

101  
2ej,



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"REMEDIACION FISICO QUIMICA DE SUELO,  
DEBIDO A DERRAME DE HIDROXIDO DE SODIO"

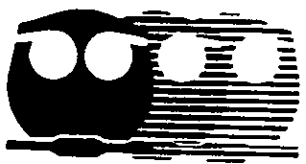
**T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A :

MARIA DE LOURDES LLANOS REYES



MEXICO, D. F.



266536

EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).


El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

**PRESIDENTE** Prof.: Saldívar Osorio Liliana  
**VOCAL** Prof.: Landgrave Romero Julio Ricardo  
**SECRETARIO** Prof.: Sanson Ortega María del Carmen  
**1er. SUPLENTE** Prof.: González Chavez José Luz  
**2do. SUPLENTE** Prof.: Torres Barrera Rodolfo

Sitio donde se desarrollo el tema: Ecológica Profesional de México S.A. de C.V.

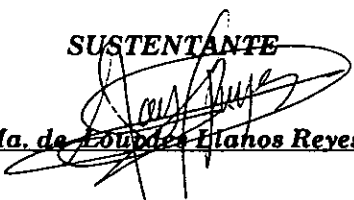
**ASESOR DEL TEMA**

  
Dra. Liliana Saldívar Osorio.

**SUPERVISOR TECNICO**

  
Ing. Victor Ramirez Izquierdo

**SUSTENTANTE**

  
Ma. de Lourdes Erianos Reyes

---

---

*DEDICATORIAS*

*A DIOS:*

POR SER PARTE DE MI EXISTENCIA

*A MIS PADRES*

POR RECIBIR DE ELLOS EL APOYO, LA CONFIANZA Y EL AMOR QUE DEPOSITARON EN MI PERSONA, ASÍ COMO LA FUERZA E INSPIRACIÓN EN MI REALIZACIÓN COMO PROFESIONISTA.

MIS MÁS SINCEROS AGRADECIMIENTOS:

DRA. LILIANA SALDÍVAR OSORIO, ASÍ COMO AL ING. VÍCTOR RAMÍREZ IZQUIERDO POR SU ASESORÍA PROPORCIONADA, ASÍ COMO LA AYUDA QUE ME BRINDARON PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

---

---

LOS NIÑOS SON EL MAÑANA.  
LOS VIEJOS SON EL AYER,  
SIN MAÑANA NO HABRÍA VIDA,  
NI VIDA SIN AYER

*POR UN MUNDO MEJOR*

---

---

# ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
OBJETIVOS	4
HIPÓTESIS	5
<b>CAPÍTULO I ASPECTOS GEOGRÁFICOS</b>	
1.1 MACROLOCALIZACIÓN	6
1.2 MICROLOCALIZACIÓN	8
1.3 UBICACIÓN	8
<b>CAPÍTULO II SUELO</b>	11
II.1 PERFIL DEL SUELO	12
II.2 COMPONENTES DEL SUELO	13
II.2.1 MATERIA ORGÁNICA Y MINERAL DEL SUELO	14
II.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICA Y BIOLÓGICAS DEL SUELO	16
II.3 TIPOS DE SUELOS	18
II.3.1 TIPO DE SUELO PRESENTE EN EL ÁREA AFECTADA	20
<b>CAPÍTULO III ÁCIDO BASE</b>	
III.1 EQUILIBRIO QUÍMICO	21
III.2 SISTEMAS ÁCIDO - BASE	22
III.3 DISOLUCIONES REGULADORAS	23
III.3.1 TIPOS DE DISOLUCIONES REGULADORAS Y MECANISMOS DE AMORTIGUACIÓN	23
III.4 CONCEPTO DE pH	24

---

---

<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>ESTIMACIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES</b>	
IV.1	DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE Y VOLUMEN AFECTADOS	25
IV.2	IDENTIFICACIÓN DE AFECTACIONES AMBIENTALES	27
IV.3	RESIDUO PELIGROSO	30
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>PROPUESTA DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL</b>	32
V.1	DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL	33
V.2	PRINCIPIOS BÁSICOS Y METODOLOGÍA DE LA RESTAURACIÓN FÍSICOQUÍMICA	36
V.3	MATERIALES REQUERIDOS	38
V.3.1	CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DEL ÁCIDO ACÉTICO EMPLEADO EN LA RESTAURACIÓN.	40
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA RESTAURACIÓN FÍSICO QUÍMICA</b>	
VI.1	INSPECCIÓN DEL LUGAR, MUESTREO Y ANÁLISIS	44
VI.2	PREPARACIÓN DEL TERRENO Y LIMPIEZA DEL LUGAR	46
VI.3	REMOCIÓN DE SUELO CONTAMINADO	46
VI.4	PROCESO DE PASIVACIÓN	47
VI.5	NEUTRALIZACIÓN IN-SITU	47
VI.6	MUESTREO DE SUELO DESPUÉS DE LA NEUTRALIZACIÓN	48
VI.7	ADICIÓN DE NUTRIENTES	48
VI.8	ANÁLISIS Y CERTIFICACIÓN	49
VI.9	NIVELACIÓN Y REFORESTACIÓN	49
<b>CAPÍTULO VII</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	50
<b>CAPÍTULO VIII</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	53
<b>CAPÍTULO IX</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	56
<b>ANEXO</b>		58

---

---

## INTRODUCCIÓN

El hombre, desde su aparición en la Tierra, se distingue por ser el mayor destructor de la Naturaleza. Su empeño por explotar al máximo y de modo cada vez más intenso los recursos naturales, cosa que los animales nunca han hecho, es la causa esencial del progresivo deterioro de su medio ambiente. Afortunadamente, la inteligencia de que está dotado le ha servido también para paliar los efectos de esta explotación sistemática y encontrar los medios de protección adecuados, para el medio ambiente. <sup>1</sup>

El medio ambiente básicamente está constituido por un complejo de factores químicos, físicos y biológicos que rodean a un organismo o una comunidad biológica. La alteración de estos factores da lugar a la contaminación ambiental, a través de sustancias que resultan ser residuos peligrosos y que su presencia, no componen las características mismas del suelo y que se tornan como peligrosas, cuando se acumulan en cantidades que pueden ser molestas o dañinas para los organismos de un medio ambiente.

El problema de la contaminación que se plantea en la actualidad es más agudo que en épocas anteriores, porque gran parte de los desechos tienen origen inorgánico y no son atacados por las bacterias desintegradoras de tipo orgánico. El empeño en encontrar una solución se ve dificultado por el incremento demográfico y por el vertiginoso desarrollo industrial.

Cada vez son más frecuentes las asociaciones de ciudadanos que, a nivel local, regional o nacional, se preocupan particularmente por la conservación del medio ambiente y llevan a cabo una ardua labor para proteger la naturaleza cuando la industria y los seres encargados del urbanismo pretenden, con la realización de distintas obras, modificar los elementos esenciales del entorno.



---

Asimismo este tipo de asociaciones Intentan, preservar paisajes enteros-cuya desaparición llevaría consigo una ruptura del equilibrio ecológico en grandes zonas de las superficies terrestres.

Esbozada esta panorámica de la ecología, cabe preguntarse cuales serían las soluciones adecuadas para una mejor protección y conservación de la Naturaleza y para un uso más racional del medio ambiente por el hombre. A este respecto, el repertorio de ideas o de planes es muy amplio y va desde los planteamientos drásticos, soluciones radicales y prohibiciones absolutas que algunos proponen hasta los criterios diametralmente opuestos de otros, quienes consideran a la contaminación como un hecho inevitable y una servidumbre más impuesta por las nuevas tecnologías industriales. <sup>2</sup>

Según lo expuesto en los planteamientos ecológicos, se han formado secretarías y comisiones para promover una conciencia ecológica en los industriales, así como órganos encargados de formular normas y para reglamentar su acción como contaminante y requerir de una evaluación cuantitativa de tiempo, sitio, cantidad y efectos nocivos, a fin de eliminar por completo, los efectos nocivos de los contaminantes y hacer posible la salvación de la Naturaleza, permitiendo alejar la amenaza de destrucción que se cierne sobre el mundo.

Desde el punto de vista del deterioro ecológico se enfoca en esta tesis, al tratamiento de suelos contaminados, los cuales son catalogados como residuos peligrosos. La metodología empleada será la restauración de suelos, la cual tiene la ventaja de identificar, evaluar y controlar aquellos riesgos de contaminación industrial, que es generada por falta de previsión y control durante su transportación, almacenamiento y manejo de sustancias químicas. Estos procedimientos son costosos. Pero lo son mucho más los efectos de la contaminación ambiental.

---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente estudio pretende llevar a cabo, la restauración de suelo por el método fisicoquímico a los predios que fueron contaminados por un derrame accidental de hidróxido de sodio en solución (a una concentración del 50%), que se dio lugar durante su transportación, sufriendo el vehículo un accidente mientras circulaba a la altura del kilometro 123.4 de la Autopista México - Puebla, transportando una cantidad aproximada de 32,000 litros.

El vehículo transitaba sobre la Autopista con dirección a la Ciudad de México, sobre una glorieta, cuando se percató que un automóvil se incorporaba a la autopista y para evitar el choque, el conductor viro el vehículo hacia la izquierda lo cual originó que éste perdiera el control y por la inercia y el peso de la carga se provocara la volcadura y el autotank se proyectará fuera del camino, cayendo sobre uno de sus costados, arrastrándose hasta una cuneta y quedando fuera de la autopista.

El impacto provocó la ruptura del costado derecho del autotank, con lo que inició el derrame de aproximadamente 12 toneladas de hidróxido de sodio en solución, el restante del producto fue recuperado por bombeo hacia otro autotank, el escurrimiento propició la contaminación del acotamiento en paralelo a la autopista, siguiendo sobre una pendiente inclinada, afectando a un predio particular y formando una acumulación del producto derramado. <sup>3</sup>

---

## **OBJETIVOS**

La presente tesis tiene por objetivos:

- ✓ Implementar el saneamiento de los suelos que se vieron afectados por el derrame de hidróxido de sodio en solución, a través de la utilización de sustancias neutralizantes, como son ácido acético y sales buffer.
- ✓ Contribuir con este tipo de restauración, en la disminución de los niveles de contaminación en el suelo dañado y definiendo los niveles de limpieza para dar cumplimiento a la normatividad en materia de suelos.
- ✓ Evaluar y presentar la identificación de las afectaciones ambientales y estimación de daños resultantes del accidente ocurrido en la autopista México-Puebla por un autotank que transportaba solución de hidróxido de sodio al 50%.

## **OBJETIVOS GENERALES**

- ✓ Participar en el seguimiento de la remediación fisicoquímica, con el fin de contemplar sus acciones ecológicas.
- ✓ Evaluar a través de monitoreo de suelos y análisis comparativos, la rehabilitación de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo que se vio afectado.

---

## **HIPOTESIS**

Se realizará el tratamiento fisicoquímico, con la utilización y aplicación de ácido acético y sales buffer, en los suelos que resultaron ser contaminados por una solución de hidróxido de sodio (a una concentración del 50%), logrando el saneamiento del suelo mencionado.

---

**CAPÍTULO I**  
**ASPECTOS GEOGRÁFICOS**

---

---

## CAPÍTULO I

### I. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

A continuación se describen las características geográficas de la región donde se ubican los predios afectados por el derrame accidental de hidróxido de sodio, en el Municipio de Puebla, Estado de Puebla.

#### I.1 *MACROLOCALIZACIÓN:* 4

El accidente y derrame de producto químico, motivo del presente estudio, ocurrió en el kilómetro 123.4 de la Autopista México- Puebla, correspondiente a la localidad de San Felipe Hueyotlilpan, perteneciente al Municipio de Puebla en el estado de Puebla.

La extensión territorial del Estado de Puebla es de 34,017.04 km<sup>2</sup>, cifra que representa el 1.7% del total del país.

El contorno del Estado de Puebla, semeja un triángulo isósceles, cuyo vértice apunta hacia el norte y la base hacia el sur. Limita al norte y oriente con el estado de Veracruz, al sur con Oaxaca y Guerrero y al poniente con los estados de Morelos, México, Tlaxcala e Hidalgo.

Puebla comparte con Veracruz, la cumbre más elevada del país, el Pico de Orizaba o Citlaltépetl, cuya altitud es de 5,610 m; con Tlaxcala, La Malinche o Metlalcuétl, de amplias faldas, que domina sobre el panorama tlaxcalteca, a una altitud de 4,461 metros; con los Estados de México y Morelos el Popocatepetl, el cual tiene una altitud de 5,465 m y con el Estado de México el Iztaccíhuatl, que alcanza una altura de 5,230 m.s.n.m.

---

La entidad está integrada por 217 municipios, los cuales destacan por su actividad agrícola, pecuaria, comercial, industrial o turística, en varias localidades. Entre ellas se encuentran: Puebla, Cholula, Atlixco, Tehuacán Tezihutlán y Xicotepec.

El municipio de Puebla se localiza en la parte centro - oeste del estado de Puebla, sus coordenadas geográficas son: los paralelos 18°50'42" y 13' 48" de latitud norte y los meridianos 98°00'24" y 98°19'42" de longitud occidental.

El municipio por su superficie se ubica en el lugar número 5 con respecto a los demás municipios del estado.

Situado en las tierras altas del Eje Neovolcánico Transversal, sobre la meseta de Anáhuac, se encuentra, por arriba de los 2,000 metros sobre el nivel del mar. <sup>4</sup>

---

## **1.2 MICROLOCALIZACIÓN:**<sup>5</sup>

El municipio de Puebla se divide en 457 localidades, de las cuales las más importantes son: la Heróica Puebla de Zaragoza, cabecera municipal y capital del estado, San Baltazar Campeche, San Francisco Totimehuaca, San Felipe Hueyotlipan, La Libertad y San Andrés Azumiatla entre otras, que forman parte de las 17 juntas auxiliares.

El municipio limita al norte: con el municipio de San Pablo del Monte, en el Estado de Tlaxcala, al oriente: con el municipio de Amozoc; al poniente con el de Cuautlancingo, al sur: con los municipios de Huehuetlán el Grande y con Teopantlán, estos últimos del mismo Estado de Puebla.

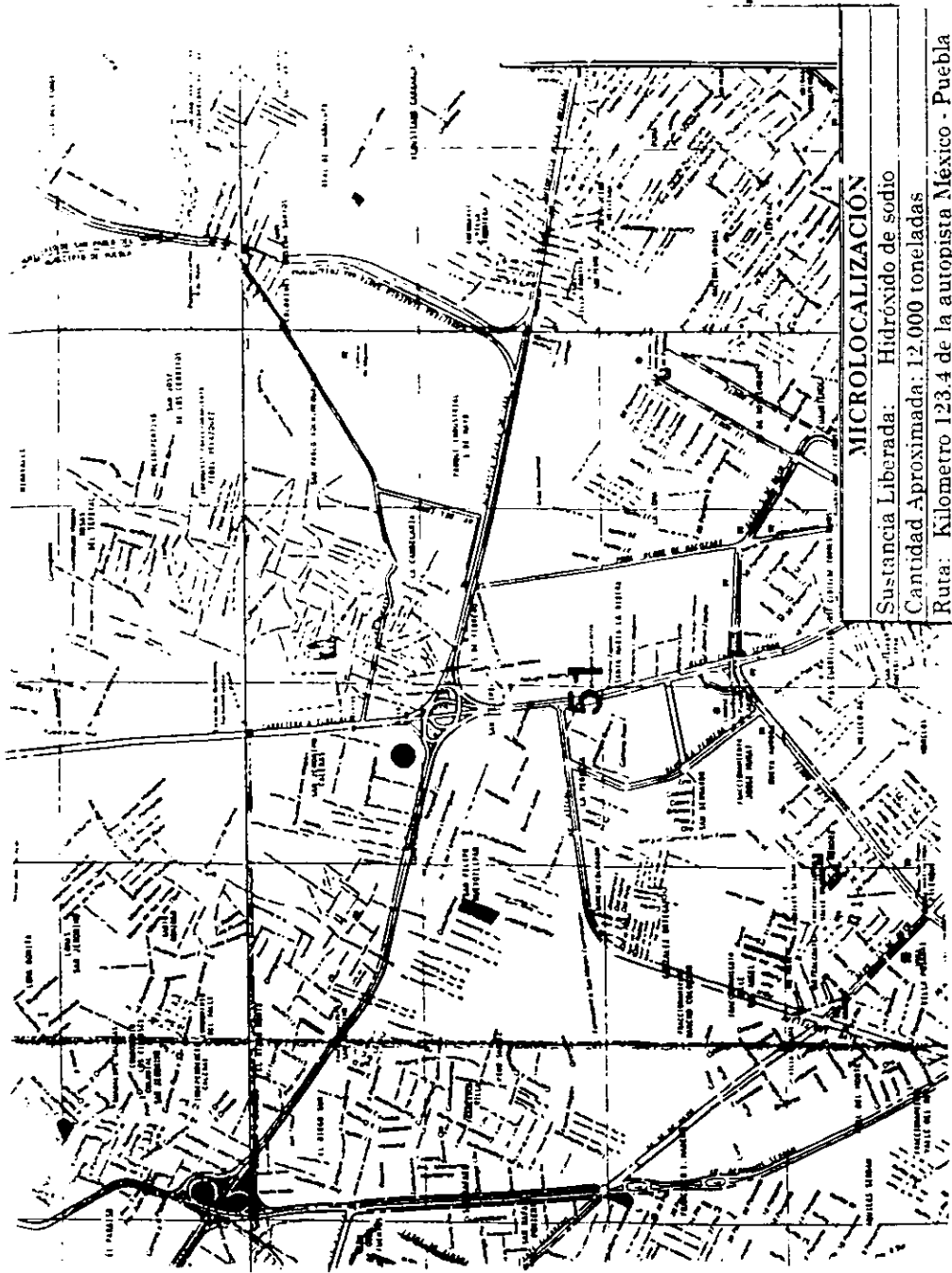
La cabecera municipal del municipio de Puebla ( Heróica Puebla de Zaragoza) está ubicada a los 19°03' de latitud norte y a 98°12' de longitud oeste del Meridiano de Greenwich. El municipio de Puebla comprende una superficie aproximada de 534.31 km<sup>2</sup>., cifra que representa el 1.57% del total del estado y el 0.027% del país, y se encuentra a una altitud media de 2,140 metros sobre el nivel del mar.

El pueblo de San Felipe Hueyotlipan se localiza en la porción norte del municipio de Puebla, a unos 5 kilómetros de los límites con el Estado de Tlaxcala. <sup>5</sup>

## **1.3 UBICACIÓN:**

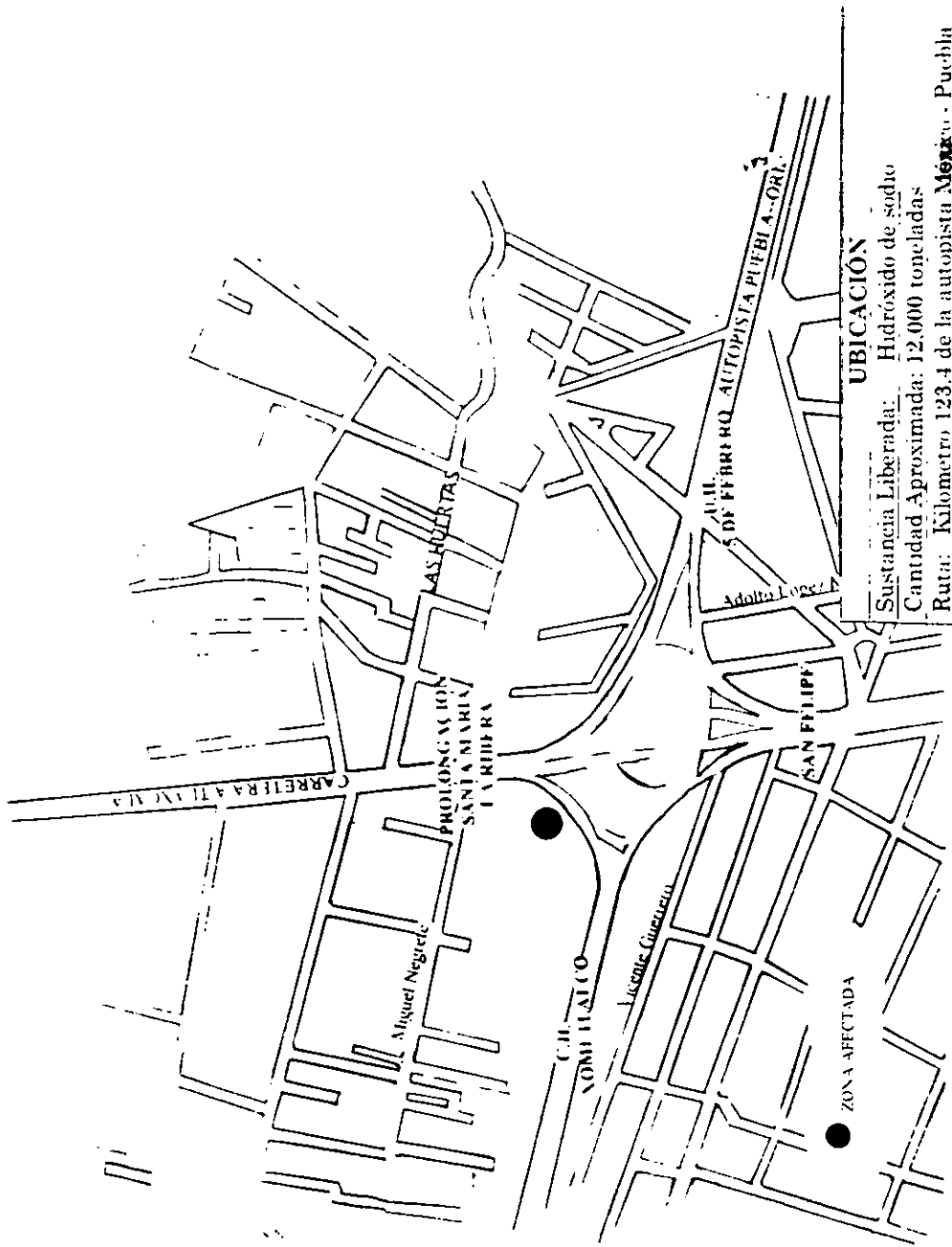
El lugar del accidente se ubica en el municipio de Puebla, el predio se encuentra a la altura del kilometro 123.4 de la Autopista México - Puebla dentro de la zona federal, correspondiente al acotamiento y un predio particular.





**MICROLOCALIZACION**

Sustancia Liberada: Hidróxido de sodio  
 Cantidad Aproximada: 12,000 toneladas  
 Ruta: Kilometro 123.4 de la autopista Mexico - Puebla



**UBICACION**

Sustancia Liberada: Hidróxido de sodio  
 Cantidad Aproximada: 12,000 toneladas  
 Ruta: Kilómetro 123.4 de la autopista México - Puebla

---

## CAPÍTULO II

### EL SUELO

El suelo constituye la parte integral del medio natural y del ser humano, mismo que es considerado como un producto que depende de una colección de elementos químicos y de materiales bióticos que mezclados con cantidades variables de aire y agua, forman una capa discontinua y relativamente delgada sobre la seca superficie de nuestro planeta.

Por su naturaleza química y biológica, el suelo es un sistema de componentes múltiples y consta de fases, sólida, líquida, gaseosa y de organismos vivos, en este caso se analizará la fase sólida que se compone de material orgánico e inorgánico. Los componentes inorgánicos comprenden desde coloides diminutos hasta partículas grandes de grava y rocas incluyendo muchos minerales primarios y secundarios. <sup>4</sup>

Los compuestos inorgánicos (minerales) son principalmente los que determinan las propiedades de la mayoría de los suelos y su total adaptabilidad como medio de crecimiento para las plantas. Dentro de los componentes orgánicos se incluyen los residuos de las plantas y animales en varias etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas. Aunque los componentes orgánicos se encuentran presentes normalmente en cantidades más reducidas que los inorgánicos, pueden modificar significativamente las propiedades del suelo. <sup>7</sup>

---

## II.1 PERFIL DEL SUELO

Las capas superiores del perfil de un suelo contienen generalmente considerables porcentajes de materia orgánica y están oscurecidos en su color, de una manera apreciable, a causa de tal acumulación. El suelo subyacente, también fuertemente meteorizado, contiene en comparación, mucha menos materia orgánica.

El suelo puede ser definido como un cuerpo natural, sintetizado en su perfil a partir de una mezcla variable de minerales desmenuzados y modificados atmosféricamente, junto con materia orgánica en desintegración, que cubre la tierra en una capa delgada y que proporciona cantidades adecuadas de aire y agua. <sup>6</sup>



### SUELO SUPERFICIAL

Zona de máxima acumulación orgánica.  
Coincide más o menos exactamente con la capa

### SUBSUELO

Su carácter está determinado, en grado considerable, por la naturaleza de las fuerzas formadoras del suelo.

### SUBSTRATO

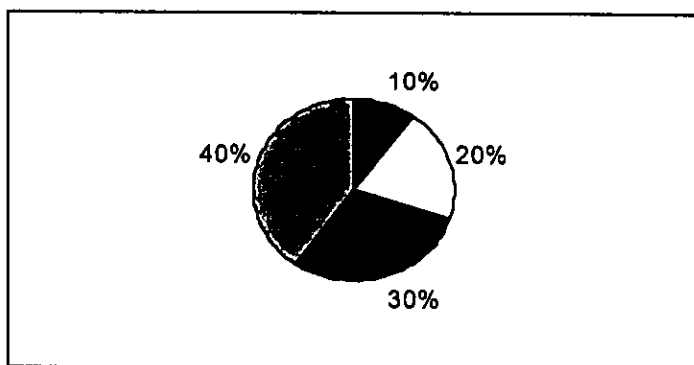
Más o menos meteorizado en general

---

## II.2 COMPONENTES DEL SUELO.

La composición del suelo, consta de cuatro grandes componentes: materias minerales, materia orgánica, agua y aire, por lo general, nótese que se contiene un 50% de espacios porosos (aire y agua). El espacio sólido está constituido por un 45% de materia mineral y un 5% de materia orgánica. Como puede suponerse, la composición en volumen de los subsuelos es bastante diferente de la anterior. Comparados con el suelo superficial, los subsuelos son más bajos en contenidos orgánicos y tienen la tendencia de ser más compactos, así como a contener mayor porcentaje de poros pequeños. Esto conduce a que posean un mayor tanto por ciento de minerales y agua, y un contenido considerablemente menor de materia orgánica y aire.

Al representar así un volumen arbitrario de un suelo superficial mineral, debe observarse que los grandes componentes del suelo normal están, en su mayor parte íntimamente mezclados, ello favorece las reacciones, unas sencillas y otras complejas entre sí y permite un medio ideal para el crecimiento de las plantas.



---

## II.2.1 MATERIA ORGÁNICA

La proporción de elementos más comunes que forman la corteza terrestre, son los elementos químicos que proceden de la desintegración en las rocas, que por acción simultánea de fuerzas mecánicas y químicas constantemente desprenden partículas de minerales. Estos componentes químicos del suelo son el alimento de las plantas debido a que el carbono, hidrógeno, oxígeno, etc. forman parte de los compuestos que constituyen las células, tejidos y órganos del vegetal. <sup>6</sup>

Tabla No 1 distribución de la materia orgánica en el suelo.

COMPONENTES DEL SUELO %	
Oxígeno	47
Silicio	28
Aluminio	8
Hierro	4.3
Calcio	3.5
Sodio	2.7
Magnesio	2.5
Potasio	2.4
Otros	1.5

---

## MATERIA MINERAL

Los componentes inorgánicos se presentan principalmente en número limitado de compuestos de estructura cristalina definida como minerales. En la mayor parte de los suelos, unos cuantos minerales son necesarios para el crecimiento de las plantas debido a que se consumen en grandes cantidades. Las fracciones de arena y limo consisten mayormente en minerales primarios, es decir, minerales formados a temperaturas elevadas y derivados en forma inalterada de las rocas ígneas y metamórficas, algunas veces, a través de un ciclo sedimentario. Entre los minerales primarios se encuentran el cuarzo  $\text{SiO}_2$  y los feldespatos ( $\text{MAlSi}_3\text{O}_8$ ), donde la M representa combinaciones de los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ .

También se encuentran presentes los minerales secundarios, entre los más comunes se incluyen los minerales de azufre y carbonatos, los silicatos laminares y varios óxidos.

Tabla No 2 Los minerales presentes en el suelo y su funcionamiento en el mismo.

COMPONENTES MINERALES DEL SUELO	
Nitrógeno	Tejidos
Fósforo	Células
Potasio	Clorofila
Calcio	Mármol
Magnesio	Moléculas
Azufre	Metabolismo
Hierro	Nutrición
Manganeso	Proteínas
Zinc	Catalizador
Boro	Germinación

---

### **II.2.2 *Propiedades físicas:*** <sup>7</sup>

Dos compuestos básicos que determinan las propiedades físicas del suelo son: La textura y la estructura. La textura es la composición granulométrica del suelo y determina la porosidad del mismo. Por su textura los suelos pueden clasificarse en arenosos, limosos y arcillosos.

La estructura estudia las propiedades físicas del suelo, desde el punto de vista de la formación de agregados minerales y orgánicos y disposición de las concreciones (módulos, columnas, caliches, costras). El conocimiento de la estructura de un suelo es fundamental en el estudio de las propiedades físicas del mismo, ya que la existencia de canículos, cavidades y costras que modifican totalmente las posibilidades de circulación tanto del agua como el aire.

La conjunción de la textura y estructura de un suelo determinan sus propiedades físicas más elementales:

En referencia a la porosidad: Este factor determina el volumen de espacios libres contenidos en el suelo expresado en relación al volumen aparente del mismo.

La capacidad de campo: expresa la retención de agua por un suelo, se obtiene cuando todos los espacios lacunares del suelo están ocupados por agua, sin embargo, esta capacidad máxima raramente se da y la capacidad de saturación de un suelo suele ser de un orden de 10 a 25 de la capacidad máxima. La capacidad de campo determina las posibilidades de crecimiento de las plantas en un suelo, así como la germinación de las semillas. Los suelos con poca capacidad de campo solo pueden alimentar una vegetación pobre y con las raíces de las plantas muy extendidas para aprovechar al máximo la poca agua existente:



---

Calor específico: es la cantidad de calor necesario para elevar un grado de temperatura de un gramo de suelo, depende de los componentes del suelo y del calor del mismo. El calor específico de un suelo es importante ya que un clima dado determina la temperatura del suelo y por lo tanto, la posibilidad y rapidez de la germinación.

### ***Propiedades químicas. 7***

Las características químicas de un suelo son importantísimas para la vida vegetal, ya que de ellas dependen los elementos, tanto cualitativa como cuantitativamente, que la planta puede tomar para su nutrición. Por esto las propiedades químicas de un suelo pueden suponer una selección de las plantas cultivables en el mismo o imponer un límite de concentración de estas. Estas características químicas dependen de los elementos químicos presentes, de la acidez del complejo húmico y de las características físicas del suelo y se definen bajo el concepto de capacidad de intercambio iónico, que indica la posibilidad que tiene el complejo coloidal de retener por absorción los iones ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , y  $\text{pH}$ ) suministrados, ya sea por la roca en descomposición, por la adición de abonos en los suelos de cultivos.

### ***Propiedades biológicas. 7***

Son las más importantes y las que a la larga determinan la existencia y evolución de un suelo, ya que no basta, para que este se forme, que produzca la descomposición de la roca y de la materia vegetal, sino que es necesario que un complejo sistema bacteriológico descomponga la materia en putrefacción, pasando los ácidos orgánicos a  $\text{NH}_4$  y posteriormente a  $\text{NO}_1$  única forma en que la planta puede absorber el nitrógeno (elemento esencial de su nutrición) y que además constituye la forma ácida capaz de retener el resto de los cationes necesarios a la planta de tal forma que la producción de  $\text{NO}_1$  en un suelo

---

determina la capacidad de intercambio del mismo y por ende sus posibilidades de vida.

Al margen de las bacterias de amonificación y nitrificación existen otras encargadas de fijar el pH y otros aniones, siendo características de cada suelo su concentración y naturaleza.

Las materias primas del suelo son trozos de roca en descomposición, arena, cieno, arcilla y lo que conocemos como el humus, sustancia porosa de color castaño o negro, necesaria para que un suelo sea fértil.

### II.3 TIPOS DE SUELO

Las clase de suelo se componen particularmente de partículas que varían grandemente tanto como en tamaño como en forma, que se encuentran en consonancia con su estructura y nos den una identificación de sus propiedades físicas. Por esto se usan varios nombres de clases. Estos nombres de clases se han originado a lo largo de los años de estudio y clasificación y han sido más o menos generalizados gradualmente. Dentro de estas clases, se consideran tres grandes grupos, fundamentales y generales de suelos: arenas, suelos francos y arcilla, que a su vez se han dividido en otras subclases. En una forma general se explicará cada uno de estos tres tipos de suelo.

**Arenas:** El grupo de las arenas incluye todos los suelos de los cuales las separatas de arena dan un 70% o más de todo el material en peso. Las propiedades de tales suelos son, desde luego, característicamente arenosas, en contraste con la naturaleza más tenaz y arcillosa de los grupos más pesados.

---

**Arcillas:** Para que un suelo sea designado como una arcilla debe llevar, como mínimo, un 35% de fracción arcillosa y en la mayor parte de los casos no menos del 40%. A medida que el porcentaje de arcilla es el 40% o más, las características de esta separata son dominantes distintamente y la clase se llama arcilla arenosa, arcilla limosa o lo que es más corriente, simplemente arcilla. Conviene observar que las arcillas arenosas contienen casi siempre más arena que arcilla. Por lo mismo, el contenido de limo de las arcillas limosas corrientemente es mayor que el propio de la fracción arcillosa.

**Suelos francos:** El grupo de suelos francos o de consistencia media, que contienen muchas subdivisiones, es más difícil de estudiar. Un suelo franco ideal puede ser definido como una mezcla de partículas de arena, limo calcáreo y arcilla que exhiben propiedades ligeras y pesadas casi en iguales proporciones. \*

---

### II.3.1 TIPO DE SUELO PRESENTE EN EL ÁREA AFECTADA

La clasificación de los suelos en el área de estudio se realizó tomando como base las cartas edafológicas, de uso potencial agrícola, ganadero y forestal. Así mismo la variedad de tipo de suelo se debe fundamentalmente a la constitución litológica y al clima de la zona. Debido a que el clima imperante es el templado subhúmedo, existe gran diversidad edafológica. \*

El suelo presente en el área y zonas aledañas; se identifica como al perteneciente grupo que a continuación se describe:

#### **ARCILLA ARENOSA \***

Son suelos con la mayor distribución en la entidad, los cuales ocupan una superficie de 7,060.77km<sup>2</sup>, que representa el 20.77% del área estatal, cubre las estribaciones de la Malinche, presenta fase lítica o gravosa ( fragmentos de roca o tepetate menores a 7.5 cm de diámetro en el suelo.

Son suelos que se pueden encontrar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación y los cuales se caracterizan por no presentar capas distintas. En general son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace, cuando no son profundos.

Se encuentran en playas, dunas y, en mayor o menor grado, en las laderas de todas las sierras mexicanas, muchas veces acompañado de Litosoles y de afloramientos de roca o tepetate.

Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su uso agrícola está principalmente condicionado a su profundidad y al hecho de que no presenten pedregosidad. Son de susceptibilidad variable a la erosión. \*

---

**CAPÍTULO III**  
**ÁCIDO BASE**

---

---

## CAPÍTULO III

### III ÁCIDO BASE

#### III.1 EQUILIBRIO QUÍMICO.

En este capítulo se estudia el equilibrio y la velocidad a la que se alcanzan las reacciones químicas. El conocimiento del equilibrio es crucial para saber hasta qué punto avanza un proceso y cuál es su límite termodinámico, más allá del cual es imposible llegar. Y no se diga la necesidad de conocer la velocidad a la que ocurren los cambios, para saber cuánto tiempo tarda en actuar una medicina, qué tiempo hay que dejar en contacto los reactivos para obtener un producto industrial, qué sucede con las reacciones metabólicas cuando no se llevan a cabo en sus condiciones normales, cuánto tarda en desaparecer el ozono formado por el smog fotoquímico en las grandes ciudades o un plaguicida una vez que se ha efectuado su aspersión en un cultivo. <sup>10</sup>

#### ÁCIDOS Y BASES

Aunque desde los principios de la Química se conocen los ácidos y las bases, su definición y concepto ha ido evolucionando con el tiempo y con el mejor conocimiento del comportamiento de las especies químicas, en un intento de abarcar con la definición un mayor número de especies que presenten comportamiento ácido o básico.

Para el estudio de los equilibrios en disolución quizás la definición más adecuada es la "BRONSTED-LOWRY", según la cual los ácidos se difunden como especies capaces de ceder protones y las bases como especies capaces de aceptar protones. <sup>11</sup>

---

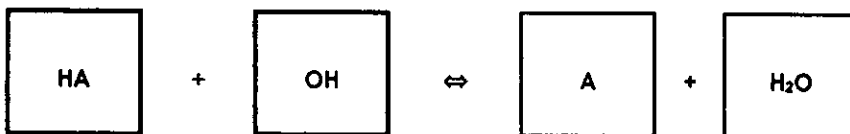
### III.2 SISTEMAS ÁCIDO-BASE

Ya vistos los conceptos de ácidos y bases, a continuación se estudian las interacciones entre ácidos y bases.

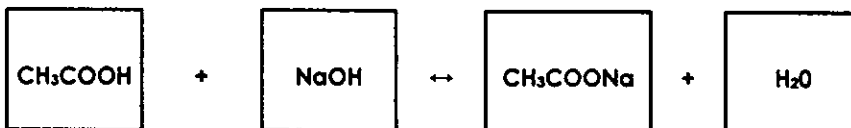
Se ven a continuación los casos en que se mezclan ácidos y bases de sistemas diferentes. Se considerarán también aquí las especies anfóteras, que si bien tienen carácter de ácido y base, dependiendo de las especies con la que se encuentren presentarán un comportamiento fundamentalmente ácido o básico.<sup>10</sup>

#### ÁCIDO DÉBIL Y BASE FUERTE

Este caso es muy semejante al de la mezcla de ácido fuerte y base débil; tiene lugar una reacción de neutralización, dependiendo la situación final de las concentraciones iniciales respectivas. En el esquema se representa la reacción entre un ácido débil HA y la base fuerte OH (procedente de la especie MOH).<sup>11</sup>



En el caso que se plantea con ácido acético e hidróxido de sodio el esquema que representa la reacción es la siguiente:



---

### III.3 DISOLUCIONES REGULADORAS <sup>12</sup>

Se denominan soluciones reguladoras, amortiguadoras, tampón o "buffer" ciertas disoluciones que, por su composición, admiten la adición de pequeñas cantidades de ácidos y de bases sin modificar de forma apreciable el valor de su pH. Estas disoluciones tienen una gran importancia en procesos químicos, industriales, biológicos, fisiológicos, etc., en que es necesario mantener el pH de disoluciones en unos márgenes estrechos de fluctuación.

#### III.3.1 TIPOS DE DISOLUCIONES REGULADORAS Y MECANISMOS DE AMORTIGUACIÓN

Existen dos tipos de soluciones reguladoras:

- ácidos o bases fuertes moderadamente concentradas;
- mezclas de ácido débil y su base conjugada en concentraciones semejantes.

Es evidente que la capacidad de amortiguación de una disolución depende de la concentración inicial del ácido o base fuerte que constituya la disolución amortiguadora; a mayor concentración menor variación final de pH y por tanto mayor capacidad de amortiguación.

Las formas ácida y básica de la mezcla reguladora se denominan reserva ácida y reserva básica o alcalina, y son las responsables de neutralizar la adición de bases y ácidos respectivamente. <sup>12</sup>



---

## PREPARACIÓN DE DISOLUCIONES REGULADORAS

Se ha estudiado la constitución de las disoluciones reguladoras y su mecanismo de acción. En este apartado se indicará como pueden prepararse u originarse en la práctica.

Para valores extremos de pH debe escogerse como solución reguladora un ácido o una base fuerte, ya que las formadas por ácido débil y su base conjugada tienen poca resistencia a la dilución en estas zonas de pH, como se ha visto en apartados anteriores. Estas últimas disoluciones son las adecuadas para amortiguar en valores intermedios de pH.

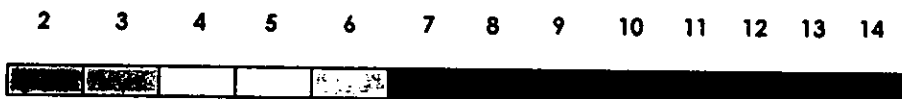
Una disolución reguladora de ácido o base fuerte se prepara simplemente por adición del ácido o de la base fuerte y su base conjugada al medio en que se desea amortiguar. <sup>12</sup>

### III.4 CONCEPTO DE pH

Es el número que indica la concentración del ion de hidrógeno ( $H^+$ ) en una disolución acuosa y por consiguiente la designación de un carácter ácido, neutro o básico.

La determinación experimental de pH de una solución acuosa se lleva a través de métodos colorimétricos rápidos, se fundan en la observación de color tomada de la solución por un indicador cuyo matiz coloreado cambia dentro de la zona del pH buscado. <sup>10</sup>

#### ESCALA DE pH



---

**CAPÍTULO IV**  
**ESTIMACIÓN DE DAÑOS**  
**AMBIENTALES**

---

---

## CAPÍTULO IV

### IV. ESTIMACIÓN DE DAÑOS AMBIENTALES

El presente capítulo surge como resultado de un estudio de identificación y evaluación de los daños ocasionados al ecosistema y su entorno, por el derrame accidental de hidróxido de sodio, en el estado de Puebla.

#### IV.1 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE Y VOLUMEN AFECTADOS

##### IV.1.1. SUPERFICIE AFECTADA

La determinación de la superficie afectada se llevó a cabo a través de las siguientes actividades:

- Inspección física del predio e identificación visual de la ruta que siguió el hidróxido de sodio en el predio contaminado.
- Muestreo y Análisis de materiales contaminados

Al realizar la inspección del sitio del accidente se observó, que la afectación del derrame generó en primera instancia la contaminación de la mayor parte del acotamiento de la autopista, del cual también se vio afectado la parte inferior de un predio particular, debido a que la pendiente natural del terreno arrastró el contaminante hasta esta zona.

El área afectada se identificó mediante zonas húmedas, olor característico y análisis, así mismo encontrando una afectación aproximada de 40 m de largo y con un ancho variable de 2.5 a 3.0 m, esto con respecto a la parte superior del predio afectado, en referencia a el predio inferior propiedad privada la afectación fue de 1.3 m de ancho por 9 m de largo, debido a que el contaminante se acumuló en su totalidad en esta zona.

En vista de lo anterior, se realizó un muestreo preliminar del suelo impregnado con el contaminante, llevando a cabo la realización de pozos de monitoreo preliminares y tomando en cuenta una profundidad de 30 a 50 cm, se tomaron muestras puntuales, que posteriormente con una mezcla homogénea dio origen a una muestra compuesta, de la cual fue llevada para su análisis a un laboratorio y reportando lo siguiente:

<b>RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA TIERRA CONTAMINADA POR HIDRÓXIDO DE SODIO</b>	
<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>RESULTADO (% EN PESO)</b>
Alcalinidad como (NaOH)	9.10

<b>DETERMINACIONES</b>	<b>RESULTADOS</b>
Potencial de Hidrógeno a 25 °C (Unidades de pH) al 10% en solución acuosa	13 ± 1

Por lo anterior y considerando el uso actual del suelo, se identifico el área contaminada con hidróxido de sodio como la siguiente:

<b>ZONA</b>	<b>AREA M<sup>2</sup></b>
A	120
B	24
C	93
D	12
<b>TOTAL</b>	<b>252</b>

---

#### **IV.1.2. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE RECURSOS ALTERADOS**

Los recursos alterados corresponden a la capa superficial de pastos y hierbas típicas colindantes a una autopista, además considerando una profundidad promedio de penetración de contaminantes de 50 cm, se obtiene un volumen de 129 m<sup>3</sup> de tierra contaminada con hidróxido de sodio.

#### **IV.2. IDENTIFICACIÓN DE AFECTACIONES AMBIENTALES**

Las afectaciones ambientales fueron descritas de acuerdo a las modificaciones al entorno natural o humano o de alguno de sus elementos o condiciones, producida directa o indirectamente por toda clase de actividades humanas que sean susceptibles de modificar su calidad ambiental. Estas modificaciones pueden ser tanto positivas como negativas y cabe la posibilidad que sean provocadas tanto por fenómenos naturales, como por el hombre. Es así que en el ambiente en el cual se encuentra el derrame existen múltiples alteraciones, que van desde la simple transformación de paisaje hasta el cambio en las condiciones climáticas. <sup>13</sup>

A continuación se describen las afectaciones ambientales ocasionadas por el derrame.

**DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS AFECTACIONES AMBIENTALES OCASIONADAS POR EL DERRAME ACCIDENTAL DE HIDRÓXIDO DE SODIO <sup>14</sup>**

<b>AFECTACIÓN</b>	<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
-	<b>AGUA</b>	Al realizar el análisis de las afectaciones ambientales; no se encontraron cuerpos de agua tanto superficial como subterránea que resultaran ser afectados por el accidente.
<b>A</b>	<b>SUELO</b>	Dadas las características del accidente únicamente se identificaron afectaciones a la capa superficial de la tierra (aproximadamente de 15 a 50 cm). El impacto provocado por el derrame de hidróxido de sodio resulta ser significativo, debido a que el suelo quedó impregnado con hidróxido de sodio lo que modifica sus propiedades edafológicas. De hecho, debido a que el contaminante derramado ya no es recuperable, el suelo impregnado se considera técnicamente un residuo peligroso, al quedar modificadas sus características físico químicas. El subsuelo no resultó afectado gracias a la presencia de materia impermeable.
<b>a</b>	<b>FLORA</b>	Dada la escasa vegetación principalmente pasto y especies silvestres secundarias presente en el sitio al momento del accidente, para este factor se identificó un impacto poco significativo.
<b>a</b>	<b>FAUNA</b>	En lo relativo a la fauna que pudiera encontrarse presente al momento del derrame del hidróxido de sodio, tales como ratones y reptiles de campo e insectos que constituyen sus madrigueras en el suelo; se identifica un impacto poco significativo.

a	<b>CALIDAD DE AIRE</b>	En cuanto a la calidad del aire, la evaporación del hidróxido de sodio derramado se encuentra en un área abierta y expuesta a corrientes de viento, contribuyen a la contaminación del aire, por lo tanto se identificó una afectación poco significativa.
a	<b>TRAFICO</b>	El autotank que transportaba el hidróxido de sodio quedó inutilizado al perder el control, saliendo de la autopista hacia el acotamiento, con lo que el tráfico por la autopista se vio afectado temporalmente.
a	<b>MEDIO SOCIOECONOMICO</b>	El accidente afectó el factor socioeconómico de la empresa por concepto de pago daños, además de las pérdidas del material derramado y el costo de la unidad vehicular.

A Afectación significativa  
a Afectación poco significativa  
-- No se presenta afectación

---

### IV.3 RESIDUO PELIGROSO

En consecuencia al derrame, a la estimación de daños ambientales encontrados y a los resultados obtenidos por la cuantificación de alcalinidad y pH, se determinó al hidróxido de sodio como un residuo peligroso.

Que de acuerdo a la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), por medio de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) se define a los residuos peligrosos como aquellos que en cualquier estado físico y que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes presentan un peligro para la salud y el equilibrio ecológico. <sup>15</sup>

Así mismo se le distinguen al suelo, modificaciones en sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas por el contaminante, presentando toxicidad en el mismo, por lo cual fue establecido un criterio de limpieza y tomando en cuenta, para efectos a su tratamiento los límites permitidos por la Norma Oficial Mexicana, que determina: <sup>16</sup>

<b>LIMITES PERMITIDOS POR LA NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-052-ECOL-93)</b>	
<b>DETERMINACIONES</b>	<b>VALOR PERMITIDO</b>
Potencial de Hidrógeno a 25 °C (unidades de pH), en solución acuosa	>> 2 ó << 12.5
Velocidad de corrosión del acero al carbón.	Máximo de 6.35
Arsénico (As)	5.0

A continuación se presenta la hoja de seguridad del producto derramado. <sup>17</sup>



## HOJA DE SEGURIDAD

### IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

**HIDRÓXIDO DE SODIO**

**Nombre comercial:** Sosa Cáustica

**CRETIB:** Corrosivo, reactivo, tóxico

**Formula química:** NaOH

**Peso molecular:** 40 kg/mol

### PROPIEDADES FÍSICAS

**Punto de ebullición:**  
120 °C

**Densidad:**  
1.52 kg/l

**Apariencia y olor:** Líquido incoloro  
claro, viscoso, de olor picante

### DATOS DE REACTIVIDAD

**Reacción con agua:** Reacciona  
moderadamente con desprendimiento  
de calor

**Reacción con ácido:** Es de reacción fuerte, con  
desprendimiento de calor y formación de sales  
correspondientes

**Estabilidad:** Es estable a temperatura  
ambiente

**Corrosivo:** es fuertemente

**Explosivo:** No aplica

### EMERGENCIAS Y PRIMEROS AUXILIOS

**Contacto físico:** Evitar ya que provoca quemaduras, lave con abundante agua durante  
15 a 20 minutos. Mínimo

**Ingestión:** Administrar jugo de limón o vinagre, no provocar el vómito, trasladar a la  
víctima inmediatamente con el médico.

**Inhalación:** No aplica

**Información complementaria:** Ninguna

### PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAME

Colectar el exceso en botes y taparlo bien, restringir el acceso directo al área, en caso de  
derrame sobre el suelo, utilizar tierra para absorverlo y en caso de derrame sobre el agua,  
utilizar agentes neutralizantes.

### INFORMACIÓN SOBRE PROTECCIÓN PERSONAL

**Tipo de ventilación:** Ventilación natural

**Protección respiratoria:** Uso de mascarillas

**Guantes de protección:** Aplica

**Protección visual:** Goggles

**Otro equipo de protección:** Se recomienda el uso de mandil y botas de hule

### INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

**Disposición de residuos:** Este producto es considerado un residuo en solución peligroso

**Generalidades:** Todos los hidróxidos metálicos tienen propiedades básicas y dan sales con  
los ácidos, este compuesto es una base muy potente, neutraliza los ácidos

---

**CAPÍTULO V**

**PROPUESTA DE  
RESTAURACIÓN AMBIENTAL**

---

---

## CAPÍTULO V

### V. PROPUESTA DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL

La propuesta de restauración ambiental pretende llevar con sigilo el saneamiento del suelo, que de acuerdo y a la actual política de protección ambiental adoptada por el gobierno federal, busca la protección del medio ambiente y el bienestar humano, a través de la reglamentación en cuanto a los niveles máximos permisibles que hacen a una sustancia o producto un residuo peligroso en el suelo.

Dicha reglamentación está fundamentada en la **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente**, así como en las **Normas Oficiales Mexicanas**, aplicables para cada compuesto industrial.

Como parte de estas acciones figuran, entre otras, la reducción de residuos peligrosos, que según lo dispuesto en el Artículo 151.- "... En las autorizaciones para el establecimiento de confinamientos de residuos peligrosos, sólo se incluirán los residuos que no pueden ser técnica y económicamente sujetos de reuso, reciclamiento o destrucción térmica o físico química, y no se permitirá el confinamiento de residuos peligrosos en estado líquido"; y en el Artículo 152 BIS.- "Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el predio o zona respectiva. 18

---

Con motivo de la propuesta de restauración ambiental se pretenden lograr los siguientes alcances:

- ✓ Definir la tecnología para la Restauración Ambiental del suelo afectado y contaminado por hidróxido de sodio.
- ✓ Definir los niveles de limpieza con que se cuenta para dar cumplimiento a la normatividad en la materia de suelos.
- ✓ Definir las actividades a realizar para llevar a cabo la Restauración Ambiental

## **V.1 DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL.**

Existen puntos de vista económicos, sobre los métodos con respecto al tratamiento de residuos peligrosos, por desgracia estos puntos dependen en gran medida de los costos de los métodos alternativos, que se utilicen para recuperar el material contaminado. En este caso existen métodos que son empleados como beneficio a la reducción de residuos peligrosos.

En la siguiente tabla se hace una comparación y descripción de los métodos tradicionales factibles para la restauración de suelos que se lleva acabo cuando se realiza una disposición final, como es en el caso del confinamiento controlado de residuos peligrosos y de la Restauración Ambiental "in situ". 19

DISPOSICIÓN FINAL	COSTO POR RESIDUO PELIGROSO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CONFINAMIENTO CONTROLADO	N\$ 3,000,000 <sup>oo</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Es de solución inmediata, ya que quita la afectación con la remoción de tierra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Retiro de la tierra contaminada</li> <li>✗ Es ocupada tierra de préstamo de otro lugar para suplir la que se removió y se vio afectada</li> <li>✗ Asignación del área y celda, que reúnan las condiciones de seguridad para su tratamiento</li> <li>✗ Transportación del material contaminado en vehículos autorizados por la SCT y bajo las condiciones previstas en las Normas oficiales</li> </ul>
RESTAURACIÓN FÍSICO QUÍMICA IN SITU	N\$ 200,000 <sup>oo</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realiza la restauración ambiental en el lugar, donde se vio afectada la tierra</li> <li>✓ El material permanece en su sitio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Los trabajos de restauración generan un paisaje de afectación temporal</li> <li>✗ El tiempo de restauración es relativamente largo</li> </ul>

En forma general las ventajas de este tipo de técnicas de Restauración Ambiental son las siguientes:

- ✓ Actúan para promover la minimización de la cantidad de residuos peligrosos.
- ✓ Mejora las condiciones de la calidad del suelo y ayudan a la regeneración, recuperación y rehabilitación necesarias en las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo.
- ✓ Lleva al contaminante a niveles que no son peligrosos para la salud y medio ecológico y permite la mejor forma de que no se continúe perturbando el medio ambiente
- ✓ Este tipo de operación genera que la toxicidad del suelo afectado por el derrame sea menor y da cumplimiento a las normas y leyes del equilibrio ecológico y protección al ambiente
- ✓ Son de costos elevados, pero permiten extremar las precauciones para evitar la repetición de estos desastres ecológicos.

---

Como se puede apreciar en el cuadro comparativo se considera que la alternativa más adecuada para satisfacer la necesidad operativa de restaurar las características y cualidades del sitio afectado por el derrame, es la del caso de restauración Físicoquímica "in situ", que en contraposición con el recurso más cómodo, más utilizado y más caro, como es el confinamiento controlado, que en vez de ser una solución, lo único que hace es cambiar de sitio el problema, con la recolección y disposición del suelo; resultando ser un método agresivo al medio ambiente.

Es por ello necesario considerar siempre la posibilidad de reciclar o recuperar un material (en caso de dar un tratamiento al suelo) antes de enviar a un confinamiento, aunque la diferencia de esfuerzos sea considerable.

---

## V.2 PRINCIPIOS BÁSICOS Y METODOLOGÍA DE LA RESTAURACIÓN FÍSICO QUÍMICA

La determinación de la tecnología de Restauración Ambiental, se realizó en función del tipo de contaminante, así como de las alternativas disponibles por esta tecnología, para este caso el contaminante es un compuesto químico inorgánico conocido como hidróxido de sodio

Por lo que, se ha establecido el método de Restauración Físicoquímica, que por medio de NEUTRALIZACIÓN IN-SITU, tiene el propósito de presentar soluciones a este tipo de problemática. Así como de restablecer las características originales al suelo e evitar que se continúe y se produzca un daño más severo al suelo.

La NEUTRALIZACIÓN IN-SITU es un método favorable para este tipo de contaminante, por lo cual es Objeto de esta tesis.

La NEUTRALIZACIÓN IN-SITU: Es un proceso químico, que es utilizado para la transformación de contaminantes químicos peligrosos a compuestos inocuos.

Este tratamiento puede aplicarse con la utilización de productos químicos, que poseen la habilidad de pasivar y neutralizar químicamente los compuestos y que son específicamente seleccionados por su capacidad natural o inducida para la neutralización de suelos de interés y así mismo permitan una aplicación sencilla.

La neutralización se logra a través de una serie de reacciones químicas, mediante las cuales un compuesto es gradualmente cambiado o transformado en el suelo a productos finales inertes. Es por ello que la neutralización dependerá de la proporción de sustancias químicas neutralizantes, utilizadas para su tratamiento.

La neutralización del producto químico derramado en este caso, es generalmente descrita por la siguiente ecuación:



---

Para este tipo de restauración, la manipulación de ciertos tipos de factores son una ventaja para neutralizar los efectos que puedan limitar al proceso.

El intervalo de acidez o alcalinidad (pH) que es óptimo para el suelo está entre 6 y 8, para la mayoría de las especies el pH óptimo dentro de este intervalo es ligeramente arriba de 7.

Los bajos niveles de humedad restringen la actividad de neutralización, limitando sus reacciones y actividad de pasivación.

El método de Restauración Físico químico contiene los siguientes pasos: <sup>20</sup>

#### **FASE I**

El primer paso, es realizar una inspección física al predio afectado, posteriormente se realizan pozos de monitoreo para conocer la infiltración del producto derramado y hacer una recolección de muestras representativas (para establecer el grado de afectación de contaminante y la técnica a desarrollar).

Una vez establecida la evaluación del área y de los recursos contaminados, se procede a desarrollar los siguientes pasos, que consiste en hacer una remoción de la tierra contaminada, hacia un sitio establecido para su tratamiento.

Después de haber realizado la remoción de la tierra afectada, la restauración ambiental se efectuará a través de **Neutralización " In Situ "**

La Neutralización como se mencionó anteriormente es un método físico químico que a través de acciones de pasivación y homogeneización en condiciones específicas, actúan como neutralizantes para contaminantes químicos.

La Neutralización "in situ" presenta los siguientes pasos:

- Pasivación y humidificación
- Neutralización
- Certificación
- Redistribución y Reforestación



---

La Pasivación y homogeneización; son partes importantes de la neutralización, ya que estas actividades actúan como agentes neutralizantes y preparan al terreno para la incorporación de los demás aditivos.

La pasivación consiste en la (inactivación) de la sustancia contaminante, ya que tiene la propiedad de amortiguar la concentración del producto derramado considerado como peligroso, basándose en la incorporación de sustancias neutralizantes.

La homogeneización es la parte esencial de esta restauración, ya que la falta de este factor puede originar la inactivación de las sustancias amortiguadoras (sales buffer).

Seguido de esto se lleva a cabo la Neutralización propiamente dicha, que consiste en la adición de ácido acético y agua en cantidades suficiente para su neutralización y homogeneización.

La incorporación de estos aditivos se realiza mediante riego a las concentraciones adecuadas y previamente establecidas para cada caso.

⇒ Ácido acético

Este aditivo es el compuesto que permite la neutralización completa de la tierra.

⇒ Agua

El agua tiene la función de humidificar la tierra y así mismo se obtenga un ambiente propicio para la neutralización.

Esta adición se realiza en la tierra afectada y pasivada, la incorporación de los agentes neutralizantes se efectúa de acuerdo al grado del contaminante existente en la tierra, posteriormente se toman muestras representativas del material neutralizado, basándose en la medición de su pH y para comprobar que su neutralización sea la correcta, en caso contrario se le adiciona más material neutralizante hasta obtener un pH aproximado o cercano a 7.0

---

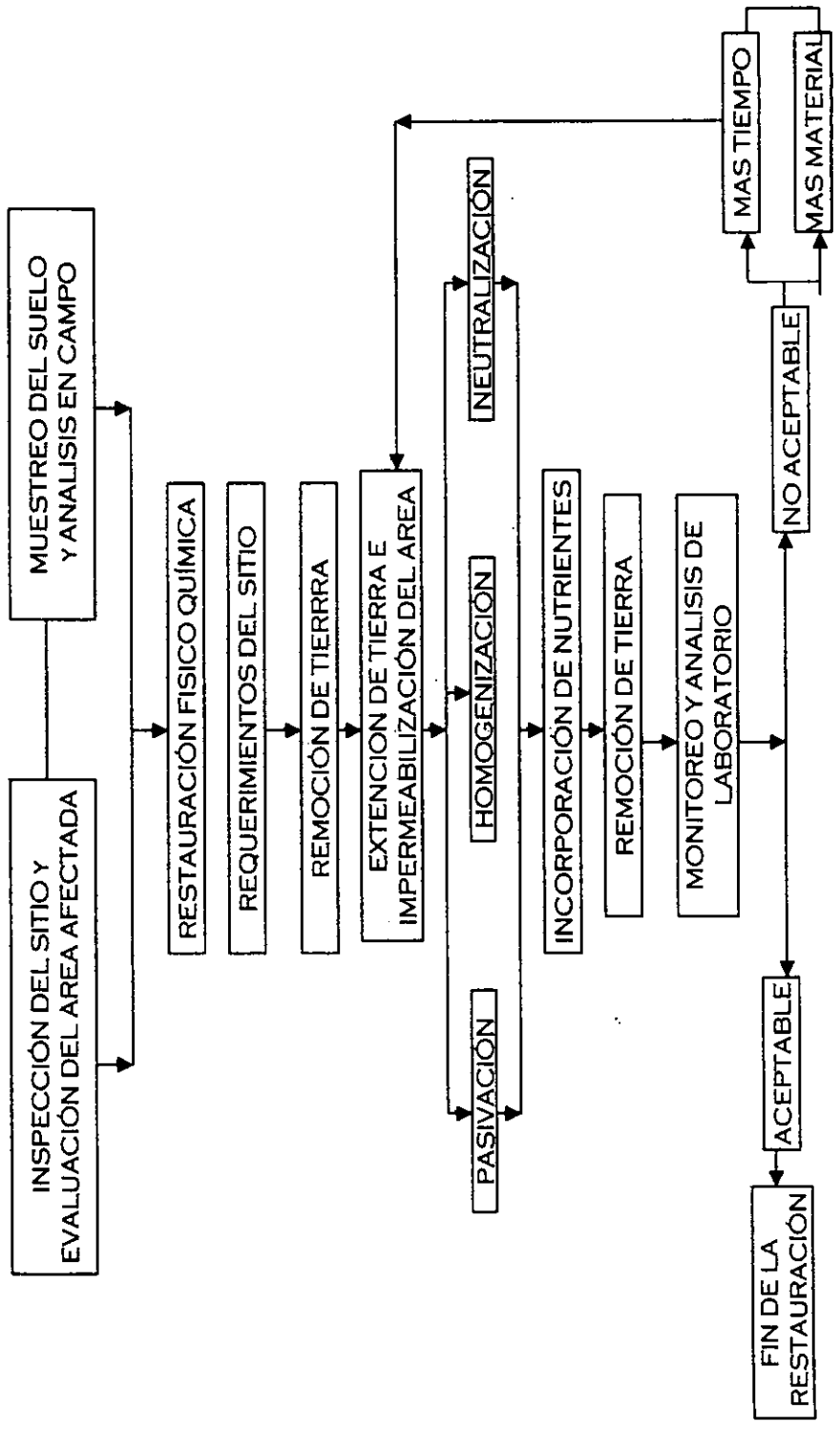
A continuación se llevan a cabo nuevos muestreos de suelo, para verificar que la neutralización es la correcta y proseguir con el análisis en el laboratorio que certifique que el material neutralizado se encuentra dentro de los límites permisibles y que éstos no lo hacen ser un material peligroso y se de por terminada la fase de Remediación Físicoquímica.

## **FASE 2**

En esta fase se realiza la incorporación de nutrientes

Los nutrientes son principalmente nitratos y/o celulosa que sirven para el desarrollo adecuado de la microflora y mejorar la carga orgánica del suelo, se realiza la redistribución de la tierra, procurando proporcionar la misma pendiente que tenía antes de realizar la restauración físico química, así como llevar a cabo su reforestación, en caso necesario. <sup>20</sup>

# DIAGRAMA DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL



---

### V.3 MATERIALES REQUERIDOS <sup>20</sup>

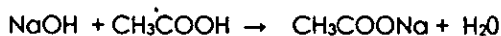
Después de realizar la evaluación de daños producidos por el derrame accidental de hidróxido de sodio y el haber tomado en cuenta el programa de Restauración Físicoquímica "in situ".

Los materiales que se emplearan para los trabajos de Neutralización "in situ" básicamente serán:

- Ácido acético (concentrado al 99.9%)
- Sales buffer en proporciones adecuadas al volumen de tierra afectada
- Agua de pozo o de la red municipal, en cantidades variables

#### V.3.1 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DEL ÁCIDO ACÉTICO QUE SE EMPLEARÁ EN LA RESTAURACIÓN.

Cálculos:



1.-) 12,000 Kg de NaOH al 50% de concentración equivalen a 6,000 kg de NaOH

2.-) Cada kilogramo de NaOH, requiere 1.501 kg de ácido acético, por lo tanto 6,000 kg de hidróxido de sodio requieren:

$6,000 \times 1.501 = 9,006$  kg de ácido acético al 100% para su neutralización. Pero debido a que el ácido es de grado comercial, con una concentración de 99.9% se requerirán 9.015 kg.

---

*"in situ"* quiere decir en el lugar

## Medición del grado de neutralización

Las mediciones de alcalinidad se realizarán continuamente con papel pH marca Merck. Por otro lado se requerirán picos, palas, carretillas, equipo pesado, cubetas, mangueras, etc.

## MEDIDAS DE SEGURIDAD

### Equipos de protección personal

Para los trabajos de neutralización se requiere que el personal que participe en los mismos utilice un mínimo de equipo de protección personal, tal como: mascarillas, guantes y botas de hule, ropa de trabajo, etc.

Este equipo de seguridad y protección personal, será obligatorio durante los trabajos a realizar en el área afectada.

### Programa y cronograma de actividades. <sup>20</sup>

El plan de trabajo establecido comprende un período de aproximadamente 30 días naturales, que dependen de la disponibilidad de la maquinaria y equipo necesarios.

PROGRAMA DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL																														
Actividad/ Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Muestreo de suelos																														
Preparación del terreno																														
Adquisición de los materiales																														
Neutralización																														
Muestras de suelos																														
Incorporación de nutrientes																														
Nivelación																														
Reforestación																														

Así mismo se presentan las hojas de seguridad, para el manejo de los materiales involucrados en la restauración de suelo. <sup>17</sup>

## HOJA DE SEGURIDAD

### IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

ÁCIDO ACÉTICO

**Nombre comercial:** Ácido acético

**CRETIB:** Corrosivo, explosivo, tóxico

**Formula química:** CH<sub>3</sub>COOH

**Peso molecular:** 60 kg/mol

### PROPIEDADES FÍSICAS

**Punto de solidificación:** 16.5 °C

**Punto de ebullición:**  
119 °C

**Solubilidad:**  
Infinita g/100 g de agua

**Apariencia y olor:** Líquido incoloro de olor sofocante

### DATOS DE REACTIVIDAD

**Reacción con agua:** Reacciona moderadamente con desprendimiento de calor

**Reacción con ácido:** No Aplica

**Estabilidad:** Es estable a temperatura ambiente

**Corrosivo:** es fuertemente

**Explosivo e inflamable:** Es fuertemente

### EMERGENCIAS Y PRIMEROS AUXILIOS

**Contacto físico:** Evitar ya que provoca severas quemaduras en la piel y ojos, lave con abundante agua corriente por lo menos 20 minutos y retirar ropa y calzado contaminado.

**Ingestión:** no provocar el vómito, trasladar a la víctima inmediatamente con el médico.

**Inhalación:** Aplicar respiración artificial y suministrar oxígeno si respira con dificultad.

**Información complementaria:** Ninguna

### PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAME

Colectar el exceso en botes y tapanlo bien, eliminar las fuentes de ignición, absorber con tierra seca, arena u otro material absorbente no combustible y transferirlo a contenedores.

### INFORMACIÓN SOBRE PROTECCIÓN PERSONAL

**Tipo de ventilación:** Ventilación natural

**Protección respiratoria:** Uso de mascarillas

**Guantes de protección:** Aplica

**Protección visual:** Goggles

**Otro equipo de protección:** Se recomienda el uso de mandil y botas recomendadas por el fabricante

### INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

**Disposición de residuos:** Este producto es considerado un residuo en solución peligroso

**Generalidades:** El ácido acético puede polimerizarse (P) explosivamente, cuando se calientan o se involucran en un incendio. El contacto con los metales puede despedir hidrogeno gaseoso inflamable.

---

HOJA DE SEGURIDAD	
-------------------	--

<b>IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO</b>	<b>SALES BUFFER</b>
------------------------------------	---------------------

<b>Nombre comercial:</b>	<b>CRETIB: Corrosivo, tóxico</b>
<b>Formula química:</b>	<b>Peso molecular:</b>

PROPIEDADES FÍSICAS
---------------------

<b>Apariencia y olor:</b> Material cristalino, blancusco
--

DATOS DE REACTIVIDAD
----------------------

<b>Reacción con agua:</b> El compuesto es muy soluble en agua	<b>Reacción con ácido:</b> No Aplica
<b>Estabilidad:</b> Es estable a temperatura ambiente	<b>Corrosivo:</b> en forma de gases
	<b>Explosivo e inflamable:</b> No Aplica

EMERGENCIAS Y PRIMEROS AUXILIOS
---------------------------------

<b>Contacto físico:</b> Evitar ya que provoca quemaduras en la piel y ojos, lave con abundante agua durante 20 minutos. Mínimo.
<b>Ingestión:</b> Trasladar a la víctima inmediatamente con el médico.
<b>Inhalación:</b> Puede tener efecto dañino en los pulmones.
<b>Información complementaria:</b> Ninguna

PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAME
----------------------------------

Colectar el exceso en botes y taparlo bien, no tocar ni caminar sobre el material derramado, prevenir la nube de polvo e evitar la inhalación del polvo.
--

INFORMACIÓN SOBRE PROTECCIÓN PERSONAL
---------------------------------------

<b>Tipo de ventilación:</b> Ventilación natural	<b>Protección respiratoria:</b> Uso de mascarillas
<b>Gautes de protección:</b> Aplica	<b>Protección visual:</b> Goggles
<b>Otro equipo de protección:</b> Se recomienda el uso de mandil y botas	

INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA
----------------------------

<b>Disposición de residuos:</b> Este producto es considerado un residuo en sólido peligroso
---

---

**CAPÍTULO VI**

**DESARROLLO EXPERIMENTAL DE  
LA REMEDIACIÓN  
FÍSICO QUÍMICA**

---



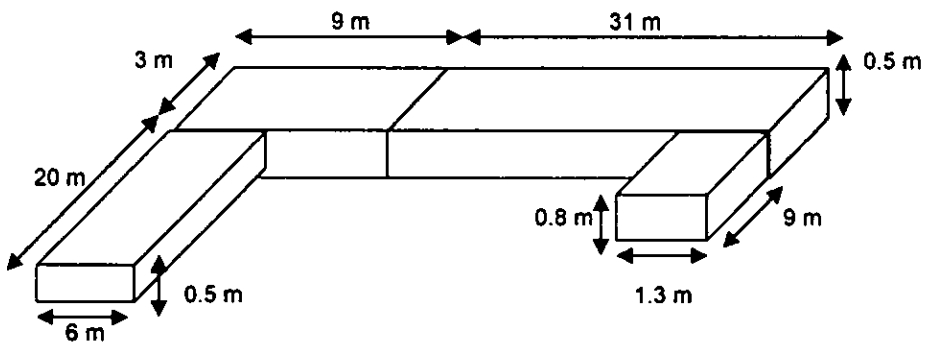
## CAPÍTULO VI

### VI MÉTODO DE REMEDIACIÓN FÍSICOQUÍMICA<sup>1</sup>

En el presente capítulo se presentará con detalle la descripción de las actividades realizadas para dar cumplimiento a lo señalado con el saneamiento de suelo, como ya se mencionó anteriormente se utilizó un método de Restauración Físicoquímica que comprende la utilización de compuestos neutralizantes y sales buffer para llevar a cabo el saneamiento de la tierra afectada.

#### VI.1 INSPECCIÓN DEL LUGAR

Para iniciar los trabajos de saneamiento del lugar afectado y dadas las características del área de estudio se decidió realizar un muestreo en toda el área dividiéndolo de la siguiente forma

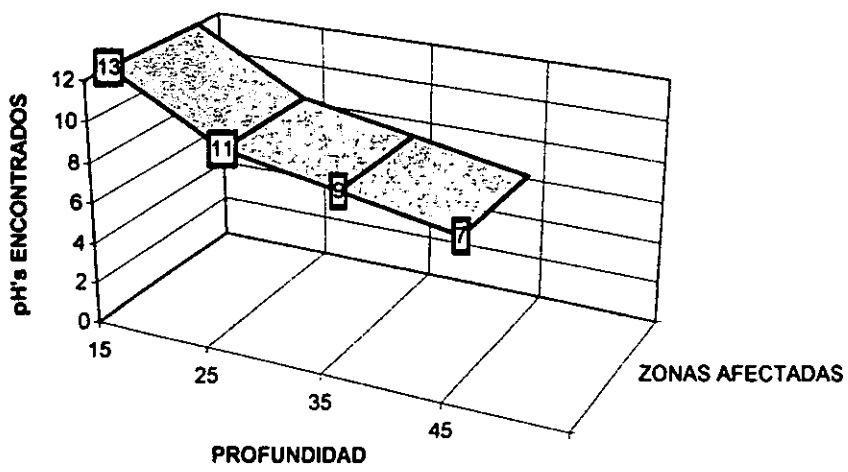


A fin de establecer la afectación de los daños ocasionados por el derrame accidental de hidróxido de sodio, se procedió a realizar las limitaciones del lugar afectado por medio de banderillas y acordonamiento del área afectada, posteriormente se realizaron pozos de monitoreo que establecieron una profundidad de 15 a 50 cm., de infiltración del producto derramado.

<sup>1</sup> Ver Anexo I Memoria Fotográfica

Los pozos de monitoreo se realizaron con mediciones de pH a la tierra afectada, mediante dilución en agua, estas mediciones se realizaron a diferentes profundidades en donde se encontró un pH máximo de  $13 \pm 1$ , y uno mínimo de  $8 \pm 1$ , la profundidad de las excavaciones se determinaron hasta encontrar en el suelo un pH de 6 o cercano a 7.0.

### INFILTRACIÓN DEL CONTAMINANTE



---

## **VI.2 PREPARACIÓN DEL TERRENO**

### **LIMPIEZA DEL TERRENO**

Una vez identificadas las zonas contaminadas, como se indicó en el punto anterior, se dio inicio al proceso de preparación del terreno afectado, en el que fue necesario retirar los pastizales, existentes en el recorrido de la solución de hidróxido de sodio a fin de dejar expuesta la capa de tierra. Objeto de la Remediación Físicoquímica.

Esta actividad se realizó por el personal contratado en forma manual, con la ayuda de palas, picos y carretillas.

Una vez establecida la recolección y remoción de pastizales afectados por el derrame estos fueron integrados a la tierra para su tratamiento.

### **VI.3 REMOCIÓN DE SUELO CONTAMINADO**

Una vez hecha la recolección de pastizales y encontrada la profundidad con un pH neutro, se procedió a retirar la tierra contaminada, depositándola sobre liners (de plástico impermeable) de calibre 600, para que a la hora de su tratamiento, no permitiera la infiltración del contaminante y de los agentes neutralizantes al subsuelo, la remoción de tierra se fue efectuando en la parte superior por medio de una retroexcavadora.

En la parte inferior del terreno se procedió a retirar la tierra contaminada en forma manual con palas, picos y carretillas, debido a que no era posible incorporar el equipo en esta zona. Razón por la cual se excavó un pozo chico y un canal, hasta encontrar un pH de 6 ó 7. La tierra afectada fue retirada y depositada en liner de plástico.

---

#### VI.4 PROCESO DE PASIVACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN

Una vez terminada la remoción de suelo, se fue mezclando perfectamente la tierra afectada en seco con las sales, formando así montículos de tierra en todas las zonas y depositándola sobre los liners, así mismo se integraron los pastizales afectados a la tierra pasivada para su tratamiento.

#### VI.5 NEUTRALIZACIÓN IN-SITU

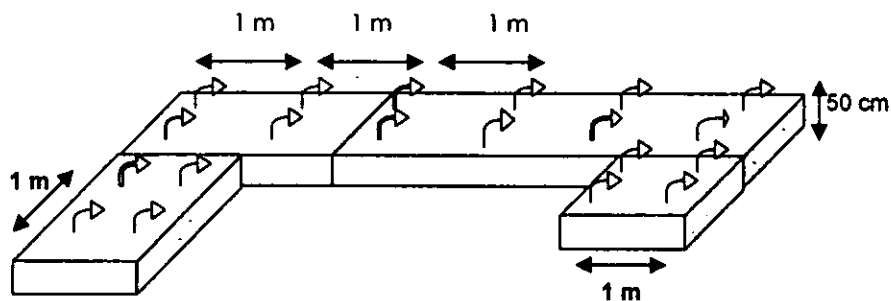
Una vez mezclados perfectamente la tierra con las sales, se procedió a la adición de ácido acético y agua. Los cuales se fueron mezclando perfectamente, su mezclado se hizo por medio de la mano de la retroexcavadora la cual homogeneizó perfectamente la tierra contaminada con los productos de neutralización, hasta obtener una mezcla de apariencia lodosa y fácil de incorporar, después de homogeneizar perfectamente la tierra se tomaban constantes tomas de muestras representativas de aproximadamente entre 30 a 50 g de tierra lodosa, con medidas de pH, utilizando papel merck en solución con agua destilada, esto con el fin de obtener valores cercanos a 7.0 y así mismo ver si era necesario de agregarle más del material para su neutralización hasta que alcanzara un pH de  $7 \pm 1$  o cercano a éste. Una vez encontrado su pH, se formaron cisternas con paredes neutras sobre un liner de plástico, las paredes neutras fueron de tierra que no se encontraba contaminada, depositando en ella la fase prácticamente líquida de la mezcla de tierra ya neutralizada, en este paso se formaron cuatro cisternas a lo largo de la parte inferior de terreno de las cuales a cada una de las cisternas se le tomaron nuevas muestras y se verificó su pH.

En la parte inferior del predio se procedió a colocar un liner dentro del pozo, el cual sería utilizado para hacer la mezcla de tierra contaminada, ácido acético y sales para su neutralización, la cual una vez mezclados perfectamente y obteniendo el pH neutro o cercano a éste, se fue depositando el material en un impermeable de plástico cercano al área.

---

## VI.6 MUESTREO DE SUELOS DESPUÉS DE LA RESTAURACIÓN

Después de finalizar los trabajos de NEUTRALIZACIÓN "IN SITU", se realizaron muestreos de los suelos saneados, los muestreos por zonas consistieron en la toma de muestras de tierra neutralizada por dilución, en cantidades aproximadamente de 30 a 50 g de tierra neutralizada, midiendo el pH del suelo restaurado y colocando en cada pozo una banderilla. Estos puntos fueron aleatorios tomando como base la cubicación de las áreas, esto es, cuadriculando las áreas con una distancia de separación entre pozo y pozo de 1 metro y a profundidades entre 30 y 50 cm. Estos puntos fueron distribuidos para comprobar la restauración del suelo por el derrame de hidróxido de sodio, como se presenta en el siguiente gráfico.



## VI.7 ADICIÓN DE NUTRIENTES

Una vez neutralizado el material en las cisternas y pozos, se le adicionó celulosa como abono orgánico, esto como nutriente para propiciar la proliferación de la microflora y microfauna que permitirán la regeneración biológica de suelo.

La tierra quedó depositada en el sitio original de la neutralización y el suelo apto para el desarrollo de pastizal y con valores de pH neutros que le son característicos al tipo del suelo.

---

## **VI.8 ANÁLISIS Y CERTIFICACIÓN**

Una vez terminada la neutralización y el muestreo de suelo, se llevaron a cabo análisis de certificación, que por medio del laboratorio Bufete químico, que recabaron muestras compuestas del material neutralizado y una muestra representativa de suelo no contaminado, con el fin de certificar que los suelos neutralizados no presentan características de corrosividad o de toxicidad.

### **FASE II**

## **VI.9 NIVELACIÓN Y REFORESTACIÓN**

Posteriormente corroborada la efectividad de la neutralización, se procedió a la nivelación del terreno, realizando movimientos de tierra hasta emparejar niveles y presentar una pendiente similar a la que se tenía originalmente, en la parte superior al predio afectado.

En la parte inferior fue colocado el material neutralizado en su sitio original rellenando los sitios previamente abiertos, una vez hecha la nivelación se procedió a plantar pasto mejorado en rollos y árboles de eucaliptos, con la finalidad de mantener el terreno como área verde y mejorar el paisaje de la autopista.

---

**CAPÍTULO VII**  
**DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

---

---

## CAPÍTULO VII

### VII. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los análisis realizados, apegados a los procedimientos y normas oficiales, para cumplir con la restauración ambiental fisicoquímica. En donde la normatividad mexicana fue aplicada como elemento de evaluación.

Los análisis fueron practicados por el laboratorio Bufete Químico, el cual reportó lo siguiente:

#### *ANÁLISIS FINALES*

Para comprobar el saneamiento de la tierra afectada fueron realizadas pruebas para determinar su peligrosidad de acuerdo al punto 5.5. de la Norma NOM-052-ECOL-93

Se establecieron pozos de muestreos aleatorios con una profundidad de 40 cm, los muestreos de tierra puntuales, dieron origen a tres muestras compuestas a las que se les practicaron los siguientes análisis:

Determinaciones:	Resultados:		
	Mta.1	Mta.2	Mta.3
Alcalinidad Total como CaCO <sub>3</sub> (% en peso)	0.03	0.05	0.01



Determinaciones	Resultado:			
	Mta.1	Mta.2	Mta.3	V.P.
Potencial de Hidrógeno a 25°C (Unidades de pH) al 10% en solución acuosa	7.2	7.1	6.0	»2 ó « 12.5
Velocidad de Corrosión del acero al carbón (SAE 1020) a 55°C en mm/año	0.28	0.0	0.11	Máximo 6.35

V.P.= Valor Permitedo

A continuación se presentan los siguientes valores obtenidos en los análisis, que fueron para determinar la presencia de elementos metálicos tóxicos y los cuales fueron determinados por espectrofotometria de absorción atómica (AA) y/o horno de grafito (NMX-AA-059-1981).

Determinaciones:	Resultados:				
	Mta.1	Mta.2	Mta.3	L.D.	L.M.P
Bario (Ba) (AA)	N.S.D.	N.S.D.	N.S.D.	0.4	100.0
Cadmio (Cd) (AA)	N.S.D.	N.S.D.	N.S.D.	0.03	1.0
Cromo (Cr) (AA)	N.S.D.	N.S.D.	N.S.D.	0.016	5.0
Mercurio (Hg) (AA)	N.S.D.	N.S.D.	N.S.D.	0.2	0.2
Niquel (Ni) (AA)	0.13	0.14	N.S.D.	0.01	5.0
Plata (Ag) (AA)	0.05	0.06	N.S.D.	0.01	5.0
Plomo (Pb) (AA)	N.S.D.	N.S.D.	N.S.D.	0.63	5.0
Selenio (Se) (AA)	N.S.D.	N.S.D.	N.S.D.	0.82	1.0

N.S.D = No se detecta ó contiene menos del límite de detección

L.D.= Límite de detección

L.M.P.= Límite máximo Permisible (NOM-052-ECOL-93)

---

Análisis para determinar elementos metálicos tóxicos los cuales fueron realizados por el método físico químico (GUT-ZEIT)

Determinaciones	Resultados (mg/Kg ó ppm)				
	Mta.1	Mta.2	Mta.3	L.D.	L.M.P.
Arsénico (As)	N.S.D.	N.S.D.	N.S.D.	0.2	5.0

**N.S.D = No se detecta ó contiene menos del límite de detección**

**L.D.= Límite de detección**

**L.M.P.= Límite máximo Permisible (NOM-052-ECOL-93)**

---

**CAPÍTULO VIII**  
**CONCLUSIONES**

---

---

## CAPÍTULO VIII

### VIII. CONCLUSIONES

Con base en los resultados presentados se fundamentan las conclusiones y recomendaciones en materia a la restauración fisicoquímica "in situ"; la figura gráfica y el anexo complementan la información presentada para su mejor entendimiento y justificación.

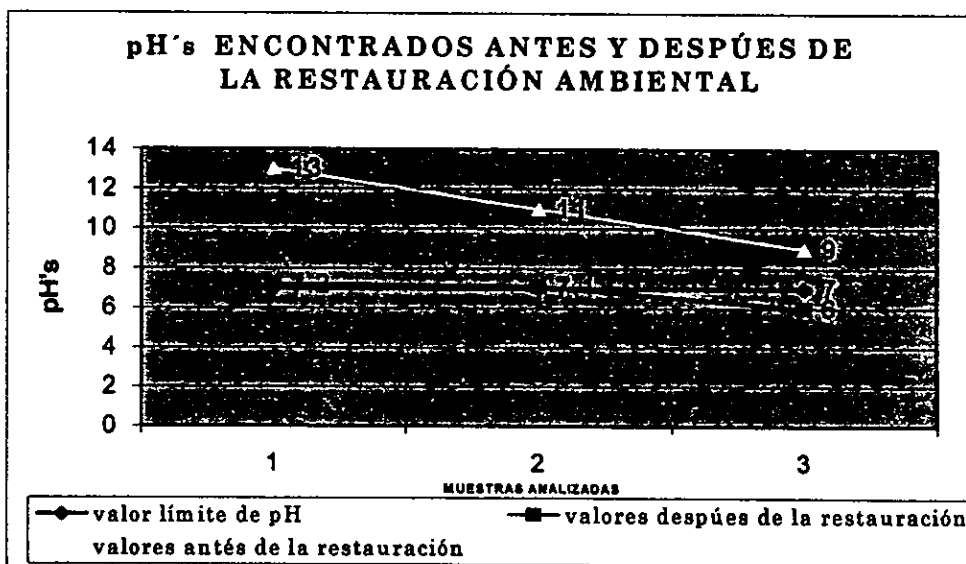
La evaluación para considerar ambientalmente el saneamiento del suelo proveniente del derrame accidental de hidróxido de sodio, se realizó con base en las normas oficiales mexicanas y los resultados obtenidos, que son comparados directamente con los niveles máximos permisibles de la NOM 052 ECOL 1993, marcados en la misma, la cual aparece publicada en el diario oficial de la federación el 22 de octubre del 1993.

Conforme a los resultados del análisis de las muestras, se puede concluir que en los suelos tratados, actualmente, ya no se detecta la presencia de hidróxido de sodio, se realizaron pruebas CRETIB, en las que se obtuvieron resultados por debajo de los límites permisibles, tomando como referencia el límite máximo establecido por la Norma Oficial Mexicana.

El control de la contaminación de suelos, se puede remediar con un tratamiento en que la combinación de los materiales aplicados, a determinadas concentraciones de administración, reduzcan la concentración de los contaminantes.

En este caso y considerando a la técnica y método fisicoquímico "in situ", se puede hacer notar que la metodología de restauración es favorable y adecuada, ya que se ha demostrado por medio de análisis que existe una reducción de la alcalinidad del suelo, permitiendo restablecer las condiciones físicas, químicas y/o biológicas del mismo, así como abatir la toxicidad que fue generada por el hidróxido de sodio. también, se puede considerar que la reacción de los materiales asociados al suelo en este caso (ácido acético y sales buffer), ha sido apropiada, ya que permitieron realizar la neutralización del suelo afectado.

En la siguiente figura gráfica se observan los cambios en los niveles de pH antes y después de haber realizado la restauración fisicoquímica "in situ", en un período de 30 días de tratamiento del lugar, los parámetros son señalados conforme a los reportes obtenidos de los análisis.



---

Así mismo y considerando los trabajos de neutralización y de restauración del terreno, la mayoría de los impactos ambientales identificados fueron mitigables a través de este tipo de restauración, el cual permite garantizar que no habrá consecuencias en la salud o médicas para los habitantes y fauna de la región.

Pero no se debe de olvidar que para este tipo de contaminación, existen una gran variedad de métodos y compuestos químicos, que permiten generar la neutralización, por lo que estos materiales, antes mencionados fueron elegidos, entre una gran variedad de compuestos químicos.

En cuanto a las sugerencias para este tipo de afectaciones ambientales, es importante señalar que las empresas transportistas lleven a cabo programas de sensibilización entre los choferes para que manejen sus camiones o autotanques respetando al máximo tanto las disposiciones de tránsito como las emitidas por la secretaría de Comunicaciones y transportes, para reducir la posibilidad de accidentes y este tipo de afectaciones ambientales.

---

**CAPÍTULO IX**

**REFERENCIAS**  
**BIBLIOGRÁFICAS**

---

---

## CAPÍTULO IX

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. El tesoro de la juventud. Preservación del medio ambiente, 1978, Ed. Cumbre
2. GARCIA P. RAMÓN, 1985, El hombre y el ambiente, Ed. Larousse, 770 a 774 pp.
3. Información del Acta de la policía federal de caminos
4. SAHOP, 1980 Desarrollo Urbano, Ecoplán del estado de Puebla, secretaria de Asentamientos Humanos y obras públicas, México.
5. UNAM, 1980, Instituto de Geografía, municipios del estado de Puebla.
6. HINRICH. L. BOHN, 1997, Química del suelo, Ed. Limusa
7. HARRY. O. BUCKMAN, 1980, Naturaleza y propiedades del suelo Ed. Montaner
8. INEGI, 1981, Uso del suelo. Instituto nacional de Geografía, Estadística e informática, 49 pp.
9. INEGI, 1981, Guías de interpretación Cartográficas. Edafología. Instituto nacional de Geografía, Estadística e informática, 41 pp.
10. A. GARRITZ, J.A. CHAMZO. 1994, Química. Ed. Mc. Graw-Hill.
11. S. PEREZ VICENTE, 1987, Química de las diluciones Ed. Alhambra.
12. LUNA. R. RAYMUNDO.1977, Fundamentos de química Analítica. Vol. II Ed. Limusa
13. ESPITIA. B. ALFONSO. Las evaluaciones de impacto Ambiental. U.A.M. Azcapotzalco.
14. ESTEVAN. B. MA. TERESA. Las evaluaciones de Impacto Ambiental. Cuadernos de CIFCA.
15. SEDESOL, 1992. Regulación y gestión de productos químicos en México, enmarcados en el contexto internacional. Serie Monografías N° 1, instituto nacional de Ecología, México, 267 pp.



- 
16. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 1993, Norma Oficial Mexicana NOM- 052-ECOL-1993, que determina el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, 22 de Octubre de 1993.
  17. PLUNKETTE. R.,1976, Manual de toxicología Industrial Ed. Urmo
  18. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE, 1995, Art. 51 y 52 bis, en materia al tratamiento de residuos peligrosos.
  19. ING. VÍCTOR R. IZQUIERDO. Comunicación personal.
  20. ECOPROMEX. 1996, Programa de trabajos de restauración fisicoquímica.

---

## **MEMORIA FOTOGRÁFICA**

La presente memoria fotográfica tiene la finalidad de permitir una visualización de los trabajos hechos por la Remediación físicoquímica y reportados con base en el desarrollo experimental de la Restauración Ambiental

<b>FOTOGRAFÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	<b>ZONA DE AFECTACIÓN</b>
1, 2 y 3	Estas fotografías muestran la afectación del área, la cual fue delimitadas por medio de banderillas y acordonamiento de la zona afectada.
	<b>PREPARACIÓN DEL TERRENO</b>
4 y 5	Detallan la limpieza del terreno afectado, removiendo los pastizales afectados durante el trayecto del contaminante
	<b>REMOCIÓN DE SUELO CONTAMINADO</b>
6	Vista de la remoción de tierra en la parte inferior al predio afectado por el derrame de hidróxido de sodio.
7 y 8	Describen la remoción de la tierra afectada, por medio de una retroexcavadora en la parte superior al acotamiento de la carretera.
9 y 10	Detallan las excavaciones de afectación por la infiltración de hidróxido de sodio, correspondiente a la parte inferior al predio afectado.
	<b>ADITIVOS</b>
11, 12 y 13	Muestran la presencia de las sustancias neutralizantes ácido acético, sales buffer y agua, en el proceso de restauración ambiental

---

#### **PROCESO DE PASIVACIÓN**

- 14, 15 y 16 Se observa la formación de las cisternas, previamente pasivadas con las sales.
- 17 Vista de la colocación de la tierra pasivada sobre "lineers" de plástico, así mismo se observa la incorporación de más sales neutralizantes.
- 18, 19 y 20 Panorámica de la pasivación de tierra en la parte inferior al predio afectado

#### **PROCESO DE NEURALIZACIÓN**

- 21 y 22 Presentan la incorporación del ácido acético y agua en las cisternas formadas en la parte superior de la zona afectada.
- 23 y 24 Vista de la homogeneización por medio de la mano de la retroexcavadora en el área afectada

#### **MATERIAL NEURALIZADO**

- 25, 26 y 27 Panorámica del material neutralizado en la parte inferior del predio
- 28 y 29 Vista de la neutralización de la tierra en la parte superior a la afectación

#### **ADICIÓN DE NUTRIENTES**

- 30, 31, 32 y 33 Vista de la incorporación del nutriente que en este caso fue celulosa

#### **NIVELACIÓN**

- 34, 35 y 36 Demuestran la nivelación de la tierra neutralizada de la parte inferior.

#### **MUESTREO DE AVANCE**

- 37, 38 y 39 Vista de los suelos saneados en la parte superior, con limitaciones de banderillas entre pozo y pozo de muestreo

#### **ANÁLISIS Y CERTIFICACIÓN**

- 40 y 41 Presenta la vista de elaboración de pozos, para la certificación de suelos, ésto por parte del laboratorio

---

## REFORESTACIÓN

- 42, 43 y 44 Panorámica de la incorporación de semillas mejoradas y plantación de árboles de eucalipto en las zonas restauradas
- 45, 46, 47 y 48 Detallan la incorporación de los rollos de pasto mejorado, así como la finalización a la restauración ambiental.



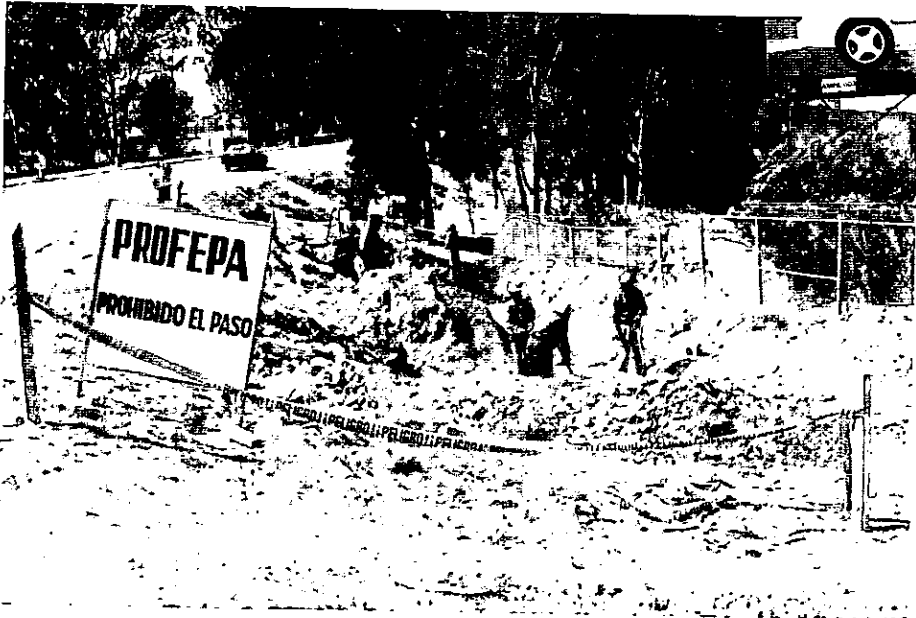
FOTOGRAFIA N° 1



FOTOGRAFIA N° 2



FOTOGRAFIA N° 3



FOTOGRAFIA N° 4



FOTOGRAFIA N° 5



FOTOGRAFIA N° 6



FOTOGRAFIA N° 7



FOTOGRAFIA N° 8





FOTOGRAFIA N° 9



FOTOGRAFIA N° 10



FOTOGRAFIA N° 11



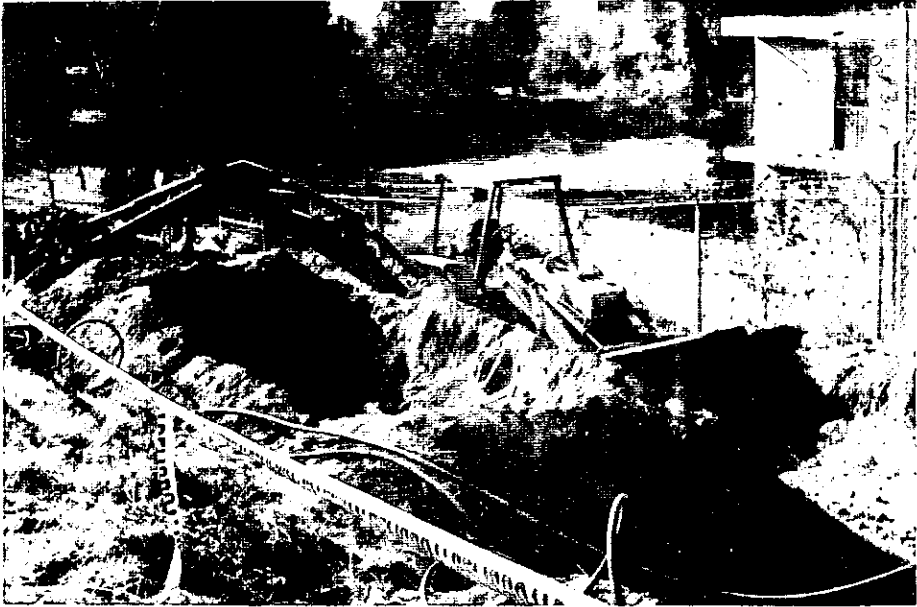
FOTOGRAFIA N° 12



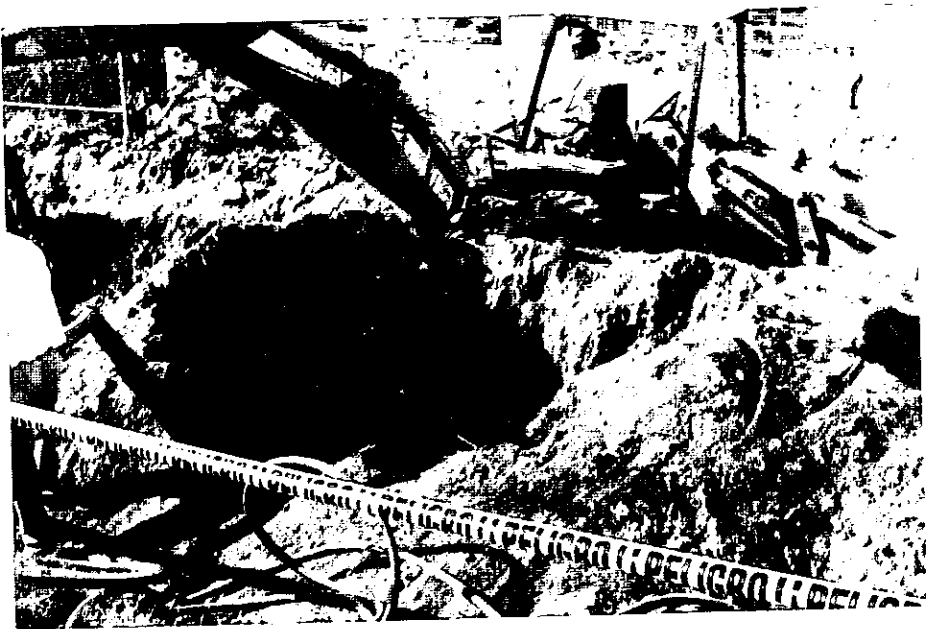
FOTOGRAFIA Nº 13



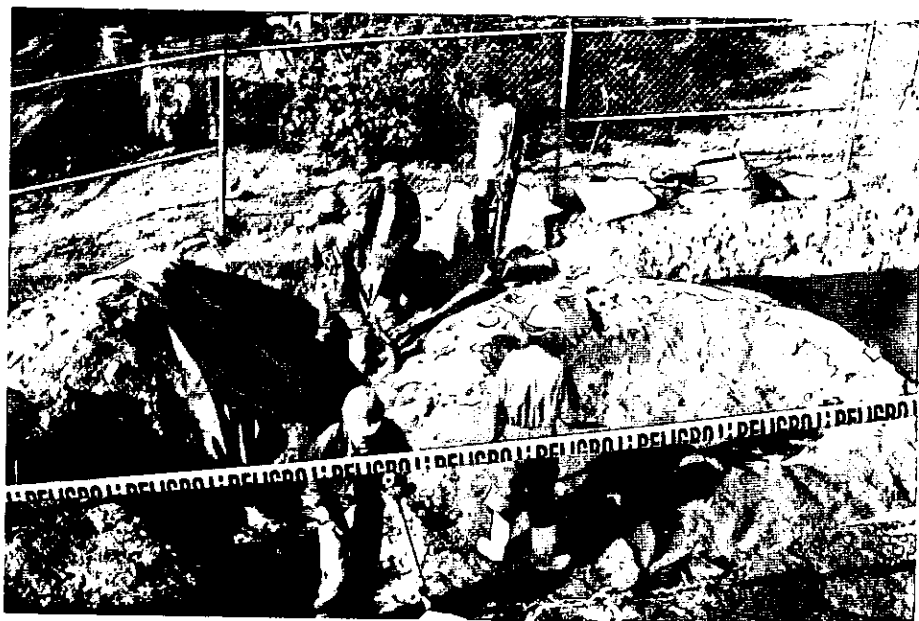
FOTOGRAFIA Nº 14



FOTOGRAFIA Nº 15



FOTOGRAFIA Nº 16



FOTOGRAFIA Nº 17



FOTOGRAFIA Nº 18



FOTOGRAFIA Nº 19



FOTOGRAFIA Nº 20



FOTOGRAFIA Nº 21



FOTOGRAFIA Nº 22



FOTOGRAFIA Nº 23

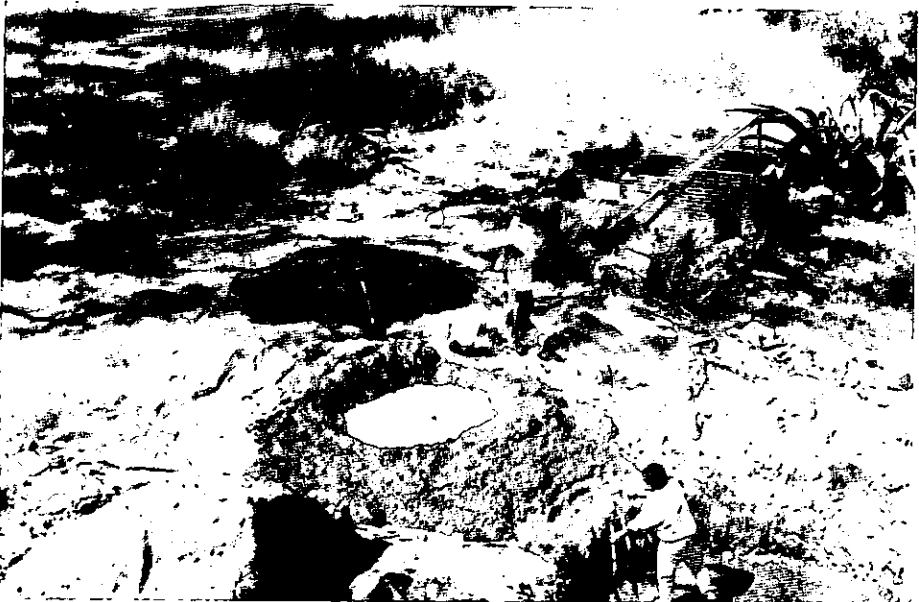


FOTOGRAFIA Nº 24





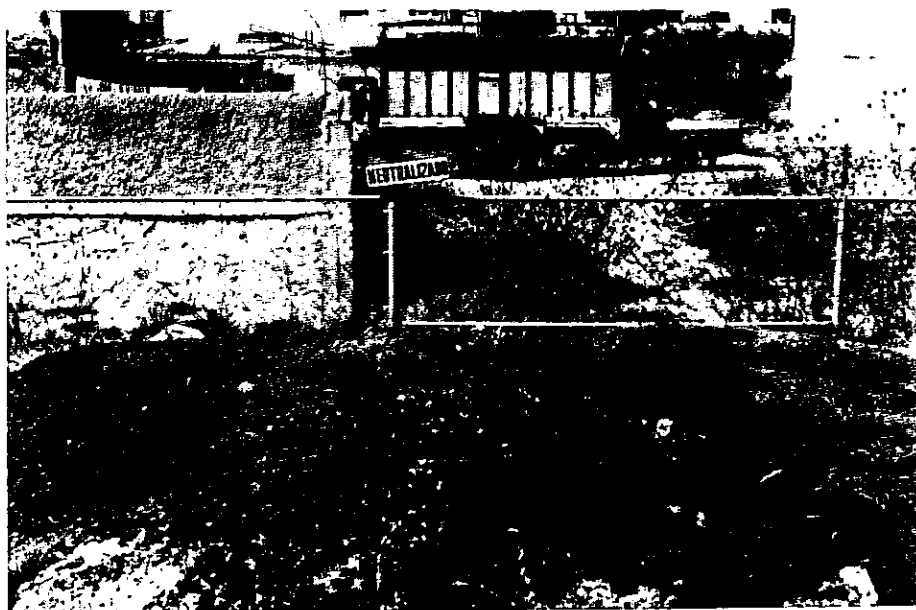
FOTOGRAFIA Nº 25



FOTOGRAFIA Nº 26



FOTOGRAFIA Nº 27



FOTOGRAFIA Nº 28



FOTOGRAFIA Nº 29



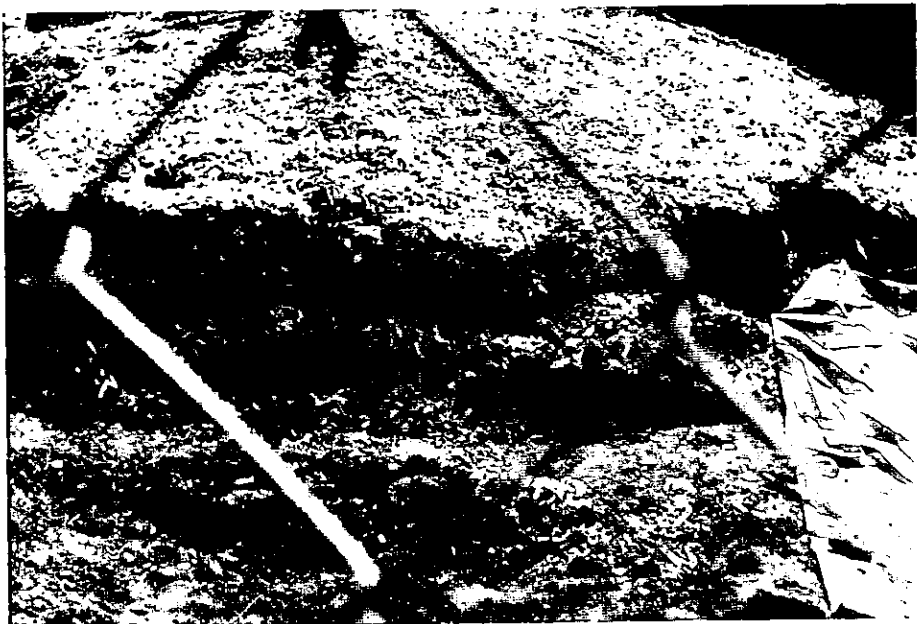
FOTOGRAFIA Nº 30



FOTOGRAFIA Nº 31



FOTOGRAFIA Nº 32



FOTOGRAFIA N° 33



FOTOGRAFIA N° 34



FOTOGRAFIA Nº 35



FOTOGRAFIA Nº 36



FOTOGRAFIA Nº 37



FOTOGRAFIA Nº 38



FOTOGRAFIA Nº 39



FOTOGRAFIA Nº 40





FOTOGRAFIA Nº 41



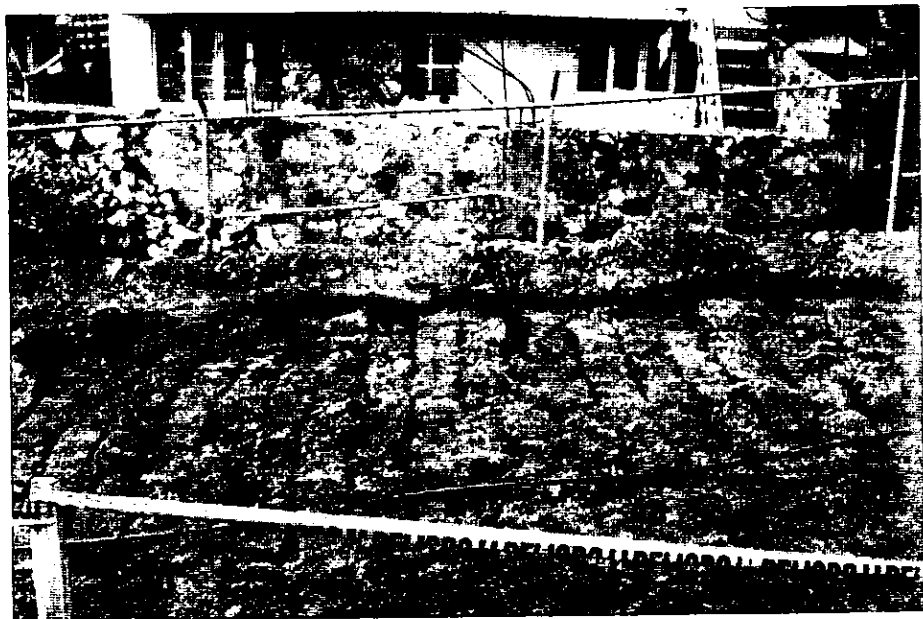
FOTOGRAFIA Nº 42



FOTOGRAFIA Nº 43



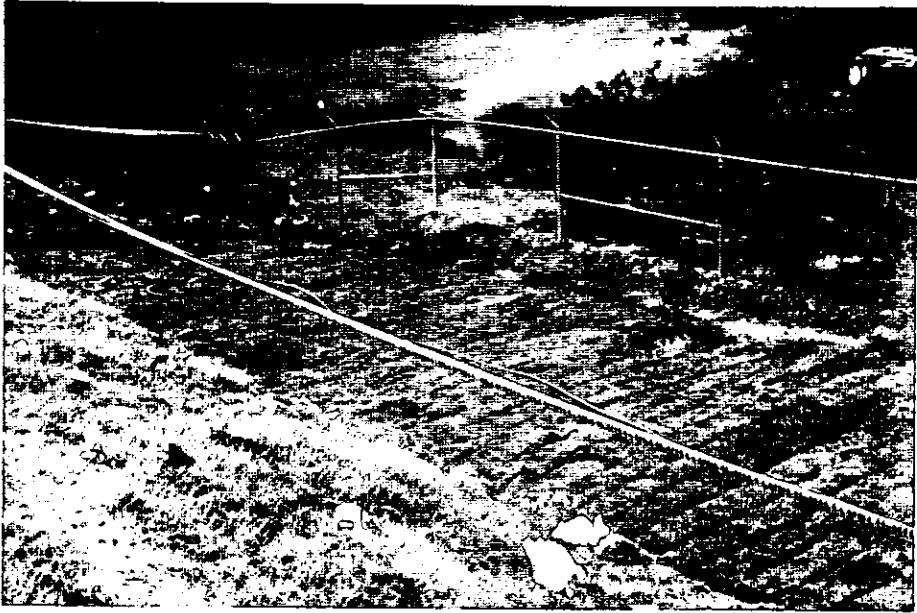
FOTOGRAFIA Nº 44



FOTOGRAFIA N° 45



FOTOGRAFIA N° 46



FOTOGRAFIA Nº 47



FOTOGRAFIA Nº 48