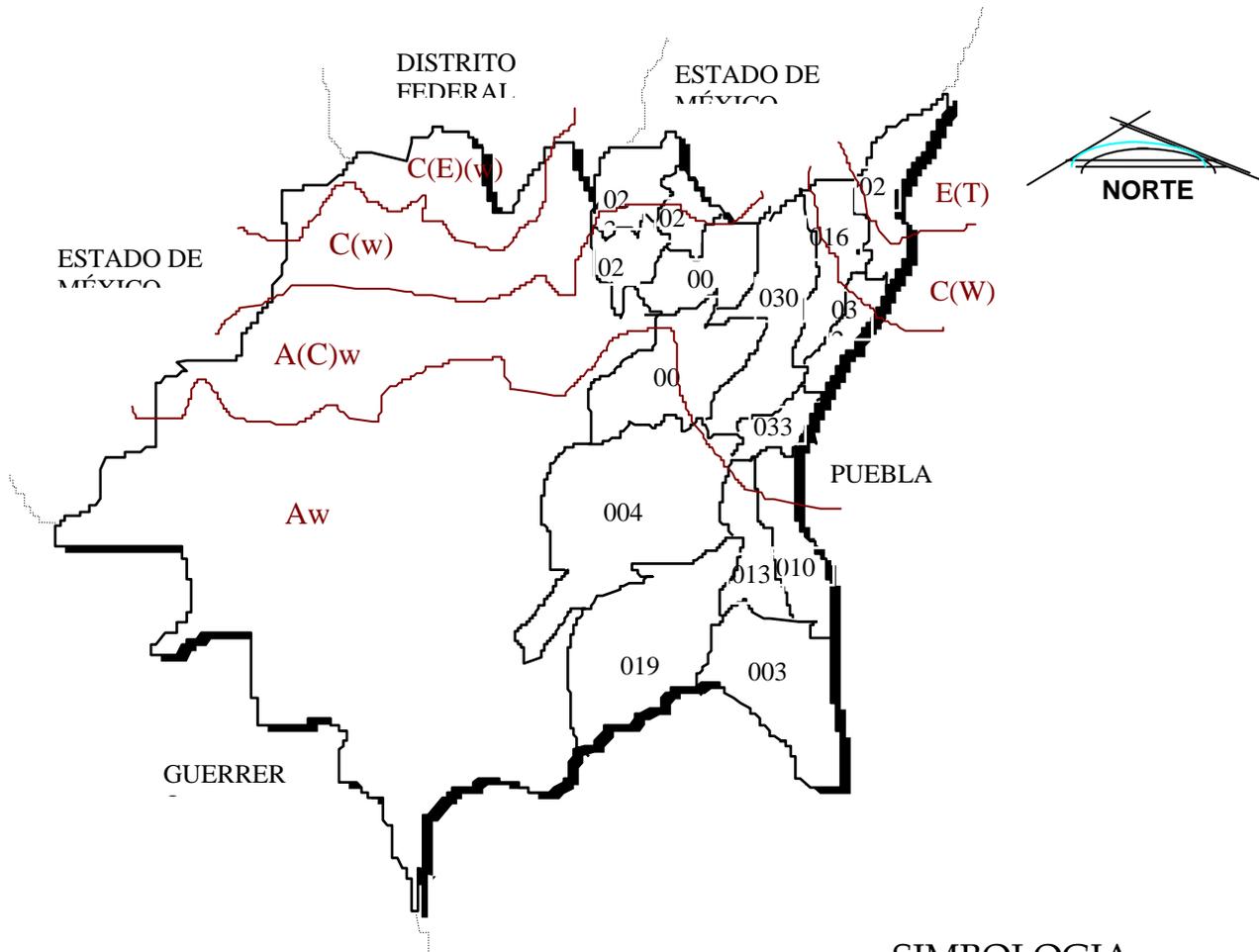
De acuerdo al sistema de clasificación climática de Koppen, modificada por Enriqueta García (1988), el clima detectado en la zona, con apoyo de la estación climatológica Cuautla no. 17-004 localizada al Sureste de la localidad, es cálido húmedo y subhúmedo semicálido, con temperatura media del mes mas frío mayor a 18° y relación P/T>55.3; el porcentaje de precipitación invernal respecto a la total anual menor a 5; la temperatura media anual varía entre 18° y 22°, siendo la temperatura del mes mas frío mayor de 18°C.

En la tabla d.1 se presenta un resumen basado en datos recopilados a lo largo de 42 años, datándose el promedio mensual anual de precipitación y temperatura en mm y °C. En la figura d.3, tomada del estudio de residuos domiciliarios de la SEDAM, se presenta en forma gráfica las variedades climáticas a nivel estatal.

Tabla d.3

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual	P/T	% P. Inv	Os c.	Clima
T	18.8	20.1	22.4	23.6	23.8	22.9	21.9	22.1	21.5	21.0	20.1	18.9	21.4	43.6	2.1	5.0	A(C)w1(w)igw
P	13.	2.3	3.7	12.	77.	192	186	166	195	67.	13.	3.4	934				

	9			1	6	.1	.9	.2	.0	4	7		.3				
--	---	--	--	---	---	----	----	----	----	---	---	--	----	--	--	--	--



SIMBOLOGIA	
Aw	CÁLIDO SUBHUMEDO
A(C)w	SEMICALIDO SUBHUMEDO
C(w)	TEMPLADO SUBHUMEDO
C(E)(w)	SEMI FRIO SUBHUMEDO
E(T)	FRIO

*Tomado del estudio de residuos domiciliarios de la SEDAM, 1997-1998

VI.1d) Fisiografía

El área de estudio se encuentra dentro de la subprovincia fisiográfica denominada como Cuenca Balsas-Mexcala, misma que pertenece a la

Provincia conocida como Sierra Madre del Sur. Vecina de ésta, la provincia conocida como Cordillera Volcánica Transmexicana (C.V.T.) afecta en parte con sus productos el noreste de Cuautla.

La Sierra Madre del Sur está definida por una cadena montañosa con crestas generalmente uniformes y con picos o cumbres aisladas que delimitan a una serie de cuencas con depresiones centrales, drenadas por una gran cantidad de arroyos. Gran parte de la provincia está constituida por rocas metasedimentarias, cubiertas por depósitos continentales terciarios y marinos mesozoicos, así como por materiales volcánicos que cubren grandes extensiones con piroclastos.

La CVT en su caso, se inicia en la porción centro-oeste de la República Mexicana con gran actividad volcánica; en esta se encuentran mesetas de basalto, tobas y conos de composición media a básica, aflorando solo pequeños manchones de rocas sedimentarias dentro de la masa ígnea. El gran número de aparatos volcánicos formados han generado diversas sierras y cadenas montañosas, entre las cuales se encuentran valles intermontanos, llanuras y cuencas (como la de México), constituidos en gran parte por rellenos aluviales o lacustres que contienen gran variedad de rocas mezcladas con cenizas volcánicas (ver Fig. 3.4).

VI.1e) Hidrografía

El patrón de drenaje en la zona es de tipo subparalelo, con una densidad moderada y talwegs poco profundos. Los escurrimientos son en general de tipo intermitente, que han erosionado materiales granulares moderadamente permeables, ubicados en pendientes prolongadas de poca inclinación.

El sitio de estudio se encuentra entre dos barrancas una de las cuales presenta una profundidad de 14 metros y la otra, escaso 1 metro. La primera representa un volumen de escurrimiento en tiempos extraordinarios importante, pudiendo subir las aguas hasta 1.5 o 2 metros de altitud.

VI.1f) Morfología

El sitio se encuentra sobre una loma subredondeada con talwegs rectos de poca profundidad, producto del escurimiento de arroyos de régimen intermitente; esta conformada por materiales volcanoclásticos bien compactados.

La expresión superficial de la región, se caracteriza por su marcado contraste de elevaciones, abruptas sierras con alturas desde 3200 m.s.n.m. (Sierra del Chichinautzin, Zempoala, Las Cruces, Tepozteco y volcanes como el Popocatepetl, hasta planicies y colinas onduladas de 900 m.s.n.m. por donde drenan sinuosos y extensos ríos, tales como Yautepec, Apatlaco y Cuautla entre otros, que fluyen de norte a sur, sobre las secuencias clásticas cuaternarias. Además, en la porción norte, la sierra del Chichinautzin se encuentra en una etapa de juventud, mismo que se inclina hacia su vertiente sur y, localmente, se interrumpe por promontorios de forma cónica (conos volcánicos), con un sistema hidrográfico de tipo radial en su área de influencia, aunque se presenta una red hidrográfica del tipo subparalelo, a mayor escala. Hacia el oriente de la zona se encuentra una área caracterizada por un sistema hidrográfico del tipo subparalelo y profundo, generando la presencia de profundas barrancas que drenan hacia el valle de Cuautla.

Por el contrario, en la Sierra Madre del Sur, la tectónica de los sedimentos cretácicos es bastante compleja. En general, predomina una serie de pliegues asimétricos, alargados, con los ejes orientados noreste - sureste; asimismo, se observan deformaciones tectónicas, enmarcando depresiones de valles angostos con topografía plana. Se supone que aquellos tienen una correlación con los sinclinales sepultados por los depósitos del Terciario continental y Cuaternario antes mencionados.

VI.1g) Geología

La historia geológica de la zona de Cuautla y por ende, de la zona de estudio, está inmersa en una serie de acontecimientos que fueron

generados por los diversos procesos orogénicos que se dieron lugar a lo largo del tiempo. De esta manera, coexisten tanto rocas ígneas como sedimentarias formadas en distintas épocas y medios ambientes de formación diferentes (ver figs. 3.2 y 3.3). Por ello, y teniendo como prerrogativa la importancia litoestratigráfica de las unidades existentes en la zona para correlacionarse con su permeabilidad, se indica a continuación la estratigrafía de la región:

VI.1h) Estratigrafía

PT Formación Tlayecac

Esta formación está constituida por material volcánico piroclástico y volcanoclástico proveniente del volcán Popocatepetl, compuesto por riodacitas, latitas y andesitas; el tamaño de los fragmentos varía desde un metro hasta escasos milímetros, normalmente bien compactados pero sin consolidación.

Esta formación descansa en forma discordante sobre las calizas de la Formación Morelos, sobreyaciéndole los depósitos clásticos continentales del Holoceno.

En el sitio de estudio pueden corroborarse una serie de clásticos subredondeados a subangulosos inmersos en una matriz areno-limosa, bien compactados pero sin consolidar.

Qal Aluvión

Con este termino se cartografió a los materiales existentes en las porciones bajas de la zona, los cuales incluyen arcillas, limos y arenas que cubren a los depósitos conglomeráticos de la formación Tlayecac (porción oriental del área cartografiada) o al Grupo Balsas al sur y poniente de la misma. En algunas de las zonas, se piensa que estos materiales descansan en forma directa sobre los depósitos arenosos y lutíticos de la Fm Mexcala.

En la zona de interés y sus alrededores se realizó una inspección Geológica con objeto de reconocer las unidades de roca que afloran en el área y establecer sus características litológicas. Para lograr dicho

propósito se efectuaron una serie de caminamientos que cubrieron la totalidad del predio y sus alrededores. El primer caminamiento se realizó a lo largo del lecho del arroyo que se sitúa en el lindero oriental del predio, desde las proximidades de la carretera federal hasta unos 150 metros más allá de su intersección con la vía del tren. En este caminamiento se observaron varios afloramientos en ambas márgenes del arroyo, de los cuales se presenta a continuación la descripción del más representativo de ellos

Estación de inspección Geológica No. 1. Se presenta un afloramiento bien expuesto en la margen derecha del arroyo, en el se reconoce una secuencia de conglomerados dispuestos en pseudoestratos gruesos de 2.0 m aproximadamente de espesor, los cuales se presentan en posición subhorizontal. La formación presenta un color café grisáceo a la intemperie en tanto que al fresco muestra un color principalmente gris. La pared no indica fracturamiento alguno en el material, el cual se encuentra bien compactado. Consiste de un conglomerado con clastos derivados de rocas volcánicas principalmente de basalto y andesita, los cuales presentan diferentes tamaños, predominando los de 15 a 20 cm. Presenta de igual manera fragmentos de más de 80 cm, los cuales en general se encuentran subredondeados o redondeados. Lateralmente pueden presentarse subangulosos, a medida que se dirija hacia el noreste.

La unidad se encuentra en una matriz arenosa con poco limo. Puesto que en general se presenta bien compactada, la excavación con la ayuda de pico y pala es muy difícil.

VI.1i) Geofísica

VI.1i1) Interpretación de datos geofísicos

Interpretación cualitativa

El análisis gráfico de los diez S.E.V's conjugado con la información geológica del área, permitió diferenciar las unidades geoeléctricas siguientes:

U1. Unidad con resistividades entre 4 y 46 ohm-m; se relaciona con materiales de origen residual, los cuales se presentan tanto arcillosos (valores menores a los 10 ohm-m), como conglomeráticos, con

fragmentos redondeados menores a los 10 cm de diámetro de roca volcánica en matriz limosa (valores entre 11 y 46 ohm-m)

U2. Unidad con resistividades mayores a los 36 ohm-m; se relaciona con material conglomerático cuyos valores mas altos deben corresponder a la existencia de fragmentos volcánicos de gran tamaño en matriz limosa y arenosa de origen piroclástico y los valores mas bajos, como se identifica casi en general en todos los sondeos a profundidad, a una preponderancia de los piroclastos sobre los fragmentos volcánicos que deben presentar tamaño reducido. En esta unidad debe encontrarse el agua subterránea, cuya profundidad varía en relación a la topografía sin embargo, podría establecerse un promedio de entre 18 o 20 metros en el extremo sur del terreno.

VI.1j) Hidrogeología

VI.1j1) Censo de aprovechamientos

El censo realizado abarcó un área aproximada de 3 km² alrededor del terreno de estudio (ver figura 3.13), esto con la idea de conformar el modelo hidrogeológico de la zona con mayor certidumbre; los resultados de este indicaron lo siguiente:

La región de Cuautla es una zona rica en agua tanto superficial como subterránea, la cual proviene en su mayor parte de la recarga subterránea proveniente de la sierra volcánica existente al norte de Cuautla y que delimita a esta zona con la Cuenca de México. Tanto la Sierra de Zempoala al norte de Cuernavaca, como las Sierras del Chichinautzin, Popocatépetl e Iztaccíhuatl al norte y noreste de Cuautla, representan una enorme importancia para la existencia del agua subterránea en la zona. Los manantiales de la región, implican un evidente desahogo del sistema acuífero, los cuales se manifiestan mayormente en las zonas centrales y meridionales a esta ciudad, debido ello a la aproximación del acuífero a la superficie.

Puesto que en sistemas acuíferos libres el gradiente hidráulico representa un porcentaje de la pendiente topográfica, resulta notorio que al existir un sistema acuífero que se interrelaciona desde Tepetlixpa y Atlatlahucan en el extremo septentrional de la región, hasta la zona de Cuautla al sur de ella, la profundidad del agua decrezca en proporción al desnivel topográfico, de tal forma que en el

extremo norte se encuentra por los 500 y 550 metros de profundidad, variando a escasos 20 metros en la zona de Hermenegildo Galeana. 0 a 6 metros en la localidad de Niños Héroes e incluso, que existan en la región una gran cantidad de manantiales que sean producto del acuífero.

De acuerdo al censo realizado, pudo corroborarse la evaluación realizada por estudios hidrogeológicos precedentes, mismos que indican un flujo subterráneo evidente hacia el SW. Puesto que se tomaron los niveles estáticos de las obras, se correlacionaron con sus alturas topográficas, determinándose una dirección de flujo preferencial en la dirección antes mencionada, además de notar un gradiente hidráulico cercano al 0.014, cercano a la mitad de la pendiente topográfica en la zona (0.027).

Las obras censadas se presentan a continuación, algunas de las cuales no pudieron medirse sus niveles en razón o a que estaban trabajando o a que estaban obstruidas.

TABLA h.1

NO OB RA	NO CNA	USO	UBICACIÓ N	PTO en metros	NE en metros	ND en metros	Q en lps	Qe en lps/m	LITOLOGIA
1	CNA 537, La Trinchera	Potable	N18°49'19.5"; W98°55'42.4"	+ - 96	+ - 23		+ - 56		
2	Puxtla	Potable							
3	Iztaccíhuatl	Potable	N18°48'04.1"; W98°53'54.0"	+ - 140	48.31		+ - 3		Material volcanosedimentario consistente de conglomerados en matriz limo-arenosa, bien compactado
4	CNA 442,	Riego	N18°47'28.5		NSPS				Material

	Col. Hermenegildo Galeana	(ya no trabaja)	"; W98°55'01.0"						volcanosedimentario consistente de conglomerados en matriz limo-arenosa, bien compactado
5	CNA 329, Col. Empleado Municipal	Potable	N18°47'14.0"; W98°54'23.1"		27.18		+ - 7		Material volcanosedimentario consistente de conglomerados en matriz limo-arenosa, bien compactado
6	Cementerio	Domestico	N18°47'13.7"; W98°54'12.8"		NSPS				Material volcanosedimentario consistente de conglomerados en matriz limo-arenosa, bien compactado
7	Niños Heroes	Potable	N18°45'50.2"; W98°57'51.0"		+6		+ - 7		

VI.1j2) Unidades Hidrogeológicas

Relacionando la información geológico-estructural de los materiales cartografiados con la geofísica realizada, pudieron definirse 2 unidades hidrogeológicas que se describen a continuación:

- c) UI. Unidad compuesta de arcillas, limos, arenas y gravillas de origen palustre, fluvial y residual, ligeramente compactados, de permeabilidad cualitativa alta; en superficie actúa como zona de recarga del sistema acuífero existente en los materiales volcanoclásticos
- d) UII. Unidad consistente de material volcánico piroclástico y volcanoclástico fuertemente compactado, en matriz arenosa y limosa, de permeabilidad cualitativa media. En superficie actúa

como zona de recarga del sistema acuífero existente a profundidad en la misma unidad.

VI.1j3) Modelo de funcionamiento Hidrogeológico

Las obras existentes en la zona son pozos profundos y manantiales; los primeros se han perforado en promedio entre los 100 metros, encontrándose el nivel del agua entre los 48 y 5 metros de profundidad, dependiendo de la altura topográfica en la que se encuentren.

Se evidencia un gradiente hidráulico para el sitio del relleno de 0.014, representando la mitad de la pendiente del terreno. El flujo del agua subterránea tiende hacia el SW, conformándose un sistema acuífero de tipo libre radicado en materiales volcanoclásticos de permeabilidad cualitativa media. Lateralmente, estos materiales gradúan a arenas, limos y arcillas al poniente, producto de las antiguas zonas palustres de la región. Al norte, reminiscencias de las coladas lávicas de basalto del Chichinautzin se hacen presentes por Calderón, a través de las cuales se descargan importantes volúmenes de agua de la sierra.

La mayor recarga del acuífero se genera por el flujo subterráneo proveniente de las Sierras de Chichinautzin, Popocatepetl e Iztaccíhuatl, aun cuando se piensa deban existir recargas provenientes de las sierras calcáreas del poniente y sur de Cuautla, lo que ocasiona la mezcla de aguas al sur de dicha localidad.

La descarga por su parte, se realiza a través de los manantiales y pozos existentes en la región.

VI.1k) Geotecnia

Con el objeto de conocer la estratigrafía detallada de los materiales que constituyen el subsuelo del sitio, así como sus propiedades índice y mecánicas, se desarrolló una campaña de trabajos de exploración y muestreo que pudiesen, dentro del presupuesto tan limitado que se dispuso, valorar las características mecánicas del sitio. Para ello se realizaron análisis de campo in situ con penetrómetro de bolsillo y

torcómetro, para con ello evaluar la capacidad de carga y resistencia al corte respectivamente, así como recorridos de campo a detalle en las barrancas aledañas, una de las cuales logra taludes de 0.2 a 1 (margen meridional izquierda) con alturas de hasta 3 metros de profundidad. A esto se sumaron análisis de laboratorio del material natural (conglomerado) y de dos bancos de material susceptibles para usarse dentro del proceso constructivo del relleno. Así también trataron de realizarse dos sondeos con muestreador manual, el cual trae consigo un martinete con tubo partido para extracción de muestras inalteradas sin embargo, esto no fue posible debido a la fuerte compactación del material. Lo mencionado va en correspondencia con el martinete de 64 kg utilizado en forma normativa para evaluar el modulo de compactación del terreno, ya que para el sitio en estudio se agotaría el máximo número de golpes mediante el cual se determina la capacidad de carga de este.

VI.1k1) Estratigrafía

Con base en los resultados obtenidos de los trabajos de campo, se elaboraron los perfiles estratigráficos siguientes:

PERFIL ESTRATIGRAFICO No 1

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION
0.00 a 0.45	Arcilla con arena fina, de consistencia firme y plasticidad media de color negro
0.45-1.2+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica de hasta 0.25m de diámetro, en matriz areno-limosa, bien compactado.
1.20 a 2.50+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica mayores a 0.25m de diámetro promedio, en matriz areno-limosa, bien compactado. Predomina la matriz en un porcentaje de hasta 60% aproximadamente.

PERFIL ESTRATIGRAFICO No. 2

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION
0.00 a 0.40	Arcilla con arena fina, de consistencia firme y plasticidad media de color negro
0.40-0.8+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica de hasta 0.25m de diámetro, en matriz areno-limosa, bien compactado.
0.80-2.30+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica mayores a 0.25m de diámetro promedio, en matriz areno-limosa, bien compactado. Predomina la matriz en un porcentaje de hasta 60% aproximadamente.

PERFIL ESTRATIGRAFICO No. 3

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION
0.00 a 0.40	Arcilla con arena fina, de consistencia firme y plasticidad media de color negro
0.40-2.00+-	Material granular de origen volcanoclástico, consistente de fragmentos redondeados y subredondeados de composición basáltica y andesítica mayores a 0.25m de diámetro promedio, en matriz areno-limosa, bien compactado. Predomina la matriz en un porcentaje de hasta 60% aproximadamente.

VI.1k2) Ensayes de laboratorio

Los ensayes efectuados a las muestras obtenidas en la campaña de exploración y muestreo fueron enfocadas a determinar las características granulométricas, resistencia al corte y compactación, permeabilidad e intercambio catiónico presente en los materiales del terreno prospectado.

Para ello se realizaron las siguientes pruebas:

- c) En campo, resistencia al corte con torcómetro de bolsillo y modulo de compactación con penetrómetro manual (ver equipo utilizado en el ANEXO)
- d) En laboratorio, granulometría, humedad, peso volumétrico, permeabilidad y capacidad de intercambio catiónico

VI.1k3) Análisis de estabilidad de taludes

Modelo de falla:

De acuerdo con las observaciones Geológicas efectuadas en el predio y sus alrededores, se observa homogeneidad en la unidad litoestratigráfica, consistente de fragmentos subredondeados a redondeados de basalto y andesita, en matriz limo-arenosa, bien compactado pero sin cementar. No se observan fracturas ni deslizamientos provocados por la inconsistencia del material. De acuerdo a la correlación con la geofísica, se detecta a profundidad una disminución en la cantidad de fragmentos o boleos de gran tamaño, por un incremento de arenas, limos e incluso arcillas, basado esto en la respuesta geoelectrica de campo, especialmente en el límite noroeste y central del terreno, en donde se evidenció un incremento en la intensidad de corriente utilizada, característica normal de la presencia de material arcilloso, aun cuando las resistividades obtenidas no lo demostraran, esto a efecto de la existencia de fragmentos grandes que lo enmascaran.

No se identifica estratificación alguna sin embargo, es posible adecuar al modelo existente uno de tipo horizontal, lo que permite descartar al modelo de falla por planos predispuestos y sí en cambio asociarlo con el modelo de falla tipo circular (desconchamiento).

Tomando en cuenta las características que muestra el material (compactación intensa) le confieren al material propiedades muy favorables desde el punto de vista mecánico es decir, un ángulo de fricción interna superior a los $\phi = 35^\circ$ y una cohesión superior a las 25 ton/ m² determinadas en campo mediante penetrómetro de bolsillo y torcómetro. Estas dos propiedades le imponen al macizo rocoso una alta resistencia a la compresión así como al esfuerzo cortante, lo cual se traduce en una alta capacidad de carga así como un ángulo de reposo muy grande (vertical) a los taludes.

El análisis de estabilidad de taludes se realizó bajo las siguientes características de excavación:

- Taludes con altura máxima de 15 metros.

- Inclinación vertical (para maximizar el volumen de la celda de confinamiento).
- Los taludes presenten una longitud infinita.

El método utilizado, de las dovelas, considera que la falla se produce al pie del talud.

Las características físicas del material con las especificaciones anteriormente citadas indican:

- Cohesión $c=25 \text{ ton/m}^2$
- Ángulo de fricción interna $\phi= 35^\circ$
- Peso volumétrico natural $\gamma \text{ nat.}= 2.1 \text{ ton/m}^3$

FACTOR DE SEGURIDAD CONSIDERANDO FALLA POR ARRIBA DEL PIE DE TALUD

$C= 25 \text{ ton/m}^2; g= 2.1 \text{ ton/m}^3; F= 35^\circ, 0.6108652 \text{ RADIANES}$

DOVELA	AREA	PESO	q	RADIANES	SEN q	COS q	WSEN q	WCOS q	DLi
1	3.75	7.88	70	1.22173	0.9397	0.3420	7.4001	2.6934	5.40
2	13.00	27.30	58	1.01229	0.8480	0.5299	23.1517	14.4668	3.70
3	18.00	37.80	46	0.80285	0.7193	0.6947	27.1910	26.2581	3.10
4	22.00	46.20	38	0.66323	0.6157	0.7880	28.4436	36.4061	2.70
5	25.00	52.50	30	0.52360	0.5000	0.8660	26.2500	45.4663	2.40
6	27.00	56.70	26	0.45379	0.4384	0.8988	24.8556	50.9616	2.30

sn	stan	Si	SiLi
0.4988	0.3492	25.3492	136.8859
3.9099	2.7378	27.7378	102.6298
8.4704	5.9310	30.9310	95.8861
13.4837	9.4414	34.4414	92.9918
18.9443	13.2649	38.2649	91.8359
22.1572	15.5147	40.5147	93.1837
		F. RES=	613.4132

FS= 4.4679

VI.1k4) Análisis de capacidad de carga

El análisis de capacidad de carga se realizó utilizando la teoría de Meyerhof, para cimentaciones superficiales mediante la siguiente ecuación:

$$Q_c = 1/3 (c N_c + \gamma_m D_f N_q + 1/2 \gamma_m B N_\gamma)$$

Donde:

- Q_c = capacidad de carga (ton/ m²).
- C = cohesión del material (ton/ m²).
- γ_m = peso volumétrico del material (ton/ m³).
- D_f = profundidad de desplante (m).
- B = ancho del cimiento (m).
- N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga.
- 1/3 = factor de seguridad.

Sustituyendo los valores en la ecuación y resolviéndola se obtiene:

$$Q_c = 750.00 \text{ ton/m}^2$$

Para suelos cohesivos, Karl Terzaghi ideó el calculo siguiente:

$$q_{adm} = CN_c/F.S. + \gamma D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma$$

En donde:

- q_{adm} = Capacidad de carga admisible (Ton/m²)
- C = Cohesión del material (Ton/m²)
- γ = Peso volumétrico del suelo (Ton/m³)
- D_f = Profundidad de desplante (m)
- B = Ancho del cimiento (m)

N_c, N_q y N_γ Son factores adimensionales que dependen del ángulo de fricción interna del suelo de cimentación.

F.S. = Factor de seguridad = 3

VI.1k5) Análisis de asentamientos

Para conocer la distribución de esfuerzos que se presentará por la carga que transmitirá el relleno en el subsuelo, se utilizó la teoría de Boussinesq; de esta manera se calculó el incremento de presiones y empleando la teoría de la consolidación se determinó la magnitud de los asentamientos mediante la siguiente expresión:

$$H = (Re/1 + e_0) H$$

Donde:

H = Magnitud de los asentamientos (cm)

Re = Variación de la relación de vacíos

e_0 = Relación de vacíos inicial

H = Espesor del estrato (cm)

El análisis de asentamientos se desarrolló considerando una área uniformemente cargada con alturas de relleno de 5.0 y 9.0 m, las cuales nos dan las presiones de contacto de 6.5 y 11.8 Ton/m² respectivamente; los asentamientos se habrán de dar uniformemente debido ello al la homogeneidad del terreno

ALTURA DE RELLENO	PRESIÓN DE CONTACTO	ASENTAMIENTO
m	Ton/m ²	Cm
5.0	6.50	30.0
9.0	11.80	24.0

VI.1k6) Bancos de material

En relación a estos, se tienen dos que bien pueden ser usados para la impermeabilización del relleno sanitario, como parte del diseño global del mismo. El primero se encuentra al poniente de Hospital, en la

porción baja de la sierra calcárea; en esta se encuentran arcillas plásticas tipo CH y CL muy propicias para la impermeabilización del terreno, detectándose espesores mayores a 20 metros en la zona en donde se forma un pliegue sinclinal (ver figura 3.20).

El otro sitio se encuentra en la periferia poniente de Cuautla, en donde se detectan materiales arcillo-limosos menormente propicios que el anterior, pero propicios para usarse como complemento de cubierta de las celdas diarias o en su defecto, para la impermeabilización del relleno.

Las características de las arcillas que componen el primer sitio (Hospital) se presentan a continuación, basadas estas en los trabajos realizados anteriormente en el sitio:

SONDEO MIXTO N° 1

PROF.	SUCS	CLASIFICACIÓN
0.00 a 1.80	CH	Arcilla poco arenosa, de consistencia muy blanda a muy firme, ($0 < N < 32$), con un contenido de agua (w) de 39 a 41%, límite líquido (LL) de 74.20% y un límite plástico (LP) de 31.91%; con un porcentaje de arena de 18.85 a 21.56%, color gris claro.
1.80 a 4.20	CH	Arcilla de alta plasticidad, de consistencia dura, ($30 < N < 50$), con un contenido de agua (w) de 39.25 a 52.21%, límite líquido (LL) de 60.0 a 77.00%, y un límite plástico (LP) de 30.79 a 31.48%; con un porcentaje de arena de 2.03 a 19.18%, color gris claro.
4.20 a 7.20	CL	Arcilla de baja plasticidad, de consistencia muy firme, ($15 < N < 28$), con un contenido de agua (w) de 19.92 a 69.30%, límite líquido (LL) de 46.20%, límite plástico (LP) de 20.56%, y un porcentaje de arena de 1.05 a 24.19%, color gris claro.
7.20 a 11.40	CL	Arcilla limosa de baja plasticidad, de consistencia dura, ($N > 50$), con poca arena fina, con un contenido de agua (w) de 2.58 a 36.10%, límite líquido (LL) de 38.50%, límite plástico (LP) de 24.14%; porcentaje de arena de 0.32 a 23.35%, color café claro y gris verdoso
11.40 a 16.20	ML	Limo arcilloso de baja plasticidad, de consistencia dura, ($N > 50$), con arena fina, contenido de agua (w) de 9.62%, límite líquido (LL) de 27.80%, límite plástico (LP) de 11.48%; porcentaje de arena de 1.32 a 26.49%, color café y café parduzco
16.20 a 20.00	ML	Limo de baja plasticidad, de consistencia dura, ($N > 50$), con poca arena fina, contenido de agua (w) de 15.25 a 16.93%, porcentaje de arena de 0 a 8.45%, color gris claro y gris aperlado

SONDEO MIXTO No. 2

PROFUNDIDAD (m)	SUCS	CLASIFICACIÓN
0.00 a 5.00	CH	Arcilla de alta plasticidad, con arena fina de consistencia firme a dura, ($8 < N < 37$), con contenido de agua (w) de 29.01 a 44.01%, límite líquido (LL) de 102.0%, límite plástico (LP) de 38.46% porcentaje de arena de 1.63 a 13.0%, color gris claro
5.00 a 8.21	CH	Arcilla arenosa de plasticidad media a alta, de consistencia dura ($N > 50$), contenido de agua (w) de 18.08 a 33.22%, límite líquido (LL) de 54 a 60%, límite plástico (LP) de 23.05 a 25.11% y porcentaje de arena de 1.76 a 36.66%, color gris claro
8.21 a 8.75	SP	Suelo residual producto de la intemperización de la roca caliza existente, arena mal graduada muy compacta ($N > 50$) contenido de agua (w) de 18.08 a 19.72%, y porcentaje de finos de 23.16 a 47.62%.
8.75 a 13.20		Roca caliza fracturada de color café claro

De las materiales detectados en ambos sondeos, existen al menos 300,000 m³ para uso del relleno como material impermeabilizante secundario. Esto representa cerca de 366,000 toneladas, tomando en consideración que el peso volumétrico de la arcilla seca ronda por los 1.22 ton/m³.

VI.11) Uso del suelo

El terreno detenta un uso agrícola de temporal, siendo el sorgo y maíz los cultivos principales. El período normal de barbecho comienza en marzo y de cosecha en septiembre. La capa de suelo es limo-arcillosa, cuyo espesor promedio es de 40 cm.

VI.2 BALANCE HIDRICO

“La humedad en el terreno es esencial, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes y bacterias necesarias para la descomposición biológica. Así mismo, el contenido y el desplazamiento de agua dentro de un relleno sanitario determinan el diseño del sistema colector y de tratamiento de lixiviados y del sistema de protección-

impermeabilización” (Manual de evaluación de rellenos sanitarios, SEDESOL).

La cantidad de humedad depende de diversos factores entre los que se cuentan el tipo de suelo, el tipo y densidad de la vegetación, la pendiente del terreno, la precipitación y la temperatura, el escurrimiento e infiltración generados a partir de los conceptos anteriores, el contenido de humedad y la evapotranspiración real. Para evaluarlos, resulta necesario conocer los principios de equivalencia que están definidos por la masa, recurriéndose a un procedimiento matemático para evaluar la humedad entrante y la saliente. De esta forma, se diferencia el tipo de agua existente, ya sea que ésta esté contenida en los residuos cuando se confinan o cuando proviene del exterior.

VI.2.1) Balance hídrico de la cubierta diaria y final del relleno sanitario, por mes.

Cuando la precipitación pluvial mensual es igual o superior a la evapotranspiración potencial mensual, en la cubierta del terreno hay exceso de agua, que al ser absorbido incrementa la reserva de agua almacenada en el propio terreno. Si tal precipitación es inferior a dicha evapotranspiración, el valor real de ésta consume totalmente a aquélla, y genera un déficit, que se suple con las reservas de agua del terreno hasta su agotamiento. Si éstas son suficientes para satisfacer la deficiencia, la evapotranspiración real es igual a la potencial y se asemeja a la consideración anterior. Si son insuficientes, la evapotranspiración real queda ligada a la precipitación pluvial mensual y se agotan, por lo que en el almacenamiento de agua en el subsuelo se genera un déficit. De esta forma, este parámetro es uno de los principales por determinar, teniendo en cuenta que implica la cantidad de humedad que escapa del relleno y se integra al medio ambiente.

La evapotranspiración está en función de la temperatura, humedad, viento, radiación solar, disponibilidad de agua y tipo de vegetación. Para ello, se calcula mediante una ecuación empírica en tres etapas:

-
- a) Obtención del índice de calor de cada mes; se suman, para obtener el índice anual
 - b) Con el índice de calor y tablas, se calcula el potencial diario de evapotranspiración
 - c) Se ajusta el potencial por mes, según la duración del día solar, mediante factores de corrección.

Así, y tomando en cuenta la relación existente con la infiltración o percolación generada a partir del volumen precipitado y lo evapotranspirado, queda la ecuación siguiente:

$$P = \text{PERC} + \text{AET} + \text{DST} + r/o$$

De donde:

PERC= percolación (en pulgadas de agua)

AET= evapotranspiración (en pulgadas de agua)

DST= cambio en la humedad del suelo para cada mes (pulgadas de agua)

R/o= múltiplo de la precipitación pluvial mensual por el coeficiente de caída mensual (en pulgadas de agua)

VI.2.1^a) Evapotranspiración

Método de Thorntwaite

Este método se basa en la cuantificación de la evapotranspiración potencial o uso consuntivo, para la cual se deben obtener la temperatura media mensual y la constante dependiente de la latitud y el mes del año.

Evapotranspiración mensual corregida

Se parte de la temperatura promedio mensual:

$$E_{pj} = 1.6 K_a (10 T_j / I)^a$$

De donde:

E_{pj} = Evapotranspiración potencial sin corregir o uso consuntivo en el mes j en cm

K_a = constante que depende de la latitud y el mes del año

T_j = temperatura media en el mes j en °C

^a e I = constantes

Las constantes I (índice de eficiencia de temperatura) y ^a se calculan de la siguiente manera:

$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$ de $j=1$ hasta 12 (sumatoria de los índices mensuales de calor (adimensional))

Donde $i_j = (T_j/5)^{1.514}$

$j =$ número del mes y

$a = 679 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 179 \times 10^{-4} I + 0.492$ (coeficiente en función de la sumatoria de los índices mensuales de calor)

K_a depende de la latitud y el mes del año, para lo cual se tienen valores preestablecidos para las latitudes y meses respectivos:

Latitud en grados	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.01
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.91
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70

Teniendo en cuenta lo anterior, podrá establecerse un resumen de los parámetros que intervienen para la determinación de la evapotranspiración como sigue, recordando que ésta se cuantifica por la ecuación $E_{pj} = 1.6 K_a (10 T_j / I)^a$

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
K_a	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.91
T_j	18.8	20.1	22.4	23.6	23.8	22.9	21.9	22.1	21.5	21	20.1	18.9
I_j	7.4273 58679	8.2186 0758	9.6835 56998	10.479 68397	10.614 43609	10.012 67993	9.3581 88812	9.4878 82896	9.1006 25472	8.7821 21185	8.2186 0758	7.4872 54318
a	2.3979 77444											
I	108.87 10035											
E_{pj}	5.6331 74973	6.2647 69743	9.2967 11837	10.740 61546	11.795 24021	10.563 44672	9.7473 70115	9.7000 32294	8.3442 13302	7.7317 87297	6.4735 95401	5.4650 71649

De esta forma, la evapotranspiración mensual mas alta en el año se lleva a cabo durante el mes de mayo y el de menor valor durante el mes de diciembre, con 11.79 y 5.465 cm respectivamente.

VI.2.1b) Escurrimiento

Para esto se confrontaron dos métodos uno, por el INEGI en la elaboración de la cartografía Hidrológica de Aguas Superficiales escala 1:250,000 y dos, por el IPN como norma en los tiempos de estiaje y lluvia. En el primero, el INEGI toma en consideración los siguientes parámetros:

- I) Litología
- II) Pendiente
- III) Precipitación
- IV) Tipo y densidad de la vegetación

De acuerdo a ello, se establece para la zona un porcentaje de escurrimiento de entre 10 y 20%.

En el segundo se toma en consideración el tipo de suelo, la pendiente y la temporada. De esta forma, el coeficiente de escurrimiento estará en función de la tabla siguiente:

Tabla a.2.1

Tipo de Suelo/ pendiente	Ke	
	Estiaje	Lluvia
1. Arenoso/ plano (S = 2%)	0.05	0.10
2. Arenoso/ medio (2 - 7%)	0.10	0.15
3. Arenoso/ inclinado (> 7%)	0.15	0.20
4. Arcilloso/ plano (2 %)	0.13	0.17
5. Arcilloso/ medio (2 - 7%)	0.18	0.22
6. Arcilloso/ inclinado (> 7%)	0.23	0.35

Como se podrá constatar, ambos métodos dan valores semejantes, por lo que se habrán de tomar los relacionados con la tabla anterior de 0.10 y 0.15 para tiempos de estiaje y lluvia respectivamente.

En cuanto al volumen escurrido, este estará en función del volumen precipitado, de tal forma que quedará:

$$E_s = K_e P$$

De donde:

E_s = Escurrimiento superficial mensual en mm.

K_e = Coeficiente de escurrimiento

P = Precipitación mensual en mm

Para los datos de precipitación, estos fueron obtenidos de la estación meteorológica 17-004 Cuautla, de la cual se pudo recopilar un periodo de observación de 42 años integrados en la edición 1988 de Enriqueta García "Modificaciones al sistema de Clasificación de Koppen". Los valores así integrados fueron los siguientes:

Tabla a.2.2

	Ene ro	Feb rero	Mar zo	Abr il	Ma yo	Juni o	Juli o	Ago sto	Septi embr e	Octu bre	Novie mbre	Diciem bre	Total
P	13.9	2.3	3.7	12.1	77.6	192.1	186.9	166.2	195.0	67.4	13.7	3.4	934.3

Así, es posible determinar a través de la tabla siguiente, el volumen de escurrimiento por considerar, tomando en cuenta que los meses de estiaje duran desde octubre hasta mayo:

Tabla a.2.3

	Ene ro	Feb rero	Mar zo	Abr il	Ma yo	Juni o	Juli o	Ago sto	Septi embr e	Octu bre	Novie mbre	Diciem bre	Total
E_s	1.39	0.23	0.37	1.21	7.76	28.815	28.035	24.93	29.2	6.74	1.37	0.34	

VI.2.1c) Infiltración

Se define como la diferencia entre lo que precipita, escurre y se evapotranspira, es decir:

$$I_n = P - (E_s - E_{pj})$$

I_n = infiltración de agua al subsuelo en mm

P= precipitación pluvial en mm

Es= escurrimiento superficial en mm

Epj= evapotranspiración en mm

Al respecto ver resultados en la tabla a.8.

VI.2.1d) Variación de agua en el suelo (V)

Al volumen de agua que queda como diferencia entre lo que se infiltra (In) y la evaporada se denomina variación de agua en el suelo y se cuantifica como sigue:

$V = In - Epj$ de donde:

V= variación del agua en el suelo en mm

In= Infiltración del agua en el suelo en mm

Epj= evapotranspiración potencial en mm

Al respecto, ver resultados en la tabla a.8

VI.2.1e) Capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo (Hs)

La capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, representa la cantidad de agua que puede ser contenida en el suelo. El agua disponible va desde el punto de marchitamiento hasta la capacidad de campo. Dependiendo del tipo de suelo que se tenga, esta será su humedad. En la tabla siguiente se enlistan los parámetros de los diferentes tipos de suelos considerados.

Tabla a.5.1

Tipo de suelo	Capacidad de campo (C.c.)	Punto de marchitamiento (Hy)	Agua disponible (Hs)
Arena fina	120	20	100
Barro arenoso	200	50	150
Barro limoso	300	100	200
Barro arcilloso	375	125	250
Arcilla	450	150	300

Factores para determinar la humedad del suelo, (FUENTE: Apuntes IPN).

De acuerdo a la tabla anterior y tomando en consideración que el suelo existente está compuesto de material arenoso con ligera cantidad de arcilla, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo máxima que se debe tener es la siguiente:

$$C.c. = 200$$

$$H_y = 50$$

$$H_s = 150$$

El análisis para la determinación de capacidad de almacenamiento de humedad del suelo se inicia en el último mes de la temporada de lluvias, es decir en el último mes en que la diferencia $I_n - E_{pj}$ es positiva, lo que significa que partimos de la consideración de que al final de la temporada de lluvias el suelo tiene un contenido máximo de humedad (H_s).

H_s = Agua disponible en el suelo.

Para la determinación de la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo se toman en cuenta dos consideraciones:

La primera se presenta cuando la altura de infiltración es inferior a la evapotranspiración mensual corregida, la cual consume las infiltraciones y el déficit es suministrado por el almacenamiento de agua del suelo hasta su agotamiento.

Por ejemplo, para el mes de enero $I_n - E_{pj} = 14.40 - 59.50 = -45.10$; de donde el -45.10 se compensa con el agua contenida en el suelo por lo que $H_s = 150.00 - 45.10 = 104.90$, no existiendo percolación.

En la segunda consideración se considera cuando la altura de infiltración es igual o superior a la evapotranspiración corregida.

Por ejemplo para el mes de junio se tiene $183.35 - 117.28 = 66.07$ es decir $I - E_{pc} > 0$, lo que significa que existe por tanto un aporte a la

humedad del suelo presentándose percolación; por lo cual para estos casos se considera el valor máximo de $H_s = 150.00$

Al respecto, ver resultados en la tabla a.8

VI.2.1f) Cambio en el almacenamiento de humedad (ΔH_s)

Representa el cambio de humedad del suelo mes con mes, y esta dado por la siguiente expresión.

$$\Delta H_s = H_{S_0} - H_{S_1}$$

Donde:

ΔH_s = Cambio en el almacenamiento de humedad, en mm

H_s = Capacidad de almacenamiento del suelo en mm

Al respecto, ver resultados en la tabla a.8

VI.2.1g) Calculo de la evapotranspiración real (E_{pr})

Representa la cantidad real de pérdida durante un mes dado.

Para aquellos meses en que $(I_n - E_{pj}) > 0$, la evapotranspiración real no está limitada por el contenido de humedad del suelo.

$$E_{pj} = E_{pr}$$

Para los meses donde $(I_n - E_{pj}) < 0$, la evapotranspiración real esta limitada por la disponibilidad de humedad del suelo.

$$E_{pr} = I_n - \Delta H_s$$

Donde:

E_{pr} = Evapotranspiración real en mm

I_n = Infiltración de agua en el suelo en mm

ΔH_s = Cambio en el almacenamiento de humedad en mm

VI.2.1h) Calculo de la percolación

La percolación se define como el volumen de agua que se puede filtrar al subsuelo y está dado por la siguiente expresión:

$$P = I_n - \Delta H_s - E_{pr}$$

Donde:

P = Percolación del agua en mm

I_n = Infiltración de agua en mm

ΔH_s = Cambio en el almacenamiento de humedad del suelo en mm

E_{pr} = Evapotranspiración real en mm

De esta forma, los cálculos relacionados con el balance, quedan resumidos como sigue:

Tabla a.8

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Ka	0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.91
Tj	18.8	20.1	22.4	23.6	23.8	22.9	21.9	22.1	21.5	21	20.1	18.9
Ij	7.4273 58679	8.2186 0758	9.6835 56998	10.479 68397	10.614 43609	10.012 67993	9.3581 88812	9.4878 82896	9.1006 25472	8.7821 21185	8.2186 0758	7.4872 54318
A	2.3979 77444											
I	108.87 10035											
Epj	56.331 74973	62.647 69743	92.967 11837	107.40 61546	117.95 24021	105.63 44672	97.473 70115	97.000 32294	83.442 13302	77.317 87297	64.735 95401	54.650 71649
P	13.9	2.3	3.7	12.1	77.6	192.1	186.9	166.2	195	67.4	13.7	3.4
Es	1.39	0.23	0.37	1.21	7.76	28.815	28.035	24.93	29.25	6.74	1.37	0.34
In=P-Es	12.51	2.07	3.33	10.89	69.84	163.28 5	158.86 5	141.27	165.75	60.66	12.33	3.06
V=In-Epj	- 43.821 7497	- 60.577 6974	- 89.637 1184	- 96.516 1546	- 48.112 4021	57.650 5328	61.391 29885	44.269 67706	82.307 86698	- 16.657 873	- 52.405 954	- 51.590 7165
Cc	200											
Pm	50											
Hy	150											
Ca=Hy+(In-	0	0	0	0	0	150	150	150	150	133.34 2127	80.936 17302	29.345 45653

Epj)												
$\Delta H_s =$ Cai- Caf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.657 87297	52.405 95401	51.590 71649
Epr=I n-Ahs	12.51	2.07	3.33	10.89	69.84	163.28 5	158.86 5	141.27	165.75	44.002 12703	- 40.075 954	- 48.530 7165
Per=In -Epr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.657 87297	52.405 95401	51.590 71649

Epj-
EVAPOTRANSPIRACION
POTENCIAL
Epr-
EVAPOTRANSPIRACION
REAL
P- PRECIPITACION
PROMEDIO MENSUAL
Es- ESCURRIMIENTO
PROMEDIO MENSUAL
In- INFILTRACION
V-VARIACION DEL AGUA
EN EL SUELO
Cc- CAPACIDAD
DE CAMPO
Pm- PUNTO DE
MARCHITAMIENTO
Hy- AGUA DISPONIBLE
EN EL SUELO
Ca- CAPACIDAD DE
ALMACENAMIENTO
 ΔH_s - CAMBIO EN EL
ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD
Per- PERCOLACION

Como podrá constatarse, el volumen de percolación potencial anual será de 120.654 mm/año; si a esto se le relaciona con el área a utilizar inicialmente como relleno sanitario (12.5 hectáreas), el volumen potencial de percolación será de 14,478.48 m³.

VI.2.2) Evaluación del potencial contaminante y determinación de su prevención

VI.2.2a) Consideraciones generales

La protección del agua subterránea es indispensable, ya que el potencial contaminante de los lixiviados generados por la degradación de los residuos, tiende a ser mayor cuando los materiales en que se sustenten, son permeables, así como cuando el acuífero está cercano a la superficie. De esta forma, es vital evaluar el potencial degradacional de los materiales naturales, así como de los implantados artificialmente, a efecto de asegurar la baja o nula percolación de estos al subsuelo. Para ello se requiere determinar la capacidad que tienen los materiales existentes o a utilizar, para degradar físico-químicamente a elementos extraños; uno de ellos es la capacidad de intercambio catiónico, mismo que basa su potencial en razón directa al contenido y tipo de arcillas, ya que estas son las mas susceptibles a intercambiar iones. Además, resulta necesario estimar el contenido de iones positivos promedio existentes en los residuos a recolectar y depositar en el relleno, así como el peso del material natural por unidad de volumen (peso volumétrico) y porosidad de este. De esta forma, se tiene lo siguiente:

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): 15.89 meq/100 gr (muestra colectada a los 8 metros de profundidad)

Peso volumétrico natural (γ nat.): 2.1 ton/m³

Porosidad: 30%.

Principales parámetros encontrados en lixiviados generados de residuos sólidos domiciliarios (SEDESOL)

COMPONENTE	ÁMBITO en mg/lit o pmm
Alcalinidad total como CaCO ₃	4000 - 25540
Arsénico	0.040
Cadmio	- 0.025
Calcio	100 - 320
Cianuro	0
Cinc	0.25 - 3.0
Cloruros	1325 - 8870
Cobre	0 - 0-6

Conductancia específica	7400 - 32000 en ohms/cm
Cromo total	0 - 8.7
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	380 - 52000
Demanda química de oxígeno	1870 - 62320
Dureza total	1800 - 11000
Fluoruros	0.6 - 0.8
Fósforo total	1 - 10
Hierro total	1.7 - 1600
Magnesio	396 - 995
Manganeso	0.05 - 4.0
Mercurio	0 - 0.008
Nitratos	0
Nitritos	0.2 - 1.2
Nitrógeno amoniacal	15.5 - 1420
Nitrógeno orgánico	46 - 1889
Oxígeno disuelto	6.3 - 7.9
Plomo	0 - 2.0
Potasio	365 - 1270
Sólidos totales	1700 - 16460
Sodio	490 - 4920
Sulfato	40 - 1000
Fenol	0.8 - 18
Detergentes (SAAM)	0.7 - 233
Turbiedad	128 - 1500 en UNT

De esta forma se tiene:

Constituyente (tomando cationes)	*Ambito mg/lit	Peso atómico	Peso equivalente P.A./valencia	Concentración Con./P.E. (meq/l)
Calcio ++	320	40.08	20.04	15.97
Mg ++	995	24.31	12.16	81.85
Fe ++	1600	55.85	27.92	57.30
Na ++	4920	22.99	22.99	214.01

K +	1270	39.10	39.10	32.48
NH +	1889	17.04	17.04	110.86
Zn ++	3	65.37	32.68	0.09
Ni ++	88	58.71	29.35	3.00
			TOTAL	515.56

De aquí que la densidad del suelo generado será:

$$d = \text{Concentración (meq/l) / CIC}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$d = 515.56 \text{ meq/l} / (15.89 \text{ meq/100 gr de suelo}) = 3,245 \text{ gr de suelo por cada litro a infiltrarse o que es lo mismo, } 0.003245 \text{ kg/m}^3$$

Si se toma en consideración la densidad y la relación suelo-lixiviado, se obtendrá el volumen de suelo necesario para remover la concentración iónica de los lixiviados:

$$D = d / \gamma \text{ nat.}$$

De donde

d es densidad del suelo

$\gamma \text{ nat.}$ es peso volumétrico natural

$D = 0.003245 \text{ kg/m}^3 / 2100 \text{ kg/m}^3 \text{ de suelo} = 1.55 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ de suelo/m}^3 \text{ lixiviados}$, es decir, se requerirán $1.55 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ de suelo por cada m^3 de lixiviados que se generen.

Pero como la percolación es de 120.654 mm/año (0.120654 m/año) se tendrá:

$$1.55 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ -----m}^3 \text{ de lix.}$$

$$X \quad \text{-----} 0.12065$$

$$X = 1.86 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ necesarios para degradar los lixiviados}$$

Si se considera que la producción de lixiviados se dará en un período de 20 años, entonces se tiene que el volumen de suelo requerido total será:

$$P = 20 \times 1.86 \times 10^{-7} = 3.73 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

VI.2.2.b) Método de celdillas

El método de celdillas nos permite determinar la interfase para proteger a las aguas freáticas de la contaminación de DBO o por cualquier otro contaminante que no fue tomada en cuenta en la determinación de la interfase para su protección, mediante el análisis de la capacidad de intercambio catiónico.

Para el cálculo de la interfase se toman en cuenta los siguientes datos:

Q (de infiltración) = $\text{m}^3/\text{dia}\cdot\text{m}^2$

K = $1 \times 10^{-3} \text{ cm/seg}$

K1 Coeficiente de decaimiento = 0.05 (Fuente: Apuntes IPN)

n porosidad del suelo = 0.30 (Fuente: Apuntes IPN)

DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) = 10,000 mg/l (Carga típica)

Cálculo del Gasto de Infiltración

$$K = Q/A \times dh/dl$$

Donde:

K = Permeabilidad del suelo cm/seg = $13.377 \times 10^{-7} \text{ cm/seg}$

Q = Gasto de Infiltración m^3

A = Área unitaria de cálculo m^2

dh/dl = gradiente hidráulico, en este caso es igual a 1

Entonces:

$$K = Q/A$$

$$Q = K \times A$$

$$Q = 4.22 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{año.m}^2$$

Calculando el coeficiente de retardo

$$G = 1 + (1-n)/n \times K1$$

$$G = 1 + (1-0.30/0.30) \times 0.05$$

$$G = 1.12$$

Cálculo del factor constante

Posteriormente, suponiendo celdillas iguales (espesor), para el término α resulte constante. Considerando que entre más pequeña se tome la celdilla mayor será la aproximación.

Por lo anterior, para efectos del cálculo, se propone un espesor de 0.20 m y un área de 1.0 m² de sección, por lo que se tiene:

$$\alpha = (BANGK1)/Q$$

$$\alpha = (0.20 \times 1.0 \text{ m}^2 \times 0.30 \times 1.12 \times 0.05) / 4.22 \times 10^{-4}$$

$$\alpha = 7.96$$

Cálculo de las concentraciones

$$C_1 = (1/(1+\alpha)) \times C_0$$

$$C_1 = (1/(1+7.96)) \times 10,000$$

$$C_1 = 1116.07$$

Profundidad	α	Concentración mg/l
0.00	0.000	10000.00
0.20	7.96	1116.07
0.40	15.52	67.56
0.60	23.69	2.74

Determinación de la concentración de DBO a una profundidad de 0.60 m.

Determinación de la velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración de la concentración de DBO, en el subsuelo y esta dada por la expresión:

$$V=Q/(Axn)$$

$$V= 4.22 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{año}/(1 \text{ m}^2 \times 0.30)$$

$$V=1.41 \times 10^{-2} \text{ m/año}$$

Cálculo del tiempo de infiltración

$$t= G/V$$

$$t= (1.12/1.41 \times 10^{-2}) \times 100 = 7943 \text{ años}$$

VI.2.2c) Aplicación del método de balance de agua para la estimación de lixiviados

El método a emplear será bajo la forma de tabulación, similar a lo realizado por Fenn; el resultado de los cálculos corresponde a la columna de lixiviado (mm) la cual, al multiplicarse por los valores del área superficial del relleno sanitario, proporciona el dato del volumen de lixiviados producidos por mes.

El método involucra un volumen de control único, por lo cual la infiltración queda implícita en los cálculos, dentro de L_v y L_v' que son en este caso los parámetros importantes.

VI.2.2c.1) Primer etapa: Operación
Precipitación

P	13.9	2.3	3.7	12.1	77.6	192.1	186.9	166.2	195.0	67.4	13.7	3.4	934.3			
E	12.51	2.07	3.33	10.89	69.84	163.28	158.86	141.27	165.75	44.002	-	-	-	12703	40.075	48.5
							5	5							954	307
																165

Capacidad de Absorción de los Residuos:

Este valor es la diferencia entre la capacidad de campo de los residuos y su contenido de humedad. En este caso se tomará una capacidad de campo de los residuos de 40% (Fuente: Proyecto ejecutivo Cuarnavaca

Mor.) y un contenido de humedad de 20% (Fuente: Proyecto Ejecutivo Cuernavaca Mor.), por lo que se tiene:

$$CA = CC - \text{VOLUMEN DE HUMEDAD}$$

$$CA = 40 - 20 = 20 \%$$

$$CA = 200 \text{ mm de agua/mde capa de residuo}$$

Considerando que la altura promedio del relleno sanitario es de 13 m, la capacidad de absorción de los residuos será de 2,600mm (200 mm agua/m de capa de residuos x 15 m)

Humedad liberada de la fase aerobia

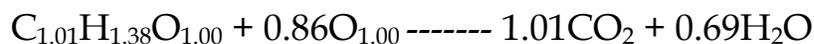
La ecuación que gobierna la fase aerobia de la degradación de los residuos sólidos es:



A partir del análisis promedio de la composición química de los residuos sólidos se tiene:

Elemento	X En peso	Y % Normalizado	Z = Y/PM Rel. Molar	W = Z/3.31* Coeficiente
Carbono	22.28	39.75	3.31	1.01= a
Hidrogeno	2.53	4.51	4.51	1.38 = b
Oxigeno	29.30	52.27	3.27	1.00 = c
Nitrógeno	1.55	2.77	0.20	0.06
Azufre	0.39	0.70	0.02	0.01

Sustituyendo valores:



Lo anterior indica que 0.86 moles de oxigeno generan 0.69 moles de agua

Ahora bien, suponiendo que existe un 30% de vacíos entre los componentes de los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario

se tendrán 300 litros de aire por cada m³ de residuos. si la densidad del aire se considera como 1.16 kg/m³, se tendrá:

$$0.300 \text{ m}^3 \text{ de aire/m}^3 \text{ de residuos} \times 1.16 \text{ kg aire/m}^3 \text{ aire} = 0.348 \text{ kg aire / m}^3 \text{ de residuos}$$

Se considera que el aire esta compuesto por un 21% de volumen de oxigeno, se tiene la siguiente consideración en peso del oxigeno:

$$\text{mg/m}^3 = (\text{ppm} \times \text{Pm})/24.5$$

Donde:

ppm = partículas por millón de O₂ = 210, 000

Pm = Peso molecular del O₂ = 32.00

24.5 = Factor de conversión que involucra la constante universal de los gases @ la presión y la temperatura.

$$\text{O}_2 = (210,000 \times 32)/24.5$$

$$\text{O}_2 = 0.274 \text{ kg/m}^3$$

Determinando la capacidad de oxigeno en 1 m³ de residuos:

$$\text{O}_2 = (0.348 \text{ kg aire/m}^3 \text{ de residuo}) \times (0.274 \text{ kgO}_2/1.16 \text{ kg/aire})$$

$$\text{O}_2 = 0.0822 \text{ kgO}_2/\text{m}^3 \text{ de residuo}$$

Regresando a los resultados de la ecuación química:

$$0.86 \text{ moles O}_2 \times 32 \text{ gr/mol} = 27.52 \text{ gr O}_2$$

$$0.69 \text{ moles de H}_2\text{O} \times 18 \text{ gr/mol} = 12.42 \text{ gr H}_2\text{O}$$

Esto es habiendo que hay 27.52 gr de O₂ los microorganismos generan 12.42 gr de H₂O

Considerando que hay 82.2 gr de O₂ en 1 m³ de residuos se tendrá:

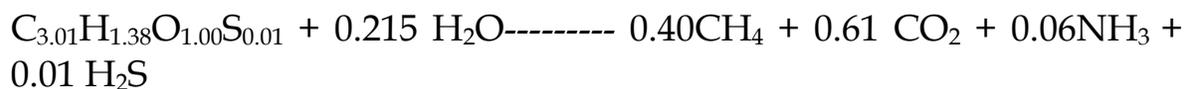
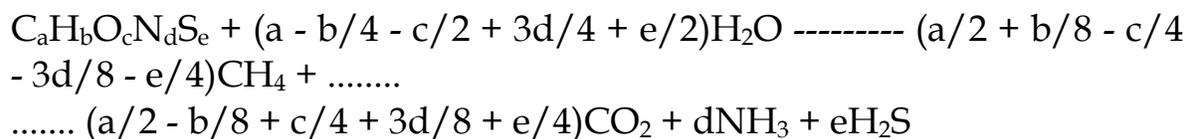
$$27.52 \text{ ----- } 12.42$$

$$82.2 \text{ ----- } x$$

Cada m³ de residuos generara por acción metabólica microbiana en fase aerobia 37 g de agua; esto es 0.037 lts H₂O/m³ de residuos.

Si este último resultado se considera como una columna de agua, se tendrá un equivalente de 0.037 mm/m de líquido percolado; para propósitos prácticos, este valor se considerará como cero ya que es muy poco significativo.

Humedad consumida en la fase anaerobia



Lo que indica que 1 mol de residuos requiere de 0.22 mol de agua para la digestión anaerobia.

$$1 \text{ mol de residuos} \times 30.66 \text{ gr/mol} \text{ ----- } 0.22 \text{ mol} \times 18 \text{ gr/mol}$$

$$30.66 \text{ ----- } 3.96 \text{ mol}$$

Los 30.66 gr de residuos consumen 3.96 mol de agua. Considerando que los residuos por depositar están compuestos de un 50% aproximadamente de residuos rápidamente degradables y que la densidad de los desechos en el relleno será de 750 kg/m³.

$$(3.96 \text{ kg/agua}/30.66 \text{ kg/residuos}) \times (750 \text{ kg/m}^3/\text{m}^3 \text{ de residuos}) \times 0.50$$

$$= 48.43 \text{ kg de agua / m}^3 \text{ de residuos.}$$

Esto es igual a 49 lts de H₂O/m³ de residuos. Por lo tanto, se tiene que el agua consumida en fase anaerobia, expresada como columna de agua será de 49 mm/m³, lo cual seguirá siendo constante a lo largo del tiempo.

Comentario sobre el resultado del balance de agua:
Cada valor mensual se calcula mediante la formula:

$$L_v = (P + H_L) - (E + CA + H_C)$$

Donde:

L_v = Volumen de lixiviados por mes

P = Precipitación promedio mensual

H_L = Cantidad de agua consumida en la fase aerobia = 0.00

E = Evaporación promedio mensual

CA = Capacidad de Absorción

H_C = Cantidad de agua consumida en la fase anaerobia = 568 mm

Sustituyendo valores para el mes de enero:

$$L_v = (13.9 + 0.00) - (12.51 + 2000 + 568) = - 2566.61 \text{ mm}$$

El valor negativo significa que los parámetros que impiden o minimizan la producción de lixiviado son mucho mayores que aquellos que la promueven. Por lo anterior se puso un valor de cero en vez de valores negativos, ya que de esta manera se interpreta mejor el resultado del balance de agua: nula generación de lixiviados.

VI.2.2.c.2) Segunda etapa: Menos de dos años después de la clausura

En esta segunda etapa de hasta dos años después de la clausura se toma en cuenta la siguiente expresión:

$$L_v' = P - (E + E_s + H_s + H_C)$$

Donde:

L_v' = Volumen de lixiviados producidos después del cierre

P = Volumen de precipitación media mensual

E = Volumen de agua perdida por evaporación

E_s = Volumen de agua perdida por escurrimiento

H_s = Almacenamiento de humedad del suelo
 H_c = Volumen de agua perdida en la fase anaerobia

Sustituyendo valores:

$$L_v'(\text{enero}) = 13.9 - (12.51 + 1.60 + 2000 + 568) = - 2568.21 \text{ mm}$$

Por lo tanto para que los resultados sean entendibles, el volumen de lixiviados producidos en la segunda etapa hasta dos años de cierre serán cero.

VI.2.2.c.3) Valoración hidrológica de la evolución de un relleno sanitario

En este concepto se determina la evolución sistemática del comportamiento de humedad en el relleno. Para ello, el perfil vertical suele dividirse en tres unidades:

- a) De percolación vertical
- b) De drenaje lateral
- c) Barreras

Los datos requeridos para su valoración son:

- a) Climáticos
- b) De suelo
- c) Vegetación
- d) De diseño

De esta forma, se puede usar la siguiente ecuación:

$$K_u = K_s \left\{ \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right]^{\lambda} \right\}$$

De donde:

K_u = conductividad hidráulica insaturada

K_s = conductividad hidráulica saturada

θ = humedad del suelo (volumen/volumen)

θ_r = humedad relativa del suelo

θ_s = humedad saturada del suelo (volumen/volumen)

λ = índice de distribución de poros

VI.3 Sistema de impermeabilización recomendado

VI.3.1) Factores de degradación de lixiviados

La contaminación ligada a la lixiviación e infiltración de elementos drenados por el depósito de basura, está basada en la acción filtrante que puedan tener los materiales sobre los que se sustente. De esta forma, existen diversos factores que degradan el paso de contaminantes al subsuelo, como son:

- a) Filtración mecánica. Se ejerce sobre las partículas en suspensión tales como arenas, limos, arcillas, algas, microorganismos, etc., aunque ciertas bacterias de muy pequeño tamaño pueden circular con cierta libertad. Es tanto mas enérgica cuanto menor es el tamaño medio de los poros y más uniforme es su distribución. En este sentido, los acuíferos en gravas fluviales gruesas están deficientemente protegidos, tantas más cuantas más gruesas sean. La acción de filtración mecánica es muy pequeña o casi inexistente en acuíferos permeables, por la existencia de grandes grietas y/o conductos de disolución.

- b) Oxidación-reducción. Los procesos de oxidación son muy importantes en la disminución de la contaminación por productos orgánicos y nitrogenoideos. Se realizan predominantemente durante la infiltración en medio no saturado, aunque también pueden producirse en medios no saturados mientras no se consuma el oxígeno disuelto en el agua; los materiales orgánicos se transforman en CO₂ y los compuestos nitrogenoideos en NO₃; muchas bacterias mueren en este proceso. Cuando el oxígeno es escaso o inexistente, se producen fenómenos anaerobios en los que se consume materia orgánica a expensas de la reducción de nitratos y de sulfatos, y también de compuestos férricos y mangánicos del terreno. El resultado es la producción de CO₂, CH₄, SH₂, S, Fe, Mn, NH₄, N₂ y NO₂. La reducción anaerobia disminuye un tipo de contaminación pero puede dar lugar a otro tipo de la misma, a veces peor, que puede ir acompañado de malos olores, gustos y color. Tanto en los fenómenos de oxidación como en los de reducción, juegan un papel muy importante las bacterias y otros microorganismos del terreno.

c) Adsorción y absorción por el terreno. El terreno puede retener cantidades importantes de materiales contaminantes, en especial aquéllos que consisten de moléculas complicadas y de gran tamaño. Esta retención puede ser temporal (en realidad es sólo una disminución de la velocidad en la circulación) o bien permanente. La capacidad de retención tiene un límite, de modo que si el compuesto retenido no se descompone por otras acciones o se desintegra radioactivamente, el terreno admite sólo en determinadas circunstancias una cierta cantidad del mismo. La retención supone un mayor tiempo de permanencia y ello permite que otros fenómenos purificadores, como los de oxidación por acción bacteriana. Entre los fenómenos incluidos dentro de este grupo deben considerarse también los de *intercambio iónico. En la zona de tránsito de un medio reductor a el medio oxidante, la precipitación de hidróxidos férricos y mangánicos y la formación continuada de lodos bacterianos alrededor de la superficie de gravas y grietas supone mantener la capacidad sorbente del terreno, lo que lleva a una reducción de la permeabilidad.

*El intercambio iónico está referido a la caracterización de algunas sustancias sólidas por estar electrónicamente desequilibradas y logran la neutralidad rodeándose de cationes si las cargas libres son negativas (sustancias catiónicas) o de aniones, si las cargas libres son positivas (sustancias aniónicas). Los iones retenidos lo están muy débilmente (iones lábiles) y al entrar en contacto con una disolución acuosa, pueden ser reemplazados, valencia a valencia, por otros iones del mismo signo. Se trata de un fenómeno de adsorción, existiendo un equilibrio dinámico entre los iones adsorbidos y los del agua.

En la naturaleza abundan los minerales con capacidad de cambio iónico, pero sólo la presentan de forma acentuada algunas especies del grupo de las arcillas, tales como la caolinita, halloisita, montmorillonita, illita, vermiculita, etc., que son cambiadores catiónicos. De esta forma, se denomina capacidad de intercambio iónico de un material, a los miliequivalentes que puede cambiar con

el medio por cada 100 g del mismo. La capacidad de cambio para algunos minerales de la arcilla es:

- d) Procesos bioquímicos. Los procesos bioquímicos juegan un papel muy importante en el terreno, tanto en los medios no saturados como en los medios saturados, aunque es en general mas intensa en los primeros.

VI.3.2) Modelo de impermeabilización propuesto

Para el caso, la norma 084 indica: “El sistema de impermeablización será utilizado para aquéllos rellenos sanitarios donde el nivel de aguas freáticas se localice a menos de 10 m de profundidad”. Al respecto se establece que el sistema acuífero en el sitio deberá encontrarse a escasos 11 o 10 metros de profundidad una vez que se descapote, por lo que habrá de realizarse una doble impermeabilización para asegurar en la medida de lo posible, la infiltración de lixiviado alguno al subsuelo. Es necesario recordar que los materiales naturales sobre los que se sustentará el sitio, son conglomerados moderadamente permeables ($K= 1 \times 10^{-3}$), detectándose un gradiente hidráulico de 0.014, lo que representa inicialmente un evidente peligro de dispersión de los contaminantes en caso de que penetraran estos al agua subterránea.

El sistema de impermeabilización se presenta para toda la base del relleno y será de origen tanto natural como sintético, con lo que se asegura una permeabilidad mínima de 1×10^{-7} cm/seg (ver pruebas de laboratorio en el ANEXO). Así también se presenta un muestrario de las geomembranas existentes y en su caso, la recomendada para el relleno (texturizada de 60 milésimas).

Los materiales de origen natural a utilizar, como parte del sistema de impermeabilización, habrán de importarse de los bancos de material recomendados en la sección i.6 del capítulo IV y los necesarios para las capas de cubierta de las celdas. En ambos casos habrán de compactarse para reducir su permeabilidad a los límites establecidos, en espesores lo suficientemente aceptables como para absorber o atenuar la carga contaminante de los lixiviados.

VI.3.2.1) La impermeabilización estará diseñada a base de diferentes capas (doble impermeabilizante, el inferior con arcilla y geomembrana y el superior con arcilla), que habrán de combinar características de membrana impermeable con sistemas drenantes. La conjunción de estas propiedades permite manejar los lixiviados de una manera segura impidiendo que éstos se percolen hacia el subsuelo.

La estructura del sistema de impermeabilización se encuentra compuesta por una serie de capas de composición y grosor diferentes acomodadas de la siguiente forma:

- a) En el contacto con el suelo natural se colocará una capa de arcilla de 0.30 m de espesor, la cual llevará una proporción de 40% de arcilla, con 25% de arena (0.1-1.0 mm) y 35% de grava (10-50mm). La primera habrá de obtenerse del terreno pretendido como relleno al poniente de Hospital, en tanto que los otros se obtendrán en el sitio actual del relleno sanitario mediante el cribado del material producto de la excavación. La mezcla del material se hará en el sitio mediante la utilización de motoconformadora, hasta lograr la homogeneización de la mezcla; el material ya mezclado deberá ser regado hasta que alcance un 13.35% de humedad el cual corresponde al 4% superior al óptimo de compactación y se dejará reposar durante tres días para lograr una mayor homogeneización en el contenido de agua. El material será colocado sobre la capa drenante secundaria extendiéndola en forma regular sobre todo el piso de la celda, conformando una primera capa de 15 cm de espesor mediante el uso de motoconformadora, para luego compactarlo al 90 % de su p.v.s.m., utilizando rodillo compactador sin vibración. Lo que se desea es lograr un amasado del material con objeto de darle una textura y acomodo a las partículas de la mezcla para maximizar su eficiencia impermeable. Aplicando este sistema de compactación del material se espera obtener permeabilidades del orden de 1×10^{-8} cm/seg.
- b) Una vez que se encuentre conformada la primera capa y se encuentre adecuadamente compactada, se procederá a repetir el

procedimiento para formar una segunda capa de igual espesor, logrando con ello un espesor de 30 centímetros. Esta mezcla probada en laboratorio presenta una permeabilidad que se sitúa entre 13.377×10^{-7} cm/seg. y 0.735×10^{-7} cm/seg., bajo cargas de 0.063 kg/cm² y 3.00 kg/cm² respectivamente. Estos valores se obtuvieron mediante ensayos de consolidación unidimensional aplicado a un espécimen compactado al 90 % de su p.v.s.m., siendo determinado en la prueba proctor estándar (sin amasar; ver pruebas de laboratorio en el ANEXO).

- c) Geomembrana sintética: sobreyaciendo a la arcilla se instalará una geomembrana texturizada de 60 milésimas fabricada en un compuesto de polipropileno. Esta membrana posee la característica de ser flexible e impermeable, además de presentar una alta resistencia química a los lixiviados; de acuerdo a las especificaciones requeridas, deberá presentar una resistencia al rasgamiento de al menos 45 lbs, y de punzamiento de al menos 80 lbs. Durante su colocación se partirá de la parte alta de la celda, dejando correr el rollo hasta lograr el alargamiento deseado; para que esto sea posible, habrá de anclarse en la parte alta mediante el recubrimiento con arena compactada al 80% P.N. dentro de una cepa previamente escarbada, en donde se introducirá la geomembrana (ver figura 4.42); los empalmes entre rollos se harán mediante termofusión doble. Una vez que se tenga toda la geomembrana perfectamente extendida se deberá verificar a través de inyección de aire o espumantes, la perfecta unión de los rollos de geomembrana.
- d) Drenaje secundario: sobre la membrana sintética se colocará una capa drenante constituida por una mezcla de grava y arena, con una granulometría comprendida entre 0.30 mm y 20.00 mm, esta capa tendrá un espesor medio de 30 cm y se extenderá en forma regular en todo el piso de la celda de confinamiento. Este material será obtenido en el sitio mediante el cribado del material producto de excavación de la celda de acuerdo con la granulometría antes indicada; la capa drenante tiene como finalidad coleccionar y conducir los lixiviados de la basura y agua meteórica que se llegue a captar en la celda y que hubiesen logrado flanquear la membrana primaria.

Es muy importante que los agregados pétreos que constituyen la capa drenante se extiendan sobre la membrana sintética con extremo cuidado, utilizando equipo sobre ruedas de preferencia ligero como una motoconformadora para no dañar la membrana. Por ningún motivo se deberá usar equipo pesado sobre orugas, ya que la tracción que éste ejerce sobre el terreno que pisa es muy grande y puede desgarrar la membrana sintética con facilidad. Los camiones de volteo que acarrearán el material para la capa drenante lo deberán ir vaciando de tal suerte que se formen montículos muy próximos unos de otros para luego abandonar el sitio circulando lentamente sobre la membrana para evitar daños a esta; así mismo es importante que los camiones no frenen bruscamente ya que ello podría causar rasgaduras en la membrana. Conforme se van vaciando los camiones de volteo la motoconformadora deberá ir extendiendo y conformando la capa de 20 cm de espesor. El material de la capa drenante se deberá regar y mezclar antes de su colocación. El material de la capa drenante deberá ser compactada mediante rodillo vibratorio al 90% de su peso volumétrico seco máximo.

- e) Membrana primaria: la membrana primaria será la principal barrera que impedirá el paso de los lixiviados hacia el subsuelo. Esta capa se encuentra constituida por una mezcla de arcilla, grava y arena. La primera es obtenida del banco de material situado en el hospital, en tanto que los otros se obtendrán en el sitio del relleno sanitario mediante el cribado del material producto de la excavación de la celda de confinamiento. El porcentaje de los componentes será el siguiente: 35 % de grava (10 - 50 mm), 25 % de arena (0.1 - 1.0 mm) y 40 % de arcilla. La mezcla del material se hará en el sitio mediante la utilización de motoconformadora hasta lograr la homogeneización de la mezcla; el material ya mezclado deberá ser regado hasta que alcance 13.34 % de humedad el cual corresponde al 4% superior al óptimo de compactación y se dejará reposar durante tres días para lograr una mayor homogeneización en el contenido de agua el cual se logra por difusión. Esta mezcla probada en el laboratorio presenta una permeabilidad que se sitúa entre de 13.377×10^{-7} cm/seg., y 0.735×10^{-7} cm/seg. Bajo cargas de 0.063 kg/cm² y 3.00

kg/cm² respectivamente. Obtenida mediante un ensayo de consolidación unidimensional aplicado a un espécimen compactado al 90 % de su p.v.s.m. determinado en la prueba proctor estándar (sin amasar) El material será colocado sobre la capa drenante secundaria extendiéndolo en forma regular sobre todo el piso de la celda, conformando una primera capa de 15 cm de espesor mediante el uso de motoconformadora, para luego compactarlo al 90 % de su p.v.s.m. utilizando rodillo compactador sin vibración lo que se desea es lograr un amasado del material con objeto de darle una textura y acomodo a las partículas de la mezcla para maximizar su eficiencia impermeable. Aplicando este sistema de compactación del material se espera obtener permeabilidades del orden de 10 -8 cm/seg. Una vez que se encuentre conformada la primera capa y se encuentre adecuadamente compactada, se procederá a repetir el procedimiento para formar una segunda capa de igual espesor, logrando con ello una membrana de 30 centímetros de espesor.

- f) Sobre la membrana primaria se colocará una capa drenante constituida por una mezcla de grava y arena, con un espesor medio de 20 cm y se extenderá en forma regular en todo el piso de la celda, compactado al 85 % de su peso volumétrico seco máximo. Sobre esta capa se depositará la basura y su finalidad será exclusivamente la de proteger la capa impermeable subyacente. Este material será obtenido en el sitio mediante el cribado del material producto de la excavación de la celda. Al igual que en la primer capa drenante, es importante que los agregados pétreos que la constituyan se extiendan sobre la membrana de arcilla con cuidado y utilizando equipo sobre ruedas de preferencia ligero, como una motoconformadora. No deberán usarse equipos pesados sobre orugas y los camiones de volteo que acarrearán el material lo deberán ir vaciando de tal suerte que se formen montículos muy próximos unos de otros para luego abandonar el sitio. Conforme se vayan vaciando los camiones de volteo, la motoconformadora deberá ir extendiéndolo y conformando la capa de 20 cm de espesor. El material deberá empaparse y mezclarse antes de su colocación. La granulometría deberá estar entre 0.30 mm y 20.00 mm, para lo

cual deberá ser compactada mediante rodillo vibratorio al 90% de su peso volumétrico seco.

Es importante que todo el sistema de impermeabilización de la celda de confinamiento sea integrado al colector de lixiviados para que el funcionamiento de todo el sistema (barrera - drenaje) opere adecuadamente. La incorporación del sistema de impermeabilización se podrá realizar a través del mismo colector de lixiviados mediante la colocación de una capa de grava que quede al mismo nivel del sistema de impermeabilización, de tal suerte que éste descargue los lixiviados hacia el colector. La textura de la grava deberá situarse entre 10 mm y 25 mm. Es importante que esta capa quede exactamente al mismo nivel que las del sistema de impermeabilización con la finalidad de evitar taponamientos de ésta. La capa de transición deberá ser compactada al 90% de su p.v.s.m. (ver figura 4.22).

VI.4 Posible impacto vial y rutas de transporte para descarga de residuos en el sitio

Este capítulo lo realizará la SEDAM

VI.5 Método de operación del relleno sanitario, con su correspondiente ingeniería básica y de detalle

VI.5.1) Selección del método

El método a utilizar corresponderá al de área en terrazas, el cual consiste en la construcción de la celda en un extremo del terreno y se avanza hasta terminar en el otro extremo; cuando existen ondulaciones y depresiones en el terreno, se usan como respaldo a las primeras celdas de una determinada capa constructiva.

De acuerdo a la normatividad ecológica NOM-084, el diseño de un relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos municipales, debe sujetarse al siguiente procedimiento:

VI.5.2) Topografía

Deberá obtenerse información referente a la forma superficial y perimetral (límites) del sitio, la cual deberá cumplir las siguientes especificaciones:

b.1) Planimetría

Tolerancia angular = $1 N 1/2$

Tolerancia lineal = $1/3000$

Donde: N = Número de vértices de la poligonal

Ubicación de los límites del predio, cursos o cuerpos de agua superficial, áreas de inundación, caminos en servicio, líneas de conducción existentes en el sitio (luz, agua, drenaje, gas, teléfono, etc.), así como todo tipo de estructuras y construcciones existentes dentro del predio

b.2) Altimetría

Una vez establecido un banco de nivel fijo y de fácil localización, se deberá efectuar una nivelación a lo largo de las poligonales abierta y cerrada con puntos de nivelación a cada 20m. Como máximo y especificar la altura de los sistemas de conducción que atraviesen el sitio, incluyendo sus sistemas de sujeción

Al respecto, el plano topográfico entregado a esta compañía si bien no presenta los arroyos y vías de comunicación circundantes, esto bien puede atribuirse a que se encuentran fuera del perímetro del terreno.

b.3) Secciones

Deberán ubicarse secciones a partir de la estación 0+000 del camino de acceso, para lo cual se referenciarán a las estaciones establecidas sobre el perfil del camino, las secciones serán siempre perpendiculares al eje del camino de acceso y abarcarán 20m, a cada lado de dicho eje. Para la poligonal cerrada, se establecerá un eje central que divida al predio en dos áreas aproximadamente iguales, debiendo definirse ejes paralelos a cada 50 m, mismos que deben seccionarse transversalmente a cada 25m aproximadamente, para superficies de 8 hectáreas o menos y a cada 50m en terrenos mayores a 8 hectáreas.

Al respecto, el plano entregado a esta compañía no presentó el camino vecinal que la comunica ni las secciones.

b.4) Configuración topográfica

Las curvas de nivel se trazarán de acuerdo a los siguientes requerimientos: a cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados y a cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados

VI.5.3) Cálculo de la capacidad volumétrica

De acuerdo al cálculo volumétrico de descapote realizado para las celdas por construir, esta indicó las siguientes cifras:

- a) Celda 1= 188,576.69 m³
- b) Celda 2= 154,473.17 m³
- c) Celdas 3, 4 y 5= 233,925.55 m³
- d) A lo anterior deberá agregarse un volumen excedente de relleno (3 metros promedio arriba del nivel medio topográfico inicial), redundando en 125,877.59 m³ más, lo que representa en elevar el nivel del relleno un promedio de 3 metros arriba del nivel original (ver figuras 4.10, 4.11 y 4.12).

VI.5.4) Cálculo de la vida del sitio

El cálculo de la vida útil del sitio, tomando en cuenta las 12 hectáreas recientemente compradas, se obtiene por medio de la capacidad volumétrica total del sitio, la cantidad de residuos a disponer y el volumen de material de cubierta requerido, conforme a la siguiente ecuación:

$$U = V / (365 Gt)$$

De Donde:

U= Vida útil del relleno sanitario, expresado en años

V= Volumen del sitio seleccionado, expresado en m³

Gt= Volumen ocupado por la cantidad total diaria de residuos sólidos a disponer, más la cantidad de material de cubierta demandado para cubrir esos residuos, expresado en m³/ día.

Si se sustituyen valores, tendremos lo siguiente:

V= suma de los volúmenes de descapote de las celdas, mas el relleno complementario da como resultado lo siguiente:
188,576.69+154,473.17+233,925.55+125,877.59 (m³)

Por tanto, V= 702,853 m³ Gt=449.61 m³/dia (valor medio de 10 años)

Así, U= (702,853)/(365*449.61) [m³/m³/dia]= 4.28 AÑOS

VI.5.5) Dimensiones de la celda diaria

a) Altura de la celda

La altura máxima de la celda deberá ser de 3.00 m, incluyendo el espesor de los residuos a disponer y el material de cubierta requerido.

b) Ancho de la celda

El ancho de la celda (frente de trabajo) estará determinado, teniendo en cuenta una población existente actual menor a 250,000 habitantes, conforme a la ecuación siguiente:

$$F=0.0333 \text{ NTX}$$

De donde:

F= Longitud del frente de trabajo, expresado en metros

N= Número de vehículos recolectores en la hora pico por minuto (vehículo/min)

T= Tiempo promedio de descarga de cada vehículo recolector, expresado en minutos/vehículo

X= Ancho de los vehículos recolectores, expresado en metros

De esta forma, N será 5

$$T= 25$$

$$X= 3.5$$

Por tanto, F o ancho de la celda deberá ser igual a 0.0333 (5*25*3.5)= 14.57 metros

c) El largo de la celda se deberá calcular en función de la altura y el ancho previamente determinados, conforme a la ecuación siguiente:

$$L=V/WA$$

De donde:

L= Largo de la celda, expresado en metros

V= Volumen de la celda, expresado en M³

W= Ancho de la celda, expresado en metros

A= Altura de la celda, expresado en metros

Sustituyendo queda:

$$V= 449.61 \text{ m}^3$$

$$W= 14.57 \text{ metros}$$

$$A= 3 \text{ metros}$$

Por lo tanto, la ecuación queda como sigue: $L=449.61/(14.57*3)$

$$L= 10.28 \text{ metros}$$

VI.5.6) Con base al método de área, mismo que habrá de utilizarse en el relleno, las celdas se construirán inicialmente en un extremo del sitio y se avanzará hasta terminar en el otro extremo.

Criterio constructivo:

- a) Se prepara el terreno para trabajarlo a base de terrazas y al mismo tiempo extraer material para cubierta
- b) El frente de trabajo o ancho de la celda se basará en los cálculos de los incisos VII.2 y VII.3
- c) Los cortes al terreno se harán siguiendo la topografía del sitio para formar terrazas y aprovechar al máximo el terreno (ver figuras 4.1 y 4.2)
- d) El talud de la celda diaria tendrá una relación de 1:3 ángulo de 18° (ver figura 1.2)
- e) Cada celda del relleno será contigua con la del día anterior y así sucesivamente hasta formar una hilera de celdas que se denominarán franjas. Estas celdas se construirán de acuerdo con la topografía del sitio
- f) Las franjas al irse juntando formaran capas, las que se construirán considerando la altura del sitio disponible para el relleno y al ubicarse en el plano de construcción, se calendarizarán y se enumeraran de abajo hacia arriba usando 3 subíndices, uno indicando capa, el segundo indicará la franja y una tercera para la celda diaria
- g) Las cubiertas intermedias que sirven de separación de las celdas diarias serán de 30 cms, el espesor de cubierta será de 60 cms
- h) La compactación de los residuos dependerá de su composición, del grado de humedad y del equipo utilizado. Deberá obtenerse entre un 50 a un 70% de reducción de su volumen.
- i) Las cubiertas tendrán una pendiente del 2% para el drenado adecuado que impidan el paso del agua; para evitar la erosión, al

termino de las celdas se deberán sembrar especies propias de la región o en su caso, sembrar pasto para utilizar el sitio como área deportiva (ver figura 4.10).

- j) El diseño de la primera y segunda celdas habrá de realizarse a una profundidad promedio de excavación de 8 metros, en un área de 12,000 m² inicialmente, para terminar en 18 hectáreas al final. Si se emplea un tractor D7H, que tiene un rendimiento de 700 m³/jornal (8 horas), se necesitaría un tiempo de 490 días para descapotar los 343,049.86 m³ de estas.

VI.6 Sistemas de control de biogas y de lixiviados

VI.6.1) Pozos de monitoreo para lixiviados

- a) Los sistemas de monitoreo para lixiviados en suelo se construirán alrededor del perímetro externo de las celdas en un número de 10, esto con la idea de detectar posibles humedecimientos anormales en el terreno, indicador de infiltraciones de lixiviados (figuras 4.23 y 4.24). En cuanto al monitoreo de lixiviados en agua subterránea, estos de igual forma se realizarán alrededor del sitio, teniendo como indicador la dirección del flujo del agua subterránea que tiende hacia el SW. El número de estos será de tres en la porción sur del relleno y otro mas, al inicio del mismo. Su localización se presenta en la figura 4.30 y su diseño constructivo en la figura 4.31.

VI.6.2) Sistema de captación de biogas

- a) Se deberán construir estructuras verticales de 60 a 100 cms de lado a manera de chimenea, con malla y varilla, rellenos con piedra; estas estructuras se desplantarán 30 cms abajo del fondo del relleno y en la parte superior se cubrirán con una placa de concreto, dejando un tubo con cuello de ganso u otro sistema dependiendo de la cantidad generada de gas y el uso que se le de (ver figura 4.29)
- b) Se deberán instalar al menos 2 pozos por hectárea de relleno (ver figura 4.28)
- c) Independientemente del sistema de control que se use, el biogas que sea venteado o extraído, deberá ser quemado. El diseño de la instalación y del quemador deberá reunir las condiciones adecuadas para un óptimo funcionamiento

VI.6.3) Sistema de monitoreo de biogas

- a) El sistema de monitoreo de biogas será utilizado para aquellos rellenos sanitarios que sean construidos en oquedades, barrancas, depresiones, zanjas, etc., o en el caso que exista el contacto directo de los residuos sólidos con paredes, en los cuales se pueda presentar la migración de biogas de forma horizontal
- b) Los sistemas de monitoreo para identificar la migración de biogas estará integrado por pozos distribuidos a lo largo del perímetro del relleno sanitario (ver figuras de monitoreo de suelo, 4.23 y 4.24)

VI.6.5) Sistema de captación y extracción de lixiviados

- a) Se instalará un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización como lo demuestran las figuras 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 y 4.24 en el ANEXO.
- b) Los sistemas de captación de lixiviados son capas drenantes ubicadas principalmente en la base del relleno y sobre cualquier capa superior donde se espera tener acumulación de líquidos. Están diseñados para conducir de la forma mas rápida posible el agua libre del relleno hasta la fosa de lixiviados. Estas capas drenantes habrán de construirse en forma de trincheras. Su pendiente será del 1% y su conductividad hidráulica de 1×10^{-5} m/seg con un espesor de 0.3 m. Presentará forma trapezoidal, y se ubicará en el extremo sur del relleno (ver figuras 4.21 y 4.22). Estará constituida en su porción basal por la geomembrana sobrayacida por una capa de arcilla de 10 cms de espesor, cuya granulometría será la misma utilizada en las celdas. Posteriormente se rellenará de piedra braza con diámetro promedio de 10 cm.
- c) Fosa de lixiviados. Esta zanja se construirá en forma trapezoidal, con las siguientes medidas: 77.47 x 59.6 x 34.24 x 30 metros, con una profundidad de 3 metros. La pendiente del talud será de 3:1 a profundidad, siendo las porciones superiores las que corresponden a los valores antes mencionados. Para impermeabilizarla, habrá de colocarse ya sea arcilla traída del banco de material de Hospital o la mezcla propuesta para las celdas, consistente de una capa de 0.40 metros de espesor, la cual llevará una proporción de 40% de arcilla, con 25% de arena (0.1-1.0 mm) y 35% de grava (10-50mm). La primera habrá de obtenerse del terreno pretendido como relleno al

ponente de Hospital, en tanto que los otros se obtendrán en el sitio actual del relleno sanitario mediante el cribado del material producto de la excavación. La mezcla del material se hará en el sitio mediante la utilización de motoconformadora, hasta lograr la homogeneización de la mezcla; el material ya mezclado deberá ser regado hasta que alcance un 13.35% de humedad el cual corresponde al 4% superior al óptimo de compactación y se dejará reposar durante tres días para lograr una mayor homogeneización en el contenido de agua. El material será colocado directamente sobre el piso, extendiéndola en forma regular a lo largo de este, conformando una primera capa de 15 cm de espesor mediante el uso de motoconformadora, para luego compactarlo al 90 % de su p.v.s.m., utilizando rodillo compactador sin vibración. Lo que se desea es lograr un amasado del material con objeto de darle una textura y acomodo a las partículas de la mezcla para maximizar su eficiencia impermeable. Aplicando este sistema de compactación del material se espera obtener permeabilidades del orden de 1×10^{-8} cm/seg.

Una vez que se encuentre conformada la primera capa y se encuentre adecuadamente compactada, se procederá a repetir el procedimiento para formar una segunda capa de igual espesor, logrando con ello un espesor de 40 centímetros. Esta mezcla probada en laboratorio presenta una permeabilidad que se sitúa entre 13.377×10^{-7} cm/seg. y 0.735×10^{-7} cm/seg., bajo cargas de 0.063 kg/cm² y 3.00 kg/cm² respectivamente. Estos valores se obtuvieron mediante ensayos de consolidación unidimensional aplicado a un espécimen compactado al 90 % de su p.v.s.m., siendo determinado en la prueba proctor estándar (sin amasar; ver pruebas de laboratorio en el ANEXO).

Arriba de esta capa se colocará doble geomembrana, la inferior texturizada de 60 milésimas, la superior sencilla de 60 milésimas también.

VI.7 Obras y servicios complementarios

El relleno sanitario habrá de comprender, además del diseño de las celdas de confinamiento, las obras complementarias que corresponden a la densidad de población expresada en la tabla siguiente:

TABLA 2

INSTALACION DE:	RANGO DE POBLACION			
	No DE HABITANTES			

	HASTA 50,000	DE 50,001 A 200,000	DE 200,001 A 500,000	MAYOR DE 500,000
AREA DE ACCESO Y ESPERA		X	X	X
CERCA O AREA PERIMETRAL		X	X	X
CASETA DE VIGILANCIA	X	X	X	X
CASETA DE PESAJE Y BASCULAS		X	X	X
CAMINOS PERMANENTES	X	X	X	X
AREA DE EMERGENCIA DE DISPOSICION FINAL		X	X	X
DRENAJES PERIMETRALES E INTERIORES	X	X	X	X
INSTALACION DE ENERGIA ELECTRICA			X	X
POZOS DE MONITOREO PARA LIXIVIADOS		X	X	X
SEÑALAMIENTOS FIJOS Y MOVILES	X	X	X	X
SISTEMA DE	X	X	X	X

CAPTACION DE BIOGAS				
AREA DE AMORTIGUAMIENTO			X	X
ALMACEN Y COBERTIZO		X	X	X
AREA ADMINISTRATIVA		X	X	X
SERVICIOS SANITARIOS			X	X
SISTEMA DE MONITOREO DE BIOGAS			X	X
SISTEMA DE CAPTACION Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS		X	X	X

Como puede notarse en la tabla anterior, el caso del relleno sanitario de Ampliación Sur Hermenegildo Galeana no cae en todos los casos, debido a que la zona de Cuautla presenta una población menor a los 200,000 habitantes sin embargo, para efectos prácticos se considera con una población mayor anticipándonos al incremento poblacional esperado (ver figuras 4.1 a 4.47).

VI.7.1) Areas de acceso y espera

a) Las áreas de acceso y espera tienen como propósito el control de entradas y salidas del personal y de los vehículos de recolección; para ello, el acceso al relleno deberá tener un ancho de 8.00m como mínimo (ver figura 4.2 y 4.10)

b) Antes del acceso al frente de trabajo se deberá tener un área de espera con la capacidad suficiente para el estacionamiento de los vehículos recolectores y de transferencia en la hora pico (figura 4.33).

VI.7.2) Cerca perimetral

El relleno sanitario deberá estar cercado como mínimo con alambre de púas de cinco hilos de 1.50m de alto a partir del nivel de suelo, con

postes de concreto o tubos galvanizados, debidamente empotrados y colocados a cada 3m entre sí.

VI.7.3) Caseta de vigilancia

Las dimensiones de la caseta de vigilancia tendrán como mínimo 4 m² y deberán instalarse a la entrada del relleno sanitario, pudiendo ser construida con materiales propios de la región (ver figura 4.35).

VI.7.4) Caseta de pesaje y báscula

a) Las dimensiones de la caseta de pesaje tendrán como mínimo 16m² para alojar el dispositivo indicador de la báscula y el mobiliario necesario para el registro y archivo de datos. La báscula deberá ubicarse cerca de la entrada del relleno sanitario y contar con:

b) Superficie de dimensiones suficientes para dar servicio a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga

c) Capacidad acorde a la unidad recolectora de mayor volumen de carga

d) La báscula deberá ser de una precisión de 5 kg y su instalación deberá apegarse a las especificaciones del fabricante (ver figura 4.39)

VI.7.5) Caminos

VI.7.5.1) Los caminos serán de dos tipos, exteriores e interiores

a) Los caminos exteriores deben cumplir como mínimo las especificaciones siguientes:

a.1) Ser de trazo permanente y

a.2) Garantizar el tránsito por ellos en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario

a.3) Cuando por volumen de tránsito y de la capacidad de carga de los vehículos se haga necesaria la colocación de la carpeta asfáltica, esta superficie de rodamiento deberá estar sobre el nivel de despalme, misma que definirá la subrasante; en este caso, para recibir la carpeta se deberá construir:

a.3.1) Una sub-base con espesor mínimo de 12 cm, formada de material natural producto de la excavación o explotación de bancos de materiales

a.3.2) Una base con espesor de 12 cm de grava controlada y arena compactada al 90% de la prueba proctor

a.3.3) El espesor de la carpeta asfáltica, cuya finalidad es proporcionar una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada, se calculará en función del valor relativo de soporte del suelo, de la carga de diseño y del volumen de tránsito

b.1) los caminos internos deben cumplir las especificaciones siguientes:

b.1.1) Deberán permitir la doble circulación de los vehículos recolectores, hasta el frente de trabajo del relleno sanitario (ver figuras 4.13 a 4.18)

b.1.2) Deberán ser de tipo temporal y que no presenten pendientes mayor del 5%

c) El trazo del camino se realizará de acuerdo con el arreglo geométrico que se presenta en las figuras 4.1, 4.10 y 4.13. El eje del camino se marcará en el terreno mediante la colocación de estacas de madera en cada estación (a cada 20 metros). El trabajo de trazado se hará con la ayuda de equipo topográfico y cinta métrica. Se podrán usar estacas o marcas de cal para marcar los límites del camino a lo largo de todo el trazo.

c.1) Despalme: Una vez que se tenga levantado el trazo del camino de servicio se procederá a realizar el despalme del terreno mediante la utilización de tractor, el cual llevará el despalme de acuerdo a las elevaciones indicadas en el perfil del camino (figuras 4.16, 4.17 y 4.18). El material producto del despalme se deberá depositar en ambos lados del camino (camellonado); este material será posteriormente utilizado para arropar los flancos del cuerpo de las terracerías recién construidas. Una vez que se haya llegado al piso del despalme se procederá a darle una recompactación mediante rodillo pata de cabra hasta lograr una compactación del 90% de su p.v.s.m.

c.2) Subrasante: Sobre el piso del corte del despalme recompactado se deberá tender una capa de 40 cm de espesor; el material para la subrasante será obtenido del banco de tiro del material de excavación de la celda de confinamiento. El material será extendido con motoconformadora y se retirarán por papeo los fragmentos mayores de 2 pulgadas (50 mm). Otra opción es la de cribar el material directamente en el banco antes de tenderlo para darle la granulometría deseada. Una vez conformada la capa subrasante se procederá a la compactación de la misma mediante rodillo pata de cabra dándole el

número de pasadas necesario para lograr una compactación del 95 % de su p.v.s.m.

c.3) Revestimiento: Sobre la capa subrasante ya terminada se procederá a la construcción del revestimiento del camino el cual se formará con material producto de la excavación de la celda de confinamiento. Este material será previamente cribado para darle una adecuada granulometría, para lo cual se retirarán los fragmentos mayores de 1 pulgada (25 mm). Una vez procesado el material, se extenderá sobre la subrasante para formar una capa de 25 cm de espesor, la cual será compactada al 95 % de su p.v.s.m mediante rodillo pata de cabra dándole un mínimo de 3 pasadas.

c.4) Arrope de las terracerías: Una vez terminada la capa de revestimiento del camino, se procederá al arrope de las terracerías, el cual se realizará mediante la colocación de parte del material que se extrajo durante el despalme. El material se colocará con tractor en ambos flancos del camino y se compactará con varias pasadas del mismo tractor procurando dejar un talud suave hacia el

VI.7.5.2) Criterios para la construcción de los caminos

Los caminos interiores y exteriores deberán ser diseñados y construidos conforme a los criterios básicos establecidos en la tabla siguiente:

CRITERIOS BASICOS PARA CAMINOS

CAMINOS EXTERNOS			CAMINOS INTERNOS		
CLASES DE CAMINOS					
CARACTERISTICAS	PLANO Y ONDULADO	MONTAÑOS O	MUY ACCIDENTADO	PLANO Y ONDULADO	ACCIDENTADO
VEL. DE DISEÑO EN KM/H	60	40	30	40	25
GRADO MAXIMO	11x00'	24x30'	44x00'	23x00'	57x00'
RADIO MINIMO (m)	105	47	26	50	20
ANCHO DE CORONA	6	6	6	4	4

(m)					
PENDIENTE MAXIMA (%)	8	9	10	5	5
CARGA PARA DISEÑO	HS-20	HS-20	HS-20	HS-10	HS-10
CARGA SUPERFICIA L DE RODAMIEN TO	REVESTIDO	REVESTIDO	REVESTIDO	TRANSITAB LE EN CUALQUIER EPOCA DEL AÑO	TRANSITAB LE EN CUALQUIER EPOCA DEL AÑO

VI.7.6) Area de emergencia

a) El área de emergencia será destinada para la recepción de los residuos municipales, cuando por situaciones climatológicas no permita la operación en el frente de trabajo, para facilitar la operación del relleno, además se deberá contar con lonas plásticas, residuos provenientes de demolición o del barrido de calles para cubrir los residuos

b) El área de emergencia deberá:

b.1) Estar ubicada en el área que presente las mejores condiciones para su operación

b.2) Que su capacidad sea suficiente para una operación ininterrumpida de 6 meses

b.3) Que exista material adecuado y en condiciones suficientes para cubrir diariamente los residuos

Al efecto, no se cuenta con esta área.

VI.7.7) Drenaje

a) Las obras de drenaje serán de tipo permanente y temporal

a.1) Las obras de drenaje permanentes se construirán en los límites del relleno que tienen como objeto la captación del escurrimiento de aguas arriba (ver figuras 4.2 y 4.10); los canales deberán revestirse con mortero: cemento-arena en proporción de 1:3 o mediante un sampeado de piedra junteada con mortero cemento-arena en proporción 1:5; la velocidad del agua dentro de

los canales no deberá ser menor de 0.60 m/seg ni mayor de 2.00 m/seg

a.2) Las obras de drenaje temporal deberán construirse mediante canales de sección triangular con taludes de 3:1, rellenos de grava de 3 cm de tamaño máximo para evitar socavones y captar las aguas pluviales para conducir las fuera del área de trabajo (ver figuras 4.1, 4.21 y 4.22). En relación a estas, los canales de drenaje temporal están relacionadas con el canal a construir en el límite norte de la primera y segunda celdas, mismo que deberá quitarse una vez que se comiencen los trabajos de descapote de la tercera y cuarta celdas.

a.3) Para los drenajes permanentes y temporales, el dimensionamiento de canales se deberá efectuar mediante la fórmula de Manning, obteniendo el gasto de diseño a partir del método racional americano o por la fórmula de Burklieziegler

Formula del método racional americano:

$$Q = CiA / 0.36$$

De donde:

Q= Gasto máximo expresado en l/seg

C= Coeficiente de escurrimiento

i= Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr

A= Area por drenar expresado en ha

0.36= factor de conversión

Formula de Burklieziegler

$$Q = 27.78 CiS^{1/4} A^{3/4}$$

Donde:

Q= Gasto máximo expresado en l/seg

C= Coeficiente de escurrimiento (sin dimensiones)

i= Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr

S= Pendiente del terreno expresado en milésimas

A= Area por drenar expresado en ha

27.78= Factor de conversión

De esta forma se tendrá:

De la formula de Manning.

$$Q=CiA/0.36$$

De donde:

Q= Gasto máximo expresado en l/seg

C= Coeficiente de escurrimiento. Este parámetro fue obtenido de la cartografía Hidrológica de Aguas superficiales del INEGI, clave E14-5, la cual toma en cuenta para su obtención, lo siguiente:

- a) Permeabilidad cualitativa de rocas y suelos
- b) Densidad de vegetación
- c) Precipitación promedio anual
- d) Evapotranspiración potencial
- e) Pendiente topográfica

Para el caso, se calcula entre un 10 y un 20% de escurrimiento del total precipitado. Para efectos prácticos, se considerará una media de 15%

i= Intensidad de lluvia máxima horaria promedio, expresado en mm/hr

Al respecto se consideró la información obtenida de la publicación "Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen", realizada por Enriqueta García en 1988. De tal forma, la estación climatológica "Cuautla" indica un promedio máximo mensual de 192.1 mm durante el mes de junio. A este valor, es posible relacionar una media máxima igual a $192.1/30= 6.4$ mm/día. Este valor será utilizado como media útil para i.

A= Area por drenar expresado en ha

El área de influencia está representada no solo por el terreno aledaño, sino por los existentes aguas arriba que no tienen cauce definido. Sin embargo, para efectos prácticos se considerará de 10 hectáreas, sabiendo de antemano que existen barrancas aledañas por donde el agua pluvial habrá de escurrir.

Sustituyendo valores:

$$Q=15*6.4*10/0.36=26.7 \text{ l/seg}$$

Estas obras de drenaje deberán diseñarse con capacidad para manejar caudales iguales o mayores al de una tormenta con periodo de retorno de 25 años

VI.7.8) Instalación de energía eléctrica

Las instalaciones de energía eléctrica deberán satisfacer las necesidades de iluminación y energía en señalamientos exteriores e interiores, requerimientos en oficinas e instalación de alumbrado en los frentes de trabajo

VI.8 Determinación de controles dentro del confinamiento

VI.8.1 Señalamientos

Los señalamientos se dividirán en 3 géneros: informativos, preventivos y restrictivos, pudiendo ser de tipo móvil o fijo y deberán ajustarse a lo establecido en el “Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras”, editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (ver figuras 4.45, 4.46 y 4.47).

VI.9 Programas de monitoreo

Una vez que se inicie la operación del relleno, habrá de considerarse el muestreo mensual de las aguas subterráneas, esto a través de los pozos hechos ex profeso. Para extraer las muestras, habrán de utilizarse “bailers” desechables de 2”, cuya agua se depositará en frascos color ámbar de 1 litro de capacidad. Estos deberán colocarse inmediatamente en una hielera para llevarse a laboratorio.

Es importante que antes de iniciar los trabajos de llenado del relleno, se extraigan 1 o dos muestras de agua de los pozos de monitoreo, para con ello tener un mejor parámetro de comparación de los iones por analizar.

Los parámetros por medir serán:

Amoniaco (como N)	Calcio	Cloruros
Bicarbonato (HCO ₃)	Hierro	Magnesio
Manganeso (disuelto)	Plata	Nitrato (como N)
Potasio	Sodio	Sulfatos (SO ₄)
DQO	Sólidos totales disueltos	PH
Carbono Orgánico Total	Arsénico	Cromo
Bario Plomo	Cadmio	Cianuro
Compuestos orgánicos	Mercurio	Selenio

VII. MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL

Este capítulo se realizará por parte de la Secretaría de Desarrollo Ambiental sin embargo, se puede comentar lo siguiente:

Uno de los conceptos mas importantes para contrarrestar el impacto ambiental que genera la implantación de un relleno sanitario es la de evitar en lo posible, el impacto que este ocasione al medio superficial y subterráneo, identificándose al primero como la afectación a la vegetación, aire, suelo y diseño natural del terreno y para el segundo, el efecto que pudiese afectar al agua subterránea. Para el medio ambiente superficial, se resguardará una franja de amortiguamiento, la cual varía en anchura, en la porción oriental corresponderá a la barranca existente como límite del terreno, la cual servirá no solo como dren de los escurrimientos superficiales de agua pluvial, sino como amortiguamiento oriental del relleno. En la periferia sur, norte y occidental, habrá de establecerse una franja de amortiguamiento de 2 o 3 metros, dependiendo el caso (ver figuras 4.1, 4.10 y 4.13), paralela a la cerca perimetral, la cual se sembrará con pasto y especies arbóreas propias de la región. En cuanto a la protección del medio ambiente subterráneo, este se llevará a cabo con la impermeabilización del terreno anteriormente mencionado

VIII) CATALOGO DE CONCEPTOS

El catálogo de conceptos desglosado a continuación, está basado en la cotización presentada por la compañía constructora ganadora del concurso para construir el relleno, la cual habrá de adecuarse a los requerimientos actuales de construcción. Se recuerda que dichos conceptos fueron estimados para el sitio inicialmente elegido para el relleno al poniente de Hospital, mismo que no fue factible de realizar, afectándose sustancialmente el costo de construcción del mismo.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD COTIZADA	CANTIDAD REQUERIDA	P.U.	SUBTOTAL CONTRATADO	SUBTOTAL REQUERIDO
EXCAVACION						
Trazo y nivelación del área de excavación	m2	24,683.00		\$0.85	\$20,980.55	
Excavación por medios mecánicos de material tipo II, incluyendo corte y acamellonado de material, con acarreo libre de 100m	M3	164,858.00	188,576.69 (Primer celda)	\$14.16	\$2'334,389.28	\$2,689,103.599
Trazo y nivelación del área de construcción de caminos	m2	1,980.00		\$0.85	\$1,683.00	
Excavación por medios mecánicos de material tipo II, incluyendo corte y acamellonado de material, con acarreo libre de 100m	M3	500.00		\$14.16	\$7,080.00	
Escarificación y compactación del terreno natural al 95% proctor, con 15 cm de espesor con rodillo liso para la formación de terraplenes	M3	297.00		\$24.16	\$7,175.52	
Formación de capa de revestimiento de material tipo II de TMA de 3" y espesor de 30 cm en dos capas escarificando a una profundidad de 5 cm para su optima adherencia entre capas, compactando al 95% de su PSVM con rodillo liso vibratorio	M3	594.00		\$32.61	\$19,370.34	
Suministro de tezontle para revestimiento de caminos con un espesor de 0.15 m	M3	297.00		\$83.20	\$24,710.40	

				SUBTO TAL	\$2'415,499.09	
IMPERMEABILIZACION						
Formación de terracerías de material limo-arcilloso compactado al 95% de su PSVM, compactada con rodillo liso y humedad optima mas el 4% escarificando una profundidad de 5 cm para mayor adherencia	M2	24,683.0 0		\$1.96	\$48,378.68	
Excavación con maquina de cepas de 60x60 cm en el perímetro del relleno para anclaje de geomembrana de polipropileno de alta densidad	M3	228.00		\$20.35	\$4,639.80	
Suministro de geomembrana HDPE de 60 milésimas	M2	27,876.0 0	15,000.0 0	\$35.06/\$ 28.70	\$977,332.56	\$430,050. 00
Instalación de geomembrana	M2		15,000	\$3.60		\$54,000.0 0
Relleno de cepas a mano con material limo-arcilloso en capas de 20 cm, compactándose con equipo ligero hasta alcanzar una compactación del 95% de su PSVM	M3	228.00		\$48.76	\$11,117.28	
Relleno de suelo de protección sobre geomembrana de material limo-arcilloso de 30 cm de espesor en el piso y taludes de celdas. Tendido en capas de 15 cm de espesor, compactadas al 95% de su PSVM con humedad optima mas el 4% con rodillo liso, escarificando 5 cm entre capa y capa	M3	7,405.00		\$30.09	\$222,516.45	

Formación de bermas de separación sobre suelo de protección, con material tipo II en capas de 25 cm compactados al 95% de su PSVM con humedad optima mas el 4% escarificando 5 cm entre capa y capa para su optima adherencia, utilizando rodillo liso, en capas de 20 cm con equipo ligero con espacio estrecho	M3	620.00		\$48.76	\$30,231.20	
				SUBTO TAL	\$1'294,275.97	
EXTRACCION DE LIXIVIADOS						
Excavación de trinchera de anclaje de tubería de captación y conducción de lixiviados base de 0.40m y altura de 0.60m talud 1:1	M3	17.00		\$28.23	\$479.91	
Suministro y colocación de filtro de grava controlada limpia de 2 a 4 de TMA en trinchera de tubo de captación de lixiviados	M3	17.00		\$166.02	\$2,822.34	
Suministro y colocación de tubo perforado de polietileno de alta densidad de 4''' de diámetro a 180° separados a cada 6'' SDR 21	MI	60.00		\$64.07	\$3,844.20	
Trazo y nivelación de la laguna de evaporación de lixiviados	M2	2,058.00		\$0.85	\$1,749.30	
Excavación por medios mecánicos de material tipo II en caja todas las zonas, incluye corte y acamellonado del material con acarreo libre de 20 m	M3	3,500.00		\$11,03	\$38,605.00	
Excavación de cepas para anclaje de geomembrana	M3	101.40		\$20.35	\$2,063.49	

en el perímetro de la laguna de evaporación y profundidad de 60 cm y longitud de 160m						
Suministro y colocación de geomembrana lisa ambas caras de polietileno de alta densidad, de 1 mm de espesor en pisos y taludes de la laguna de evaporación	M2	2,120.00		\$33.32	\$70,638.40	
Relleno de cepas de anclaje de geomembrana con material limo-arcilloso compactado con piso de mano y humedad optima	M3	101.40		\$20.29	\$2,057.41	
				SUBTO TAL	\$122,260.05	
CERCA PERIMETRAL						
Suministro y colocación de cerca perimetral a base de malla ciclónica y tubería a base de tubo galvanizado a cada 3m de separación	ml	2,100.00		\$94.98	\$199,458.00	
				SUBTO TAL	\$199,458.00	
CASETA DE CONTROL						
Caseta de control de 2x2 m de sección y 2.1m de altura, construida con materiales propios de la región. Incluye ventanas de 0.70 x 1.00m en las cuatro paredes de la caseta, piso de concreto F'C=150 kg/cm ² y 10 cm de espesor. Muros de tabique rojo recocido de 7 cm de ancho y losa de concreto armado con 10 cm de espesor y varilla del no. 3 a cada 20 cm	Pza	1.00	1.00	\$5,067.90	\$5,067.90	\$5,067.90

				SUBTO TAL	\$5,067.90	
SUMINISTRO DE EQUIPO						
Cargador frontal sobre ruedas con HP	Pza	1.00	1.00	\$1'577,976.48	\$1'577,976.48	\$1'577,976.48
				SUBTO TAL	\$1'577,976.48	
POZOS DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRANEA						
Perforación y equipamiento de pozo a 22 metros de profundidad, en diámetro de 6", para colocar tubo de ademe de PVC de 4" cédula 40, liso en la zona no saturada y ranurada en la zona saturada, con ranuras de 5mm y 6 pies de largo, grava sílica de 1/8" a 1/16" y pellets de bentonita de acuerdo al diseño constructivo, tapón inferior punta de lápiz y superior expandible, así como tapa de fierro como protección de la obra (manhole)	Pza	3		\$32,000.00	\$96,000.00	
				SUBTO TAL	\$96,000.00	
POZOS DE MONITOREO DE LIXIVIADOS EN SUELO						
Perforación y equipamiento de pozos a 6 y 10 metros de profundidad, con tubería hidráulica de PVC de 4", ranurada los primeros 5 y 9 metros	Pza	10		\$14,545.40	\$140,545.40	

respectivamente, para muestreo de lixiviados en suelo de acuerdo a diseño constructivo						
				SUBTO TAL	\$140,545.40	
				TOTAL	\$5'851,082.89	