

50 del

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LA CONTAMINACION  
DEL AGUA SUBTERRANEA"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

# UNIVERSIDAD NACIONAL

PRESENTA

# AVONAMA DE

# DANIEL ESTRADA MARTINEZ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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 está 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.

## I N D I C E

INTRODUCCION.-	1
1.- CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE CONTAMINACIÓN DE AGUAS	11
2.- CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA: IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN.	38
3.- FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU CONTROL	56
4.- EJEMPLOS DE APLICACIÓN	140
5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	154
BIBLIOGRAFIA	158
REFERENCIAS	159

## INTRODUCCIÓN.-

"EL HOMBRE ES UN ESCLAVO DEL AGUA", ESTO A PRIMERA VISTA PUEDE PARECER UNA AFIRMACIÓN EXAGERADA, SIN EMBARGO, SI ANALIZAMOS MÁS A FONDO LAS BASES DE LA MISMA, QUIZÁ NOS CONVENZAMOS DE SU VERACIDAD. PODEMOS QUITARLE EL ALIMENTO A UN HOMBRE Y PODRÁ VIVIR DURANTE DÍAS, PERO SI LE QUITAMOS EL AGUA LA MUERTE SOBREVENDRÁ EN TÉRMINOS DE HORAS, SÓLO LA FALTA DE AIRE PODRÍA QUITARLE LA VIDA MÁS RÁPIDAMENTE. CIERTAMENTE, LAS CANTIDADES DE AGUA QUE NUESTRO CUERPO NECESITA PARA SUBSISTIR, SON RELATIVAMENTE PEQUEÑAS SI SE LES COMPARA CON SU PESO; ALGO ASÍ COMO 3.5 LITROS POR DÍA EN UNA PERSONA MODERADAMENTE ACTIVA Y QUE HABITE EN UN CLIMA TEMPLADO. PERO CADA PROCESO FISIOLÓGICO SE HALLA TAN LIGADO AL AGUA, QUE NO HAY UNA VERDAD MÁS GRANDE QUE LA EXPRESIÓN DE QUE LA VIDA MISMA DEPENDE DEL AGUA. EL AGUA CONSTITUYE LA PROTECCIÓN DEL EMBRIÓN ANTES DE SU NACIMIENTO, LA REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL CUERPO, JUEGA UN PAPEL MUY IMPORTANTE EN LA RESPIRACIÓN, EL FUNCIONAMIENTO DE LAS GLÁNDULAS, LA DIGESTIÓN Y MUCHOS OTROS PROCESOS QUE TIENEN LUGAR EN EL CUERPO HUMANO. CUANDO FALTA EL AGUA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTOS PROCESOS, EL HOMBRE PIERDE SU APETITO, DESNUTRIÉNDOSE E -

INCAPACITÁNDOSE HASTA QUE LA MUERTE SOBREVIENE.

ADEMÁS DE LAS DEMANDAS DEL CUERPO, EXISTEN OTRAS IMPERIO -  
SAS NECESIDADES QUE EXIGEN ADECUADO ABASTECIMIENTO DE AGUA. LOS-  
ALIMENTOS QUE LA TIERRA PRODUCE DEPENDEN DEL AGUA TANTO PARA SU -  
CRECIMIENTO COMO PARA ALCANZAR SU CONDICIÓN NUTRITIVA, YA QUE LOS  
MINERALES DEL SUELO DEBEN SER DISUELTOS PARA QUE LAS PLANTAS LAS-  
PUEDAN UTILIZAR.

UNA BUENA PARTE DE LAS PROTEÍNAS Y LOS CARBOHIDRATOS QUE -  
EL SER HUMANO NECESITA, PROVIENEN DE LA VIDA ANIMAL, PISCÍCOLA Y-  
VEGETAL QUE SE DESARROLLO UNICAMENTE CERCA DE O EN LOS OCÉANOS, -  
LAGOS Y RÍOS. SABEMOS TAMBIÉN QUE HA SIDO, A LO LARGO DE RUTAS -  
FLUVIALES NATURALES QUE EL HOMBRE SE HA DESPLAZADO DESDE TIEMPOS-  
REMOTOS CON EL AFÁN DE EXTENDER SU CULTURA.

NUESTRO ASOMBRO ANTE EL MAS ESCENCIAL DE LOS MINERALES DE  
LA TIERRA, QUE EL HOMBRE HA APRENDIDO A UTILIZAR EN SUS ESTADOS -  
LÍQUIDO, DE VAPOR Y SÓLIDO, NOS LLEVA HASTA EL CORAZÓN MISMO DE  
NUESTRO CULTO RELIGIOSO. LA BIBLIA ABUNDA EN TESTIMONIOS QUE DES  
TACAN LA IMPORTANCIA DEL AGUA Y SU PARTICIPACIÓN EN EL MODO DE VI  
DA ESTABLECIDO POR EL SER SUPREMO.

EN LAS CIVILIZACIONES PAGANAS QUE ANTECEDIERON A LA ERA -

CRISTIANA, EL AGUA FUE TAMBIÉN LA SUPREMA FUERZA. LAS EXCAVACIONES DE RUINAS EN LA INDIA, QUE DATAN DE 5000 AÑOS ATRÁS, HAN REVELADO LA EXISTENCIA DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y AVENAMIENTO TAN COMPLETOS, QUE INCLUÍAN PISCINAS Y BAÑOS DE USO PÚBLICO. CASI AL MISMO TIEMPO EN EGIPTO SE HABÍA CONSTRUÍDO LA PRIMERA REPRESA CONOCIDA EN EL MUNDO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA, DESTINADA A USOS DOMÉSTICOS Y DE RIEGO: UNA ESTRUCTURA DE ENROCAMIENTO DE 12 M DE ALTURA Y 108 M DE LARGO. HIPOCRETÉS, EL VETUSTO GRIEGO QUE A TRAVÉS DE LOS SIGLOS HA SIDO RECONOCIDO COMO EL PADRE DE LA MEDICINA Y CREADOS DEL JURAMENTO QUE AÚN -- HOY HACEN LOS MÉDICOS QUE EMPIEZAN A EJERCER SU CARRERA, ADVIRTIÓ LOS PELIGROS DEL AGUA CONTAMINADA Y PREVINO LA NECESIDAD DE FILTRAR Y HERVIR EL AGUA QUE SE UTILIZA PARA CONSUMO HUMANO.

EN LOS PAÍSES EN LOS QUE LA DEMANDA DE AGUA PARA BEBER HA SIDO SATISFECHA, EL DESARROLLO NACIONAL Y EL NIVEL DE VIDA HAN AUMENTADO. POR EL CONTRARIO, EN LOS QUE ESA META NO SE HA ALCANZADO EL DESARROLLO SE HA ESTANCADO Y EL NIVEL DE VIDA PERMANECE BAJO.

HOY DÍA, EL AGUA INADECUADA Y DE CALIDAD PELIGROSA REPRESENTA UNO DE LOS MÁS GRANDES OBSTÁCULOS AL DESARROLLO DE UNA NA

CIÓN Y A LA MEJORA DEL NIVEL DE VIDA EN CUALQUIER PARTE DEL MUNDO.

TEORICAMENTE EL VOLÚMEN DE AGUA (EN SUS TRES ESTADOS: SÓLIDO, LÍQUIDO Y GASEOSO) QUE EXISTE EN NUESTRO PLANETA, ES EL MISMO DESDE LOS PRIMEROS TIEMPOS. LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN NUESTRO PLANETA SE PUEDE OBSERVAR EN LA TABLA N° 1.1

LA CANTIDAD TAN GRANDE DE AGUA EN MARES Y OCÉANOS UNIDA A LA DEL HIELO POLAR ES AÚN INACCESIBLE DE UNA MANERA PRÁCTICA Y ECONÓMICA, AUNQUE EL ESTUDIO DE LOS GLACIARES COMO FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA ASÍ COMO LOS PROCEDIMIENTOS DE DESALINIZACIÓN ESTÁN DANDO COMO RESULTADO OPCIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS-FACTIBLES, QUE PRONTO PODRÁN SER OBJETO DE UTILIZACIÓN.

EL AGUA CORRIENTE, QUE REPRESENTA UN MÍNIMO DEL TOTAL ES LA QUE MÁS SE UTILIZA, DEBIÉNDOSE PONER MAYOR ATENCIÓN EN SU CONSERVACIÓN POR LOS BENEFICIOS QUE PRODUCE SU EMPLEO, COMO SON, ENTRE OTROS: CONSUMO HUMANO; RIEGO AGRÍCOLA; PROCESO INDUSTRIAL Y ACARREO DE DESECHOS. (COMO MEDIO DE DILUSIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS.).

OTRA FUENTE SUMAMENTE IMPORTANTE ES EL AGUA SUBTERRÁNEA,-

CUYAS DISPONIBILIDADES SE PRESENTAN EN LAS TABLAS 1.2 Y 1.3.

COMO PODEMOS OBSERVAR EN LAS TABLAS 1.1, 1.2 Y 1.3 LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SON JUNTO CON LOS HIELOS DE LOS CASQUETES POLARES Y LOS GLACIARES LA MÁS IMPORTANTE FUENTE DE AGUA DULCE EN EL PLANETA. EN EFECTO, SE ESTIMA QUE HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 800 M. LA CANTIDAD DE AGUA ALMACENADA ES ALREDEDOR DE 400 VECES MAYOR QUE LA QUE PODEMOS HALLAR EN TODOS LOS RÍOS, ARROYOS, LAGOS DE AGUA DULCE DEL MUNDO.

SI PESE A ÉSTA ABUNDANCIA, LA APORTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y A LAS NECESIDADES, DE LA VIDA, EN GENERAL HA SIDO MENOR (AUNQUE NO NULA), QUE LAS DE SUPERFICIE, SE HA DEBIDO A QUE AQUELLOS PRESENTAN FRENTE A ÉSTAS UN GRAVE INCONVENIENTE, QUE NO SE VEN, Y QUE PARA SU LOCALIZACIÓN SON NECESARIOS ESTUDIOS ESPECIALIZADOS A VECES LARGOS Y COSTOSOS Y QUE, PARA SU PUESTA EN SUPERFICIE, NO SIEMPRE LA FUERZA DE GRAVEDAD O EL ESFUERZO FÍSICO SON SUFICIENTES.

LA NATURALEZA MANTIENE EN EQUILIBRIO TODOS LOS FACTORES -- QUE PERMITEN EL PROCESO BIOLÓGICO EN CONTÍNUO DESARROLLO, AÚN --

CUANDO EN OCASIONES APARENTA QUE SE VUELVE SOBRE LO QUE CUIDA, DESDE EL PUNTO DE VISTA ECOLÓGICO TODO ÉSTO SE MANTIENE EN EQUILIBRIO, PERO EL HOMBRE, EN SU AFÁN DE SUPERACIÓN, MODIFICA ÉSTA CONDICIONES CON REPERCUSIONES EN SU AMBIENTE. ASÍ, SE TIENE DESDE TIEMPOS INMEMORIALES LA QUEMA DE BOSQUES Y PASTIZALES CON FINES DE CULTIVO, QUE DEJAN EL SUELO EXPUESTO A LA RÁPIDA EROSIÓN. EL HOMBRE PRODUJO MÁS CONTAMINACIÓN AL AMBIENTE CUANDO COMENZÓ A CONSUMIR COMBUSTIBLES FÓSILES PARA OBTENER ENERGÍA Y AUNQUE LA NUEVA FUENTE HIZO POSIBLE EL INCREMENTO DE LA INDUSTRIA, DEL TRANSPORTE Y OTRAS ACTIVIDADES, A LA VEZ QUE DIÓ ORIGEN A NUEVOS DESECHOS -- QUE LLEGARON A LOS RIOS, MARES Y AÚN A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. EL ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL ES MUY VASTO YA QUE ABARCA EL AIRE, EL AGUA Y EL SUELO, POR LO QUE EN ESTE TRABAJO SE ABORDARÁ SÓLO EL AGUA Y EL PARTICULAR EL AGUA SUBTERRÁNEA PARA LO CUAL SE HAN PLANTEADO LOS SIGUIENTES OBJETIVOS:

A) EXPONER EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS, SEÑALANDO LAS GRAVES REPERCUSIONES QUE REPRESENTA ACTUALMENTE Y QUE PUEDE ACARREAR DICHO PROBLEMA A UN POSIBLE ABASTECIMIENTO FUTURO DE AGUA POTABLE PARA LA HUMANIDAD.

B) ANALIZAR LAS PRINCIPALES FUENTES Y PROCESOS DE CONTAMI-

NACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA HACIENDO HINCAPIÉ EN LOS POSIBLES -  
MÉTODOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA MISMA.

c) PRESENTAR ALGUNOS EJEMPLOS DE CONTAMINACIÓN DE AGUA  
SUBTERRÁNEA QUE SE HAN DETECTADO EN NUESTRO PAÍS, ASÍ COMO LA -  
SOLUCIÓN QUE SE HA PLANTEADO PARA CADA UNO DE ELLOS.

PARA ALCANZAR DICHS OBJETIVOS EL PRESENTE TRABAJO SE DIVI  
DE EN LOS SIGUIENTES CAPÍTULOS. EN EL PRIMER CAPÍTULO SE PRE -  
SENTAN LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GEOHIDROLOGÍA ASÍ COMO LA CA  
LIDAD PROMEDIO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN ESTADO NATURAL QUE SE --  
CONSIDERA LIBRE DE CONTAMINACIÓN PARA TENER UN PARÁMETRO DE COM  
PARACIÓN. EN EL SEGUNDO CAPÍTULO SE DEFINE EL CONCEPTO DE CON  
TAMINACIÓN Y SE DESCRIBE EN FORMA GENERAL LA SECUENCIA DE LA --  
CONTAMINACIÓN. EN EL TERCER CAPÍTULO SE PRESENTAN LAS FUENTES  
MÁS COMÚNES QUE CAUSAN LA CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS, SEÑALANDO  
LAS POSIBLES MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL QUE PUEDEN SER EM  
PLEADOS PARA CADA UNA DE ELLAS. EN EL CAPÍTULO NÚMERO CUATRO -  
SE EXPONEN ALGUNOS EJEMPLOS DE CONTAMINACIÓN SUBTERRÁNEA QUE SE  
HA PRESENTADO EN NUESTRO PAÍS, ADEMÁS DE SUS SOLUCIONES, MISMAS  
QUE YA ESTÁN IMPLEMENTADAS O IMPLEMENTÁNDOSE. FINALMENTE SE PRE

SENTAN LAS CONCLUSIONES QUE SE OBTUVIERON EN EL PRESENTE TRABAJO,  
ASÍ COMO LAS RECOMENDACIONES QUE SE CONSIDERAN PERTINENTES COADYU  
VAR A LA SOLUCIÓN DE ÉSTE PROBLEMA,

T A B L A N° 1.1

DISTRIBUCION Y VOLUMEN MUNDIAL DE AGUA SUPERFICIAL

F U E N T E	VOLUMEN EN KM <sup>3</sup>	PORCENTAJE
AGUA DE MARES Y OCEANOS	1'370,000,000	98.2519
HIELO POLAR Y NIEVE	24,000,000	1.7212
LAGOS DE AGUA DULCE	150,000	0.0108
LAGOS DE AGUA SALADA	130,000	0.0093
AGUA EN CORRIENTES	1,200	0.0001
AGUA CONSTITUTIVA DE SUELOS	80,000	0.0057
VAPOR ATMOSFERICO	14,000	0.0010
T O T A L	1'394,375,200	100.0000

FUENTE: LVOVITCH (1977) EN MURGUIA VACA, ERNESTO: "EVALUACION, EFECTOS Y SOLUCION DE LA CONTAMINACION DEL AGUA".

T A B L A N° 1.2  
AGUA SUBTERRANEA MUNDIAL

C O N C E P T O	V O L U M E N E N K M <sup>3</sup>
TOTAL EXPLOTABLE	60'000,000
ZONA DE ACTIVA PRODUCCION	4'000,000

FUENTE: LVOVITCH (1977) EN MURGUIA VACA, E, IBIDEM.

T A B L A N° 1.3  
 A G U A S U B T E R R A N E A E N M E X I C O

C O N C E P T O	V O L U M E N
T O T A L E X P L O T A B L E	255 Km <sup>3</sup> /ANUALES
A P R O V E C H A B L E	28 Km <sup>3</sup> /ANUALES

FUENTE: BASSOLS (1976) EN MURGUIA VACA E., IBIDEM.

## CAPITULO I.- CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE CONTAMINACIÓN DE AGUA.

### 1.1 GENERALIDADES

#### 1.1.1 ORIGEN, MANIFESTACIÓN Y MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

EL CICLO HIDROLÓGICO CONSISTE EN LA CONTÍNUA CIRCULACIÓN - DE HUMEDAD Y DE AGUA EN NUESTRO PLANETA. EL CICLO NO TIENE PRINCIPIO NI FIN, PERO EL CONCEPTO DE CICLO HIDROLÓGICO SE ORIGINA EN EL AGUA DE LOS OCÉANOS, LOS CUALES CUBREN TRES CUARTAS PARTES DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA.

LA RADIACIÓN SOLAR LLEVA EL AGUA DE LOS OCÉANOS HASTA LA ATMÓSFERA POR EVAPORACIÓN. EL VAPOR DE AGUA SE ELEVA Y LUEGO SE AGLOMERA DANDO LUGAR A LA FORMACIÓN DE NUBES . BAJO CIERTAS CONDICIONES LA HUMEDAD CONTENIDA EN LAS NUBES SE CONDENSA Y SE PRECIPITA A TIERRA EN FORMA DE LLUVIA, GRANIZO O NIEVE, ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LAS VARIABLES FORMAS DE PRECIPITACIÓN . LOS HIDRÓLOGOS Y OTROS CIENTÍFICOS DENOMINAN A LA PRECIPITACIÓN COMO AGUA DE "ORIGEN METEÓRICO" .

LA VERDADERA FUENTE DE CASI TODAS NUESTRAS RESERVAS DE AGUA DULCE LA CONSTITUYE LA PRECIPITACIÓN QUE CAE SOBRE LAS ÁREAS TERRESTRES. DE ELLA DEPENDEMOS PARA RENOVAR AQUELLAS CANTIDADES -

QUE SE UTILIZAN Y QUE SE TOMAN DE LOS LAGOS, CORRIENTES SUPERFICIALES Y DE LOS POZOS Y QUE SON DESTINADAS A INNUMERABLES USOS HUMANOS.

PARTE DE LA PRECIPITACIÓN, UNA VEZ QUE ÉSTA HA HUMEDECIDO EL FOLLAJE Y EL TERRENO, ESCURRE SOBRE LA SUPERFICIE DE ÉSTE Y LLEGA HASTA LOS RÍOS. OTRA PARTE SE INFILTRA DENTRO DEL SUELO. UNA BUENA PARTE DEL AGUA QUE PENETRA DENTRO DEL SUELO, SE DETIENE EN LA ZONA RADICULAR DE LAS PLANTAS Y EVENTUALMENTE ES DEVUELTA A LA SUPERFICIE POR ÉSTAS MISMAS, O MEDIANTE EL FENÓMENO DE CAPILARIDAD. SIN EMBARGO OTRA PARTE PERCOLA (SE INFILTRA) POR DEBAJO DE LA ZONA RADICULAR Y MEDIANTE LA INFLUENCIA DE LA GRAVEDAD CONTINÚA SU MOVIMIENTO DESCENDENTE HASTA QUE LLEGA AL DEPÓSITO SUBTERRÁNEO.

UNA VEZ QUE SE INCORPORA AL DEPÓSITO SUBTERRÁNEO, EL AGUA QUE HA PERCOLADO SE DESPLAZA A TRAVÉS DE LOS POROS DE LOS MATERIALES SUBTERRÁNEOS Y PUEDE REAPARECER EN LA SUPERFICIE EN AQUELLAS ZONAS QUE SE HALLAN A ELEVACIONES INFERIORES AL NIVEL DE LAS QUE PERMITIERON SU INCORPORACIÓN AL DEPÓSITO. EL AGUA SUBTERRÁNEA DESCARGA NATURALMENTE EN ÉSTOS SITIOS EN FORMA DE MANANTIALES Y PERCOLACIÓN DISPERSA, MANTENIENDO ASÍ EL CAUDAL DE ESTIAJE DE LOS RÍOS.

LAS CORRIENTES SUPERFICIALES, QUE ARRASTRAN TANTO LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL COMO LAS DESCARGAS NATURALES DE AGUA SUBTERRÁNEA LLEGAN EVENTUALMENTE HASTA LOS OCÉANOS.

Así pues, el ciclo hidrológico constituye un sistema mediante el cual la naturaleza hace circular el agua desde los océanos hasta la atmósfera y la retorna de nuevo en forma superficial y subterránea a aquéllos, a través de varias rutas, cortas algunas y largas otras en términos de espacio y tiempo. Las fuerzas involucradas en este proceso comprenden radiación, fuerza gravitacional, atracción molecular y capilaridad. Los hechos más destacados del ciclo hidrológico se muestran en la figura 1.1

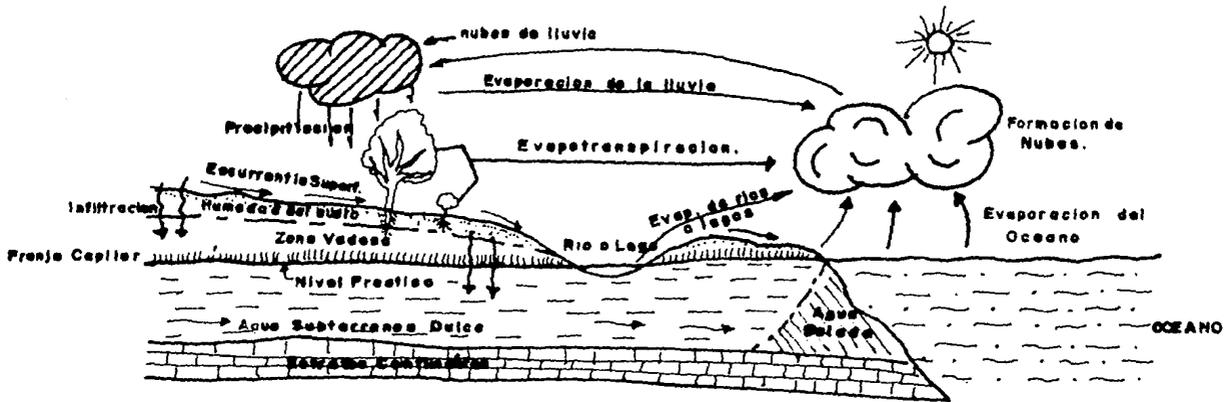


FIGURA 1.1

	<b>TESS PROFESIONAL</b>
<b>CICLO HIDROLOGICO</b>	
<b>DANIEL ESTRADA MTZ.</b>	

UNA PARTÍCULA DE AGUA NECESITA, PARA PASAR POR UNA O VARIAS FASES DEL CICLO HIDROLÓGICO, UN TIEMPO QUE VA DESDE UNAS POCAS HORAS HASTA MESES Y EN OCASIONES SIGLOS. UNA PARTÍCULA DE AGUA PUEDE EVAPORARSE EN EL OCÉANO Y DENTRO DE UN PERIÓDO MUY CORTO VOLVER A CAER, COMO PRECIPITACIÓN, SOBRE LA MISMA SUPERFICIE LÍQUIDA. SIN EMBARGO, SI ESTA PARTÍCULA LÍQUIDA CAYERA EN FORMA DE NIEVE O GRANIZO SOBRE UNA MONTAÑA O EN ÉPOCA DE INVIERNO TENDRÍA QUE PERMANECER EN ESTADO SÓLIDO HASTA QUE AL DERRETIRSE INICIARA SU VIAJE POR LA SUPERFICIE O A TRAVÉS DEL SUBSUELO. SI UNA PARTÍCULA DE AGUA SE EVAPORASE Y FUESE ARRASTRADA HASTA LAS REGIONES POLARES CAYENDO EN ÉSTAS EN FORMA DE NIEVE O HIELO, PODRÍA PERMANECER CONGELADA POR AÑOS Y AÚN POR SIGLOS DENTRO DE UN GLACIAR HASTA RETORNAR AL OCÉANO COMO PARTE DE UN TÉMPANO.

EL AGUA QUE SE INFILTRA EN EL SUELO SE DENOMINA AGUA SUBSUPERFICIAL, PERO NO TODA SE CONVIERTE EN AGUA SUBTERRÁNEA. HAY TRES HECHOS QUE SON FUNDAMENTALES EN RELACIÓN CON ESTA AGUA. PRIMERO, QUE AL ESTAR EN EL SUBSUELO PUEDE SER DEVUELTA A LA SUPERFICIE POR FUERZAS DE CAPILARIDAD Y DE AHÍ EVAPORARSE PARA ENTRAR EN OTRA FASE DEL CICLO HIDROLÓGICO. SEGÜNDO: PUEDE SER ABSORBIDA POR LAS RAÍCES DE LAS PLANTAS REGRESANDO A LA ATMÓSFERA A TRAVÉS DE LA TRANSPI

RACIÓN. TERCERO: PUEDE ESCAPAR A LOS DOS PROCESOS ANTERIORES Y -  
SER OBLIGADA POR LA FUERZA DE GRAVEDAD A BAJAR HASTA EL NIVEL DE -  
LA ZONA DE SATURACIÓN, QUE ES EL DEPÓSITO DEL AGUA SUBTERRÁNEA PRO-  
PIAMENTE DICHA.

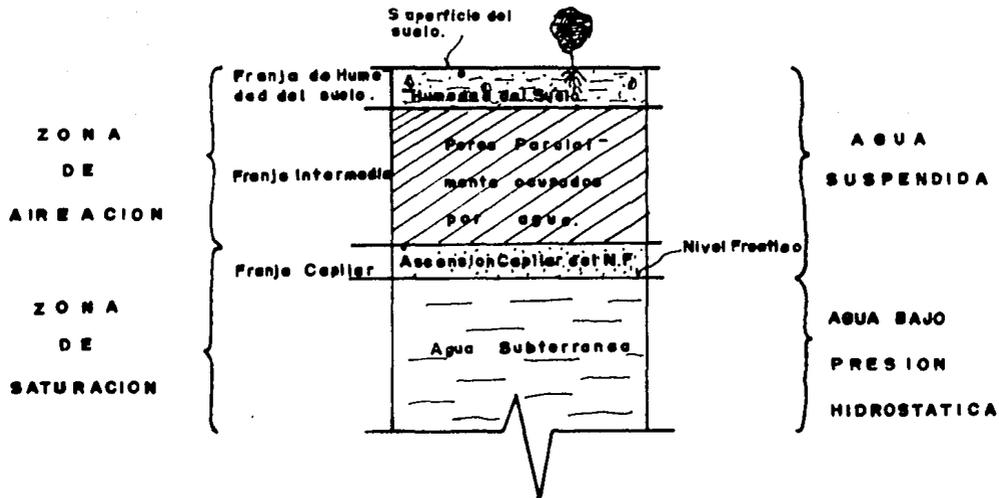
FUE HASTA HACE RELATIVAMENTE POCO TIEMPO QUE SE DEMOSTRÓ -  
LA RELACIÓN ENTRE LA PRECIPITACIÓN Y LAS MANIFESTACIONES DEL AGUA  
SUBTERRÁNEA DENTRO DE LOS ESTRATOS GEOLÓGICOS O FORMACIONES. A -  
MAYOR O MENOR PROFUNDIDAD, TODOS LOS MATERIALES QUE COMPONEN LA --  
CORTEZA TERRESTRE SON NORMALMENTE POROSOS. ÉSTA PARTE SE DENOMINA  
ZONA DE FRACTURACIÓN Y DICHOS POROS SE PUEDEN ENCONTRAR PARCIAL O  
TOTALMENTE SATURADOS DE AGUA. LA PARTE SUPERIOR, DONDE LOS POROS  
SÓLO ESTÁN PARCIALMENTE LLENOS DE AGUA, SE DENOMINA "ZONA DE AIRE -  
CIÓN". ABAJO DE ÉSTA, QUE ES DONDE LOS POROS ESTÁN TOTALMENTE LLE-  
NOS DE AGUA SE ENCUENTRA LA "ZONA DE SATURACIÓN". LA ZONA DE AI-  
REACIÓN SE COMPONE DE TRES CAPAS QUE SON: LA DE HUMEDAD DEL SUELO,  
LA INTERMEDIA Y LA FRANJA CAPILAR. LAS TRES VARÍAN EN PROFUNDIDAD  
Y SUS LÍMITES NO SE DEFINEN POR DIFERENCIAS FÍSICAS EN LOS ESTRA -  
TOS GEOLÓGICOS MÁS BIEN EXISTE UNA TRANSICIÓN GRADUAL ENTRE UNO Y  
OTRO.

LA FRANJA DE AGUA CONTENIDA EN EL SUELO TIENE PARTICULAR -

IMPORTANCIA PARA LA AGRICULTURA PUESTO QUE ES LA QUE SUMINISTRA EL AGUA NECESARIA PARA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS. SU ESPESOR VARÍA DE ACUERDO CON LOS TIPOS DE SUELO Y DE LA VEGETACIÓN Y SE PUEDE EXTENDER DE UNOS POCOS CENTÍMETROS HASTA VARIOS METROS POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE. EL AGUA QUE PASA A TRAVÉS DE LA CAPA DE HUMEDAD DEL SUELO LLEGA HASTA LA FRANJA INTERMEDIA DONDE CONTINÚA SU DESCENSO POR ACCIÓN GRAVITACIONAL. IGUAL QUE EN LA PRIMERA FRANJA, LA FRANJA INTERMEDIA RETIENE AGUA SUSPENDIDA POR ATRACCIÓN MOLECULAR Y CAPILARIDAD. EL AGUA CONTENIDA EN ESTA FRANJA NO PUEDE SER UTILIZADA. SU UTILIDAD ES LA DE PROVEER DE AGUA A LA FRANJA CAPILAR. EL ESPESOR DE LA FRANJA INTERMEDIA VARÍA MUCHO, LO QUE TIENE UN EFECTO SIGNIFICATIVO EN EL TIEMPO QUE LE TOMA AL AGUA PASAR A TRAVÉS DE SU ESPESOR PARA RECARGAR LA ZONA DE SATURACIÓN.

LA FRANJA CAPILAR ESTÁ INMEDIATAMENTE ABAJO DE LA ZONA INTERMEDIA Y ARRIBA DE LA ZONA DE SATURACIÓN. RETIENE AGUA SOBRE ESTA ÚLTIMA MEDIANTE FUERZA CAPILAR. SU ESPESOR Y CANTIDAD DE AGUA DEPENDEN DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS DEL MATERIAL.

EN LA FIGURA 1.2 SE OBSERVAN LAS TRES ZONAS MENCIONADAS.



 UNAM	TESIS PROFESIONAL
ZONAS DEL SUELO	
DANIEL ESTRADA MARTINEZ	



## 1.1.2 GEOHIDROLOGÍA.

LA GEOHIDROLOGÍA O HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA ES LA RAMA DE LA HIDROLOGÍA QUE TRATA DEL AGUA SUBTERRÁNEA, SU YACIMIENTO Y MOVIMIENTO, SUS RECARGAS Y DESCARGAS; DE LAS PROPIEDADES DE LAS ROCAS QUE INFLUYEN EN SU OCURRENCIA Y ALMACENAMIENTO, SU INTERACCIÓN CON EL MEDIO FÍSICO Y BIOLÓGICO Y SUS REACCIONES A LA ACCIÓN HUMANA, - ASÍ COMO LOS MÉTODOS EMPLEADOS PARA SU INVESTIGACIÓN, UTILIZACIÓN Y CONSERVACIÓN.

EN GENERAL DEBEMOS ACEPTAR LA ANTERIOR DEFINICIÓN DE GEOHIDROLOGÍA PERO TAMBIÉN DEBEMOS TOMAR EN CUENTA QUE ES UNA CIENCIA INTERDISCIPLINARIA. EN ESTE ESCRITO SE TRATARÁ DE INTEGRAR LA QUÍMICA, LA FÍSICA, LA GEOLOGÍA Y LA HIDROLOGÍA, ASÍ COMO LA CIENCIA Y LA INGENIERÍA PARA EXPLICAR LOS FENÓMENOS QUE NOS OCUPAN.

ASÍ TAMBIÉN EL ESTUDIO DE LA GEOHIDROLOGÍA ES PRIMORDIAL PARA LOS GEÓLOGOS, HIDRÓLOGOS, AGRÓNOMOS, INGENIEROS FORESTALES, GEOGRÁFOS, ECOLOGISTAS, INGENIEROS GEOTÉCNICOS, INGENIEROS DE MINAS, INGENIEROS SANITARIOS, INGENIEROS PETROLEROS Y MUCHOS OTROS. (ESPERAMOS QUE EL TRATAMIENTO DADO AL TEMA EN ESTE ESCRITO CUMPLA LOS OBJETIVOS FIJADOS.)

### 1.1.3 BREVE RESEÑA HISTÓRICA.

EL CONCEPTO DE GEOHIDROLOGÍA TARDÓ MUCHOS SIGLOS EN ESTABLECERSE. A CONTINUACIÓN SE MENCIONAN SÓLO ALGUNOS ASPECTOS DE SU DESARROLLO HISTÓRICO.

- MARCO VITRIVIVUS POLLIO, EN LOS COMIENZOS DE LA ERA CRISTIANA ESTABLECIÓ, CLARA Y CORRECTAMENTE LA IMPORTANCIA DE LA EVAPORACIÓN, PRECIPITACIÓN E INFILTRACIÓN EN EL ORÍGEN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

- LEONARDO DA VINCI. IDENTIFICÓ LOS SISTEMAS SUBTERRÁNEOS ARTESIANOS.

- DARCY (1856). TRABAJÓ EXPERIMENTALMENTE SOBRE FLUJO DE AGUA EN ARENAS, DE DONDE DERIVÓ LA LEY QUE LLEVA SU NOMBRE, ÉSTA EXPRESA LA RELACIÓN ENTRE VELOCIDAD DE PERCOLACIÓN, PERMEABILIDAD Y GRADIENTE HIDRÁULICO.

- BADON GHYBEN (1889) ESTABLECIÓ LAS LEYES DE EQUILIBRIO ENTRE EL AGUA DE MAR Y EL AGUA DULCE. (INTERFASE SALINA).

- MEINZER (1923).- PROVEYÓ DEL PRIMER MANUAL A LOS GEOHIDRÓLOGOS.

- EN MÉXICO LOS INGENIEROS CARLOS CRUICKSHANK VILLANUEVA

Y RUBÉN CHÁVEZ GUILLÉN HAN HECHO APORTACIONES VALIOSAS A LA GEO -  
HIDROLOGÍA.

#### 1.1.4 CIENCIAS AUXILIARES.

LA GEOHIDROLOGÍA COMO YA MENCIONAMOS, NO ES UNA CIENCIA -  
AISLADA, SINO QUE REQUIERE DE UN GRAN CÚMULO DE CONOCIMIENTOS QUE  
OBTIENE DE OTRAS CIENCIAS LLAMADAS AUXILIARES, ÉSTAS SE PUEDEN -  
VER EN EL ESQUEMA SIGUIENTE:

GEOLOGIA		GEOFISICA
HIDRAULICA		MECANICA DE SUELOS
MATEMATICAS		PROBABILIDAD Y ESTADISTICA
TOPOGRAFIA	GEOHIDROLOGIA	HIDROLOGIA SUPERFICIAL
GEOQUIMICA		TECNICA ISOTOPICAS
PERFORACION DE POZOS		

\*GEOLOGÍA.- SE UTILIZA PARA CONOCER EL MARCO EN QUE SE -  
PRODUCE LA CIRCULACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

\*GEOFÍSICA.- PROPORCIONA MÉTODOS INDIRECTOS PARA CLASIFI-  
CAR LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS.

\*HIDRÁULICA.- PROPORCIONA LAS HERRAMIENTAS PARA CONOCER -  
EL FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

\*MECÁNICA DE SUELOS.- EL CONOCIMIENTO DE LA CONSTITUCIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS Y SU RELACIÓN CON EL AGUA ES INDISPENSABLE.

\*MATEMÁTICAS.- PROPORCIONA LOS MEDIOS PARA EL DESARROLLO DE MODELOS QUE EXPLIQUEN EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

\*PROBABILIDADES Y ESTADÍSTICA.- SE UTILIZA PARA REALIZAR EL MANEJO DE LOS DATOS OBTENIDOS DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA.

\*TOPOGRAFÍA.- PROPORCIONA LA LOCALIZACIÓN EXACTA DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS.

\*HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.- PROPORCIONA INFORMACIÓN QUE INTERVIENE EN FORMA INDIRECTA, INTERVIENE EN LA CUANTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.

\*GEOQUÍMICA.- POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS PROPORCIONA VALIOSA INFORMACIÓN SOBRE LAS FORMACIONES QUE HA ATRAVESADO EL AGUA, PUDIÉNDOSE ASÍ DISTINGUIR LA DIRECCIÓN DEL FLUJO.

\*PERFORACIÓN DE POZOS.- SI SE TIENE CUIDADO DE TOMAR REGISTROS CONFORME AVANZA LA PERFORACIÓN ESTOS NOS DARÁN INFORMACIÓN MUY ÚTIL EN LOS ESTUDIOS DE FORMACIONES PROPICIAS PARA LA EXPLOTA-

## CIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

\*TÉCNICAS ISOTÓPICAS,- SON PRIMORDIALES PARA ESTABLECER EL FLUJO DEL AGUA EN LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS. ESTAS TÉCNICAS SON DE RECIENTE APLICACIÓN Y SE ENSAYAN CON BASTANTE BUENOS RESULTADOS.

### 1.1.5 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

EN SEGUIDA SE DEFINEN ALGUNOS TÉRMINOS QUE SON BÁSICOS EN EL ESTUDIO DEL AGUA SUBTERRÁNEA:

#### A) POROSIDAD.

ES LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE EL VOLÚMEN DE VACIOS Y EL VOLÚMEN TOTAL DE UN MATERIAL.

SE OBTIENE POR MEDIO DE LA EXPRESIÓN:

$$N = \frac{V_v}{V_t}$$

DONDE:  $V_v$  = VOLÚMEN DE VACIOS.

$V_t$  = VOLÚMEN TOTAL

LOS POROS DE LA ZONA DE SATURACIÓN SE HALLAN LLENOS DE AGUA, LO QUE SIGNIFICA QUE LA POROSIDAD PUEDE SER UN INDICADOR DE LA CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDE ALMACENAR UN MATERIAL.

**B) POROSIDAD EFECTIVA.-**

DESCRIBE, DE LOS POROS CONTENIDOS EN UN MATERIAL, - LA MAGNITUD DE LOS MISMOS, ASÍ COMO EL ESPACIO DISPONIBLE PARA QUE EL AGUA SE TRANSMITA. EN OTRAS PALABRAS LA POROSIDAD EFECTIVA ES LA RELACIÓN DE INTERSTICIOS INTERCONECTADOS AL VOLÚMEN TOTAL.

**C) GRADO DE SATURACION.-**

ES LA RELACIÓN ENTRE EL VOLÚMEN DE AGUA CONTENIDO - EN UN MATERIAL Y EL VOLÚMEN DE SUS VACIOS. SE EXPRESA COMO:

$$G = \frac{V_w}{V_v}$$

DONDE: G = GRADO DE SATURACIÓN

V<sub>w</sub> = VOLÚMEN DE AGUA

V<sub>v</sub> = VOLÚMEN DE VACIOS

LAS ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PRINCIPALES PARA EL ESTUDIO -- DEL AGUA SUBTERRÁNEA SON:

A) ACUÍFERO.- ES UNA FORMACIÓN SUBTERRÁNEA NATURAL -- TIENE LA CAPACIDAD DE ALMACENAR Y TRANSMITIR EL AGUA, QUE POR LO - GENERAL ES DE BUENA CALIDAD, DE TAL MANERA QUE ES POSIBLE SU EXPLO TACIÓN EN CANTIDAD ECONÓMICAMENTE APROVECHABLE Y DE FORMA CONTÍNUA.

SE DEBE HACER MENCIÓN DE QUE ÉSTE TÉRMINO FRECUENTEMEN-

TE SE APLICA A CUALQUIER CUERPO DE AGUA, SIENDO CORRECTO SU USO EXCLUSIVAMENTE PARA DESIGNAR UN CUERPO DE AGUA SUBTERRÁNEA.

b) ACUITARDO.- ES UNA FORMACIÓN SUBTERRÁNEA NATURAL -- QUE ALMACENA AGUA PERO QUE, DEBIDO A SU BAJA PERMEABILIDAD NO LA TRANSMITE EN CANTIDADES SIGNIFICATIVAS, POR LO QUE CONSTITUYE UNA FRONTERA.

c) ACUÍFUGO.- FORMACIÓN SUBTERRÁNEA IMPERMEABLE QUE NO ALMACENA NI TRANSMITE AGUA.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

LAS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DEL AGUA SUBTERRÁNEA, Y DE MAYOR INTERÉS PARA SU EXPLOTACIÓN Y APROVECHAMIENTO SON LAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y BACTERIOLÓGICAS, MISMAS QUE HAN DE SER OBJETO DE ESTUDIOS PROFUNDOS ANTES DE HACER EL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA. A CONTINUACIÓN SE HACE UN REPASO DE DICHAS CARACTERÍSTICAS.

### 1.2.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

EN LA NATURALEZA NO SE PUEDE HALLAR AGUA QUÍMICAMENTE PURA, YA QUE DEBIDO A QUE ES EL SOLVENTE UNIVERSAL ESTÁ CAPACITADA PARA ACTUAR SOBRE LÍQUIDOS, SÓLIDOS Y GASES POR LO QUE SIN IMPORTAR SU ESTADO FÍSICO NI DE DONDE SE OBTENGA SIEMPRE ESTARÁ CARGADA

DE SUSTANCIAS EN SOLUCIÓN. (PRINCIPALMENTE SALES Y GASES).

EXISTE GRAN DIVERSIDAD DE FACTORES QUE HACEN VARIAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA, ( SE CONOCE COMO CICLO GEOQUÍMICO DEL AGUA) ALGUNOS DE ELLOS SON:

- EN LA EVAPORACIÓN DEL AGUA DE MARES Y OCÉANOS SE FACILITA MUCHO LA TRANSPERENCIA<sup>F</sup> DE MINERALES COMO SODIO, CLORURO, MAGNE<sup>S</sup> SIO, CALCIO Y POTASIO, QUE SON TRANSPORTADOS TIERRA ADENTRO POR EL VIENTO.

- EN LA ATMÓSFERA, EL AGUA, AL CONDENSARSE AGREGA ADEMÁS NITRÓGENO, OXÍGENO Y BIÓXIDO DE CARBONO.

- AL CONTACTO CON EL SUELO, YA SEA POR INFILTRACIÓN O ESCURRIMIENTO, EL AGUA PROPICIA LA DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA CONSUMIENDO ASÍ EL OXÍGENO DISUELTO, DISOLVIENDO  $CO_2$  Y FORMANDO ÁCIDO CARBÓNICO.

- YA DENTRO DEL ACUÍFERO EL AGUA DISUELVE MINERALES Y LIBERA CATIONES Y ANIONES, POR OXIDACIÓN DE MINERALES SULFUROSOS FORMA SULFATOS, SE PRODUCE BIÓXIDO DE CARBONO A PARTIR DE SULFATOS POR ACCIÓN BACTERIANA, LOS CATIONES PRESENTES EN SOLUCIÓN SON INTERCAMBIADOS POR LOS EXISTENTES EN SUELO Y ROCA QUE FORMA EL A -

CUÍFERO, POR ÚLTIMO CUANDO ALGUNAS SALES LLEGAN A LA SOBRESATURACIÓN SE PRECIPITAN.

LA MOVILIDAD DEL AGUA EN EL ACUÍFERO Y LA FACILIDAD DE DISOLUCIÓN DE UN MINERAL SON DETERMINANTES EN LA CONCENTRACIÓN DEL MISMO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA AÚN MÁS QUE LA ABUNDANCIA DE ÉSTE.

EN EL AGUA SUBTERRÁNEA GENERALMENTE LAS SUSTANCIAS DISUELTAS SE ENCUENTRAN EN FORMA IÓNICA. LOS IONES COMUNES DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS SON LOS QUE SE PRESENTAN EN LA TABLA N° 2.1.

TABLA 2.1

SOLIDOS DISUELTOS EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

CONSTITUYENTES PRINCIPALES (DE 1-0 A 1000 PPM)

SODICO	BICARBONATO
CALCIO	SULFATO
MAGNESIO	CLORURO
SILICE.	

CONSTITUYENTES SECUNDARIOS (DE 0.01 A 10 PPM )

HIERRO	CARBONATO
ESTRONCIO	NITRATO
POTASIO	FLUORURO
BORO	

CONSTITUYENTES MENORES ( DE 0.0001 A 1.0 PPM )

ANTIMONIO	CROMO	PLOMO	FOSFATO
ALUMINIO	CADMIO	LITIO	RUBIDIO
ARSENICO	COBALTO	MANGANESO	SELENIO
BARIO	COBRE	MOLIBDENO	TITANIO
BROMO	GERMANIO	NIQUEL	URANIO

CONSTITUYENTES TRAZA ( < 0.001 PPM )

BERILIO	RUTENIO
BISMUTO	ESCADIO
CERIO	PLATA
CESIO	TALIO
GALIO	TORIO
ORO	ESTAÑO
IRIDIO	TUNGSTENO
LANTANIO	YTRIO
PLATINO	ZIRCONIO

FUENTE: TINAJERO G. JAINE,  
 APUNTES DE GEOHIDROLOGIA.  
 (NOTAS DE CLASES)

PPM = PARTE POR MILLON  
 APROX = 1 MG POR LITRO DE AGUA

LAS FORMACIONES QUE MÁS AFECTAN LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA SON: LAS EVAPORITAS COMO EL YESO Y LA ANHIDRITA, LOS DEPÓSITOS ORGÁNICOS COMO EL CARBÓN Y LA TURBA Y LAS ARCILLAS. LAS FORMACIONES QUE PREDOMINAN EN LAS EVAPORITAS SON SULFATO Y CALCIO, EN LAS FORMACIONES ORGÁNICAS EL HIERRO, MANGANESO Y NITRATOS Y EN LAS ARCILLAS, CLORUROS, SULFATOS, SODIO, CALCIO Y MAGNESIO.

LA CIRCULACIÓN REGIONAL DE LAS AGUAS SOBRE TODO CUANDO ÉSTA ES LENTA, PROPICIA SU MINERALIZACIÓN HASTA IR SATURANDO DIFERENTES IONES. POR ÉSTA RAZÓN SON DE UTILIDAD LOS PLANOS REGIONALES DE CURVAS DE IGUAL CONCENTRACIÓN DE IONES, YA QUE NORMALMENTE LAS MENORES CONCENTRACIONES SE MIDEN EN LUGARES CERCANOS A LAS ÁREAS DE RECARGA DE LOS ACUÍFEROS.

CON LOS DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS SE PUEDE TENER UNA CLASIFICACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEA, EL OBJETIVO PRINCIPAL DE ELLO ES PROPORCIONAR INFORMACIÓN DE SU COMPOSICIÓN QUÍMICA, PROPIEDADES Y ORIGEN.

A MANERA DE EJEMPLO, EN LA TABLA 2.2 SE MUESTRA LA CLASIFICACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR SU CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES.

T A B L A 2.2

C L A S I F I C A C I O N	C O N C E N T R A C I O N S T D . P P M
A G U A D U L C E	0 - 1000
A G U A S A L O B R E	1000 - 10000
A G U A S A L A D A	10000 - 100,000
S A L M U E R A	MÁS DE 100,000

FUENTE: TINAJERO G. JAIME, IBIDEM.

### 1.2.2.- CARACTERISTICAS FISICAS.

LA CARACTERÍSTICA FÍSICA MÁS RELEVANTE EN CUANTO AL A-GUA SUBTERRÁNEA SE REFIERE ES LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA O TAMBIÉN SU INVERSA LA RE-SISTIVIDAD ELÉCTRICA SON MEDIOS MUY RÁPIDOS, SENCILLOS Y ECONÓMI-COS PARA ESTIMAR LA CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA. DICHAS PROPIEDADES ESTÁN MUY RELACIONADAS CON LA MINERALIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

LA CONDUCTIVIDAD SE DEFINE COMO LA CAPACIDAD QUE PRESEN-TA UN CUBO DE 1 CM DE LADO PARA CONDUCIR UNA CORRIENTE ELÉCTRICA. LA UNIDAD PARA LA CONDUCTIVIDAD ES EL MHO (  $\frac{1}{\text{MHO}}$  : UNIDAD DE RESIS-TIVIDAD) DEBIDO A QUE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS TIENEN CONDUCTIVIDA -

DES MENORES DE UN MHO/CM SE UTILIZA COMO UNIDAD EL MICRO MHO/CM -

$$\mu\text{MHO}/\text{CM} = \frac{1}{10^6} \text{ MHO}/\text{CM}.$$

LA TEMPERATURA, LA NATURALEZA Y CONCENTRACIÓN DE LAS SALES DI SUELTAS SON VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA.-- COMO LA CONDUCTIVIDAD SE INCREMENTA CON LA TEMPERATURA, SE REFIE-- REN LAS MEDICIONES A UNA TEMPERATURA STÁNDAR 19, 20 ó 25° C PARA-- PODER ESTABLECER COMPARACIONES. ASÍ LA VARIACIÓN DE CONDUCTIVI-- DAD ESTARÁ SÓLO EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD Y NATURALEZA DE LAS SA-- LES DISUELTAS. EL FACTOR DE CORRECCIÓN PARA LOGRAR LO ANTERIOR-- SE OBTIENE DE LA RELACIÓN:

$$A = \frac{1}{1 - k (T_0 - T)}$$

DONDE: A: FACTOR DE CORRECCIÓN

K: CONSTANTE (VARÍA DE 0.021 A 0.022)

T: TEMPERATURA MEDIDA.

T<sub>0</sub>: TEMPERATURA STÁNDAR ( 18, 20 ó 25° C)

EN LA TABLA 2.3 SE MUESTRA UNA COMPARACIÓN DE DIFERENTES TI-- POS DE AGUAS:

T A B L A 2.3

T I P O A G U A	C O N D U C T I V I D A D ( $\mu\text{MH}\Omega/\text{CM}$ )	
AGUA PURA	0.05	
AGUA DESTILADA	0.05	a 5.0
AGUA DE LLUVIA	5.0	a 30
AGUA SUBTERRANEA	30	a 5000
AGUA DE MAR	45000	a 55000
SALMUERAS (AGUAS FOSILES)		100 000

FUENTE: TINAJERO G. JAIME. IBIDEM

ESTUDIANDO LAS CONDUCTIVIDADES PODEMOS LLEGAR A DETERMINAR ZONA DE ALTA O BAJA PERMEABILIDAD, FUENTES DE ALIMENTACIÓN, SENTIDO DE FLUJO E INCLUSIVE DETECTAR INTRUSIÓN SALINA EN ZONAS COSTERAS TODO ELLO DE SUMA UTILIDAD EN EL ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.

### 1.2.3 CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS.

TODA EL AGUA QUE SE INFILTRA SE CONTAMINA BACTERIOLOGICAMENTE HASTA CIERTO PUNTO EL GRADO DE CONTAMINACIÓN DEPENDE BÁSICAMENTE DEL NÚMERO Y ESPECIE DE BACTERIAS PATÓGENAS DEPOSITADAS EN EL SUELO COMO RESULTADO DEL USO QUE SE LE HAYA DADO A ÉSTE.

EN LA ACTUALIDAD UN GRAN NÚMERO DE PERSONAS EN PUEBLOS Y --  
FINCAS DEPENDEN DE LA CAPACIDAD NATURAL DE PURIFICACIÓN DE LAS  
FORMACIONES EN LAS QUE SE DESPLAZA EL AGUA, PARA OBTENER ÉSTA --  
EN CONDICIONES DE PUREZA. POR LO TANTO, ES MUY IMPORTANTE EXA-  
MINAR LOS FACTORES QUE INCIDEN PARA QUE EL AGUA SUBTERRÁNEA SE -  
MANTENGA POR LO GENERAL LIBRE DE ORGANISMOS PATÓGENOS.

PARA LLEGAR A CONOCER ÉSTOS FACTORES SE HAN EFECTUADO PRUE-  
BAS E INVESTIGACIONES DEL MOVIMIENTO DE LAS BACTERIAS A TRAVÉS -  
DE MEDIOS POROSOS Y GRANULARES. PARA REALIZAR ESTOS ESTUDIOS -  
SE UTILIZÓ COMO ÍNDICE LA BACTERIA DEL TIPO COLIFORME (INOCUO AL  
HOMBRE) YA QUE DE ESTAR PRESENTE ÉSTA VARIEDAD SE ASUME QUE TAM-  
BIÉN ESTARÁN PRESENTES LAS DE LA TIFOIDEA, LA DISENTERIA Y OTRAS  
QUE SI SON PATÓGENAS.

LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS DEMUESTRAN QUE LAS BACTERIAS --  
POR SI MISMAS SE DESPLAZAN MUY POCO EN AGUA ESTÁTICA QUE SE EN -  
CUENTRE SATURADO UN MATERIAL POROSO. OTROS ENSAYOS HAN REVELADO  
QUE LAS BACTERIAS NO "NADAN" SINO QUE SON TRNSPORTADAS POR EL --  
FLUJO.

EN RESUMEN LAS OBSERVACIONES REALIZADAS DEMUESTRAN QUE EN

GENERAL, EL AGUA SUBTERRANEA TIENE UNA BUENA CALIDAD BACTERIOLÓGICA.

### 1.3 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA.

PARA PODER EVITAR CAMBIOS INDESEABLES EN LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA, DICHA CALIDAD DEBE SER ESTABLECIDA PRIMERO. PARA ELLO SE TIENE LA DISCUSIÓN SOBRE EL TÉRMINO "CALIDAD" DE P.H. MCGAWHEY EN 1968: <sup>1</sup> LA IDEA DE QUE "CALIDAD" ES UNA CALIDAD DEL AGUA QUE REQUIERE DE MEDIDAS EN NÚMEROS PRECISOS ES DE ORIGEN RECIENTE... (1)

!... DICHA NECESIDAD SE DERIVA DE CASI TODOS LOS ASPECTOS DE UNA SOCIEDAD INDUSTRIALIZADA. PARA FINES DE SALUD HUMANA REQUERIMOS POR LEY QUE EL AGUA SEA "PURA, INOCUA Y POTABLE". PARA LA AGRICULTURA MODERNA SE REQUIERE CONOCER LA SENSIBILIDAD DE CIENTOS DE PLANTAS A MINERALES DISUELTOS EN EL AGUA. DOCENAS DE INDUSTRIAS REQUIEREN TAMBIÉN DE SU CALIDAD PARTICULAR DE AGUA A APLICAR EN SUS PROCESOS. LA ACUACULTURA Y LA RECREACIÓN TIENEN OTROS LÍMITES DE CALIDAD.

CON ESTA MULTITUD DE ACTIVIDADES DESARROLLANDOSE SIMULTANEAMENTE ES EVIDENTE QUE LA CALIDAD DEL AGUA REQUIERE DE SER MEDI-

DA Y ANALIZADA PARA CADA UNA DE DICHAS ACTIVIDADES. (1)

LO ANTERIOR NOS CONDUCE A PENSAR QUE ES NECESARIO ANALIZAR LA CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL AGUA DE UN ACUÍFERO ANTES DE EXPLOTARLO, Y POR OTRO LADO TAMBIÉN SE REQUIERE DE UN MONITOREO CONSTANTE DEL MISMO DURANTE TODO SU TIEMPO DE EXPLOTACIÓN.

Así, CONSIDERANDO EL USO PROMEDIO A QUE SE DESTINARÁ, LAS CARACTERÍSTICAS QUE SE INVESTIGAN EN LABORATORIO ADEMÁS DEL P.H. Y LA TEMPERATURA (ESTO SE HACE EN EL SITIO DE MUESTREO) SON:

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, DUREZA Y LAS CONCENTRACIONES DE: CALCIO, MAGNESIO, SODIO, FIERRO, MANGANESO, POTASIO, CLORUROS, CARBONATOS, BICARBONATOS, NITRITOS Y NITRATOS. SI SE SOSPECHA DE LA PRESENCIA DE OTRAS SUBSTANCIAS O ELEMENTOS QUE SEAN PROBLEMÁTICAS EN FUNCIÓN DEL USO DEL AGUA TAMBIÉN SON DETERMINADOS. ASÍ SE REALIZA PARA ELEMENTOS COMO ARSÉNICO, FLÚOR, LITIO, PLOMO Y OTROS ASÍ COMO COLIFORMES Y COLONIAS BACTERIANAS CUANDO SE TRATA DE UN AGUA DESTINADA A CONSUMO HUMANO.

(1) U.S.E.P. GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE EXCAVATIONS.

LA CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA VARIARÁ CON LAS EXIGENCIAS --  
 DEL USO A QUE PIENSA DESTINARSELE, EN LAS TABLAS: 2.4, 2.5 Y -  
 2.6.

SE PRESENTAN EJEMPLOS DE DICHAS EXIGENCIAS:

T A B L A 2.4  
 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE

CARACTERISTICAS	MAX. ADM.	MAX. ADM.
	S.S.A (MG/L)	OMS (MG/L)
NITROGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> )	0.50	0.50
NITRATOS (NO <sub>3</sub> )	5.0	45
NITRITOS (NO <sub>2</sub> )	0.05	
SOLIDOS TOTALES	1000	1500
DUREZA (como CaCO <sub>3</sub> )	300	
CLORUROS (Cl)	250	600
SULFATOS (SO <sub>4</sub> )	250	400
MAGNESIO (mg)	125	150
ZINC (Zn)	15	15
COBRE (Cu)	3	1.5
FLUORURO (F)	1.5	1.5
FIERRO Y MANGANESO (Fe y Mn)	0.30	1.0 (solo Fe)
ARSENICO	0.05	0.2
SELENIO (Se)	0.05	0.05
CROMO (Cr)	0.05	0.05
FENOL	0.001	0.002
TURBIEDAD (Esc. Silice)	10	400
COLOR (Escala Platino - Cobalto)	20	50
SABOR	INSIPIDA	
OLOR	INODORA	
COLIFORMES EN 100 cm <sup>3</sup>	20	2
COLONIAS BACTERIANAS POR cm <sup>3</sup>	200	OTROS CRITERIOS
DETERGENTES (ABS)	-	0.05
pH	6 - 10.5	6 - 8.5.

FUENTE: MENENDEZ, C. "POTABILIZACION Y TRATAMIENTO"  
 APUNTES DE CLASE.

T A B L A 2.5

REQUERIMIENTOS DE CALIDAD PARA USO AGRICOLA DEL A.S.

PARAMETRO	RANGO
N.M.P. PRESUNTIVO PROMEDIO:	50 POR CADA 100 ML.
RESIDUOS FLOTANTES	AUSENTES
Na (%)	30 - 75
B (mg/L)	0.5 - 3.75
Cl (mg/L)	2 - 16
SO <sub>4</sub> (mg/L)	4 - 20
C.E. (µmhos/cm)	500 - 3000
SALES TOTALES (mg/l)	700 - 2100

FUENTE: MURGUIA VACA E. "EVALUACION, EFECTOS Y SOLUCION DE LA CONTAMINACION DEL AGUA".

T A B L A 2.6

EJEMPLO DE REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA  
PARA USO INDUSTRIAL

VALORES MÁXIMOS PARA CALDERAS Y GENERADORES DE VAPOR.

CARACTERISTICAS	PRESION EN ATM			
	< 10	10 a 18	18 a 30	> 30
TURBIDEZ	20	10	5	1
COLOR	40	20	5	2
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	15	10	4	3
SULFATO DE HIDROGENO	5	3	0	0
DUREZA TOTAL	80	40	10	2
SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> /CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub>	1	2	3	3
ALUMINA	5	0.5	0.05	0.01
SILICE	40	20	5	1
BICARBONATOS	50	30	5	0
CARBONATOS	200	100	40	20
ph min.	8	8.4	9.0	9.6
OD A LA ENTRADA DEL GENERADOR	1.4	0.14	0	0

FUENTE: MODRE EN "MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES A.I.12"  
C.F.E.

DE LAS TABLAS ANTERIORES SE DESPRENDE QUE, EN EFECTO, LA GRAN -  
VARIEDAD DE ACTIVIDADES QUE REALIZA EL HOMBRE EXIGE ASIMISMO --  
UNA GRAN CANTIDAD DE "NORMAS DE CALIDAD" QUE SON EXCLUSIVAS PA-  
RA CADA ACTIVIDAD Y QUE A SU VEZ EXIGEN ESTUDIOS ESPECÍFICOS DE  
LA CALIDAD DEL AGUA.

## CAPITULO 2.- CONTAMINACION DEL AGUA SUBTERRANEA: IDENTIFICACION Y EVALUACION.

### 2.1 DEFINICION.-

"CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRANEA" ES LA CLAVE EN UNA DISCUSIÓN QUE INVOLUCRE A LAS EXCAVACIONES COMO FUENTES DE CONTAMINACIÓN. SÓLO EN CASOS MUY RAROS ÉSTA CONTAMINACIÓN VIAJA A LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES SIN ENTRAR EN CONTACTO CON EL AGUA SUBTERRÁNEA.

ASÍ PODEMOS DEFINIR LA CONTAMINACIÓN COMO TODA ALTERACIÓN DE LA INTEGRIDAD QUÍMICA, FÍSICA, BIOLÓGICA O RADIOLÓGICA QUE SUFRA EL AGUA SUBTERRÁNEA.

LA IDENTIFICACIÓN DE LA NATURALEZA DE EXCAVACIONES CONTAMINANTES COMIENZA CON LA PREMISA DE QUE CUALQUIER AGUJERO EN LA SUPERFICIE, SEA NATURAL O HECHO POR EL HOMBRE ES UNA FUENTE POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN.

POR OTRO LADO TAMPOCO SE PUEDE PERDER DE VISTA QUE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PUEDE ORIGINARSE TAMBIÉN POR UN APROVECHAMIENTO IRRACIONALMENTE EXPLOTADO DE ESTE VALIOSO RECURSO.

SO.

## 2.2. MECANISMOS DE CONTAMINACION.

EXISTEN TRES MECANISMOS BÁSICOS POR MEDIO DE LOS CUALES EL AGUA SUBTERRÁNEA SE CONTAMINA:

A) EL SISTEMA DE FILTRACIÓN CONSTITUIDO POR VEGETACIÓN, SUELO, SEDIMENTO, ARENA, GRAVA O ROCAS QUE PROTEGE AL AGUA SUBTERRÁNEA ES ATRAVESADO POR SUBSTANCIAS CONTAMINANTES, DEBIDO A LA INTERACCIÓN DE AGENTES AJENOS AL SISTEMA.

B) EL SISTEMA NATURAL DE FILTRACIÓN ES SATURADO POR UNA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES MÁS ALLÁ DE SU CAPACIDAD DE FILTRACIÓN O POR SUBSTANCIAS QUE SON NO FILTRABLES.

C) EL BALANCE HIDRÁULICO O QUÍMICO EN LA SUPERFICIE ES ALTERADO, LO QUE PERMITE QUE SUBSTANCIAS CONTAMINANTES SE MUEVAN HACIA LOS ACUÍFEROS O ENTRE DOS ACUÍFEROS CAMBIANDO LA CALIDAD DEL AGUA.

A CONTINUACIÓN VEREMOS COMO PUEDE INFLUIR LA EXCAVACIÓN DE CUALQUIER TIPO DE AGUJEROS PARA QUE ALGUNO DE ESTOS TRES MECANISMOS ENTRE EN FUNCIONAMIENTO :

## CASO 1) EL SISTEMA DE FILTRACIÓN ES ATRAVESADO.

CUALQUIER CAVIDAD EN LA SUPERFICIE, SEA NATURAL, EXCAVADA A MANO, PERFORADA, PRODUCIDO POR EXPLOSIVOS, Y CUALQUIERA QUE SEA SU USO (PRODUCCIÓN DE ALGÚN RECURSO, DISPOSICIÓN DE DESECHOS, ALMACENAMIENTO DE ALGÚN PRODUCTO, RECOLECCIÓN DE MUESTRAS O EMPLAZAMIENTO DE EQUIPO); PENETRA POR LO MENOS UNA PORCIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN SUPERFICIAL LO QUE DÁ ORIGEN A UNA POSIBLE VÍA DE PENETRACIÓN A LOS CONTAMINANTES. LAS SUSTANCIAS CONTAMINANTES QUE PUEDAN PENETRAR EN UN ACUÍFERO COMO RESULTADO DE ESTAS ACTIVIDADES INCLUYEN A LA MAYORÍA DE LOS ELEMENTOS DE LA TABLA PERIÓDICA EN CASI TODAS LAS COMBINACIONES CONOCIDAS POR EL HOMBRE.

LAS EXCAVACIONES PUEDEN SER AGRUPADAS DE LA SIGUIENTE MANERA:

- \* POZOS Y CAVIDADES PERFORADAS VERTICALMENTE: INCLUYEN POZOS DE AGUA, POZOS PETROLEROS, POZOS DE EXPLOTACIÓN DE GAS, PRUEBAS ESTRATIGRÁFICAS, POZOS DE INYECCIÓN DE DESECHOS, POZOS DE RECUPERACIÓN SECUNDARIA Y POZOS DE OBSERVACIÓN.

- \* INSTALACIONES SANITARIAS: INCLUYEN TANQUES SÉPTICOS, LETRINAS.

Y POZOS SECOS.

\* MINAS Y TÚNELES SUBTERRÁNEOS: INCLUYE CARRETERAS, FERROCA  
RRILES Y TÚNELES DE DESVÍO.

\* EXCAVACIONES PARA CONSTRUCCIÓN: PODEMOS AGRUPAR AQUÍ LOS  
AGUJEROS PARA PILOTEO, EXCAVACIONES PARA CIMENTACIÓN, DRAGADO -  
DE PUERTOS Y RÍOS.

\* CANTERAS Y MINAS A CIELO ABIERTO: ABARCA CUALQUIER TIPO -  
DE CANTERA.

\* CÁMARAS SUBTERRÁNEAS: INCLUYE TUBERÍAS Y TANQUES ENTERRA-  
DOS.

\* RELLENOS SANITARIOS: CON UN INADECUADO CONTROL DE LIXIVIADOS.

UNA CLASIFICACIÓN MÁS AMPLIA BASADA EN EL USO QUE SE IN -  
TENTA DAR A UNA EXCAVACIÓN ES TAMBIÉN MUY ÚTIL EN TÉRMINOS DE -  
CONSIDERACIONES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

‡ EXTRACCIÓN.

POZOS DE PRODUCCIÓN, MINAS, CANTERAS Y BANCOS DE MATERIA -  
LES.

## ‡ INYECCIÓN.

DISPOSICIÓN DE DESECHOS, RECUPERACIÓN DE MINERALES, RECUPERACIÓN SECUNDARIA Y ALMACENAMIENTO.

## ‡ OTROS

POZOS SECOS, PRUEBAS ESTRATIGRÁFICAS, EXCAVACIONES PARA CONSTRUCCIÓN, CÁMARAS SUBTERRÁNEAS.

LA EVALUACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LA OCURRENCIA DE FUENTES POTENCIALES ES MATERIA PARA UN INVENTARIO FÍSICO MUY CUIDADOSO SIEMPRE TENIENDO EN MENTE QUE LA CONTAMINACIÓN SUBTERRÁNEA ES UNA PROBLEMA EN 4 DIMENSIONES ( 3 DIMENSIONALES Y EL TIEMPO). COMO EJEMPLO UN POZO DE INYECCIÓN DE DESECHOS PUEDE INTRODUCIR MATERIALES MUY TÓXICOS A TRAVÉS DE UNA CAVIDAD DE APENAS 20 CM. DE DIÁMETRO, EN ALGUNOS ALMACENAMIENTOS SUBTERRÁNEOS QUE ESTÁN A MÁS DE UN KILOMETRO BAJO LA SUPERFICIE. LOS DESPERDICIOS PUEDEN SER INYECTADOS EN UN ACUÍFERO SALINO QUE NO TIENE UTILIDAD PARA EL HOMBRE, CAUSANDO CONTAMINACIÓN EN EL ESTRICTO SENTIDO DE LA PALABRA PERO NO VA A CAUSAR PROBLEMAS AMBIENTALES ADEMÁS DE QUE NO VOLVERÁN A SER DETECTADOS EN LA BIOSFERA. SIN EMBARGO, UNA CANTIDAD EXCESIVA DE INYECCIÓN (VOLÚMEN/TIEMPO) --

PUEDE CAUSAR SOBREPRESIONES QUE FRACTUREN LA ROCA ENCAJONANTE Ó LA CEMENTACIÓN (ADEME) ALREDEDOR DEL POZO Y PERMITIR QUE LOS DESECHOS PENETREN EN UN ACUÍFERO DE AGUA DULCE QUE ESTÉ A UNA PROFUNDIDAD DE HASTA 200 M BAJO LA SUPERFICIE. PROBLEMAS ADICIONALES DE CONTAMINACIÓN PUEDEN RESULTAR DEL DETERIORO PRODUCIDO -- POR LA CORROSIÓN EN EL ADEME DEL POZO CERCA DE LA SUPERFICIE -- DONDE ACUÍFEROS PUEDEN SER CONTAMINADOS A PROFUNDIDADES DE 15 M O MENOS. LOS EFECTOS MEDIBLES EN EL CAMBIO DE CALIDAD DEL AGUA PUEDE DURAR SIGLOS PERO NUNCA TENDRÁN EFECTOS NOCIVOS. LA CONTAMINACIÓN DE UN ACUÍFERO A 15 Ó 200 M DE PROFUNDIDAD PUEDE OCURRIR EN CUALQUIER MOMENTO DURANTE LA INYECCIÓN DE DESECHOS Y SU DETECCIÓN PUEDE OCURRIR EN CUALQUIER MOMENTO, DESDE UNOS DÍAS - HASTA AÑOS DESPUÉS DE QUE LA INYECCIÓN COMIENZE PERMANECIENDO - ASÍ POR DÉCADAS MOVIENDOSE A RAZÓN DE 20 CENTIMETROS POR AÑO O MENOS.

ES MUY ÚTIL ESTABLECER PRIORIDADES DE CONSIDERACIÓN EN LAS ETAPAS INICIALES DE UN PROGRAMA DE INVENTARIO EN EL CUAL LOS ACUÍFEROS SEAN TRATADOS EN ÓRDEN DE IMPORTANCIA, ADEMÁS DE CONSIDERAR PRIORITARIAS AQUELLAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN QUE TANGAN ALGÚN EFECTO EN LA SALUD HUMANA.

LA NATURALEZA DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA PUEDE SER ESTABLECIDA EN CUALQUIER REGIÓN (POLÍTICA, GEOGRÁFICA, ADMINISTRATIVA Ó HIDROLÓGICA) POR MEDIO DE UN INVENTARIO DE: LAS ACTIVIDADES REGIONALES QUE HACEN USO DE CAVIDADES EN LA SUPERFICIE; EL TIPO DE CAVIDADES UTILIZADAS; SU DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN Y SU LOCALIZACIÓN. LA EXTENSIÓN REGIONAL DE ÉSTAS FUENTES PUEDE SER DETERMINADO ENTONCES POR MEDIO DE UN INVENTARIO, POR CATEGORÍA DE ESTAS CAVIDADES Y SU USO, SEGUIDO DE UN ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.

#### CASO 2) EL SISTEMA DE FILTRACIÓN ES SATURADO.

PARA QUE ÉSTE MECANISMO DE CONTAMINACIÓN SE PRESENTE NO SE REQUIERE DE UNA CAVIDAD EN LA SUPERFICIE, SIN EMBARGO UNA ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES EN UNA EXCAVACIÓN PROVEÉ LA CONCENTRACIÓN MÁXIMA Y DE SUSTANCIAS CONTAMINANTES Y PUEDEN CAUSAR QUE EL SISTEMA DE FILTRACIÓN FALLE ( EN EL CASO DE SUSTANCIAS QUE ORDINARIAMENTE SERÍAN FILTRADAS POR EL SUELO ) Ó PUEDEN CAUSAR UNA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES NO FILTRABLES ( COMO PUEDEN SER LOS FENOLES ) QUE PENETRE EN EL ACUÍFERO.

### **CASO 3) EL BALANCE HIDRÁULICO O QUÍMICO SE VE ALTERADO.**

**CUALQUIER EXCAVACIÓN QUE SE USE PARA MOVER FLUÍDOS DENTRO - O FUERA DEL SUBSUELO TENDRÁ UN EFECTO EN EL BALANCE HIDRÁULICO - DE LOS ACUÍFEROS INVOLUCRADOS. EL EFECTO PUEDE SER TAN LIGERO - QUE NO SEA MEDIBLE O TAN GRANDE QUE CAUSE QUE EL FLUÍDO PASE DE UNA FORMACIÓN POROSA A OTRA O A LA SUPERFICIE.**

**EL FLUÍDO INYECTADO PUEDE NO SER CONTAMINANTE SIN EMBARGO - PUEDE CAUSAR SERIOS PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN. POR EJEMPLO, EL AGUA DE ENFRIAMIENTO DE EXCELENTE CALIDAD INYECTADA EN UN ACUÍFE RO SALINO PARA EVITAR QUE LA TEMPERATURA DE UNA CORRIENTE SUPERFICIAL SEA AFECTADA CAUSA UN CAMBIO DE PRESIONES QUE PUEDE TENER LOS SIGUIENTES EFECTOS:**

- CAUSAR QUE EL AGUA SALADA SE MUEVA HACIA ACUÍFEROS DE AGUA DULCE O EN OTROS POZOS.**
- CAUSAR QUE EL AGUA SALADA CONTAMINE PARTES DE AGUA DULCE EN EL MISMO ACUÍFERO.**
- CAUSAR QUE EL AGUA SALADA PASE A CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES.**

LA EXTRACCIÓN DE UN FLUÍDO TAMBIÉN ALTERA EL BALANCE HIDRÁULICO Y PUEDE CAUSAR DE CONTAMINANTES SUPERFICIALES ENTRE ACUÍFEROS Y HACIA AGUAS SUPERFICIALES. POR EJEMPLO, UN POZO DE AGUA MUNICIPAL QUE BOMBEE VARIOS MILES DE METROS CÚBICOS POR DÍA PUEDE CAUSAR QUE EL AGUA SALADA MARINA AVANCE TIERRA ADENTRO (INTRUSIÓN SALINA).

LA CONTAMINACIÓN TAMBIÉN PUEDE OCURRIR POR UNA BAJA DE PRESIÓN EN UN ACUÍFERO CONFINADO, CAUSANDO LA COMPRESIÓN DE UNA DE LAS CAPAS CONFINANTES RESULTANDO EN UNA EXTRACCIÓN DE AGUA ALTAMENTE MINERALIZADA PROVENIENTE DE LA CAPA CONFINANTE HACIA EL ACUÍFERO. LA CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO (ARSENICISMO) ES CAUSADA POR UNA SITUACIÓN SIMILAR A LA ANTERIORMENTE DESCRITA.

EJEMPLOS DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS HAN SIDO ATRIBUIDAS A UN CAMBIO DE PH Y TEMPERATURA (CAMBIOS EN EL BALANCE QUÍMICO).

### 2.3 PRACTICAS USUALES.

DE ACUERDO A ALGUNAS INVESTIGACIONES EL USO DE POZOS Y OTRAS EXCAVACIONES PARA DISPONER DE DESECHOS VARÍA EN TÉRMINOS DE VOLUMEN QUE VAN DE MENOS DE 200 LITROS POR DÍA HASTA  $27 \text{ M}^3$  POR DÍA Y

EN TÉRMINOS DE PELIGROSIDAD DESDE PELIGROSOS ( P.E. CIERTOS MATERIALES RADIOACTIVOS) A NO PELIGROSOS ( P.E. AGUA DE ENFRIAMIENTO DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO). (CANTIDADES TOMADAS DEL USEPA "GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE EXCAVATIONS).

LAS SALMUERAS PRODUCIDAS EN ASOCIACIÓN AL PETRÓLEO CRUDO, GAS NATURAL Ó VAPOR SON NORMALMENTE INYECTADAS, FRECUENTEMENTE EN LA MISMA FORMACIÓN O ZONA DE EL CUAL FUERON EXTRAÍDOS, PERO MÁS FRECUENTEMENTE SE INYECTAN EN UNA PARTE MÁS PROFUNDA Y NO PRODUCTIVA DE LA FORMACIÓN DE LA QUE FUERON EXTRAÍDOS Ó EN OTRA FORMACIÓN.

LAS SALMUERAS PRODUCTO DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN HECHOS POR EL HOMBRE TAMBIÉN SON MANEJADAS DE MANERA SIMILAR AUNQUE SIN EMBARGO, SIENDO PRODUCIDAS EN LA SUPERFICIE, NO EXISTEN FORMACIONES PROPIAS A LAS CUALES PUEDEN SER DEVUELTAS. LAS AGUAS RESIDUALES CRUDAS, LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS Y EL AGUA CALIENTE RESULTANTE DE PROCESOS DE ENFRIAMIENTO TAMBIÉN SON DESECHADAS POR INYECCIÓN EN POZOS. MATERIAL CONTAMINANTE DE TODAS CLASES ES ARROJADO, VERTIDO, AMONTONADO, INFILTRADO O SIMPLEMENTE DEJADO EN CANTERAS, BANCOS DE MATERIAL Y EXCAVACIONES PARA CONTRUCCIÓN.

## 2.4 FUENTES DE CONTAMINANTES.

GRANDES ÁREAS DEL PAÍS QUE PRODUCEN PETRÓLEO CRUDO Y GAS NATURAL ESTÁN SOBRE INMENSO VOLUMENES DE AGUA SUBTERRÁNEA CONTAMINADA.

LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS FLÚIDOS IN VOLUCRAN MÚLTIPLES FUENTES DE CONTAMINANTES. LAS ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN PREVIAS A LA PERFORACIÓN FRECUENTEMENTE INCLU - YEN ESTUDIOS SÍSMICOS QUE PROVOCAN ALGUNAS CAVIDADES EN EL SUB SUELO. LA PERFORACIÓN EXPLORATORIA Y PRODUCTORA HACE CAVIDADES MAYORES Y MÁS PROFUNDAS. POR ÚLTIMO LAS ACTIVIDADES DE - RECUPERACIÓN SECUNDARIA Y TERCARIA REQUIEREN DEL USO DE POZOS DE INYECCIÓN COMO SE HACE EN EL DESECHO DE LAS SALMUERAS. LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN SU FASE DE PRODUCCIÓN TAMBIÉN UTILI ZA POZOS DE INYECCIÓN DE DESECHOS Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN. ESTE ES LA DESCRIPCIÓN DE SOLO ALGUNOS DE LAS FUENTES DE CONTA MINACIÓN QUE SON GENERADAS POR UNA DE LAS ACTIVIDADES QUE REA - LIZA EL HOMBRE EN SU AFÁN DE APROVECHAR LOS RECURSOS NATURALES. DE MANERA SIMILAR, OTRAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS REALIZADAS - POR EL HOMBRE CONLLEVAN PROCESOS QUE IMPLICAN RIESGOS PARA LAS

AGUAS SUBTERRÁNEAS, HACER UNA DESCRIPCIÓN SIMILAR A LA ANTERIOR PARA CADA UNO DE ELLOS SERÍA MUY LARGO, POR LO QUE SOLO SE EJEMPLIFICARAN ALGUNOS DE LOS PROCESOS QUE MÁS PIESGOS DE CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA TIENEN:

- \* FÁBRICAS DE ACERO (ALTOS HORNOS)
- \* ESTABLECIMIENTOS DE GALVANOPLASTIA.
- \* LABORATORIOS FARMACÉUTICOS.
- \* PLANTAS DE PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS.
- \* FÁBRICAS DE PAPEL.
- \* REFINERÍAS DE PETRÓLEO.
- \* PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
- \* PLANTAS DE POTABILIZACIÓN.
- \* ALGUNOS PROCEDIMIENTOS AGRÍCOLAS
- \* PRODUCCIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA.

ADEMÁS DE ESTOS EXISTEN ALGUNAS ACTIVIDADES QUE AUNQUE NO SON DE APROVECHAMIENTO DE RECURSOS Ó DE TRANSFORMACIÓN ACARREAN PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

## 2.5 TIPOS DE CONTAMINANTES.

LAS SALMUERAS PRODUCIDAS EN ASOCIACIÓN CON PETRÓLEO CRUDO

Y GAS NATURAL TIENEN UNA COMPOSICIÓN QUÍMICA BASTANTE COMPLEJA QUE MÁ S COMUNMENTE INCLUYE CANTIDADES MAYORES QUE LAS CANTIDADES TRAZA DE SODIO, CALCIO, MAGNESIO, POTASIO, BARIO, ESTRON - CIO, FIERRO, AZUFRE, BROMO ASÍ COMO GASES DISUELTOS: DIÓXIDO - DE CARBONO ( $CO_2$ ), HIDRÓGENO Y METANO.

LAS AGUAS SALADAS PRODUCIDAS EN LA EXPLOTACIÓN DE POZOS- GEOTÉRMICOS ESTÁN CONSTITUIDAS DE MANERA SIMILAR AUNQUE FRE -- CUENTEMENTE CONTIENEN GRANDES CANTIDADES DE LITIO, FLUOR, SILI CE, ARSÉNICO Y RADIOISOTOPOS.

LOS CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR EL HOMBRE QUE SON INTRO DUCIDOS EN EL SUBSUELO POR MEDIO DE LOS MECANISMOS EXPLICADOS- CON ANTERIORIDAD INCLUYEN: ÁCIDOS, FOSFATOS, ALCOHOLES, SULFA TOS, NITRATOS, BROMO, CLORO, ALUMINIO, ALDEHÍDOS, CETONAS, FE- NOLES, POTASIO, ACETATOS, BENZENO, CICLOHEXÁNO, HIDRÓGENO, -- CIANURO ASÍ COMO UNA GRAN CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA Y OTROS COMPUESTOS (IDENTIFICADOS Y NO IDENTIFICADOS) QUE SON BOMBEA - DOS, ARROJADOS Y VERTIDOS DENTRO DEL SUBSUELO. EL AGUA RESI- DUAL CON TODA SU CARGA DE BACTERIAS Y VIRUS TAMBIÉN SE DEBE IN CLUIR EN LA LISTA DE SUSTANCIAS CONTAMINANTES.

## 2.6 MECANISMOS DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES.

LOS CONTAMINANTES EN SOLUCIÓN SE MUEVEN DESDE LOS POZOS Y OTRAS EXCAVACIONES HACIA LOS ACUÍFEROS A TRAVÉS DE TRAYECTORIAS DE MENOR RESISTENCIAS.

COMUNMENTE, LA ZONA DE MOVIMIENTO DE FLUÍDOS A PARTIR DE UN POZO O DE OTRA EXCAVACIÓN ES FACILITADA POR ARENAS O GRAYAS-DEPOSITADAS NATURALMENTE EN LAS CUALES EL FLUÍDO SE MUEVE A TRAVÉS DE LOS GRANOS DE UNA MANERA CARACTERÍSTICA QUE PERMITE CONSTRUIR MODELOS MATEMÁTICOS PRECISOS QUE REPORTAN INFORMACIÓN PREDICTIVA RAZONABLEMENTE SEGURA.

LAS ROCAS CONSOLIDADAS COMUNMENTE EXHIBEN TIPOS MÁS COMPLEJOS DE POROSIDAD PRODUCIDOS POR DISOLUCIÓN O FRACTURAMIENTO. EN ALGUNOS CASOS EL MOVIMIENTO ES UNIFORME Y POR ELLO PREDICIBLE, SIN EMBARGO EN MUCHOS OTROS CASOS NO ES ASÍ. EL MISMO MECANISMO SE LLEVA A CABO CON LAS FRACTURAS Y CANALES PRODUCIDOS POR EL HOMBRE COMO RESULTADO DE INYECCIÓN DE FLUÍDOS A ALTAS PRESIONES, LA INYECCIÓN DE SOLVENTES Y EXPLOSIONES SUBSUPERFICIALES).

POR OTRO LADO LAS EXCAVACIONES SON POR SI MISMAS TRAYECTORIAS POTENCIALES PARA EL MOVIMIENTO VERTICAL DE FLUÍDOS. CAVIDADES NO REVESTIDAS O POBREMENTE REVESTIDAS PROPORCIONAN CAMINOS DIRECTOS PARA EL MOVIMIENTO DE CONTAMINANTES HACIA LOS ACUÍFEROS Y DE ZONAS DE INYECCIÓN DE DESECHOS HACIA LA SUPERFICIE.

## 2.7 MAGNITUD DE LA CONTAMINACION.

ESTUDIOS SOBRE LA MAGNITUD DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA-SUBTERRÁNEA HAN SIDO REALIZADOS POR DEPENDENCIAS OFICIALES Y EMPRESAS PRIVADAS. DICHS ESTUDIOS INCLUYEN ESTUDIOS GEOQUÍMICOS, DE MECANICA DE SUELOS, HIDROLÓGICOS, GEOHIDROLÓGICOS DE CAMPO Y GABINETE QUE SON ESCENCIALES PARA CONOCER EL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE UN ACUÍFERO, MISMO QUE DEBE SER REALIZADO PREVIO A LA EXPLOTACIÓN DEL MISMO TANTO PARA CONOCER SU POSIBLE UTILIZACIÓN (PRIORITARIAMENTE PARA CONSUMO HUMANO) COMO PARA HACER UNA UTILIZACIÓN RACIONAL DE ESTE RECURSO.

ESTOS ESTUDIOS TAMBIÉN SON ENCAMINADOS A LA INSTRUMENTACIÓN DE MEDIDAS DE CONTROL EN CASO DE QUE EL ACUÍFERO TENGA YA ALGÚN GRADO DE CONTAMINACIÓN.

## 2.8 METODOS DE PREDICCIÓN.

LOS PROBLEMAS DE DISEÑAR, CONSTRUIR Y OPERAR SISTEMAS DE DISPOSICIÓN DE DESECHOS SUBTERRÁNEOS DE MANERA EFICIENTE SON MUY COMPLEJOS Y REQUIEREN CONSIDERAR LA INTERACCIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE: LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN, LOS DESECHOS QUE SE MANEJAN, LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS QUE VAN A RECIBIR LOS DESECHOS Y LOS FLUÍDOS DE OCURRENCIA NATURAL EN DICHAS FORMACIONES.

EXISTEN VARIAS TÉCNICAS DE PREDICCIÓN QUE SON ÚTILES PARA ATACAR LOS PROBLEMAS RESULTANTES DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SIN EMBARGO CÓMO OTROS MÉTODOS UTILIZADOS PARA RESOLVER PROBLEMAS DEL SUBSUELO NINGUNA DE ELLAS PROPORCIONA UNA RESPUESTA COMPLETAMENTE VERDADERA.

LAS HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA PREVENIR LA LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DE CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA SON LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS, ASÍ COMO UN INVENTARIO DE LOS CONTAMINANTES QUE SE ESTÁN INTRODUCIENDO AL SUBSUELO, LOS PRIMEROS PARA ESTIMAR LOS ALCANCES QUE PUEDE LLEGAR A TENER UNA FUENTE DE CONTAMINACIÓN Y LOS SEGUNDOS PARA DETERMINAR EL VOLÚMEN Y LA

NATURALEZA DE LOS MATERIALES QUE ESTÁN SIENDO INTRODUCIDOS A -  
LOS ACUÍFEROS. UN CASO QUE PUEDE EJEMPLIFICAR LO ANTERIOR ES  
LO SIGUIENTE: LA EXISTENCIA DE UN ALTO HORNO INDICA LA ACUMU-  
LACIÓN DE CIERTA CANTIDAD DE LICOR RECOLECTADO DE LOS PROCESOS  
LLEVADOS A CABO EN ÉL, MISMO QUE SI ENCUENTRA UN CAMINO HACIA  
ALGÚN CUERPO DE AGUA DE BUENA CALIDAD SEA SUBTERRÁNEA O SUPER-  
FICIAL CONSTITUIRÁ UN CONTAMINANTE. ESTE LICOR PUEDE SER TRA-  
TADO PARA REMOVER SUSTANCIAS QUE PUEDAN SER REUTILIZABLES, HA-  
CIENDOLO ASÍ UNA DESCARGA ACEPTABLE EN CORRIENTES SUPERFICIA -  
LES. LO CUAL ES RECOMENDABLE, SIN EMBARGO TAMBIÉN PUEDE SER -  
ENVIADO, SIN TRATAMIENTO, PREVIO, HACIA UN POZO DE INYECCIÓN Y  
COLOCADO EN EL SUBSUELO LO QUE TRAERÍA PROBLEMAS DE CONTAMINA-  
CIÓN. EL INVENTARIO DE FUENTES CONTAMINANTES QUE INDIQUE LA -  
EXISTENCIA DEL ALTO HORNO SERÁ UNA INDICACIÓN DE UNA AMENAZA -  
DE CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA. ASIMISMO DICHO INVENTA-  
RIO ESTABLECERÁ PELIGROS SEMEJANTES PROVENIENTES DE TANQUES --  
SÉPTICOS, INYECCIÓN DE SALMUERAS, PLANTAS DE PROCESAMIENTO DE  
ALIMENTOS Y OTRAS ACTIVIDADES QUE GENERAN DESECHOS.

LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS EXISTENTES PROPORCIONARÁN - -  
SUFICIENTE INFORMACIÓN PARA ESTABLECER LAS ÁREAS EN LAS QUE

PROBABLEMENTE SE CONTAMINARÍA EL AGUA SUBTERRÁNEA. ALGUNA INFORMACIÓN ADICIONAL PUEDE SER LOS REPORTES DE USUARIOS DE POZOS Y NORIAS QUE HAYAN NOTADO QUE EL AGUA EXTRAÍDA DE ÉSTAS -- PRESENTA CAMBIOS DE SABOR, OLOR, SEDIMENTOS O COLOR. TAMBIÉN LOS REGISTROS DE CASOS DE ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL CONSUMO DE AGUA, TAMBIÉN INDICAN ALGÚN PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN- DE AGUA SUBTERRÁNEA.

UN SISTEMA DE MONITEROO DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA- EXISTE EN EL ÁREA TAMBIÉN PUEDE PROPORCIONAR INFORMACIÓN PRECI SA ACERCA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y ANALÓGICOS DE EXCAVACIONES Y - LOS ACUÍFEROS INVOLUCRADOS PUEDEN CONTRIBUIR A LA OBTENCIÓN DE DATOS BASTANTE CONFIABLES ACERCA DEL CAMINO QUE SIGUEN LOS CON TAMINANTES UNA VEZ INTRODUCIDOS AL ACUÍFERO Y SABER EN DONDE - VA A PRODUCIR CONTAMINACIÓN.

LOS ESTUDIOS GEOFÍSICOS (POR EJEMPLO ESTUDIOS DE SISMICI DAD) SON FRECUENTEMENTE UNA MANERA CONVENIENTE DE REFORZAR LAS INVESTIGACIONES TEÓRICAS Y EMPÍRICAS.

## CAPITULO N° 3.- FUENTES DE CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y SU CONTROL.

### 3.1 INTRODUCCIÓN.

COMO SE DIJO ANTERIORMENTE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS SE REFIERE A SUS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y BACTERIOLÓGICAS. TODAS LAS AGUAS SUBTERRANEAS CONTIENEN SOLIDOS DISUELTOS Y POSEEN CARACTERÍSTICAS COMO SON TEMPERATURA, SABOR Y OLOR. ALGUNAS CONTIENEN ORGANISMOS PATÓGENOS COMO BACTERIAS Y VIRUS. LA CALIDAD NATURAL DEL AGUA SUBTERRANEA DEPENDE DE SU MEDIO AMBIENTE, MOVIMIENTO Y ORIGEN; EN DIFERENTES LOCALIDADES CONTRASTES MAYORES DE COMPOSICIÓN PUEDEN NOTARSE.

LAS TEMPERATURAS VARIAN EN RANGOS QUE VAN DESDE POCOS GRADOS SOBRE EL PUNTO DE CONGELACIÓN EN ZONAS FRÍAS HASTA CASI EL PUNTO DE EBULLICIÓN EN FUENTES TERMALES; ADEMÁS LA SALINIDAD TAMBIÉN VARÍA DESDE CONCENTRACIONES PRÁCTICAMENTE DE CERO EN AGUAS DE PRECIPITACIÓN RECIÉN FILTRADAS, HASTA VARIOS CIENTOS DE MILES DE MG. POR LITRO EN SALMUERAS.

PARA LOS PRÓPOSITOS DEL PRESENTE TRABAJO, CÓMO YA SE HA VISTO ANTERIORMENTE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRANEA PUE-

DE DEFINIRSE COMO TODA ALTERACIÓN NATURAL O INDUCIDA POR EL HOM  
BRE DE LA INTEGRIDAD FÍSICA, QUÍMICA, BIOLÓGICA O RADIOLÓGICA -  
DE LA MISMA.

LOS PROGRAMAS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUB  
TERRÁNEA SE BASAN EN LA CADA VEZ MÁS GENERALIZADA TOMA DE CON -  
CIENCIA DE QUE EL AGUA SUBTERRÁNEA Y EL ESPACIO SUBTERRÁNEO EN  
QUE ÉSTA SE ALMACENA SON RECURSOS NATURALES INVALUABLES QUE DE-  
BEN SER CUIDADOSAMENTE MANEJADOS PARA EVITAR SU CONTAMINACIÓN.

EL AGUA SUBTERRÁNEA TÍPICA SE MUEVE A RAZÓN DE 20 CM. POR  
AÑO HASTA 2 METROS POR DÍA. ARRIBA DEL NIVEL FREÁTICO LA DI -  
RECCIÓN DE FLUJO ES GENERALMENTE HACIA ABAJO Y BAJO ESTE ES - -  
PRINCIPALMENTE LATERAL GOBERNADO POR EL GRADIENTE HIDRÁULICO LO  
CAL.

UNA VEZ QUE EL CONTAMINANTE SE HA INTRODUCIDO EN UN ACUÍ-  
FERO ESTE TIENDE A MOVERSE EN LA MISMA DIRECCIÓN QUE EL AGUA Y  
A UNA VELOCIDAD IGUAL O MENOR A LA DEL FLUJO. LOS CAMBIOS DE  
PRESIÓN QUE PUEDEN SER PRODUCIDOS POR INYECCIÓN O EXTRACCIÓN EN  
CAMBIO, SE MUEVEN A UNA VELOCIDAD CERCANA O IGUAL A LA DEL SONI  
DO.

CON EL TIEMPO Y LA DISTANCIA RECORRIDA LOS CONTAMINANTES DECRECEN EN CONCENTRACIÓN, RESULTANDO ESTO DE LA DISOLUCIÓN, INFILTRACIÓN, ADSORCIÓN, PRECIPITACIÓN, DECAIMIENTO (P.E. LOS ISOTOPOS RADIOACTIVOS) Y LA MUERTE (EN EL CASO DE LAS BACTERIAS Y VIRUS). A PARTIR DE UNA FUENTE DE CONTAMINACIÓN PUEDEN DETECTARSE "ABANICOS" DE CONTAMINACIÓN DE VARIAS FORMAS EXTENDIENDOSE HACIA DONDE EL GRADIENTE BAJA Y DISIPANDOSE GRADUALMENTE CON LA DISTANCIA.

### 3.1.1. CONTROL POR ELIMINACION DE FUENTES.

ESTE PUEDE SER UN MÉTODO OBVIO DE CONTROL DE UNA FUENTE DE CONTAMINACIÓN ES LA ELIMINACIÓN DE LA MISMA. ESTE MÉTODO SIN EMBARGO NO SIEMPRE ES POSIBLE DE APLICARSE Y ENTONCES SE CONVIERTE EN UNA SOLUCIÓN TRIVIAL. PARA ILUSTRAR ESTO, UN MÉTODO PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN PROVENIENTE DE TANQUES SÉPTICOS SERÍA LA ELIMINACIÓN DE TODOS LOS TANQUES SÉPTICOS. ELIMINAR LOS MILES DE TANQUES SÉPTICOS QUE EXISTEN EN EL PAÍS REQUERIRÍA ALTERNATIVAS QUE NO SON TODAS REALISTAS O REALIZABLES. INCLUIRÍA POR EJEMPLO:

- INSTALAR SISTEMAS DE DRENAJE PARA REEMPLAZAR LOS TANQUES SÉPTICOS, ESTO ES ECONÓMICAMENTE IRREALIZABLE. EN MUCHAS Á-

REAS RURALES Y AÚN EN ZONAS URBANAS DONDE LAS CARACTERÍSTICAS HACEN POCO ECONÓMICO ESTO (P.E. MÉRIDA, YUCATÁN).

- **REEMPLAZAR LOS TANQUES SÉPTICOS CON PLANTAS INDIVIDUALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. TÉCNICA Y ECONÓMICAMENTE IRREALIZABLE EN EL PRESENTE.**
- **CAMBIAR A LA POBLACIÓN HACIA ÁREAS CON DRENAJE. SOCIAL, LEGAL Y POLITICAMENTE IRREALIZABLE.**

DE LO ANTERIOR SE DESPRENDE QUE, PARA IMPLEMENTAR UN MÉTODO DE CONTROL PARA LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PRODUCIDAS POR TANQUES SÉPTICOS SE DEBE DE TOMAR EN CUENTA LA POSIBILIDAD DE IMPLEMENTAR SISTEMAS DE DRENAJE ADEMÁS DE REGULAR SU CONSTRUCCIÓN Y LOCALIZACIÓN TOMANDO EN CUENTA TAMBIÉN LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO, SU TOPOGRAFÍA Y DENSIDAD. ÉSTAS MEDIDAS, AUNQUE NO ELIMINAN LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA SÍ LA REDUCEN Y PREVIENEN QUE SOBREPASE LOS NIVELES PREESTABLECIDOS.

LA SUGERENCIA DE ELIMINAR LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA NO PUEDE SER TOMADA EN CUENTA PARA TODOS LOS CASOS QUE SE REVISARÁN EN EL PRESENTE TRABAJO. EN REALIDAD SE PROPONEN MÉTODOS DE CONTROL QUE SE PIENSA QUE SON REALIS

TAS Y REALIZABLES. OBTIVAMENTE LOS MÉTODOS DE CONTROL PRESENTADOS DEPENDERÁN SOBRE TODO DE LAS CONDICIONES LOCALES.

EN SITUACIONES EN QUE EL EMPLAZAMIENTO DE CONTAMINANTES- EN EL SUBSUELO ES INTENCIONAL, LOS MÉTODOS DE CONTROL INVOLU-CRAN MEDIDAS QUE ASEGUREN EL AISLAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES- EN LA BIOSFERA. EXISTEN SEIS PASOS ESCENCIALES PARA ESTE FIN QUE SE PRESENTAN EN ESTE TRABAJO, ELLOS SON:

- LOCALIZACIÓN
- DISEÑO
- CONSTRUCCIÓN
- OPERACIÓN
- MONITOREO
- ABANDONO

### 3.2 CONTAMINACION A PARTIR DE POZOS DE INYECCION DE DE- SECHOS INDUSTRIALES.

EN ESTA SECCIÓN CONSIDERAREMOS LA CONTAMINACIÓN DE AGUA- SUBTERRÁNEA RESULTANTE DE LA INYECCIÓN DE FLUÍDOS HACIA EL SUB-SUELO, LA EXTRACCIÓN DE FLUÍDOS, Y OTROS ASPECTOS DE CONTAMINA-CIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA RESULTANTE DE LA CONSTRUCCIÓN Y USO - DE POZOS.

COMO PRIMER PUNTO TRATAREMOS EL EMPLAZAMIENTO DE DESECHOS INDUSTRIALES POR MEDIO DE INYECCIÓN AL SUBSUELO. ÉSTOS POZOS SON UN DESARROLLO RELATIVAMENTE RECIENTE EN LO QUE CONCIERNE A DISPOSICIÓN DE DESECHOS INDUSTRIALES Y SE VUELVEN MÁS UTILIZADOS A MEDIDA QUE LAS RESTRICCIONES PARA LA DESCARGA DE FLUÍDOS DE DESECHO EN CORRIENTES SUPERFICIALES SE VUELVEN MÁS ERICTAS.

### 3.2.1 POZOS DE INYECCION DE DESECHOS.

LA UTILIZACIÓN DE POZOS PARA LA DISPOSICIÓN SUBTERRÁNEA DE DESECHOS DIÓ COMIENZO EN EL AÑO DE 1928. LA UTILIZACIÓN DE ESTE MÉTODO FUERA DE LA INDUSTRIA PETROLERA FUE PEQUEÑA HASTA LOS AÑOS 60 CUANDO SE EMPEZÓ A PONER ATENCIÓN EN LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES, LO QUE IMPULSÓ A LAS COMPAÑÍAS A BUSCAR OTRAS ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS UNO DE LOS CUALES FUERON LOS POZOS DE INYECCIÓN. EL NÚMERO DE POZOS DE ESTE TIPO EN NUESTRO PAÍS ES RELATIVAMENTE PEQUEÑO, PERO EL VOLUMEN DE DESECHOS INVOLUCRADO Y SU POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS HAN CAUSADO GRAN INQUIETUD. LAS RAZONES TÉCNICAS DE DICHA INQUIETUD SON:

- ALGUNAS DE LAS SUBSTANCIAS QUE ESTÁN SIENDO INYECTADAS CONTIENEN SUBSTANCIAS QUÍMICAS QUE SON RELATIVAMENTE TÓXICAS Y PUEDEN PERMANECER ACTIVAS POR TIEMPO INDEFINIDO EN EL SUBSUELO.

- EL MONITOREO DE EL MEDIO AMBIENTE SUBTERRÁNEO ES CONSIDERABLEMENTE MÁS DÍFICIL EN COMPARACIÓN CON EL MONITOREO EN SUPERFICIE.

- SI EL AGUA SUBTERRÁNEA UTILIZABLE SE CONTAMINARA, LA DESCONTAMINACIÓN DE LA MISMA PODRÍA SER MUY DÍFICIL E INCLUSO IMPOSIBLE.

PODEMOS ENTONCES PREGUNTARNOS ¿POR QUÉ SI EL MÉTODO DE INYECCIÓN DE DESECHOS ENCIERRA TANTOS PELIGROS PARA LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS, ÉSTE MÉTODO SIGUE UTILIZÁNDOSE? SI EXAMINAMOS OTRAS ALTERNATIVAS DISPONIBLES PARA LA DISPOSICIÓN DE AGUAS DE DESECHO CONTENIENDO: SUBSTANCIAS QUÍMICAS INORGÁNICAS DISUELTAS, SUBSTANCIAS QUÍMICAS ORGÁNICAS RELATIVAMENTE NO DEGRADABLES O COMBINACIONES DE ÉSTOS, HALLAMOS QUE HAY LIMITACIONES PARA VERTIRLAS EN EL OCÉANO, EN LA SUPERFICIE, VERTIRLOS EN AGUAS DULCES, ALMACENARLOS, INCINERARLOS, O RECUPERAR LAS SUBSTANCIAS QUÍMICAS PARA SER REUTILIZADAS. DE ESTAS OPCIONES EN ALGUNOS CASOS LA INYECCIÓN AL SUBSUELO ES LA MÁS SATISFACTORIA, SIEMPRE Y CUANDO SE CUMPLA CON LOS REQUISITOS DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.

EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA INYECCIÓN DE DESECHOS QUE SE PUEDE PREVER QUE OCURRAN SON:

- MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA SUBTERRÁNEA.
- INTRODUCCIÓN AL SUBSUELO DE FLUÍDOS CON COMPOSICIÓN QUÍMICA DIFERENTE DE LOS FLUÍDOS NATURALES.

IMPACTOS AMBIENTALES QUE PUEDEN OCURRIR EN CASOS PARTICULARES SON:

- DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.
- CONTAMINACIÓN DE OTROS RECURSOS SUBTERRÁNEOS COMO PETRÓLEO Y CARBÓN.
- ESTIMULACIÓN DE TERREMOTOS.
- REACCIONES QUÍMICAS ENTRE EL AGUA NATURAL Y EL AGUA INYECTADA.
- REACCIÓN QUÍMICA ENTRE EL AGUA DE DESECHO INYECTADA Y LAS ROCAS EXISTENTES.

EL GRADO DE IMPACTO DE ESTOS ÚLTIMOS DEPENDEN DE CADA CASO PARTICULAR.

EL IMPACTO QUE MÁS PREOCUPACIÓN PROVOCA ES LA CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA POTABLE. ÉSTO PUEDE OCURRIR CUANDO UN POZO INYECTA AGUA EN UN ACUÍFERO SALINO, ÉSTO PUEDE PROVOCAR

A) ESCAPE DE AGUA RESIDUAL HACIA UN ACUÍFERO DE AGUA POTABLE DEBIDO A UN ADEME INSUFICIENTE Ó FALLA DE ÉSTE DEBIDO A: CORROSIÓN, PRESIÓN DE INYECCIÓN EXCESIVA, ETC.

B) ESCAPE VERTICAL DEL AGUA INYECTADA, FUERA DEL ADEME DESDE LA ZONA DE INYECCIÓN HACIA ACUÍFEROS DE AGUA UTILIZABLE.

C) ESCAPE VERTICAL DE AGUA RESIDUAL INYECTADA A PARTIR DE LA ZONA DE INYECCIÓN A TRAVÉS DE LAS CAPAS CONFINANTES QUE SON INADECUADAS DEBIDO A SU ALTA PERMEABILIDAD PRIMARIA POR CANALES DE DISOLUCIÓN, FRACTURAS, FALLAS O FRACTURAS INDUCIDAS.

LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DULCE SUBTERRÁNEA PUEDE OCURRIR LATERALMENTE PARTIENDO DE UN ACUÍFERO SALINO HACIA UNA REGIÓN DE AGUA DULCE EN EL MISMO ACUÍFERO. LO MISMO PUEDE OCURRIR CUANDO EL AGUA INYECTADA DESPLAZA EL AGUA DE UNA FORMACIÓN SALINA HACIA UN ACUÍFERO DE AGUA DULCE (INTRUSIÓN SALINA). SI GRANDES VOLUMENES DE AGUA DE DESECHO SON INYECTADOS CERCA DE UNA INTERFASE, COMO OCURRE EN MUCHOS ACUÍFEROS COSTEROS TAMBIÉN DICHA INTERFASE PUEDE SER DESPLAZADA CON EL RESULTADO DE QUE EL AGUA SALINA REEMPLACE EL AGUA DULCE.

EN MUCHOS POZOS EL POTENCIAL CONTAMINANTE PARECE SER PEQUEÑO DEBIDO A LA CONSTRUCCIÓN USADA EN EL POZO O BIEN A LA GRAN DISTANCIA VERTICAL ENTRE LA ZONA DE INYECCIÓN Y LOS ACUÍFEROS.

### 3.2.2 ESTIMULACION DE TERREMOTOS.

LAS CIRCUNSTANCIAS GEOLÓGICAS E HIDROLÓGICAS EN LAS CUALES LOS TERREMOTOS PUEDEN SER ESTIMULADOS POR LA INYECCIÓN DE DESECHOS AL SUBSUELO TODAVÍA NO SON BIEN CONOCIDAS AÚN. EL PRINCIPAL REQUERIMIENTO PARA ELLO ES LA PRESENCIA DE UN SISTEMA DE FALLAS A LO LARGO DEL CUAL EL MOVIMIENTO PUEDE SER INDUCIDO POR LAS PRESIONES DEL AGUA. SE CREE QUE LA INYECCIÓN DE FLUIDOS PUEDE ACTUAR COMO UN "DETONANTE" PARA QUE SEA LIBERADA LA ENERGÍA DE ESFUERZO EXISTENTE.

### 3.2.3 METODOS DE CONTROL

LA SIGUIENTE LISTA DESCRIBE PROCESOS, PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS DE CONTROL PARA POZOS DE INYECCIÓN HACIA ACUÍFEROS. ESTE CONTROL SE BASA PRINCIPALMENTE EN UN APROPIADO EMPLAZAMIENTO, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MONITOREO COMO SE DISCUTE EN

## SUBSECCIONES SUBSECUENTES.

- EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA GEOHIDROLÓGICA Y RESTRICCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS INADECUADOS.
- PROCEDIMIENTOS DE ABANDONO ADECUADOS PARA TODOS LOS POZOS.
- PROGRAMAS DE MONITOREO DE LOS POZOS.
- PROGRAMAS DE MONITOREO DE LOS ACUÍFEROS.

### 3.3 OTROS POZOS

ADEMÁS DE LA INYECCIÓN DE DESECHOS INDUSTRIALES MENCIONADA ANTES EXISTEN OTRAS CLASES DE POZOS QUE SON POSIBLES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA. DICHS POZOS INCLUYEN AQUELLOS QUE SE USAN EN EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, PRODUCCIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA, TRATAMIENTO DE AGUAS, - DESALINIZACIÓN, DISPOSICIÓN DE DESECHOS RADIOACTIVOS Y EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE AGUA.

#### 3.3.1 POZOS EN LA INDUSTRIA DEL PETROLEO.

LOS POZOS SON UTILIZADOS PARA EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS Y PARA INYECCIÓN DE AGUA SALADA TRAÍDA A LA

## SUPERFICIE DURANTE LA PRODUCCIÓN PETROLERA.

LA INYECCIÓN DE DICHAS AGUAS SALADAS ES PARA MANTENER LA PRESIÓN EN EL ALMACENAMIENTO, PARA PROVEER UN AGENTE DESPLAZANTE EN LA RECUPERACIÓN SECUNDARIA, O PARA DISPONER DE ELLAS.

EL DAÑO A LAS AGUAS POTABLES UTILIZABLES PUEDE RESULTAR DE CUALQUIER POZO, INCLUYENDO POZOS DE PRODUCCIÓN PETROLERA, QUE ESTÉN INADECUADAMENTE CEMENTADOS O ADEMADOS. ESTOS POZOS PROVEEN DE VÍAS PARA MOVIMIENTO DE AGUAS ENTRE ACÚFEROS DE AGUA SALADA Y OTROS FLÚIDOS.

EL MECANISMO DE CONTAMINACIÓN A PARTIR DE POZOS PETROLEROS ES EN ESCENCIA EL MISMO QUE EN EL DE INYECCIÓN DE AGUAS DE DESECHO INDUSTRIAL. COMO LAS AGUAS SALADAS SON AGUAS NATURALES Y GENERALMENTE NO CONTIENE SUBSTANCIAS QUÍMICAS QUE SEAN TÓXICAS EN CANTIDADES PEQUEÑAS, PUEDE SER DE POCA IMPORTANCIA COMO CONTAMINANTE DESDE UN PUNTO DE VISTA DE SALUD PÚBLICA. SIN EMBARGO EL ALTO NIVEL DE SÓLIDOS DISUELTOS QUE CONTIENE EN MUCHOS CASOS PRESENTAN UN POTENCIAL DE DEGRADACIÓN DE VOLUMENES CONSIDERABLES DE AGUA SUBTERRÁNEA UTILIZABLE SI LAS AGUAS

SALADAS SON INYECTADAS IRRACIONALMENTE. COMUNMENTE SE CREE -  
QUE LA MAYOR PARTE DEL AGUA SALADA ES REGRESADA A LA MISMA FOR  
MACIÓN GEOLÓGICA DE LA QUE FUE EXTRAÍDA. LA CANTIDAD REAL DE  
AGUA SALADA QUE ES REGRESADA A LA MISMA FORMACIÓN EN COMPARA -  
CIÓN CON AQUELLA INYECTADA EN OTROS HORIZONTES NO SE CONOCE --  
EXACTAMENTE PERO CANTIDADES IMPORTANTES SON INYECTADAS EN - -  
ACUÍFEROS QUE NO HAN SIDO DESPRESURIZADOS POR LA PRODUCCIÓN PE  
TROLERA.

LOS MÉTODOS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE LA INYECCIÓN DE  
AGUA SALADA SON ESCENCIALMENTE LOS MISMOS QUE SE UTILIZAN PARA  
LA INYECCIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

### 3.3.2 POZOS UTILIZADOS PARA EXTRACCION DE MINERALES

POR MUCHOS AÑOS SE HAN UTILIZADO POZOS PARA LA EXTRAC -  
CIÓN DE AZÚFRE, SAL Y OTROS MINERALES POR MEDIO DE LA INYEC -  
CIÓN DE AGUA Y EXTRACCIÓN DE LOS MINERALES EN SOLUCIÓN. EN -  
MUCHOS CASOS EL AGUA SALADA RESULTANTE DE DICHAS OPERACIONES -  
ES INYECTADA AL SUBSUELO. UNA OPERACIÓN SEMEJANTE, MUY PRAC -  
TICADA EN ZONAS EN QUE EXISTEN DEPOSITOS SALINOS ES LA CONS -

TRUCCIÓN DE CAVERNAS DE DISOLUCIÓN PARA ALMACENAMIENTO DE GAS -  
LÍQUIDO. POR MEDIO DE ÉSTE PROCEDIMIENTO EL AGUA ES INYECTADA  
EN LOS ESTRATOS SALINOS DISOLVIENDO LA SAL Y FORMANDO UNA CAVER  
NA, LA SALMUERA RESULTANTE ES BOMBEADA A LA SUPERFICIE Y POSTE  
RIORMENTE INYECTADA EN ACUÍFEROS DISPONIBLES.

UNA PRÁCTICA RELATIVAMENTE NUEVA ES LA EXTRACCIÓN DE ME  
TALES EN SOLUCIÓN, PARTICULARMENTE COBRE, POR MEDIO DE LA INYEC  
CIÓN DE ÁCIDO EN UN YACIMIENTO, OBTENIENDO LA SOLUCIÓN POR ME  
DIO DE BOMBEO Ó FILTRACIÓN. PARA ÉSTE CASO SE PLANEA UN POZO  
DE INYECCIÓN PARA DISPONER DEL ÁCIDO, DESPUÉS DE HABER EXTRAÍDO  
LOS METALES.

LOS PROBLEMAS POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTE  
RRÁNEA PRODUCIDOS POR LA EXTRACCIÓN DE MINERALES Y LAS TÉCNICAS  
PARA PREVENIR DICHA CONTAMINACIÓN SON SIMILARES A AQUELLAS DES  
CRITAS PREVIAMENTE. LA EXTRACCIÓN DE MINERALES METÁLICOS POR  
SOLUCIÓN PRESENTA UN ASPECTO DIFERENTE YA QUE LA DISOLUCIÓN DE  
DICHOS MINERALES PUEDE REALIZARSE EN UN ESTRATO QUE CONTENGA A  
GUA SUBTERRÁNEA UTILIZABLE. EL MINERAL EN SOLUCIÓN PUEDE NEC  
SITAR SER MANEJADO MUY CUIDADOSAMENTE PARA EVITAR LA CONTAMINA

CIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA. LA DISPOSICIÓN DEL ÁCIDO UTILIZADO PARA DISOLVER EL MINERAL SE REALIZA DE MANERA SIMILAR A OTROS DESECHOS LÍQUIDOS QUE SON INYECTADOS AL SUBSUELO.

### 3.3.3 POZOS DE ENERGIA GEOTERMICA.

EN NUESTRO PAÍS ESTA ACTIVIDAD AÚN ESTÁ EN FASE DE DESARROLLO, APROXIMADAMENTE EL 0.2% DEL TOTAL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA SE PRODUCE DE ÉSTA MANERA. LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS PUEDEN CONTENER VAPOR SECO O AGUAS SALADAS CALIENTES PREDOMINANDO ÉSTA ÚLTIMAS. EL VAPOR CONDENSADO Y LAS AGUAS SALADAS FRÍAS SON INYECTADAS A TRAVÉS DE POZOS A LA ESTRUCTURA GEOTÉRMICA. A CAUSA DEL CONTENIDO DE ÓXIGENO DE ÉSTOS, SON ALTAMENTE CORROSIVOS SIENDO NECESARIO USAR MATERIALES ESPECIALES.

LAS NORMAS UTILIZADAS PARA ESTA ACTIVIDAD EN NUESTRO PAÍS SON LAS DESCRITAS POR EL U.S.B.R. (UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION). EN ELLAS SE PROPONEN ALGUNOS DESARROLLOS. EL USBR CONTEMPLA UNA PRODUCCIÓN DE 0.31 MILLONES DE HA/M DE AGUA FRESCA AL AÑO MISMA QUE PODRÍA SER REMPLAZADA POR AGUA MARINA INYECTADA A TRAVÉS DE POZOS EN LA PERIFERIA DEL YACIMIENTO GEO-

TÉRMICO PARA MANTENER LAS PRESIONES EN EL INTERIOR DEL YACIMIENTO EXCLUYENDO ASÍ LA POSIBILIDAD DE ASENTAMIENTOS EN LA SUPERFICIE Y QUE EL NIVEL FREÁTICO DE LA ZONA CIRCUNDANTE BAJE. LAS ALTAS PRESIONES Y EL ALTO NIVEL CORROSIVO DEL FLUÍDO INYECTADO SON UN PROBLEMA PARTICULAR, POR LO QUE "CANCELAR" UN POZO DE PRODUCCIÓN GEOTÉRMICA QUE TENGA ALGÚN DAÑO EN EL ADEME DEL SUBSUELO PUEDE SER DÍFICIL Y AÚN IMPOSIBLE, OCACIONANDO ASÍ QUE EL FLUÍDO INYECTADO PASE A ACÚFEROS DE AGUA DULCE UTILIZABLE CONTAMINÁNDOLA.

### 3.3.4 POZOS PARA INYECCION DE EFLUENTES DE DRENAJE Y PLANTAS DE DESALINIZACION.

OTRA POSIBLE UTILIZACIÓN DE LOS POZOS ES LA INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS (POR EJEMPLO LAS AGUAS PRODUCTO DE TRATAMIENTO TERCIARIO QUE SON INYECTADAS EN EL LAGO DE Texcoco) EN OTROS SITIOS SE INYECTAN EN ACÚFEROS SALINOS. POR OTRO LADO SE HA PROPUESTO QUE SEAN INYECTADAS AGUAS SALADAS PRODUCTO DE PLANTAS DE DESALINIZACIÓN.

LAS TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA INYECCIÓN DE ÉSTAS AGUAS ES SIMILAR A LAS QUE SE HAN PRESENTADO CON ANTERIORIDAD. EL

PROBLEMA PARTICULAR CON ESTE TIPO DE AGUAS DE DESECHO ES EL --  
GRAN VOLÚMEN QUE PUEDE SER PRODUCIDO. EN GENERAL LA DISPOSI-  
CIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE INYECCIÓN HACIA ACÚFE -  
ROS SALINOS PUEDE SER CUESTIONABLE POR AL MENOS DOS RAZONES: -  
ÉL EFLUENTE ES DE UNA CALIDAD MUY ALTA PARA SER DESECHADA Y LA  
CANTIDAD QUE PUEDE SER INYECTADA SIN CAUSAR REPERCUSIONES GEO-  
HIDROLÓGICAS ES MUY PEQUEÑA PARA SER SIGNIFICATIVA EN LA SOLU-  
CIÓN DEL PROBLEMA DEL MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES. BAJO -  
CIERTAS CONDICIONES UN DOBLE BENEFICIO PUEDE SER OBTENIDO DE -  
INYECTAR AGUA DE BUENA CALIDAD PRODUCTO DE TRATAMIENTO DE A -  
GUAS RESIDUALES: DESPLAZAR AGUA SUBTERRÁNEA DE BAJA CALIDAD Y  
CREAR ASÍ UNA RESERVA DE AGUA UTILIZABLE EN ALMACENAMIENTOS --  
SUBTERRÁNEOS.

LA INYECCIÓN DE AGUAS SALADAS PRODUCTO DE PLANTAS DESA-  
LINIZADORAS PUEDE SER EL MÉTODO MÁS DESEABLE DE DISPOSICIÓN DE  
ESTOS RESIDUOS EN LOS CASOS EN QUE LA GEOLOGÍA SEA LA IDEAL Y  
LOS VOLUMENES DE RESIDUOS NO SEAN MUY GRANDES.

### 3.3.5 POZOS DE DISPOSICION DE DESECHOS RADIOACTIVOS.

EL POSIBLE USO DE POZOS PARA DISPONER DE DESECHOS RADIO

ACTIVOS HA SIDO MATERIA DE INVESTIGACIÓN EN OTROS PAISES DESDE LOS AÑOS 50. CON EL INICIO DEL USO DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN NUESTRO PAÍS QUIZÁ EN UN FUTURO CERCANO TAMBIÉN EN NUESTRO PAÍS SE EFECTUE EL USO DE POZOS PARA ESTE FIN HA SIDO LIMITADO (DE HECHO DE TRES POZOS DISEÑADOS PARA ÉSTE FIN SÓLO UNO HA SIDO UTILIZADO). A PESAR DE ELLO, ESTE QUIZÁ SEA EL MEDIO MÁS DE - SEABLE DE MANEJAR LOS RESIDUOS RADIO-ACTIVOS.

PROBLEMAS PARTICULARES RELACIONADOS CON LA INYECCIÓN DE DESECHOS RADIOACTIVOS SON LA POSIBLE TOXICIDAD EXTREMA Y EL CALOR GENERADO POR EL DECAIMIENTO RADIO-ACTIVO.

### 3.3.6 POZOS PARA ALMACENAMIENTO DE GAS.

UN ALMACÉN SUBTERRÁNEO DE GAS PUEDE SER DEFINIDO COMO UN ALMACENAMIENTO DE GAS SINTÉTICO O NATURAL (PERO NO NATIVO DEL ÁREA). EL ALMACENAMIENTO PUEDE SER EN ACUÍFEROS, CAVER - NAS O EN CAVERNAS DE DISOLUCIÓN SALINA. EL GAS PUEDE HALLAR - SE EN FORMA LÍQUIDA O GASEOSA.

LAS MAS GRANDES CANTIDADES DE GAS SON ALMACENADAS EN -- FORMA GASEOSA EN YACIMIENTOS PETROLÍFEROS AGOTADOS O EN ACUÍFE ROS.

LOS CAMPOS DE ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO DE GAS PRESENTÁN UN POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA UTILIZABLE POR MEDIO DE INFILTRACIÓN A TRAVÉS DE LAS CAPAS CONFINANTES, A TRAVÉS DE POZOS ABANDONADOS O A TRAVÉS DE POZOS DE INYECCIÓN DE GAS INADECUADAMENTE ADEMODOS. EL GAS PUEDE TAMBIÉN ESCAPAR DE UN CAMPO CON SOBREPRESIÓN Y MIGRAR LATERALMENTE EN EL ACUÍFERO ALMACÉN EL CUAL MUCHAS VECES CONTIENE AGUA UTILIZABLE. LA FILTRACIÓN DE GAS ES COMÚN PERO COMO EL GAS ES UN RECURSO VALIOSO LAS COMPAÑÍAS QUE HACEN USO DE ESTE TIPO DE ALMACENAMIENTO TIENEN UN FUERTE INTERÉS EN MINIMIZAR DICHAS PÉRDIDAS. PARA LA OPERACIÓN DE ESTOS ALMACENAMIENTOS SE DEBE TENER UN CUIDADOSO ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ASÍ COMO UN AMPLIO PROGRAMA DE MONITOREO DEL FUNCIONAMIENTO DEL MISMO.

### 3.3.7 POZOS DE PRODUCCION DE AGUA.

LA SIMPLE EXISTENCIA DE CUALQUIER TIPO DE POZO TAN POBREMENTE CONSTRUIDO EN EL QUE LOS MATERIALES DE LA SUPERFICIE PUEDAN CAER O RODAR EN EL POZO ES UN PELIGRO POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA. DEBIDO A LA TECNOLOGÍA EMPLEADA LA MAYORÍA DE LOS POZOS DE INYECCIÓN Y LOS POZOS PETROLEROS NO ESTÁN --

TAN POBREMENTE CONSTRUÍDOS. LOS PRINCIPALES PELIGROS PARA EL AGUA SUBTERRÁNEA SON LOS POZOS DE AGUA, ALGUNOS DE LOS CUALES PERMITEN LA INTRODUCCIÓN, DIRECTAMENTE EN LOS ACUÍFEROS AÚN DE ANIMALES MUERTOS, ASÍ COMO AGUA CONTAMINADA PROVENIENTE DE LA SUPERFICIE.

ESTOS PELIGROS OBVIOS TIENEN UNA SOLUCIÓN OBVIA: DEJAR LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS A GENTE EXPERTA EN ELLO PARA REDUCIR AL MÍNIMO EL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN AL AGUA SUBTERRÁNEA. UN MATERIAL IMPERMEABLE DEBE SER EMPLAZADA EN LA BOCA DEL POZO PARA PREVENIR LA INTRODUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL ACUÍFERO.

PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE CONTAMINACIÓN RESULTAN DE:

- \* POZOS QUE ESTÁN CONFINADOS POR GRAVA EN LOS QUE LA GRAVA SE EXTIENDE DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL ACUÍFERO O EL CONFINAMIENTO DE GRAVA SE EXTIENDE HACIA UN ACUÍFERO QUE CONTIENE AGUA MINERALIZADA O CONTAMINADA.

- \* CUANDO AL COLOCAR EL ADEME DENTRO DE EL CONFINAMIENTO DE GRAVA SE DEJA UN CONDUCTO DESDE LA SUPERFICIE HASTA EL ACUÍFERO POR DONDE LAS SUBSTANCIAS CONTAMINANTES PUEDEN LLEGAR HASTA EL ACUÍFERO.

\* SELLADO INSUFICIENTE O ADEMADO IMPROPIO EN POZOS DE AGUA EN FORMACIONES BASALTICAS.

\* MALA LOCALIZACIÓN DE LOS POZOS.

ESTOS PELIGROS TIENEN SU SOLUCIÓN POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE STÁNDARDS ADECUADOS EN SU CONSTRUCCIÓN Y FINALIZACIÓN EFECTUADOS POR PERFORADORES DE POZOS COMPETENTES.

### 3.3.8 POZOS SECOS Y POZOS ABANDONADOS.

LA MAYORÍA DE LOS "POZOS SECOS" NO ESTÁN SECOS. EL TÉRMINO "POZO SECO" REALMENTE INDICA LA EXISTENCIA DE UN AGUJERO EN LA SUPERFICIE PRODUCIDO PARA OBTENER ALGÚN FLUÍDO EN CANTIDADES SATISFACTORIAS PUDIENDO SER PÉTROLEO CRUDO, GAS NATURAL, AGUA O ALGÚN OTRO Y QUE POR ALGUNA U OTRA CAUSA NO SON ECONOMICAMENTE RENTABLES POR LO QUE SON ABANDONADOS DEJANDO ASÍ VÍAS PARA LA INTRODUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL SUBSUELO.

LAS MEDIDAS DE CONTROL DE ÉSTOS POZOS SON SIMILARES A LAS TOMADAS PARA EL CONTROL DE POZOS EN LOS QUE SE HA TENIDO ÉXITO, COMO PUEDE SER EL SELLADO CORRECTO CON ALGUNA SUSTANCIA IMPERMEABLE DE LAS POSIBLES RUTAS DE COMUNICACIÓN Y CONTAMINACIÓN VERTICAL DEL ACUÍFERO.

### 3.4. INFILTRACION.

#### 3.4.1 DE SISTEMAS SÉPTICOS.

##### VISIÓN GENERAL DEL PROBLEMA.

AUNQUE LA MAYORÍA DE LOS POZOS PERFORADOS EN NUESTRO PAÍS SON USADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA DULCE MUCHOS DE ELLOS HAN SIDO Y CONTINUAN SIENDO PARA DISPONER DE CONTAMINANTES INYECTÁNDOLOS EN ACUÍFEROS DE AGUA DULCE. ESTA PRÁCTICA SE SIGUE POR -- EJEMPLO EN LA INDUSTRIAL PETROLERA PARA DISPONER DE AGUA SALADA-- ASOCIADA AL PETRÓLEO CRUDO, ASÍ COMO POR ALGUNAS INDUSTRIAS PARA DISPONER DE DESECHOS QUÍMICOS.

EN OTRAS PARTES POZOS QUE COMUNICAN ACUÍFEROS EXISTENTES-- EN CALIZA HAN SIDO USADOS PARA LA DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUA - LES DOMÉSTICAS. DE MANERA SIMILAR, ALGUNOS EFLUENTES DE AGUAS-- RESIDUALES DOMÉSTICAS SON DESCARGADAS DESDE FOSAS SÉPTICAS HACIA POZOS PERFORADOS EN ROCAS QUE PRESENTAN POROSIDAD, POR EJEMPLO - EL BASALTO. (FIGURA 3.1)

POR AÑOS, MUCHOS POZOS HAN SIDO USADOS PARA INYECTAR AGUA CALIENTE PROVENIENTE DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO HACIA ACUÍFEROS

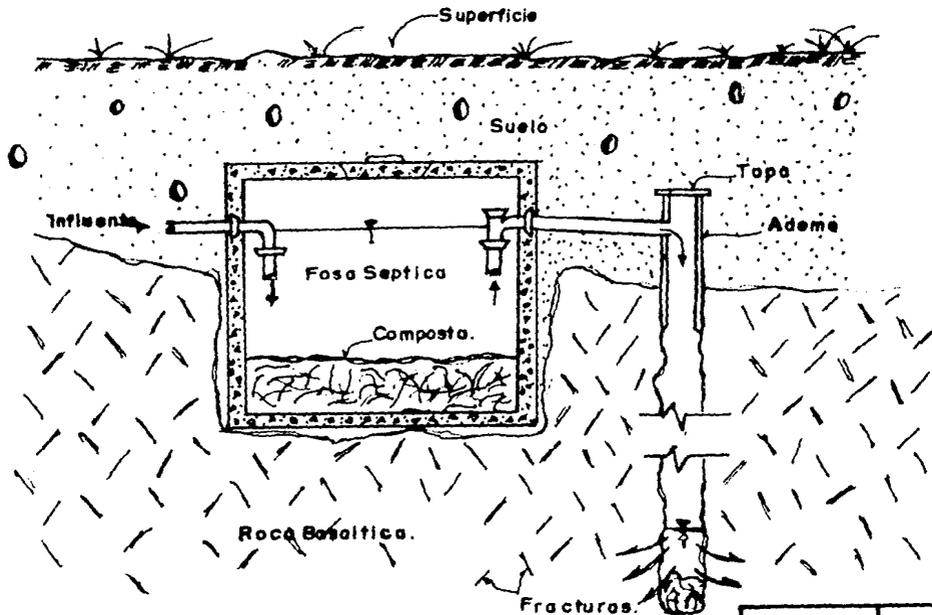


Fig. 3.1

 UNAM	TESIS PROFESIONAL
Diagrama de una fosa Septica.	
Daniel Estrada Martínez	

Fuente: U.S. E. P. A.

## DE AGUA DULCE.

EN AÑOS RECIENTES DEBIDO A LA GRAN ATENCIÓN DE ORGANISMOS DEL GOBIERNO PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES, SE HA PUESTO MAYOR ATENCIÓN A LA POSIBILIDAD DE INYECTAR AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN POZOS PENETRANDO EN ACUÍFEROS DE AGUA DULCE. ALGUNOS DE ESTOS POZOS NO SÓLO RESOLVERÍAN EL PROBLEMA DE LA DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES SINO QUE TAMBIÉN PODRÍA CONTRIBUIR A LA RECARGA DE ACUÍFEROS DE AGUA DULCE O PARA ESTABLECER BARRERAS HIDRÁULICAS CONTRA LA INTRUSIÓN SALINA. ESTOS PROCEDIMIENTOS SON RELATIVAMENTE COSTOSOS DEBIDO A QUE --PREVIAMENTE A SU INYECCIÓN LAS AGUAS RESIDUALES DEBEN RECIBIR --POR LO MENOS UN TRATAMIENTO SECUNDARIO Y DE PREFERENCIA UN TRATAMIENTO TERCIARIO PARA PREVENIR EL TAPONAMIENTO DE LOS POZOS DE INYECCIÓN Y PARA REDUCIR LA POSIBILIDAD DE CONTAMINACIÓN DE EL ACUÍFERO EN QUE ESTÁ SIENDO INYECTADA.

LA MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD ORIGINAL DEL AGUA EN EL ACUÍFERO DEBIDO A LA DISPOSICIÓN SUBTERRÁNEA DE DESECHOS A TRAVÉS DE POZOS DEPENDE DE UNA GRAN VARIEDAD DE FACTORES QUE INCLUYEN: LA COMPOSICIÓN DEL AGUA DEL ACUÍFERO, LA CANTIDAD Y COMPO-

SICIÓN DEL FLUÍDO INYECTADO, LA PERMEABILIDAD EN EL ACUÍFERO, EL TIPO DE POZO, Y LAS CLASES DE DEGRADACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA QUE PUEDAN TENER LUGAR ENTRE EL SITIO DE INYECCIÓN Y EL ACUÍFERO.

EN GENERAL POR RAZONES ECONÓMICAS LOS POZOS UTILIZADOS PARA LA DISPOSICIÓN DE LIQUIDOS CONTAMINADOS EN ACUÍFEROS DE AGUA DULCE SE PERFORAN HASTA EL ACUÍFERO MAS SOMERO DISPONIBLE COMUNMENTE HASTA EL NIVEL FREÁTICO UNICAMENTE. OTROS SIN EMBARGO SON DISEÑADOS PARA DESCARGAR EN ACUÍFEROS CONFINADOS MUY PROFUNDOS.

#### CONSECUENCIAS EN EL AMBIENTE.

EN PRINCIPIO LA INYECCIÓN DE LÍQUIDOS CONTAMINADOS A TRAVÉS DE POZOS HACIA ACUÍFEROS DE AGUA DULCE PROVOCA LA DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS PROXIMIDADES DEL POZO. EVENTUALMENTE DICHA DEGRADACIÓN SE ESPARCE EN UNA REGIÓN MÁS AMPLIA Y PUEDE EXTENDERSE HACIA AGUAS SUPERFICIALES QUE ESTÁN HIDRAULICAMENTE COMUNICADOS CON EL ACUÍFERO RECEPTOR.

SI LOS CONOS DE ABATIMIENTO DE POZOS DE EXPLOTACIÓN DE A  
GUA SON LO SUFICIENTEMENTE GRANDES COMO PARA INCLUIR AL SITIO -  
DE INYECCIÓN O SI LOS POZOS ESTÁN GRADIENTE ABAJO, A LO LARGO -  
DE LAS LÍNEAS DE FLUJO NATURAL, DEL SITIO DE INYECCIÓN, ENTON -  
CES TENDRÁ LUGAR LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DE DICHS POZOS. U  
TRO EFECTO POTENCIAL EN ALGUNOS MEDIO AMBIENTES GEOHIDROLÓGICOS  
ES EL MOVIMIENTO O MIGRACIÓN DEL AGUA CONTAMINADA DESDE LA ZONA  
DE INYECCIÓN HACIA ACUÍFEROS DE AGUA DULCE SOBROYACENTES O SU  
PRAYACENTES.

#### NATURALEZA DE LOS CONTAMINANTES.

LAS PRINCIPALES CLASES DE FLUIDOS CONTAMINADOS QUE SON -  
INTENCIONALMENTE INYECTADOS A TRAVÉS DE POZOS DENTRO DE ACUÍFE -  
ROS DE AGUA DULCE SON PRINCIPALMENTE PROVENIENTES DE AGRICULTU -  
RA, MINERÍA, AGUA DE ENFRIAMIENTO, AGUAS RESIDUALES, DRENAJES -  
PLUVIALES Y DESECHOS INDUSTRIALES.

EN EL CASO DEL AGUA PARA ENFRIAMIENTO QUE ES REGRESADA -  
AL MISMO ACUÍFERO DE LA QUE HA SIDO BOMBEADA, LA CALIDAD DE LA  
MISMA NO SE VE AFECTADA EXCEPTO POR ALGÚN INCREMENTO EN LA TEM -  
PERATURA. EL INCREMENTO DE SOLUBILIDAD DE EL MATERIAL DE LOS

ACUÍFEROS DEBIDO AL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA ES INSIGNIFICANTE, EXCEPTO EN AQUELLOS ACUÍFEROS QUE SE ENCUENTRAN EN FORMACIONES DE CARBONATOS. EN OTROS CASOS, AGENTES EXTERNOS TAL COMO - LOS COMPUESTOS COMPLEJOS BASADOS EN POLI-FOSFATOS QUE SON AGREGADOS AL AGUA COMO INHIBIDORES DE LA OXIDACIÓN PUEDEN CONVERTIRSE EN FUENTES DE CONTAMINACIÓN PARA UN ACUÍFERO.

EL DRENAJE DOMÉSTICO DEL CUAL SE DISPONE DENTRO DE UN POZO DOMÉSTICO ES UN DESECHO ALTAMENTE CONTAMINANTE YA QUE CONTIENE SUSTANCIAS ORGÁNICAS E INORGÁNICAS, BACTERIAS Y VIRUS. DICHO DRENAJE PUEDE RECIBIR UN PEQUEÑO TRATAMIENTO NATURAL DURANTE SU PASO A TRAVÉS DE LAS FOSAS SÉPTICAS QUE INCLUYE EL ASENTAMIENTO DE SÓLIDOS, ALGUNA DEGRADACIÓN BIOQUÍMICA DE LOS DESECHOS Y LA FILTRACIÓN DE PARTE DE LA GRAN POBLACIÓN BACTERIANA. POR OTRO LADO, LA CALIDAD DEL EFLUENTE DEL DRENAJE MUNICIPAL LIBERADO PARA SU DISPOSICIÓN EN POZOS DEPENDE DEL GRADO DE TRATAMIENTO ANTES DE SU DISPOSICIÓN FINAL Y DE LA FUENTE DE LOS DESECHOS. EL DRENAJE MUNICIPAL CONSISTE PRINCIPALMENTE DE DESECHOS DOMÉSTICOS CON UN ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS, INCLUYENDO CONSTITUYENTES DEL CICLO DEL NITRÓGENO, FOSFATOS, SULFATOS, CLORUROS, Y

DETERGENTES (SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO Ó SAAM).

EN ALGUNAS POBLACIONES EL DRENAJE MUNICIPAL CONTIENE CANTIDADES SUSTANCIALES DE DESECHOS INDUSTRIALES. LOS DIFERENTES GRADOS DE TRATAMIENTO PUEDEN REMOVER O REDUCIR LAS CONCENTRACIONES DE CIERTOS CONSTITUYENTES, PERO AÚN CON LAS MÁS AVANZADAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MUCHOS DE LOS SÓLIDOS DI - SUELTOS, ALGUNAS DE ELLOS METALES PESADOS, PERMANECE EN LOS DE - SECHOS.

LA CALIDAD QUÍMICA DE AGUAS DE TRATAMIENTO TERCIARIO -- AGUA SUBTERRÁNEA NATURAL Y DE AGUA RECOBRADA EN POZOS DE OBSER - VACIÓN SE MUESTRAN EN LA TABLA 3.1 LAS CONCENTRACIONES DE AMO - NIACO, HIERRO, FOSFATOS, SULFATOS Y OTROS CONSTITUYENTES, ASI - COMO EL CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS SON SIGNIFICATIVAMENTE - MÁS ALTAS QUE AQUELLAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA NATURAL. EN EL -- ANÁLISIS REALIZADO EN EL AGUA RESIDUAL TRATADA NO SE BUSCARON - METALES PESADOS VIRUS U OTROS CONSTITUYENTES NOCIVOS. EL BAJO CONTEO DE BACTERIAS EXISTENTE EN EL AGUA RESIDUAL TRATADA FUE - BAJO DEBIDO A LA GRAN CANTIDAD DE CLORO AGREGADA ANTES DE LA IN - YECCIÓN.

EL AGUA DE LLUVIA GENERALMENTE TIENE UN BAJO CONTENIDO - DE SÓLIDOS DISUELTOS. SIN EMBARGO, AL CAER EN LA TIERRA EL AGUA DE LLUVIA PUEDE SER CONTAMINADA CON EXCREMENTO ANIMAL, PESTICIDAS, FERTILIZANTES, COMPUESTOS ORGÁNICOS PROVENIENTES DE LA COMBUSTIÓN DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO, HULE DE LLANTAS, BACTERIAS, VIRUS Y OTROS CONTAMINANTES.

LOS DESECHOS INDUSTRIALES INYECTADOS POR MEDIO DE POZOS VARÍAN MUCHO EN COMPOSICIÓN Y TOXICIDAD, DEPENDIENDO DE EL TIPO DE INDUSTRIA Y EL GRADO DE TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS ANTES DE SU DISPOSICIÓN FINAL.

### MOVIMIENTO DE LA CONTAMINACION

EN PRINCIPIO, CUALQUIER POZO QUE PRODUCE AGUA PODRÍA TAMBIÉN ACEPTARLA. EL GRADO DE ACEPTACIÓN DEPENDE DE LA NATURALEZA DEL FLUÍDO INYECTADO, LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS EXISTENTES EN EL ACUÍFERO Y OTROS FACTORES. EN ALGUNOS POZOS QUE PENETRAN - ACUÍFEROS MUY PERMEABLES EL AGUA PUEDE SER INTRODUCIDA POR GRAVEDAD EN CANTIDADES QUE PUEDEN SER DE VARIAS DECALITROS POR SEGUNDO O MÁS SIN CAUSAR SOBREFLUJOS. EN CONTRASTE, UN POZO PENETRANDO UN ACUÍFERO MUY POBRE PUEDE ACEPTAR SÓLO UNA FRACCIÓN DE

UN LITRO POR SEGUNDO INYECTADO POR GRAVEDAD. SOLAMENTE INSTALANDO BOMBAS PARA INYECTAR ESE FLUÍDO A PRESIÓN DICHA CANTIDAD PUEDE SER AUMENTADA.

LA CANTIDAD DE FLUIDO INYECTADO ESTÁ DETERMINADA POR LA POROSIDAD, LA PERMEABILIDAD Y EL ESPESOR DEL ACUÍFERO, LA PROFUNDIDAD A LA QUE SE ENCUENTRE EL NIVEL NATURAL DE EL AGUA EN ESE POZO, EL DIÁMETRO DEL POZO Y LA COMPATIBILIDAD QUÍMICA DEL FLUÍDO INYECTADO CON EL AGUA SUBTERRÁNEA NATURAL. SI EL FLUÍDO QUE ESTÁ SIENDO INYECTADO CONTIENE MATERIALES EN SUSPENSIÓN O BURBUJAS DE AIRE PUEDE CAUSARSE UN RÁPIDO TAPONAMIENTO DEL ACUÍFERO LO QUE CAUSARÍA QUE LA CANTIDAD DE FLUÍDO INYECTADO DECRECIERA PRONUNCIADAMENTE.

EL CRECIMIENTO DE COLONIAS DE CIERTAS CLASES DE BACTERIA Y LA FORMACIÓN DE PRECIPITADOS QUÍMICOS ENTRE EL POZO Y EL ACUÍFERO ADYACENTE TAMBIÉN PUEDE INTERFERIR CON LA INYECCIÓN.

EN EL CASO DE UN ACUÍFERO A NIVEL FREÁTICO OTRA DE LAS LIMITACIONES PARA LA CANTIDAD DE FLUÍDO INYECTADO ES QUE AL INDUCIR UN AUMENTO DEL NIVEL DEL AGUA SE PUEDE CAUSAR QUE EL FLUÍDO LLEGUE A LA SUPERFICIE.

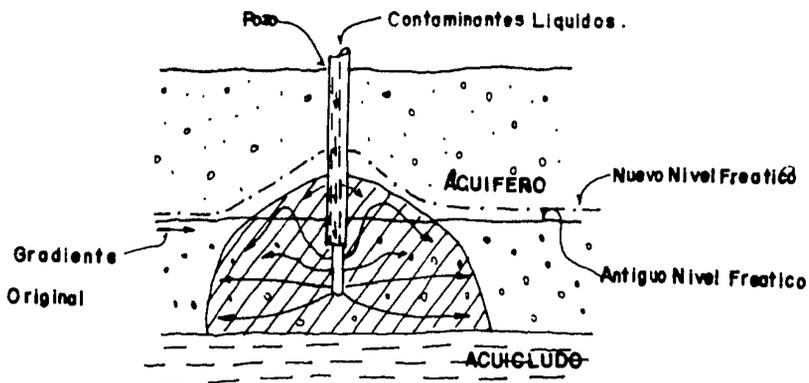
LA INYECCIÓN DE UN FLUIDO POR MEDIO DE UN POZO PUEDE CAUSAR DOS EFECTOS EN EL ACUÍFERO:

- A) CREAR UN "DOMO" DE AGUA SUBTERRÁNEA LOCAL EN ACUÍFEROS SEMICONFINADOS.
- B) CREAR UN "DOMO" DE PRESIÓN EN UN ACUÍFERO CONFINADO.

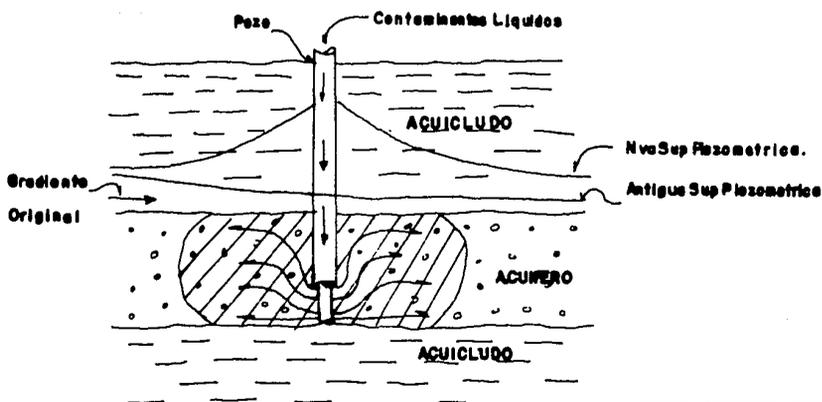
ESTOS "DOMOS" SON ESCENCIALMENTE IMAGENES SIMÉTRICAS DE LOS CONOS DE ABATIMIENTO QUE SE ORIGINAN ALREDEDOR DE POZOS DE BOMBEO EN LOS MISMOS TIPOS DE ACUÍFEROS. LA CONFIGURACIÓN DE ÉSTOS "DOMOS" ES GENERALMENTE SIMÉTRICA, PRESENTANDO EL PUNTO MÁXIMO DEL NIVEL DEL AGUA EN EL POZO.

EN LA FIGURA 3.2 SE MUESTRAN ALGUNAS FORMAS HIPOTÉTICAS DE CUERPOS DE AGUA CONTAMINADOS EN ACUÍFEROS CONFINADOS Y SEMICONFINADOS. PARTIENDO DE ÉSTAS FORMAS SE PUEDE INFERIR DONDE LA LITOLÓGIA DEL ACUÍFERO NO ES UNIFORME Y DONDE EL FLUJO NATURAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA ES MÁS RÁPIDO.

DESPUÉS DE QUE HA ENTRADO EN LA ZONA DE SATURACIÓN EL FLUIDO INYECTADO EMPIEZA A MOVERSE RADIALMENTE A PARTIR DEL POZO, DESPLAZANDO EL AGUA SUBTERRÁNEA NATURAL DE SU TRAYECTORIA Y



A. ACUIFERO LIBRE



B. ACUIFERO CONFINADO



TESTS PROFESIONAL

FIG. 3.2 Forma Hipotética de Damos.

DANIEL ÉSTRADA MARTINEZ

CREANDO UNA ZONA DE AGUA MEZCLADA A LO LARGO DEL PERÍMETRO DEL CUERPO DE AGUA CONTAMINADA.

EL AGUA CONTAMINADA SE MUEVE LENTAMENTE SIGUIENDO EL GRADIENTE HIDRÁULICO HACIA UN PUNTO DE DESCARGA EL CUAL PUEDE SER UN POZO, UN MANANTIAL O UN CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL. SI LOS POZOS DE INYECCIÓN SUFREN DE FILTRACIONES DEBIDO A CORROSIÓN, FALLAS EN EL ADEME O CONSTRUCCIÓN DEFICIENTE EL AGUA CONTAMINADA PUEDE MOVERSE A ACUÍFEROS DE AGUA, DULCE SITUADAS ARRIBA O ABAJO DE LA ZONA DE INYECCIÓN.

#### EJEMPLO DE USO DE POZOS DE INYECCION.

DESDE EL AÑO DE 1965 SE HACEN ESTUDIOS DE RECARGA DE ACUÍFEROS CON AGUAS RESIDUALES CON TRATAMIENTO TERCIARIO CON LA FINALIDAD DE CREAR UNA BARRERA HIDRÁULICA CONTRA LA INTRUSIÓN SALINA.

CONSISTE DE UN POZO DE INYECCIÓN ESPECIALMENTE CONSTRUÍDO DE 146 MTS. DE PROFUNDIDAD, CON ADEME DE FIBRA DE VIDRIO Y REJILLA DE ACERO INOXIDABLE, SE PERFORARON ADEMÁS POZOS DE PRUEBA A PROFUNDIDADES DE 30 A 200 MTS. PARA INVESTIGAR LAS VARIA

CIONES HIDRÁULICAS Y GEOQUÍMICAS ASOCIADAS CON LA INYECCIÓN DE AGUA RESIDUAL TRATADA HACIA UN ACUÍFERO CONFINADO UTILIZADO PARA EL SUMINISTRO MUNICIPAL DE AGUA POTABLE.

EL AGUA INYECTADA SE MOVÍA RADIALMENTE A PARTIR DEL POZO Y SE DETECTÓ EN POZOS DE PRUEBA A UNA DISTANCIA DE HASTA 60 MTS. COMO SE MUESTRA EN LA TABLA 3.1 CONCENTRACIONES SIGNIFICATIVAMENTE ALTAS DE HIERRO, AMONIACO, SULFATOS, CLORUROS, SODIO Y OTROS CONSTITUYENTES DISUELTOS ESTUVIERON PRESENTES EN EL AGUA A DISTANCIAS DE 6.1 Y 30.5 MTS., DICHAS CONCENTRACIONES FUERON MUCHO MÁS ALTAS QUE EN EL AGUA EN ESTADO NATURAL. LAS BACTERIAS FUERON APARENTEMENTE FILTRADAS CERCA DE LOS 6.1 MTS. EN OTROS EXPERIMENTOS CON AGUA RESIDUAL CON TRATAMIENTO TERCIARIO QUE FUE INYECTADA A PROFUNDIDADES DE 30 A 100 MTS SE OBSERVA QUE DESPUÉS DE 150 M. AVANZADOS, EL AGUA ESTABA LIBRE DE BACTERIAS Y SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL AMONIACO SE HABÍA REDUCIDO SUSTANCIALMENTE.

SIN EMBARGO LA DUREZA Y ALCALINIDAD DEL AGUA SE INCREMENTÓ, EL AGUA TENÍA UN FUERTE OLOR Y SABOR Y EL CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS EXCEDIÓ LOS 1000 MG/L.

## MÉTODOS DE CONTROL.

EN LOS SITIOS EN QUE LA INYECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES SE ESTÁ REALIZANDO O SE PROYECTA, LA PRIMERA MEDIDA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN POTENCIAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA ES REALIZAR UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO. ESTE DEBE INCLUIR:

- A.- DEFINICIÓN DEL MEDIO AMBIENTE GEOHIDROLÓGICO, ASÍ COMO LOS FACTORES QUE AFECTAN EL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA.
- B.- SE DEBEN LOCALIZAR LOS POZOS EXISTENTES Y EN PROYECTO.
- C.- LAS DIRECCIONES Y DISTANCIAS DE MOVIMIENTO DEL FLUJO POTENCIALMENTE CONTAMINANTE DEBEN SER AVERIGUADOS PARA PODER ESTIMAR CUANTO TIEMPO PASARÁ PARA QUE EL AGUA CONTAMINADA LLEGUE A POZOS CERCANOS.
- D.- SE DEBEN REALIZAR ESTUDIOS PARA DETERMINAR LA POSIBILIDAD DE MOVIMIENTOS INTRA ACUÍFERO Y MOVIMIENTOS INTERACUÍFEROS DEL AGUA INYECTADA
- E.- SE DEBE RECOPIRAR INFORMACIÓN ACERCA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL; EL GRADO DE TRATAMIENTO REQUERIDO Y LA POSIBLE COMPATIBILIDAD DE LOS FLUIDOS TRATADOS CON EL AGUA SUBTERRÁNEA NATURAL.
- F.- SE DEBE EVALUAR LA LOCALIZACIÓN DE LOS POZOS DE IN-

YECCIÓN ASÍ COMO LA CANTIDAD DE INYECCIÓN.

G.- TAMBIÉN SE DEBE CONSIDERAR EL USO FUTURO DEL SUELO --  
EN LOS SITIOS DE LOCALIZACIÓN DE POZOS.

EN LUGARES DONDE LA AMENAZA DE CONTAMINACIÓN DE AGUA POTABLE DE ORIGEN SUBTERRÁNEO ES SEVERA, SE DEBEN TOMAR MEDIDAS PARA BLOQUEAR EL FLUJO SUBTERRÁNEO DE LOS RESIDUOS O DE HECHO DE SACARLOS - POR MEDIO DEL BOMBEO. BLOQUEAR EL FLUJO DE LOS CONTAMINANTES PUEDE CONSEGUIRSE MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE BARRERAS FÍSICAS SUBTERRÁNEAS AUNQUE ESTO NO ES UNA SOLUCIÓN ECONÓMICAMENTE REALIZABLE EN LA MAYORÍA DE LOS MEDIO AMBIENTES GEOHIDROLÓGICOS. LA DESVIACIÓN DEL FLUJO POR MEDIO DE LA CREACIÓN DE UNA BARRERA HIDRÁULICA ES OTRA SOLUCIÓN QUE PUEDE SER IMPLEMENTADA EN MUCHOS LUGARES.

ESTO PUEDE LOGRARSE INYECTANDO AGUA DULCE POR MEDIO DE POZOS INSTALADOS A LO LARGO DE LA RUTA DEL FLUJO.

LA ALTERNATIVA DE LA DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE INYECCIÓN DEBE SER ESTUDIADA EXHAUSTIVAMENTE. UNA CUIDADOSA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS SE REQUIERE PARA EVITAR TOMAR MEDIDAS QUE PUEDAN TENER OTRAS Y QUIZA MÁS DAÑINAS, CONSECUENCIAS. ASÍ -- MISMO DEBE DISEÑARSE E IMPLEMENTARSE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA ASEGURAR UNA VIGILANCIA CONSTANTE DEL AGUA CONTAMINADA.

### 3.4.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

AL CONTRARIO DE LAS EXCAVACIONES USADAS EN SISTEMAS SÉPTICOS O EN RELLENOS SANITARIOS, LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN ESTÁN GENERALMENTE EN CONTACTO CON LA ATMÓSFERA, AUNQUE EN ALGUNAS OCASIONES LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN ESTÁN BAJO TECHO. ALGUNAS SON PROYECTADAS PARA DESCARGAR LÍQUIDOS AL SUELO Y DE AHÍ AL AGUA SUBTERRÁNEA. OTRAS SON DISEÑADAS PARA SER IMPERMEABLES. LAS PRIMERAS SON ENTONCES ESTRUCTURAS NO IMPERMEABILIZADAS SITUADAS EN SUPERFICIES CON BUENA INFILTRACIÓN; Y LAS SEGUNDAS SON ESTRUCTURAS CON ALGÚN TIPO DE IMPERMEABILIZANTE COMO PUEDE SER: ARCILLA COMPACTADA, CONCRETO, ASFALTO, METAL Ó MEMBRANAS PLÁSTICAS. ENTONCES YA SEA POR DISEÑO O POR ACCIDENTE ESTE TIPO DE ESTRUCTURAS PONE EN PELIGRO LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN ESTÁN ADAPTADAS PARA UN AMPLIO RANGO DE USOS MUNICIPALES E INDUSTRIALES INCLUYENDO ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

POR EJEMPLO UNA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN PUEDE SERVIR COMO UN GRAN TANQUE SÉPTICO PARA AGUAS CRUDAS.

LOS DATOS PARA EVALUAR EL PROBLEMA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN MUNICIPALES E INDUSTRIALES EN RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA AÚN NO HAN SIDO ANALIZADAS. SE HAN LOCALIZADO CASOS EN LOS CUALES CONTAMINANTES PROCEDENTES DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN HAN CREADO PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN LOCAL. PARA DETERMINAR EL GRADO EN EL CUAL LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN HACEN QUE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA BAJE REQUIERE DE UN EXTENSO ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO ASÍ COMO DEL USO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

LA PERSPECTIVA ACTUAL ES QUE SE REQUIERE DE UNA APRECIACIÓN MÁS EFECTIVA DEL PROBLEMA CON EL PASO DEL TIEMPO, LO ANTERIOR DEBIDO A:

\* LA CRECIENTE RENUENCIA DE LAS DEPENDENCIAS PROTECTORAS DEL AMBIENTE A PERMITIR LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES, REQUIRIENDOSE LUGARES EN QUE SE PUEDA DISPONER SUBTERRANEAMENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES O LA CREACIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA ADQUIRIR UNA CALIDAD ACEPTABLE EN EL EFLUENTE.

\* LA CRECIENTE TENDENCIA DE REQUERIR A LAS INDUSTRIAS QUE

PROCESAN SUS AGUAS RESIDUALES ANTES DE DESCARGARLAS EN EL DRENAJE - MUNICIPAL, CREANDO ASÍ UNA NECESIDAD MAYOR DE USAR LAGUNAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS Ó PARA ALMACENAR LAS AGUAS RESULTANTES DE DI - CHO TRATAMIENTO.

AMBAS CONDICIONES SUGIEREN LA NECESIDAD DE CONTROLAR LAS -- VÍAS POR LAS CUALES LOS CONTAMINANTES PODRÍAN MOVERSE DE LAS LAGU - NAS AL AGUA SUBTERRÁNEA ASÍ COMO DE MONITOREAR LA EFECTIVIDAD DE -- LAS MEDIDAS DE CONTROL.

#### POTENCIAL DE PELIGRO A LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

EL POTENCIAL DE DEGRADAR LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA - ES ESCENCIALMENTE EL MISMO QUE EN LOS SISTEMAS SÉPTICOS. UN EXÁMEN DE LA LITERATURA EXISTENTE INDICA QUE UN SUELO QUE ESTÁ CONTÍNUAMEN TE INUNDADO REDUCE LA POROSIDAD HASTA QUE LA CANTIDAD DE INFILTRA - CIÓN SE REDUCE CONSIDERABLEMENTE BAJO LA MÍNIMA ACEPTABLE. SI EL NIVEL FREÁTICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA ESTÁ MUY CERCANO AL FONDO DE LA LAGUNA UNA COLUMNA DE AGUA ESTARÁ UNIENDO AMBOS CUERPOS DE AGUA SOS TENIDA POR TENSION SUPERFICIAL Y EL SUELO NO DRENARÁ. EL CERRAMIENTO DE LOS POROS CONTINUARÁ INDEFINIDAMENTE AÚN CUANDO NO SE AGREGUE MÁS LÍQUIDO AL SISTEMA.

UN CAMPO DE OXIDACIÓN DISEÑADO PARA DESCARGAR UN EFLUENTE HACIA EL AGUA SUBTERRÁNEA, DEBE SER CARGADO Y VACIADO INTERMITENTEMENTE PARA PODER ASEGURAR UNA CANTIDAD ADECUADA DE RECARGA. -- POR OTRO LADO SI AISLAR EL CONTENIDO DE LA LAGUNA DE EL AGUA SUBTERRÁNEA ES OBJETO DEL SISTEMA UNA CANTIDAD BAJO DE INFILTRACIÓN PUEDE AÚN IMPLICAR UNA CANTIDAD INDESEABLE DE AGUA CONTAMINADA -- TRASPASANDO LA INTERFASE SUELO-AGUA.

LOS CONTAMINANTES TRANSPORTADOS POR EL AGUA QUE PERCOLA A PARTIR DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN SON LOS MISMOS DESCRITOS PARA TANQUES SÉPTICOS. LOS LÍQUIDOS QUE PERCOLAN DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN USADAS INDUSTRIALMENTE TIENEN UN MAYOR POTENCIAL DE CONTAMINAR EL AGUA SUBTERRÁNEA QUE LA DEL AGUA DOMÉSTICA. LOS CROMATOS, LA GASOLINA, LOS FENOLES, Y OTROS QUÍMICOS HAN SIDO OBSERVADOS VIAJANDO GRANDES DISTANCIAS A TRAVÉS DEL AGUA QUE PERCOLA. LOS LÍQUIDOS ALMACENADOS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN INDUSTRIALES PUEDEN CONTENER AGUA SALADA, COMPUESTOS DEL ARSÉNICO, METALES PESADOS, ÁCIDOS, PRODUCTOS DERIVADOS DE LA GASOLINA, FENOLES, SUBSTANCIAS RADIOACTIVAS Y MUCHOS OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS.

DONDE LAS ÁREAS DE ALMACENAMIENTO HAN SIDO MUY UTILIZADAS Y LA INFILTRACIÓN A TRAVÉS DE LAS FRONTERAS HA TENIDO LUGAR, LA -

CANTIDAD DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PUEDE SER IMPORTANTE Y EL "PENACHO" DE LÍQUIDO CONTAMINADO PUEDE HABER VIAJADO GRANDES DISTANCIAS CON EL AGUA QUE HA PERCOLADO. EN ALGUNOS CASOS LA PRIMERA SEÑAL DE CONTAMINACIÓN EXTENSIVA DEL AGUA SUBTERRÁNEA ES CUANDO EL "PENACHO" DE AGUA CONTAMINADA ALCANZA UN ÁREA DE DESCARGA NATURAL EN UN CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL NOTÁNDOSE ENTONCES LA CONTAMINACIÓN.

UN EJEMPLO DEL DESTINO Y LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES DE LA INFILTRACIÓN DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN QUE CONTENÍA EFLUENTE DE UNA PLANTA METALÚRGICA ES PRESENTADO POR PERLMUTTER Y LIEBER (1970):

"LOS DESECHOS DE UNA PLANTA DE METALURGIA QUE CONTENÍAN CADMIO Y CROMO HEXAVALENTE CONTENIDO EN UNA LAGUNA DE ALMACENAMIENTO SE INFILTRÓ HACIA UN ACUÍFERO GRACIAL AL SURESTE DE NASSAU COUNTY, NEW YORK.

LA INFILTRACIÓN FORMÓ UN "PENACHO" DE AGUA CONTAMINADA DE MÁS DE 1200 M. DE LARGO, 300 METROS DE ANCHO Y CASI 20 M. DE ESPESOR. UNA PARTE DEL AGUA CONTAMINADA ESTABA SIENDO DESCARGADA EN UN PEQUEÑO MANANTIAL QUE DRENA EL ACUÍFERO. LA CONCENTRACIÓN MÁXIMA OBSERVADA DE CROMO HEXAVALENTE EN EL AGUA SUBTERRÁNEA FUE DE 40 MG/L

Y DE CADMIO EL MÁXIMO OBSERVADO FUE DE 10 MG/L\*.

EN OTRO CASO EN NEW JERSEY, E.U.A. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN CONSTRUÍDAS SOBRE ESTRATOS DE GRAVA Y ARENA VERTIERON MÁS DE 75 000 M<sup>3</sup> DE AGUA CONTAMINADA EN LOS 6 METROS SUPERIORES DE UN -- ACUÍFERO EN UN PERIÓDO DE ALGUNOS AÑOS. EL AGUA CONTAMINADA CON TENÍA ALTAS CONCENTRACIONES DE FENOLES, CROMO, ZINC Y NÍQUEL.

#### MÉTODOS DE CONTROL.

LA PRIMERA MEDIDA DE CONTROL PARA EL AGUA SUBTERRÁNEA ES APLICAR TODOS LOS CONOCIMIENTOS DISPONIBLES PARA SU LOCALIZACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN. LA INGENIERÍA Y LA HIDROLOGÍA DEBERÁ IMPE DIR LA CONSTRUCCIÓN DE ÉSTOS SISTEMAS DIRECTAMENTE EN EL ACUÍFERO REQUERIRÁ LA DISTANCIA ADECUADA ENTRE LA SUPERFICIE DE INFILTRA - CIÓN Y EL NIVEL FREÁTICO PARA PERMITIR EL DRENAJE ASÍ COMO PROHI - BIR LA CONSTRUCCIÓN SOBRE ESTRATOS FALLADOS O FRACTURADOS.

OTROS MÉTODOS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUB TERRÁNEA A PARTIR DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN SON:

\* EL PRETRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PARA REMOVER POR LO ME - NOS, LOS PRODUCTOS QUÍMICOS TÓXICOS.

• IMPERMEABILIZAR LAS FRONTERAS DE LAS LAGUNAS QUE CONTENGAN FLUIDOS NOCIVOS. ESTA ES LA TÉCNICA PRINCIPAL DE CONTROL RECOMENDADA POR LAS AGENCIAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL.

• EL USO DE "POZOS BARRERA" EN EL CUAL SE BOMBEE EL "PENACHO" DE AGUA CONTAMINADA PROVENIENTE DE LAGUNAS DONDE LA INFILTRACIÓN HA OCURRIDO. ESTOS POZOS HAN SIDO USADOS EXITOSAMENTE PERO PUEDEN SER CAROS DE INSTALAR Y OPERAR. EL AGUA RETIRADA DEBE SER TRATADA ANTES DE SU DISPOSICIÓN FINAL.

• PROHIBIR EL USO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

#### TECNICAS DE MONITOREO.

LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN REPRESENTAN FUENTES DE CONTAMINACIÓN QUE PUEDEN SER SIGNIFICATIVAS EN LA DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA. DE AHÍ QUE, UN PROGRAMA DE MONITOREO QUE INVOLUCRE POZOS DE OBSERVACIÓN ES UNA POSIBLE SOLUCIÓN.

OTRA TÉCNICA DE MONITOREO PUEDE SER EL MUESTREO Y EVALUACIÓN PERIÓDICA EN POZOS EXISTENTES, SELECCIONADOS POR SU POTENCIAL DE REVELAR LA CALIDAD NATURAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y LA CONTAMINACIÓN DE LA MISMA.

T A B L A N° 3.1

TABLA COMPARATIVA DE LA CALIDAD  
DEL AGUA SUBTERRANEA NATURAL Y  
DE TRATAMIENTO TERCIARIO INYECTADA

CONSTITUYENTE	AGUA CON TRATAMIENTO TERCIARIO (mg/l)	AGUA SUBT. NATURAL (mg/L)	AGUA RECUPERADA EN POZOS DE OBSERVACION	
			PROF 146 M DIST. 6.1M	PROF 140 M DIST. 30 M
Hierro	0.24	0.6	0.91	1.30
CO2 Libre	21	-	105	100.0
Fluoruros	0.26	0.01	0.23	0.10
Nitrógeno Amoniacal	25	-	18.5	1.38
Nitrógeno Albuminoíde	0.36	-	0.24	0.04
Nitritos	0.00	-	0.001	0.001
Nitratos	0.05	0.00	0.05	0.05
Demanda de Oxígeno	3	-	2.0	1.0
Cloruros	73	3.70	74.0	24.0
Dureza Total	72	-	42.0	34.0
Alcalinidad Total	77	-	33.0	6.0
pH	7.0	5.6	5.8	5.1
Sólidos Totales	357.0	23.0	321.0	123.0
SAAM	0.02	-	0.02	0.02
Dureza de Calcio	42.0	-	22.0	16.0
Fosfatos Totales	3.6	0.01	0.60	0.02
Ortofosfatos	3.1	-	0.50	0.01
Sulfatos	137.0	4.1	138.0	54.0
Silíce	14.0	7.4	10.0	8.0
Calcio	18.0	0.34	8.2	7.2
Magnesio	5.2	0.17	4.2	3.3
Sodio	69.0	3.70	67.0	22.0
Potasio	11.0	0.60	9.0	1.6

(FUENTE: VECCHIOLO Y KU 1972)

### 3.4.3 SISTEMAS SEPTICOS.

LOS SISTEMAS SÉPTICOS SON USADOS AMPLIAMENTE EN TODA LA REPÚBLICA, PRINCIPALMENTE EN COMUNIDADES SUBURBANAS. EL TIPO MÁS COMÚN DE SISTEMA SÉPTICO ES EL TANQUE SÉPTICO DOMÉSTICO INDIVIDUAL.

AUNQUE EL TANQUE O FOSA SÉPTICA ASOCIADO A UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN SUBTERRÁNEA (CAMPO DE OXIDACIÓN) ES EL MÁS UTILIZADO, EL DRENAJE CRUDO AÚN ES DESCARGADO DIRECTAMENTE DE LA CAÑERÍA AL SUELO POR MEDIO DE TUBERÍAS.

ESTA PRÁCTICA NO ESTÁ APROBADA PARA ÉSTAS INSTALACIONES. LA RELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS SÉPTICOS Y LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA CERCANA ESTÁ GOBERNADA POR EL DISEÑO Y CONTROL DEL SISTEMA SÉPTICO.

UN TANQUE SÉPTICO ES UN SISTEMA DISEÑADO PARA SEPARAR LOS SÓLIDOS FLOTANTES Y LOS SÓLIDOS SEDIMENTABLES DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA DEL DRENAJE DOMÉSTICO ASÍ COMO DESCARGAR EL LÍQUIDO JUNTO CON SU CARGA DE SÓLIDOS DISUELTOS Y EN SUSPENSIÓN HACIA LA ZONA BIOLÓGICAMENTE ACTIVA DEL SUELO A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN SUBTERRÁNEO. EL SISTEMA PUEDE SER UN CAMPO DE OXIDACIÓN O UN FILTRO DE ARENA CUBIERTO CON SUELO, A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN SUBTERRÁNEO. EL SISTEMA PUEDE SER UN CAMPO DE OXIDACIÓN O UN FILTRO DE ARENA CUBIERTO CON SUELO.

EN UN SISTEMA DE INFILTRACIÓN LOCALIZADO EN LA ZONA BIOLÓGICAMENTE ACTIVA DEL SUELO, LA MATERIA ORGÁNICA BIODEGRADABLES ES ESTABILIZADA POR LAS BACTERIAS EN EL SUELO, LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN SON FILTRADOS Y CIERTOS IONES (POR EJEMPLO LOS FOSFATOS) SON ABSORBIDOS POR EL SUELO. LOS LÍQUIDOS PASAN A TRAVÉS DE LA ZONA ACTIVA DEL SUELO INFILTRÁNDOSE HASTA LLEGAR A UN ESTRATO IMPERMEABLE O HASTA UNIRSE AL AGUA SUBTERRÁNEA.

EN LAS ÉPOCAS DE ESTIAJE UNA PARTE Y AÚN TODO EL EFLUENTE PROVENIENTE DE LOS TANQUES SÉPTICOS PUEDE SER DESCARGADA HACIA LA ATMÓSFERA POR EVAPOTRANSPIRACIÓN. LAS SALES QUE NO HAN SIDO INCORPORADAS EN LA ESTRUCTURA DE LAS PLANTAS SE DEJA EN LA ZONA DE HUMEDAD DEL SUELO PARA SER DISUELTA NUEVAMENTE Y LLEVADA AL SUBSUELO POR EL AGUA QUE SE INFILTRA. ENTONCES EL PROPÓSITO DE UN CAMPO DE OXIDACIÓN ES DISPONER DE LOS EFLUENTES DEL DRENAJE POR MEDIO DE LOS MISMOS MECANISMOS NATURALES QUE SE LLEVAN A CABO EN LA ACUMULACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

SI EL CAMPO DE OXIDACIÓN ESTÁ POR DEBAJO DE LA ZONA BIOLÓGICAMENTE ACTIVA DEL SUELO, LOS FENÓMENOS DE FILTRACIÓN Y ADSORCIÓN PREDOMINAN. LA BIODEGRADACIÓN EN EL SISTEMA ESTÁ CONFINADO A UNA DEGRADACIÓN PARCIAL DE LA MATERIA ORGÁNICA BAJO CONDICIONES ANAEROBICAS.

## IMPACTO EN EL AMBIENTE.

EXISTEN DOS CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL QUE DEBEN QUEDAR BAJO MEDIDAS DE CONTROL.

- AQUELLAS QUE LLEVAN HACIA RESTRICCIONES EN EL USO DE SISTEMAS SÉPTICOS.
- AQUELLOS QUE SON INHERENTES A UN SISTEMA SÉPTICO BIEN EN UN SUELO CONVENIENTE.

BAJO LA PRIMERA CATEGORÍA PUEDEN SER IDENTIFICADAS TRES SITUACIONES. LA MÁS COMÚN DE ELLAS ES UNA FALLA EN EL SISTEMA DE INFILTRACIÓN, EL CUAL CREA UN PELIGRO PARA LA SALUD Y UNA MOLESTIA INACEPTABLE CUANDO EL EFLUENTE DEL DRENAJE EN DESCOMPOSICIÓN APARECE EN LA SUPERFICIE.

LA SEGUNDA Y MÁS SERÍA SITUACIÓN ES LA DESCARGA DE AGUAS NO TRATADAS PROCEDENTES DE FOSAS SÉPTICAS HACIA EL SUBSUELO A TRAVÉS DE ESTRATOS DE GRAVA GRUESA, ROCA FRACTURADA Ó CANALES DE DISOLUCIÓN.

LA TERCERA SITUACIÓN ES ALGO SIMILAR A LA SEGUNDA, OCURRE CUANDO LOS SISTEMAS DE INFILTRACIÓN ESTÁN SITUADOS POR DEBAJO DE LA ZONA BIOLÓGICAMENTE ACTIVA. EN ESTE CASO LA PARTE -

SOLUBLE DE LA MATERIA ORGÁNICA PUEDE ENTRAR AL AGUA SUBTERRÁNEA Y MOVERSE CON ELLA.

ENTONCES SON INTRODUCIDOS SABORES Y OLORES Y LA FRACCIÓN ORGÁNICA, SIENDO INESTABLE BIOQUÍMICAMENTE PERMANECE CAPAZ DE OCASIONAR CRECIMIENTO BACTERIANO CUANDO EL AGUA SUBTERRÁNEA AFLORA O ES EXTRAÍDA POR MEDIO DE UN POZO.

PUEDE DECIRSE QUE LOS MEJORES SISTEMAS SÉPTICOS INCREMENTAN LOS SÓLIDOS MINERALES DISUELTOS TOTALES EN EL AGUA SUBTERRÁNEA. EN OTROS CASOS CUANDO NO SON EFICIENTES PUEDEN INTRODUCIR BACTERIAS, VIRUS Y COMPUESTOS ORGÁNICOS DEGRADABLES. EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS SÉPTICOS TIENDE A MINIMIZAR LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN CUALQUIER UNIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA QUE LO RECIBA. EN ALGUNOS CASOS LOCALES EL EFECTO PUEDE NO SER MEDIBLE POR TÉCNICAS ANALÍTICAS NORMALES.

## MÉTODOS DE CONTROL

EL CONTROL DE LOS EFECTOS DE LOS SISTEMAS SÉPTICOS EN LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEBE CONSIDERARSE EN TRES SITUACIONES:

- 1) LOS TANQUES SÉPTICOS ESTÁN EN FUNCIONAMIENTO.
- 2) LOS SISTEMAS DE TANQUE SÉPTICO VAN A SER INSTALADOS.
- 3) NO HAY ALTERNATIVA REALIZABLE PARA SUSTITUIR AL TANQUE SÉPTICO.

DE LAS TRES, LA MÁS PROBLEMÁTICA ES LA PRIMERA, YA QUE EL DISEÑO DE LOS MISMOS NO REQUIERE DE NINGÚN AVISO Y LA DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA PUEDE HABER OCURRIDO. CUALQUIER EFECTO DE UNA INSTALACIÓN DE ESTE TIPO PUEDE SER ESTIMADO POR MEDIO DEL MONITOREO DE LA PARTE SUPERIOR DEL ACUÍFERO. UN PROGRAMA DE CONTROL DEBE INCLUIR MONITOREO OBLIGATORIO Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS POR GEOHIDRÓLOGOS COMPETENTES. ALGUNOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL APLICABLES SON:

- \* REQUERIR DE CUALQUIER USUARIO CUYO SISTEMA SÉPTICO SEA DETECTADO ALTERANDO LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA, QUE SE CONECTE A UN SISTEMA DE DRENAJE.
- \* PROHIBIR EL USO DE ABLANDADORES DE AGUA DONDE SE UTILIZAN TANQUES SÉPTICOS PARA LA DISPOSICIÓN DE AGUA RESIDUAL.

CUANDO LOS TANQUES SÉPTICOS SON PROPUESTOS O VAN A EMPEZAR A FUNCIONAR, POSIBLES MEDIDAS DE CONTROL SON:

- \* REQUERIR LA APROBACIÓN DEL DISEÑO Y LOCALIZACIÓN POR GEOHIDRÓLOGOS COMPETENTES, MECANICISTAS DE SUELOS O -

INGENIEROS AMBIENTALES ANTES DE APROBAR SU FUNCIONAMIENTO.

- \* CONSTRUIR SISTEMAS EN LOS QUE NO SEA COMPACTADO EL SUELO DESTINADO A LA INFILTRACIÓN DEL EFLUENTE.
- \* OPERAR LOS SISTEMAS SÉPTICOS EFICIENTEMENTE.

CUANDO NO HAY ALTERNATIVA PARA LOS TANQUES SÉPTICOS O -

TRAS SOLUCIONES SON:

1. LIMITAR EL USO DE TANQUES SÉPTICOS A LA TEMPORADA DE ESTIAJE.
2. PERMITIR SU USO SÓLO SI EL SUELO ES ADECUADO.
3. RESTRINGIR LOS MATERIALES QUE PUEDEN SER DESCARGADO AL TANQUE SÉPTICO.

#### PROCEDIMIENTOS DE MONITOREO.

SI ASUMIMOS QUE LOS SISTEMAS SÉPTICOS QUE NO FUNCIONEN-SATISFACTORIAMENTE SERÁN CONTROLADOS POR ACCIONES DE CONTROL O REM-PLAZADOS COMO RESULTADO DE UNA FALLA, LAS TÉCNICAS DE MONITOREO SE REDUCEN A EL ANÁLISIS DEL EFLUENTE QUE SE INFILTRA Y DEL AGUA SUB-TERRÁNEA QUE LO RECIBE.

### 3.4.4 RELLENOS SANITARIOS.

#### DEFINICIÓN:

UN RELLENO SANITARIO ES CUALQUIER ÁREA DE TIERRA DEDICADA AL DEPÓSITO DE DESECHO SÓLIDOS URBANOS SIN IMPORTAR COMO ES OPERADO O SI INVOLUCRA O NO UNA EXCAVACIÓN. UNA DEFINICIÓN MÁS FORMAL DE RELLENO SANITARIO ES LA SIGUIENTE:

"ES UN MÉTODO DE DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN LA TIERRA SIN CREAR MOLESTIAS O RIESGOS A LA SALUD PÚBLICA, UTILIZANDO PRINCIPIOS DE INGENIERÍA PARA CONFINAR LOS DESECHOS EN LA MÍNIMA ÁREA, REDUCIENDOLOS AL MÍNIMO VOLUMEN Y ABRIENDOLOS CON UNA CAPA DE TIERRA AL FINAL DE CADA DÍA, O TAN FRECUENTEMENTE COMO SEA NECESARIO".

#### CONSECUENCIAS AMBIENTALES.

EL PELIGRO POTENCIAL DE LOS RELLENOS SANITARIOS PARA LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA VÍA LIXIVIADO ES FUNCIÓN DE LA CANTIDAD TOTAL DE DESECHOS GENERADOS, SU DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL, LA COMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS, ASÍ COMO LA OPERACIÓN, DISEÑO Y LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO.

EN LA TABLA 3.2 SE MUESTRAN VALORES TÍPICOS DE LOS

COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DE CENTROS URBANOS. DE ÉSTA TABLA SE PUEDE CONCLUIR QUE UN POCO MÁ S DEL 70% DE LOS DESECHOS DOMÉSTICOS ES DE MATERIA ORGÁNICA BIODEGRADABLE DEL CUAL EL 75% (MÁS O MENOS 50% DEL TOTAL) CORRESPONDE A MADERA Y PAPEL, UNA PARTE ADICIONAL QUE VARÍA DEL 1 AL 15% EN LA TABLA INCLUYE MATERIALES QUE PUEDEN PRODUCIR LIXIVIADO COMO SON LAS CENIZAS Y ALGUNOS TIPOS DE SUELO. (ÉSTA TABLA PRESENTA VALORES DE CENTROS URBANOS DE PAISES INDUSTRIALIZADAS).

LOS DATOS SOBRE LA CANTIDAD Y COMPOSICIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS INDUSTRIALES Y SU DISPOSICIÓN SON MENOS EXTENSOS. UNA INVESTIGACIÓN HECHA EN 991 PLANTAS DE PRODUCTOS QUÍMICOS, ARROJÓ LOS RESULTADOS QUE SE MUESTRAN EN LA TABLA 3.2.1 LA TABLA MUESTRA QUE EL 75% DE LOS DESECHOS SÓLIDOS SON PRODUCTOS DEL PROCESO NO COMBUSTIBLES Y QUE EL 71% DEL TOTAL ES DESECHADO EN RELLENOS SANITARIOS PROPIEDAD DE LAS PROPIAS COMPAÑÍAS. NO EXISTEN DATOS DISPONIBLES DE LA COMPOSICIÓN DE ESTOS DESECHOS PERO SE PRESUME QUE ALGUNA PARTE DEL TOTAL ES SUSCEPTIBLE DE PRODUCIR LIXIVIADO SI LAS CONDICIONES SE PRESENTAN. LA TABLA 3.2.2 MUESTRA LA COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CD. DE MÉXICO.

### LIXIVIADO DE RELLENOS SANITARIOS.

EL LIXIVIADO PROVENIENTE DE RELLENOS SANITARIOS CON LA CONSECUENTE DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEPENDEN

## DE DE VARIOS FACTORES.

SI UN RELLENO SANITARIO PRODUCE LIXIVIADO, SE DEBE A UNA FUENTE DE AGUA QUE SE MUEVE A TRAVÉS DE EL MATERIAL DE RELLENO. - LAS FUENTES POSIBLES DE AGUA SON: 1) PRECIPITACIÓN 2) HUMEDAD-CONTENIDA EN LOS RESIDUOS 3) AGUA SUPERFICIAL QUE SE INFILTRA EN EL RELLENO 4) AGUA SUPERFICIAL QUE SE INFILTRA, PROVENIENTE DE Á REAS DE TIERRA ADYACENTES. 5) AGUA SUBTERRANEA EN CONTACTO CON EL RELLENO. EN CUALQUIER DE LOS CASOS EL LIXIVIADO NO SE PRODUCE HASTA QUE EL MATERIAL DE RELLENO ALCANZA EL GRADO DE SATURACIÓN. PARA CUMPLIR ESTO SE ESTIMA QUE ES NECESARIO APROXIMADAMENTE 4.11 CM DE HUMEDAD POR METRO DE PROFUNDIDAD.

DEBIDO A EL ALTO CONTENIDO DE PAPEL Y AL MATERIAL RELATIVAMENTE INERTE QUE APARECE EN LOS ANÁLISIS TÍPICOS. ( TABLA N° 3, 2, ), SÓLO UNA PEQUEÑA CANTIDAD DE HUMEDAD ES LIBERADA POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS.- LA COMPOSICIÓN TÍPICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES SE MUESTRA EN LA TABLA

PARA QUE SE DE LA "COMPOSTACIÓN" SE REQUIERE DE UNA HUMEDAD DEL 50 AL 60%, DE AHÍ QUE UN RELLENO LOCALIZADO EN UNA ZONA -

MUY ÁRIDA QUE NO TENGA OTRA FUENTE DE HUMEDAD QUE LA CONTENIDA. EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS PRODUCIRÁ UNA DESCOMPOSICIÓN MUY LENTA Y UNA CANTIDAD MUY PEQUEÑA DE LIXIVIADO. POR OTRA PARTE, SI EL RELLENO CONTIENE ÚNICAMENTE FRUTAS Y VEGETALES CONTENIENDO DE 80 A 90% DE HUMEDAD, LA DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA OCURRIRÁ CON RAPIDEZ Y SE PRODUCIRÁ GRAN CANTIDAD DE LIXIVIADO. POR LO TANTO NO SE RECOMIENDA UTILIZAR UN RELLENO SANITARIO PARA DISPONER ÚNICAMENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DE ENLATADORAS U OTRAS INDUSTRIAS SIMILARES.

EL AGUA INFILTRÁNDOSE EN UN RELLENO SANITARIO PROVENIENTE DE TIERRAS ALEDAÑAS A ÉL ES POCO PROBABLE EN UN RELLENO PROPIAMENTE DISEÑADO Y CONSTRUIDO. SI OTRAS FUENTES DE AGUA SE EXCLUYEN DE UN RELLENO SANITARIO EMPLEANDO PROCEDIMIENTOS DESCRITOS POSTERIORMENTE, LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADO EN UN RELLENO PROPIAMENTE MANEJADO Y DISEÑADO PUEDE SER ELIMINADA TOTALMENTE. UN BUEN RELLENO SANITARIO QUE NO INTERSECTE CON EL NIVEL FREÁTICO NO CAUSARÁ DETERIORO DEL AGUA SUBTERRÁNEA DESTINADA A USOS DOMÉSTICOS O DE RIEGO.

LA COMPACTACIÓN DEL MATERIAL DEL RELLENO, LA IMPERMEABI

LIZACIÓN DE SUS FRONTERAS, ASÍ COMO LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA CAUSA QUE EL AGUA SUBTERRÁNEA FLUYA ALREDEDOR DEL RELLENO EN LUGAR DE PASAR A TRAVÉS DE ÉL.

LA AUSENCIA DE LIXIVIADO ES CARACTERÍSTICO DE LOS RELLENOS SANITARIOS CONSTRUÍDOS Y DISEÑADOS DE ACUERDO A LA TECNOLOGÍA MÁS AVANZADA EN INGENIERÍA AMBIENTAL. DENTRO DE ÉSTA CATEGORÍA-ENTRAN LA MAYORÍA DE LOS RELLENOS SANITARIOS QUE SE CONSTRUYEN EN NUESTRO PAÍS.

APROXIMADAMENTE EL 75% QUE SON DEPOSITADOS EN BASUREROS-A CIELO ABIERTO, ESTÁN EXPUESTOS A FUENTES EXTERNAS DE AGUA, Y --POR LO TANTO PROBABLEMENTE PRODUCEN LIXIVIADO EN CANTIDADES IMPOR-TANTES. SE ESTIMA QUE DE UNA PRECIPITACIÓN DE 124 CM. ANUAL A-PROXIMADAMENTE EL 45% (56 CM) SE INFILTRA DENTRO DE BASUREROS A -CIELO ABIERTO. EN ALGUNAS ÉPOCAS DEL AÑO MÁS DEL 75% DEL AGUA -INFILTRADA PUEDE SER REGRESADA A LA ATMÓSFERA POR EVAPOTRANSPIRA-CIÓN. EL RESTANTE ( EN OCASIONES TODA) DEL AGUA INFILTRADA, PERCOLARÁ A TRAVÉS DE UN RELLENO SANITARIO. SI EL RELLENO SE EN --CUENTRA EN UNA EXCAVACIÓN SUBTERRÁNEA, ESTA AGUA PERCOLADA SE MOVE RÁ HACIA EL AGUA SUBTERRÁNEA A UNA VELOCIDAD GOBERNADA POR LA PERMEABILIDAD DEL SUELO CIRCUNDANTE. NO PUEDE ASUMIRSE QUE EL RE -

LLENO SANITARIO VA A DESCARGAR LIXIVIADO POR TIEMPO INDEFINIDO, -  
EL RELLENO TIENDE A CONVERTIRSE EN UNA CAVIDAD LLENA DE RESIDUOS-  
Y SUELO SATURADOS. LLUVIAS POSTERIORES CORRERÍAN SOBRE EL RELLE-  
NO, SIN ENTRAR EN CONTACTO CON LOS RESIDUOS. SIN EMBARGO SI EL  
LIXIVIADO ES PRODUCIDO ENTRE EL RELLENO Y LA IMPERMEABILIZACIÓN -  
DE SUS PAREDES Y FONDO PUEDE CON EL TIEMPO DESCARGAR UN VOLÚMEN -  
CONSIDERABLE DE LIXIVIADO HACIA LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

UN FENÓMENO SECUNDARIO DE LIXIVIACIÓN ASOCIADO A TODOS -  
LOS TIPOS DE RELLENO SANITARIO QUE NO ESTÁN SUJETOS A CONTROLES -  
ESPECÍFICOS ES EL CO<sub>2</sub> (DIÓXIDO DE CARBONO) GENERADO, QUE ES FORZA  
DO A PENETRAR EN EL SUELO CIRCUNDANTE. ESTE, AL SER RECOGIDO --  
POR EL AGUA DE LLUVIA QUE PERCOLA AUMENTA LA AGRESIVIDAD DE LA --  
MISMA HACIA LAS CALIZAS Y DOLOMIATAS INCREMENTANDO ASÍ LA DUREZA-  
DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

UN RESIDUO CON LA COMPOSICIÓN PRESENTADA EN LA TABLA N°-  
3,2,1, ES TEÓRICAMENTE CAPAZ DE PRODUCIR 0.169 M<sup>3</sup> DE CO<sub>2</sub> POR KILO  
GRAMO DE RESIDUOS SÓLIDOS. SIN EMBARGO EL BALANCE DE LOS NUTRIEM  
TES EN EL SUELO, LA HUMEDAD, Y OTROS FACTORES AMBIENTALES ES POCO-  
PROBABLE QUE SE CONJUGUEN DURANTE EL LAPSO DE TIEMPO NECESARIO PA-  
RA COMPLETA DESTRUCCIÓN DE LA FRACCIÓN DE CARBONO DE LOS RESIDUOS-  
SÓLIDOS.

## NATURALEZA Y CANTIDAD DE LIXIVIADO.

LOS DATOS PROCEDENTES DEL ANÁLISIS DE LOS LIXIVIADOS VARIAN GRANDEMENTE. MUCHOS DE ELLOS PROVIENEN DE ESTUDIOS EN LOS CUALES LOS INVESTIGADORES TUVIERON QUE CREAR TÉCNICAS ESPECIALES PARA SATURAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y ASÍ PRODUCIR LA LIXIVACIÓN MÁXIMA. POSTERIORMENTE A ESO LOS EXPERIMENTOS SON TERMINADOS ANTES DE QUE EL LIXIVADO LLEGUE A SU EQUILIBRIO.

LOS DATOS SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LOS LIXIVIADOS DE ALGUNOS RELLENOS SANITARIOS SE PRESENTAN EN LA TABLA N° 3,3.

DICHA TABLA INDICA QUE:

1) LOS VALORES INICIALES DE DBO Y DQO SON SIEMPRE ALTOS. LOS ESTUDIOS EFECTUADOS EN RELLENOS SANITARIOS OPERANDO MUESTRA QUE LOS CONSTITUYENTES DEL LIXIVADO SON:

DQO.-	8000 - 10 000	MG/L
DBO.-	2500	MG/L
HIERRO	600	MG/L
CLORUROS	250	MG/L

EN LA TABLA TAMBIÉN SE OBSERVA EL AUMENTO SIGNIFICATIVO DE LA DUREZA, ALCALINIDAD Y OTROS IONES. POR EJEMPLO TENEMOS --

LOS DATOS OBTENIDOS DE UN FLUJO CONTÍNUO A TRAVÉS DE UN RELLENO EN CUYO INTERIOR SE HABÍA DEPOSITADO NUEVO RESIDUO. EL CUAL DURANTE EL PRIMER AÑO LIXIVIÓ:

SODIO MAS POTASIO:	1.36 Ton.
CALCIO MAS MAGNESIO:	0.90 Ton
CLORUROS	0.83 Ton.
SULFATOS	0.21 Ton.
BICARBONATOS	3.54 Ton.

LAS CANTIDADES ANTERIORES DECRECIERON GRANDEMENTE EN AÑOS SUBSECUENTES.

TAMBIÉN SE HAN REALIZADO ESTUDIOS DE CAMPO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD Y CALIDAD DE UN LIXIVIADO PRODUCIDO EN UN RELLENO-SANITARIO BIEN DISEÑADO. ESTO FUE LLEVADO A CABO POR MEDIO DE DRENES QUE FUERON INSTALADOS ENTRE 2 GRANDES RELLENOS PARA ATRAPAR EL LIXIVIADO. UNO FUE INSTALADO EN 1963 Y OTRO EN 1968, EN 1971- UN REPORTE HECHO POR MEICHTRY ARROJÓ LOS SIGUIENTES RESULTADOS:

- 1.- EL PRIMERO NO PRODUJO NADA MAS QUE GAS AUNQUE EL RELLENO FUE FUERTEMENTE IRRIGADO A PARTIR DE 1968.
- 2.- EL SEGUNDO, MÁS PROFUNDO, PRODUJO GASES PERO NO LIXIVIADO HASTA MARZO DE 1968 EN QUE HUBO UNA PRECIPITA-

CIÓN DE 11 CM EN 24 HORAS. EN ESA OCASIÓN SE RECOLECTARON 806.1 LITROS DE LIXIVIADO. EL FLUJO CONTÍNUO A RAZÓN DE 5 678 LITROS POR MES. UN ANÁLISIS PERIÓDICO DEL LIXIVIADO INDICÓ QUE UN MANTIAL EN LAS PAREDES DEL RELLENO ERA LA FUENTE.

LA TABLA 3.4 MUESTRA LAS COMPOSICIONES INICIAL Y DESPUÉS DE 3 AÑOS. DICHA TABLA MUESTRA UNA REDUCCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LA MAYORÍA DE LOS COMPONENTES DEL LIXIVIADO CON EL TIEMPO. EL MISMO FENÓMENO HA SIDO OBSERVADO AL COMPARAR UN RELLENO ABANDONADO CON UNO ACTIVO.

DE 1964 A 1966 SE HICIERON ESTUDIOS PILOTO PARA ESTUDIAR LOS EFECTOS DE LA LLUVIA Y LA IRRIGACIÓN EN EL LIXIVIADO DE UN RELLENO SANITARIO. SE ESTUDIÓ UNA CELDA DE 15 M<sup>2</sup> CON PENDIENTE EN LA SUPERFICIE, QUE SE RELLENÓ CON UNA SOLA CARGA DE 5.3 METROS DE RESIDUOS SÓLIDOS, MAS UNA CAPA DE TIERRA DE 61 CM. SE COLOCARON DISPOSITIVOS PARA RECOGER LIXIVIADO A VARIAS PROFUNDIDADES. UNA FUE SUJETA A UNA LLUVIA SIMULADA Y OTRA A RIEGO. EN NINGUNA DE LAS DOS CELDAS APARECIÓ LIXIVIADO.

EXPERIMENTOS COMO EL ANTERIOR APOYAN LA CONCLUSIÓN DE QUE EL LIXIVIADO PRODUCIDO POR RELLENOS SANITARIOS BIEN CONSTRUÍDOS, NO CONSTITUYEN UN PROBLEMA PARA EL AGUA SUBTERRÁNEA.

EL TIEMPO REQUERIDO PARA QUE UN RELLENO PRODUZCA LIXIVIADO DEBIDO AL AGUA DE LLUVIA PUEDE SER CALCULO POR MEDIO DE TÉCNICAS DE SEGUIMIENTO DE LA HUMEDAD. POR EJEMPLO UNA CAPA DE 2.44 M DE RESIDUOS CON UNA CUBIERTA DE 0.61 M DE TIERRA TOMARÁ DE 1 A 2.5 AÑOS PARA ALCANZAR LA SATURACIÓN Y PRODUCIR LIXIVIADO SI 117.8 CM DE AGUA DE LLUVIA SE INFILTRAN EN EL RELLENO.

EN UN CASO OBSERVADO UN RELLENO SANITARIO INUNDADO PARCIALMENTE POR AGUA SUBTERRÁNEA, EL AGUA DE UN POZO 325 METROS BAJO EL GRADIENTE DEL RELLENO MOSTRÓ EFECTOS DE LIXIVIADO EN TÉRMINOS DE DUREZA, ALCALINIDAD, Ca, Mg, Na, K Y Cl. A UNA DISTANCIA DE 1000 M LOS EFECTOS SON INDETECTABLES.

CUANDO EL RELLENO ES MUY ANTIGUO PUEDE CONCLUIRSE QUE EL AGUA SUBTERRÁNEA NO ESTÁ SERIAMENTE AFECTADA.

EN EL CASO DE DESECHOS INDUSTRIALES DE LOS CUALES SE DISPONE POR MEDIO DE RELLENOS SANITARIOS PROPIOS DE LAS COMPAÑÍAS, SE CONOCE POCO ACERCA DE LA NATURALEZA Y CANTIDAD DEL LIXIVIADO. LA TABLA 3.5, MUESTRA QUE LOS SÓLIDOS NO COMBUSTIBLES REPRESENTAN EL 75% Y LAS CENIZAS OTRO 14% DE EL TOTAL. ESTOS DATOS SUGIEREN QUE LOS MINERALES SOLUBLES SON LOS MATERIALES MÁS COMUNES QUE PUEDEN SER LIXIVIADOS DE RELLENOS SANITARIOS INDUSTRIALES. EN TÉRMINOS DE

CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EL PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS ASÍ COMO LAS SALES DE DISOLUCIÓN SON PROBABLEMENTE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES MÁS SIGNIFICATIVOS.

#### MÉTODOS DE CONTROL.

EN GENERAL, LOS PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL DEL LIXIVIADO SON AQUELLOS QUE EXCLUYEN EL AGUA DEL RELLENO SANITARIO, PREVENEN QUE EL LIXIVIADO Y LO SOMETEN A UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO. OBTENIENDO, LA POSIBLE UTILIZACIÓN DE ESTOS TRES PROCEDIMIENTOS ES MÁXIMA EN LA FASE DE DISEÑO DE UN RELLENO Y MÍNIMO EN ALGUNOS TIPOS DE RELLENO YA EXISTENTES.

EN SITUACIONES EXISTENTES EL PELIGRO POTENCIAL DE UN RELLENO DE CONTAMINAR EL AGUA SUBTERRÁNEA PUEDE SER LIMITADA POR PROCEDIMIENTOS TALES COMO:

- SEPARAR EN LA FUENTE LOS RESIDUOS QUE SON INACEPTABLES PARA UN RELLENO SANITARIO DADO.
- CONTROLAR EL VOLUMEN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS.
- CONTROLAR LOS RESIDUOS INDUSTRIALES EN RELLENOS SANITARIOS.

EN EL CASO DE RELLENOS SANITARIOS EN FASE DE PROYECTO LAS MEDIDAS DE CONTROL INCLUYEN UNA CLASIFICACIÓN COMO LA SIGUIENTE:

- TIPO I, - ACEPTA TODOS LOS TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN

CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EL PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS ASÍ COMO LAS SALES DE DISOLUCIÓN SON PROBABLEMENTE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES MÁS SIGNIFICATIVOS.

### MÉTODOS DE CONTROL

EN GENERAL, LOS PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL DEL LIXIVIADO SON AQUELLOS QUE EXCLUYEN EL AGUA DEL RELLENO SANITARIO, PREVIENEN QUE EL LIXIVIADO Y LO SOMETEN A UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO. OBRVIAMENTE, LA POSIBLE UTILIZACIÓN DE ESTOS TRES PROCEDIMIENTOS ES MÁXIMA EN LA FASE DE DISEÑO DE UN RELLENO Y MÍNIMO EN ALGUNOS TIPOS DE RELLENO YA EXISTENTES.

EN SITUACIONES EXISTENTES EL PELIGRO POTENCIAL DE UN RELLENO DE CONTAMINAR EL AGUA SUBTERRÁNEA PUEDE SER LIMITADA POR PROCEDIMIENTOS TALES COMO:

- \* SEPARAR EN LA FUENTE LOS RESIDUOS QUE SON INACEPTABLES PARA UN RELLENO SANITARIO DADO,
- \* CONTROLAR EL VOLÚMEN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS,
- \* CONTROLAR LOS RESIDUOS INDUSTRIALES EN RELLENOS SANITARIOS.

EN EL CASO DE RELLENOS SANITARIOS EN FASE DE PROYECTO LAS MEDIDAS DE CONTROL INCLUYEN UNA CLASIFICACIÓN COMO LA SIGUIENTE:

- \* TIPO I.- ACEPTA TODOS LOS TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS EN

RAZÓN A SU AISLAMIENTO GEOLÓGICO DE CUALQUIER CONTACTO CON EL AGUA SUBTERRÁNEA. ÉSTE TIPO DE LOCALIZACIÓN ES EN GENERAL UNA CAVIDAD NATURAL IMPERMEABLE, SITUACIÓN QUE ES MUY POCO COMÚN.

- \* TIPO II.- ACEPTA CUALQUIER TIPO DE DESECHO SÓLIDO ( NO ACEPTA DESECHOS DEL PETRÓLEO Ó RESIDUOS QUÍMICOS).
- \* TIPO III.- ACEPTA SOLO MATERIALES DEL TIPO DE LAS TIERRAS INERTES.

EL ESPECIFICAR EL SITIO INVOLUCRA LA EVALUACIÓN DE LOCALIZACIONES ALTERNATIVAS POR GEOHIDROLÓGOS E INGENIEROS AMBIENTALES - QUE DETERMINEN FACTORES COMO:

- \* LOCALIZACIÓN Y PROFUNDIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS ALREDEDORES.
- \* LA IMPORTANCIA POTENCIAL (PRESENTE Y FUTURA) QUE SUBYACE LA LOCALIZACIÓN POSIBLE.
- \* LA GEOLOGÍA DEL SITIO.
- \* LA POSIBILIDAD DE EXCLUIR EL AGUA, TANTO SUBTERRÁNEA - COMO SUPERFICIAL DEL RELLENO TERMINADO.

DISEÑAR UN RELLENO SANITARIO QUE SE AJUSTE A LAS DEFICIENCIAS DEL MEJOR SITIO DISPONIBLE.

- + USAR RELLENOS DE TIERRA COMPACTADA PARA SELLAR LAS PAREDES Y EL FONDO DEL SITIO DEL RELLENO. SI EL RELLENO NO ESTÁ POR ARRIBA DEL NIVEL FREÁTICO, COMO ES MÁS COMÚN QUE SE BUSQUE, SE MINIMIZARÁ EL ESCAPE DE LIXIVIADO A PARTIR DEL RELLENO SANITARIO. SI EL RELLENO SE ENCUENTRA DENTRO DE UN ACUÍFERO, EL MOVIMIENTO DEL A-

GUA SUBTERRÁNEA HACIA DENTRO Y HACIA AFUEPA DEL RELLENO SE MINIMIZARÁ. EN LA ACTUALIDAD SE UTILIZAN TAMBIÉN FIBRAS SINTÉTICAS (GEOTEXILES) PARA ESTE FIN.

- COLOCAR UN SISTEMA DE SUBDRENES PARA COLECTAR EL LIQUIDO Y ENVIARLO A UNA FOSA DE RECOLECCIÓN PARA SU TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL.

\* CONSTRUIR EL RELLENO MANTENIENDO SIEMPRE LA MÍNIMA SUPERFICIE OCUPADA POR RESIDUOS SÓLIDOS EXPUESTOS A LA LLUVIA, ASÍ COMO EL SITIO DE TRABAJO BIEN DRENADO.

\* COMPACTAR Y DAR PENDIENTE A LA CUBIERTA DEL RELLENO PARA TENER UN BUEN DRENAJE SUPERFICIAL. COLOCAR SÓLIDOS PARA LOS GASES PRODUCIDOS EN EL RELLENO.

EN RELLENOS NUEVOS Y YA EXISTENTES.

- \* TENER UN MANTENIMIENTO CONTINUO DE LA CUBIERTA DEL RELLENO.
- \* SEMBRAR COMPLETAMENTE LA SUPERFICIE CON UNA CUBIERTA DE VEGETACIÓN CON ALTA TRANSPIRACIÓN.
- \* DESVIAR EN LO POSIBLE EL AGUA TANTO SUPERFICIAL COMO SUBTERRÁNEA.
- \* REDUCIR EN LO POSIBLE LA CANTIDAD DE MATERIAL SUSCEPTIBLE DE PUTREFACCIÓN QUE SE DISPONDRÁ EN EL RELLENO.

EN EL CASO DE RELLENOS O BASUREROS A CIELO ABIERTO YA EXISTENTES.

- \* INTERCEPTAR EL AGUA SUBTERRÁNEA CONTAMINADA POR MEDIO - POZOS LOCALIZADOS DENTRO O CERCA DEL ÁREA DE RELLENO SI LA SITUACIÓN ES MUY SERIA.
- \* INICIAR E IMPLEMENTAR PROGRAMAS DE MANEJO A NIVEL REGIONAL QUE INCLUYAN RELLENOS SANITARIOS REGIONALES., REEMPLAZANDO ASÍ NUMEROSOS BASUREROS, CON UN SOLO RELLENO.

DE LAS MEDIDAS DE CONTROL ANTERIORES SÓLO AQUELLAS QUE SON APLICABLES A RELLENOS SANITARIOS EN PROYECTO, PUEDEN PREVENIR O ELIMINAR LA POSIBILIDAD DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR EL LIXIVIADO.

LA LOCALIZACIÓN, CONSTRUCCIÓN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS RELLENOS SANITARIOS ENTRAN EN ESTA CATEGORÍA DE MEDIDAS DE CONTROL. LOS RELLENOS SANITARIOS EXISTENTES Y BIEN CONSTRUÍDOS, AUNQUE EN GENERAL NO ESTÁN EQUIPADOS CON SUBDRENES, SU EFECTO SOBRE EL AGUA SUBTERRÁNEA SON MÍNIMOS. DE MANERA SIMILAR RELLENOS SANITARIOS ANTIGUOS HAN DESCARGADO YA LA MAYOR PARTE DE SUS LIXIVIADOS, POR LO QUE AMBOS SON DE IMPORTANCIA SECUNDARIA.

#### TECNICAS DE MONITOREO

EN NUEVOS RELLENOS, PROPIAMENTE DISEÑADOS Y SELLADOS DE

ESTRATOS SUBYACENTES Y DE LOS ESTRATOS QUE SE PRESENTAN EN LAS PA  
REDES, EL SISTEMA DE DRENAJE Y UN POZO DE BOMBEO LOCALIZADO DEN -  
TRO O CERCA DEL RELLENO PUEDE SER UTILIZADO PARA AMBOS FINES: MO-  
NITOREO (INSPECCIÓN) Y CONTROL.

EN LA TABLA 3,6, SE MUESTRA UN SISTEMA DE TRES PO -  
ZOS DE OBSERVACIÓN JUNTO CON LOS VALORES DE CALIDAD DEL AGUA SUB  
TERRÁNEA OBSERVADA EN ELLOS.

SERÍA REALIZABLE PERFORAR UN POZO DE MUESTREO EN UN RE-  
LLENO SANITARIO, SELLAR SU FONDO Y VOLVER A PERFORAR A TRAVÉS DE  
ESTE SELLEO HASTA ALCANZAR EL AGUA SUBTERRÁNEA. UNA BOMBA SU -  
MERGIBLE PODRÍA SER USADA PARA BOMBEAR DE ESTOS DOS POZOS CONCEN  
TRICOS CON FINES DE MUESTREO. UNA ALTERNATIVA PUEDE SER PERFO-  
RAR UN POZO DE MONITOREO CORRIENTE ABAJO A PARTIR DEL RELLENO Ó  
DIRECTAMENTE A TRAVÉS DEL RELLENO. LAS CONCENTRACIONES DE S.T.  
D., DUREZA, Y CLORUROS DEBERÁ SER MEDIDA Y USADA PARA INFERIR LA  
PRESENCIA DE LIXIVIADO. EN CUALQUIER CASO EL MEJOR PROCEDIMIEN  
TO ES EL USO DE MEDIDAS DE CONTROL QUE MINIMIZEN LA POSIBILIDAD-  
DE LIXIVIADO PROCEDENTE DE RELLENOS SANITARIOS.

TABLA 3.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS RESIDUOS  
 SOLIDOS DOMESTICOS EN CIUDADES ALTAMENTE INDUSTRIALIZADAS.  
 (EXPRESADO EN PORCENTAJE DEL TOTAL).

<u>SUBPRODUCTO</u>	<u>PORCENTAJE</u>
PAPEL	50
DESPERDICIO DE ALIMENTOS	12
DESPERDICIO DE JARDINES	9
PLASTICO	1
TELA, PIEL, HULE	4
MADERA	2
PIEDRA, POLVO	-
NO CLASIFICADOS	7
METAL	8
VIDRIO Y CERAMICA	7

FUENTE: U.S.E.P.A. "GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE  
 EXCAVATIONS", WASHINGTON. D.C. 1973.

ESTA TABLA SE PRESENTA SOLO A MANERA DE EJEMPLO.

TABLA 3.2.1 COMPOSICION DE LOS  
RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

<u>COMPONENTE</u>	<u>PORCENTAJE</u>
HUMEDAD	20.73
CELULOSA	46.63
LIPIDOS	4.50
PROTEINAS	2.06
OTRA MATERIA ORGANICA	1.15
MATERIA INERTE	24.93
	<u>100.00</u>

FUENTE: U.S.E.P.A. "GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE EXCAVATION"  
WASHINGTON, D.C., 1973.

TABLA #. 3.2.2 CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS  
EN LOS RESIDUOS SOLIDOS TIPICOS DE CD. DE MEXICO

<u>SUBPRODUCTO</u>	<u>% DEL PESO TOTAL</u>
Algodón	0.32
Cartón	1.03
Cuero	-
Residuo fino (material menor de 2 mm)	9.10
Envases de cartón	0.40
Fibra dura vegetal (esclerenquima)	0.26
Fibra sintética y trapo	2.95
Hueso	1.34
Hule	-
Lata	-
Loza y cerámica	0.58
Madera	0.63
Material de construcción	3.11
Material ferroso y no ferroso	3.39
Papel	11.98
Pañal desechable	2.08
Plástico de película	3.13
Plástico rígido	2.29
Polioretano	-
Poliestireno	-
Residuos de jardinería	1.39
Residuos alimenticios	51.51
Vidrio	3.76
Otros (plumas y cabellos)	0.74

NOTA:

- a.- Peso Volumétrico = 306 Kg/m<sup>3</sup>
- b.- El mayor porcentaje de residuo fino pertenece a material putrecible.

TABLA 3.3 COMPOSICION DEL LIXIVIADO DE VARIAS FUENTES

DETERMINACION (mg/l)	FUENTE.					
	1	2	3	4	5	6
pH	5.6	5.9	8.3			
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>2</sub> )	8,120	3,260	537		8,700	500
HIERRO TOTAL	305	336	219	1,000		
SODIO	1,805	350	600			
POTASIO	1,860	655	-			
SULFATOS	630	1,220	99		940	24
CLORUROS	2,240	-	300		1,000	220
NITRATOS	-	5	18			
ALCALINIDAD DE CaCO <sub>2</sub>	8,100	1,710	1,290			
NITROGENO AMONICAL	815	141	-			
NITROGENO ORGANICO	550	152	-			
DQO	-	7,130	-			
DBO	32,400	7,050	-			
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	-	9,190	2,000		11,254	2,075

NOTA.- En las fuentes de 1 a 3 no se especifica la edad del relleno.

En la fuente 4 se trata de Lixiviado inicial.

En la fuente 5 se trata de Lixiviado proveniente de un relleno con 3 años de antigüedad.

La fuente 6 es un relleno de 15 años de antigüedad.

FUENTE: U.S.E.P.A. "GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE EXCAVATION)  
WASHINGTON, D.C., 1973.

TABLA 3,4 CAMBIO DE COMPOSICION  
DEL LIXIVIADO CON EL TIEMPO

<u>COMPONENTE</u>	<u>ANALISIS DEL LIXIVIADO</u>	
	03-18-68	03 - 24 - 71
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	5.75	7.40
SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/l)	45,070.0	13,629.0
SOLIDOS DISUELTOS (mg/l)	172.0	220.0
DUREZA TOTAL (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	44,900.0	13,409.0
CALCIO (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	22,800.0	8,930.0
MAGNESIO (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	7,200.0	216.0
ALCALINIDAD TOTAL (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	15,600.0	8,714.0
AMONIACO (mg/l N)	9,680.0	8,677.0
NITROGENO ORGANICO (mg/l N)	0.0	270.0
DBO (mg/l O)	104.0	92.4
DQO (mg/l O)	76,800.0	908.0
SULFATOS (mg/l SO <sub>4</sub> )	1,190.0	19.0
FOSFATOS TOTALES (mg/l PO <sub>4</sub> )	0.24	0.65
CLORUROS (mg/l Cl)	660.0	2,355.0
SODIO (mg/l Na)	767.0	1,160.0
POTASIO (mg/l K)	68.0	440.0
BORO (mg/l B)	1.49	3.76
HIERRO (mg/l Fe)	2,820.0	4.75

FUENTE: U.S.E.P.A. "GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE EXCAVATIONS"  
WASHINGTON, D.C. 1973.

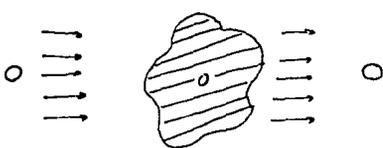
**TABLA 3.5 DISPOSICION EN RELLENO SANITARIO  
 DE RESIDUOS SOLIDOS PROVENIENTES DE  
 PROCESOS QUIMICOS**

<u>TIPO DE DESECHO</u>	TOTAL ANUAL (MILES DE TONELADAS)	% DEL TOTAL
SOLIDOS NO COMBUSTIBLES	7,624	75
SOLIDOS COMBUSTIBLES	520	5
CONTENEDORES NO COMBUSTIBLES	58	1
CONTENEDORES COMBUSTIBLES	152	1
CENIZAS VOLANTES PRODUCTO DE COMBUSTION	1,440	14
OTROS, O NO ESPECIFICOS	423	4
	<hr/> 10,217	<hr/> 100

<u>METODOS DE DISPOSICION</u>		
RELLENO SANITARIO PROPIEDAD DE LA COMPAÑIA	7,318	71
RELLENO SANITARIO FUERA DE LA COMPAÑIA	472	5
INCINERACION CON RECUPERACION DE CALOR	83	1
INCINERACION SIN RECUPERACION DE CALOR	210	2
INCINERACION EN BASUREROS A CICLO ABIERTO	99	1
DISPOSICION POR CONTRATO	1,476	15
OTRA O NO ESPECIFICADA	559	6
	<hr/> 10,217	<hr/> 100

FUENTE: U.S.E.P.A. "GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE EXCAVATIONS"  
 WASHINGTON, D.C., 1973.

TABLA N° 3.6 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA



CARACTERISTICAS DEL AGUA SUBTERRANEA	ANTES DEL RELLENO (mg/l)	RELLENO (mg/l)	POZO DE OBSERVACION. (mg/l)
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	636.0	6,712.0	1,506.0
pH	7.2	6.7	7.3
D.Q.O.	20.0	1,863.0	71.0
DUREZA TOTAL	570.0	4,960.0	820.0
SODIO	30.0	806.0	316.0
CLORO	18.0	1,710.0	248.0

FUENTE: U.S.E.P.A. "GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE EXCAVATIONS"  
 WASHINGTON, D.C. , 1973

3.10,5 3.5 FILTRACION DE SISTEMAS DE DRENAJE.

VISION DEL PROBLEMA.

LOS SISTEMAS DE DRENAJE POR GRAVEDAD QUE SE ENCUENTRAN POR ARRIBA DEL NIVEL FREÁTICO SON ELEMENTOS COMUNES DEL SISTEMA DE DRENAJE DE COMUNIDADES ORGANIZADAS.

EN TEMPORADAS, LOS DRENAJES PLUVIALES QUE INCLUYEN CONDUCTOS BAJO TIERRA ASÍ COMO CANALES ABIERTOS REVESTIDOS Y SIN REVESTIR TRANSPORTAN LOS DESAGÜES DE SUPERFICIES, PAVIMENTADAS Y SIN PAVIMENTAR.

ESSENCIALMENTE TODOS ELLOS SON SITUADOS AHÍ PARA CUMPLIR OBJETIVOS DE DRENAJE.

LOS MAYORES SISTEMAS DE DRENAJE TIENEN SUS INICIOS POR LO MENOS HACE 100 AÑOS Y ALGUNAS PARTES DE DICHS SISTEMAS -- AÚN ESTÁN EN USO. EN ESTE LARGO PERIÓDO DE TIEMPO LOS PROCEDIMIENTOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN HAN CAMBIADO PROFUNDAMENTE, Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS REDES DE DRENAJE HA CRECIDO HASTA DECENAS DE MILES DE KILOMETROS. EL NÚMERO DE JUNTAS POR KILÓMETRO DE DRENAJE POR GRAVEDAD DOMÉSTICO VARÍA ENTRE 621 Y 1243. LOS MATERIALES DE UNIÓN HAN CAMBIADO A TRAVÉS DE LOS AÑOS DEL MORTERO

HECHO CON CEMENTO PASANDO POR ASFALTO Y COMPUESTOS SIMILARES, HASTA JUNTAS PLÁSTICAS ( O-RING ), AUNQUE EN NUESTRO MEDIO SE SIGUE UTILIZANDO TUBO DE CONCRETO CON JUNTAS DE MORTERO.

#### FACTORES CAUSALES.

EL POTENCIAL DE UN SISTEMA DE DRENAJE MUNICIPAL DE -- CONTAMINAR EL AGUA SUBTERRÁNEA ES VARIADO Y VARIABLE. CONCEPTUALMENTE UN SISTEMA DE DRENAJE DEBE SER IMPERMEABLE AL AGUA Y POR LO -- TANTO NO DEBERÍA PRESENTAR PELIGRO PARA EL AGUA SUBTERRÁNEA, EXCEPTO CUANDO SE ROMPE ACCIDENTALMENTE. EN REALIDAD SIN EMBARGO, LA -- INFILTRACIÓN ES DE OCURRENCIA COMÚN, ESPECIALMENTE PARA LOS SISTE -- MAS DE DRENAJE MÁS ANTIGUOS. LA INFILTRACIÓN EN SISTEMAS DE DRENAJE PUEDE SER PRODUCIDO POR VARIAS CAUSAS COMO:

- \* MANO DE OBRA DEFICIENTE, ESPECIALMENTE CUANDO SE APLICA MORTERO A MANO EN LAS JUNTAS.
- \* TUBERÍA FISURADA O DEFECTUOSA COLOCADA EN EL SISTEMA
- \* RUPTURA DE LAS TUBERÍAS Ó JUNTAS POR EFECTO DE RAÍCES DE ARBOLES QUE PENETRA O SOBRECARGA LA LINEA DE DRENAJE.
- \* DESPLAZAMIENTO O RUPTURA DE LA TUBERÍA DEBIDO A CARGAS SOBREPUESTAS, EQUIPO PESADO Ó DE UN RELLENO DE TIERRA COLOCA-

SOBRE TUBERÍA CON ACOSTILLADO DEFICIENTE.

\* RUPTURA DE TUBERÍAS O JUNTAS DEBIDO A DESLIZAMIENTOS -  
DE TIERRA EN TERRENOS MONTAÑOSOS.

\* FRACTURA Y/O DESPLAZAMIENTO DE TUBERÍA DEBIDO A ACTIVI  
DAD SÍSMICA.

\* PÉRDIDA DEL ACOSTILLADO Y/O PLANTILLA DEBIDO A EROSIÓN.

#### IMPACTO AMBIENTAL.

EXCEPTO POR TEMPORADAS EN QUE LA INFILTRACIÓN ES ALTA -  
DEBIDO A LA LLUVIA, LA PRESIÓN PIEZOMÉTRICA DENTRO DE UN SISTEMA DE -  
DRENAJE POR GRAVEDAD LOCALIZADO POR ENCIMA DEL NIVEL FREÁTICO ES MUY  
BAJA. LA CARGA ESTÁTICA PUEDE VARIAR DESDE UN MÁXIMO IGUAL AL DIÁMETRO  
DE LA TUBERÍA HASTA UN MÍNIMO DE QUIZÁ EL 20% DE DICHO DIÁMETRO.  
CONSECUENTEMENTE LA CANTIDAD DE INFILTRACIÓN QUE SE PRODUCE DEBIDO A  
LAS FALLAS CITADAS ANTERIORMENTE ES PEQUEÑA, DE HECHO ALGUNAS DE LAS  
VÍAS DE INFILTRACIÓN SE CIERRAN DEBIDO AL CONTENIDO DE SÓLIDOS SUSPEND  
IDOS. FRACTURAS MAYORES PUEDEN LIBERAR UNA CANTIDAD MUY IMPORTANTE  
DE AGUAS RESIDUALES QUE SE MUEVEN A LO LARGO DE LA PLANTILLA DE LA TUB  
BERÍA CUANDO EL SUELO SE SATURA, OCASIONANDO QUE LA ZANJA FUNCIONE CO-  
MO EL SISTEMA DE INFILTRACIÓN (CAMPO DE OXIDACIÓN) EN UN FOSA SÉPTI-  
CA.

EL FLUÍDO QUE ESCAPA DEL DRENAJE POR INFILTRACIÓN ES AGUA CRUDA QUE PUEDE ESTAR DESCOMPONIENDOSE, JUNTO CON PRODUCTOS QUÍMICOS PROCEDENTES DE DESECHOS INDUSTRIALES QUE PUEDEN ESTAR PRESENTES EN EL DRENAJE. ENTONCES, SI EL SISTEMA DE DRENAJE ESTÁ ENTERRADO PROFUNDAMENTE, CERCA DE EL AGUA SUBTERRÁNEA, LOS CONTAMINANTES PUEDEN SER LIBERADOS ABAJO DE LA ZONA BIOLÓGICAMENTE ACTIVA DEL SUELO INTRODUCIENDO ASÍ EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DBO, DQO, CLORUROS Y COMPUESTOS ORGÁNICOS INESTABLES QUE PRODUCEN SABORES Y OLORES DESAGRADABLES EN EL AGUA SUBTERRÁNEA. DEBIDO A QUE ÉSTA TENDENCIA ES EN PARTE COMPENSADA POR EL EFECTO DE "TAPONAMIENTO" DE LOS POROS EN UN SUELO BAJO CONDICIONES ANAERÓBICAS, EL VERDADERO EFECTO DE LA INFILTRACIÓN A PARTIR DE SISTEMAS DE DRENAJE ES PROBABLEMENTE MUCHO MENOR QUE EL POTENCIAL TEÓRICO.

LOS SISTEMAS DE DRENAJE A PRESIÓN GENERALMENTE SON HECHOS DE ACERO, FIERRO FUNDIDO, O CONCRETO REFORZADO. EXCEPTO CUANDO LOS DIÁMETROS SON MUY GRANDES TIENEN MUCHO MENOS JUNTAS POR KILOMETRO QUE LOS SISTEMAS QUE TRABAJAN POR GRAVEDAD Y TAMBIÉN ES MENOS PROBABLE QUE SEAN DE MALA CALIDAD Y SE ROMPAN. DEBIDO A LA TÉCNICA SUPERIOR Y UNA MAYOR ATENCIÓN A LOS DETALLES CONSTRUCTIVOS, LOS SISTEMAS DE DRENAJE A PRESIÓN SON MUCHO MENOS PELIGROSOS PARA LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA. DEBIDO A LA PRESIÓN INTERNA EN

LA TUBERÍA, ES INDIFERENTE SI LA TUBERÍA ESTÁ ARRIBA O ABAJO DEL NIVEL FREÁTICO. LAS ABERTURAS PEQUEÑAS SE PUEDEN TAPONAR PERO MÁS COMUNMENTE EL DRENAJE ES INYECTADO EN EL SUELO O EL AGUA SUBTERRÁNEA DIRECTAMENTE. ESTE PUEDE APARECER EN LA SUPERFICIE DEL SUELO O APARECER EN UNA PARTE DONDE PUEDE SER FÁCILMENTE DETECTABLE POR LA VISTA O EL OLFATO.

A FUTURO PARECE SER SEGURO QUE LA INFILTRACIÓN A PARTIR DE SISTEMAS DE DRENAJE SERÁN DE MENOR PELIGRO PARA LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA QUE EN EL PRESENTE, AÚN PENSANDO QUE LOS SISTEMAS DE DRENAJE TIENDEN A CRECER DE ACUERDO AL CRECIMIENTO DE LAS POBLACIONES. LAS RAZONES PRINCIPALES SON NUEVAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS Y DE MANTENIMIENTO, COMO SON:

- \* CUANDO SE COLOCAN NUEVOS SISTEMAS DE DRENAJE O SE REEMPLAZAN LOS ANTIGUOS ESTOS CONTIENEN MATERIALES PARA JUNTEO MÁS IMPERMEABLES Y PERMITEN UNA ALINEACIÓN SIN QUE SE FRACTURE.

- \* LA INSPECCIÓN Y SUPERVISIÓN DE OBRAS ES MUCHO MÁS RÍGIDA.

- \* MEJORES MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN SON EMPLEADOS POR LOS CONTRATISTAS.

\* SE PONE MAYOR ENFASIS EN EL MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE.

### MÉTODOS DE CONTROL.

LOS PROCEDIMIENTOS PARA CONTROLAR EL POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN POR INFILTRACIÓN DE DRENAJES ESTÁN IMPLÍCITOS EN LA LISTA ANTERIOR. EL SISTEMA DE DRENAJE DE UNA COMUNIDAD GRANDE PRESENTA INFINIDAD DE POSIBLES PUNTOS DE FUGA, POR OTRA PARTE COMO EL SISTEMA ESTÁ BAJO TIERRA NO ESTÁ SUJETO A CONTROL POR OBSERVACIÓN Y REPARACIÓN SUPERFICIAL. DE AHÍ QUE UN PROGRAMA DE CONTROL QUE PRETENDA SER EFICIENTE DEBE DESTACAR LAS SIGUIENTES CONDICIONES.

- \* ORGANIZAR E IDENTIFICAR LA CONSTRUCCIÓN DE DRENAJES EN UNA COMUNIDAD.
- \* FORMULAR Ó ACTUALIZAR LAS ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE.
- \* PROGRAMAS DE INSPECCIÓN INTERNA Y EXTERNA DE LAS LINEAS DE DRENAJE EXISTENTES A INTERVALOS DE TIEMPO DETERMINADOS.
- \* PONER ÉNFASIS EN EL ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO.
- \* EXCLUIR DEL DRENAJE TODA AQUELLA SUSTANCIA QUE SEA IRREMEDIABLEMENTE PELIGROSA PARA EL AGUA SUBTERRÁNEA.

### 3.6 FUGAS EN TANQUES Y TUBERIAS.

#### ALCANCE DEL PROBLEMA.

EN LA ACTUALIDAD, EL ALMACENAMIENTO Y ENVIO SUBTERRÁNEO DE UNA GRAN VARIEDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y COMBUSTIBLES ES UNA PRÁCTICA COMÚN PARA USOS COMERCIALES E INDUSTRIALES. DESAFORTUNADAMENTE LAS TUBERÍAS Y LOS TANQUES ESTÁN EXPUESTOS A FALLAS CAUSADAS POR GRAN VARIEDAD DE AGENTES Y LA FUGA PRODUCIDA ASÍ SE CONVIERTE EN UNA FUENTE DE CONTAMINACIÓN PARA EL AGUA SUBTERRÁNEA.

EN ESTA SECCIÓN SE DESCRIBE LA NATURALEZA Y OCURRENCIA DE LAS FUGAS EN TANQUES Y TUBERÍAS ASÍ COMO LAS MEDIDAS QUE HAN SIDO EFECTIVAS EN EL CONTROL Y ABATIMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

EL ENFÁSIS QUE SE DÁ AL PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS EN ÉSTA SECCIÓN SE DEBE A QUE CONSTITUYEN LA MAYORÍA DE LOS MATERIALES QUE SE ALMACENAN Y DISTRIBUYEN POR MEDIOS SUBTERRÁNEOS. LAS FUGAS DE PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS A PARTIR DE TUBERÍAS Y TANQUES PUEDE SER MÁS PENETRANTE DE LO QUE SE PIENSA.

ÉSTO ES PARTICULARMENTE CIERTO PARA INSTALACIONES PEQUEÑAS COMO EN GASOLINERAS, EN DONDE LA INSTALACIÓN, INSPECCIÓN Y MAN

TENIMIENTO NO SON LOS ADECUADOS.

## DESECHOS RADIOACTIVOS.

LOS TANQUES CONTIENENDO DESECHOS RADIOACTIVOS SON FRECUENTEMENTE ENTERRADOS, COMO UN MEDIO PRIMARIO DE ALMACENAR DICHS RESIDUOS MIENTRAS LA RADIOACTIVIDAD DECAE. ESTO SE HACE BAJO INSPECCIÓN DEL ESTADO POR LO QUE LA CONSTRUCCIÓN Y LA OPERACIÓN SON TALES QUE ES CASI IMPOSIBLE QUE UNA FUGA OCURRA. PARA ASEGURAR ESTO SE REALIZAN MONITOREOS DEL AGUA, TANTO SUPERFICIAL COMO SUBTERRÁNEA EN LAS CERCANÍAS DE LOS SITIOS EN QUE SE REALIZA EL DEPÓSITO DE LOS TANQUES.

LOS TANQUES PARA ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO SON UTILIZADOS POR INDUSTRIAS, ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES Y RESIDENCIAS INDIVIDUALES. EL USO INDUSTRIAL ES PREDOMINANTEMENTE PARA COMBUSTIBLES PERO MUCHOS OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS SON ALMACENADOS EN TANQUES. LOS COMERCIOS Y LAS RESIDENCIAS LOS USAN CASI EXCLUSIVAMENTE PARA COMBUSTIBLE. EL NÚMERO MÁS GRANDE DE TANQUES SON AQUELLOS USADOS

## IMPACTO AMBIENTAL.

LAS FUGAS DE TUBERÍAS Y TANQUES HACIA EL SUELO PUEDE--

TENER SERIAS CONSECUENCIAS PARA EL MEDIO AMBIENTE DEPENDIENDO DEL FLUÍDO QUE ESCAPE. LOS ACEÍTES Y DERIVADOS DEL PETRÓLEO AÚN EN CANTIDADES TRAZA PUEDEN VOLVER INUTILIZABLE EL AGUA POTABLE DEBIDO AL SABOR, OLORES Y EFECTOS SOBRE LA VEGETACIÓN.

EN CONCENTRACIONES ALTAS, LOS VAPORES DE FRACCIONES -- MAS LIGERAS DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO, GAS LICUADO Y GAS NATURAL PUEDEN INFILTRARSE EN CIMENTACIONES, EXCAVACIONES Y TÚNELES. ESTOS VAPORES MEZCLADOS CON EL AIRE EN LAS CAVIDADES CONSTITUYEN UN RIESGO SEVERO DE EXPLOTACIÓN O INCENDIO.

PRODUCTOS QUÍMICOS COMO EL AMONIACO Y OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA AGRÍCULTURA PUEDEN TENER EFECTOS TÓXICOS.

#### FACTORES CAUSALES.

UN REPORTE DE FUGAS EN TUBERÍAS ES REPRESENTATIVO DE CAUSAS DE FUGAS PARA TODOS LOS TANQUES Y TUBERÍAS. LA TABLA N°

3,7 MUESTRA LA FRECUENCIA RELATIVA DE LAS CAUSAS. UNA REVISIÓN DE LA TABLA INDICA QUE LA MAYOR CAUSA DE FUGAS ES POR GASOLINERAS. ESTOS SON TANQUES PEQUEÑOS QUE USUALMENTE ESTÁN RECUBIERTOS DE UNA PELÍCULA ANTICORROSIVA, AUNQUE FRECUENTEMENTE TIE-

NEH FUGAS PRODUCIDAS POR LA CORROSIÓN. EL PRINCIPAL PROBLEMA CON ESTOS TANQUES ES EL HECHO DE QUE SU CONSTRUCCIÓN Y USO NO ESTÁN BIEN REGLAMENTADOS.

LAS LÍNEAS DE TUBERÍAS SON USADAS PARA TRANSPORTACIÓN, PARA RECOLECCIÓN O DISTRIBUCIÓN. LAS LÍNEAS DE TRANSPORTACIÓN SON USADAS PARA UN AMPLIO NÚMERO DE PRODUCTOS QUÍMICOS INCLUYENDO PETRÓLEO, GAS, AMONIACO, CARBÓN Y AZUERE. SU USO MÁS FRECUENTE ES PARA EL TRANSPORTE DE PETRÓLEO Y SUS DERIVADOS, GAS NATURAL Y AGUA, EN ESE ORDEN. EN LA TABLA 3,8 SE MUESTRAN LOS RESULTADOS DE UN ESTUDIO DE ACCIDENTES EN TUBERÍAS, EN LOS E.U.A.

MUCHAS INDUSTRIAS EMPLEAN TUBERÍAS BAJO TIERRA PARA TRANSPORTAR FLUÍDOS Y DESECHOS. EN LA INDUSTRIA PETROLERA LAS TUBERÍAS SON USADOS PARA TRANSPORTAR EL PETRÓLEO DE LOS POZOS A TANQUES PARA SEPARARLO DE LAS AGUAS SALADAS Y PARA ALMACENAJE,

LA CORROSIÓN QUE ATACA LAS TUBERÍAS EXTERNA E INTERNAMENTE. LA SEGUNDA CAUSA MÁS IMPORTANTE PUEDE SER HALLADA AGREGANDO AQUELLAS RELACIONADAS A LOS COMPONENTES DE LA TUBERÍA, EQUIPO, FALLA EN LA MANO DE OBRA O MAS FUNCIONAMIENTO. EL TERCER FACTOR ES LA RUPTURA DE LAS TUBERÍAS COMO RESULTADO DE ACCIDENTES DEBIDO

A MOVIMIENTOS DE EQUIPO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS. LAS CAUSAS MENOS COMUNES DE RUPTURA DE TUBERÍAS INCLUYENDO VANDALISMO, CLIMA SEVERO, INUNDACIONES, TERREMOTOS Y FUEGOS FORESTALES.

#### METODO DE CONTROL.

LOS MÉTODOS PRIMARIOS DE CONTROL ENFALIZAN TRES TIPOS DE PREVENCIÓN DE FUGAS:

- 1) PREVENIR LA CORROSIÓN POR MEDIO DE RECUBRIMIENTOS COMO PUEDE SER EL ALGUITRÁN O EL PLÁSTICO.
- 2) PROTECCIÓN CATODICA A LAS TUBERÍAS PARA MINIMIZAR LA CORROSION POR EFECTOS GALVÁNICOS.
- 3) RECUBRIMIENTOS INTERNOS DE FIBRA DE VIDRIO.

**TABLA N° 3,7      FRECUENCIA EN LAS CAUSAS**  
**DE FUGAS EN EL AÑO DE 1971**

	NUMERO	PORCIENTO
CORROSION EXTERNA	102	35
RUPTURA DE LA LINEA	67	23
TUBERIA DEFECTUOSA	31	11
CORROSION INTERNA	22	7
OPERACION INCONECTA DEL PERSONAL	22	7
VARIOS	12	4
JUNTA RECTAS	7	2
SELLO ROTO	6	2
REPARACION DEFECTUOSO	6	2
DESCONOCIDAS	6	2
DESPOPOSTURA DE VÁLVULAS	5	2
TUBERIA DAÑADA	4	1
CLIMA FRIO	3	1
VANDALISMO	2	1
T O T A L	295	100

TABLA N° 3,8  
RESUMEN DE LOS ACCIDENTES  
EN TUBERIAS EN EL AÑO 1971  
EN LOS E.U.A.

<u>P R O D U C T O</u>	<u>N° DE ACCIDENTES</u>	<u>% DEL TOTAL</u>	<u>PÉRDIDA (KILOLITROS)</u>	<u>% DEL TOTAL</u>
PETROLEO CRUDO	172	68	18,404	61
GASOLINA	51	20	6,677	22
COMBUSTIBLES	21	8	2,102	7
DIESEL	5	2	1,105	4
AMONIACO	3	1	1,560	5
KEROSENO	2	1	111	1
T O T A L	254	100	29,959	100

#### 4.- EJEMPLOS DE APLICACION.

EN NUESTROS DÍAS ES MUY RECONOCIDA LA IMPORTANCIA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO DEL AGUA DE BUENA CALIDAD, ASÍ COMO TAMBIÉN - NOS DAMOS CUENTA DE QUE ÉSTA PRESENTA UNA ESCASEZ CADA VEZ MAYOR. EN MÉXICO EN LOS ÚLTIMOS CUARENTA AÑOS SE HA DADO UN DESARROLLO ACCELERADO DEL USO DEL AGUA PROCEDENTE DEL SUBSUELO, DEBIDO A DOS RA ZONES PRINCIPALES:

- A) EL AGUA SUBTERRÁNEA CASI SIEMPRE CUMPLE - CON LAS NORMAS DE CALIDAD PARA CUALQUIER- USO.
- B) EL AVANCE DE LAS TÉCNICAS DE PERFORACIÓN- DE POZOS PROFUNDOS FACILITA SU EXPLOTA -- CIÓN.

EL DESARROLLO MENCIONADO, QUE SE HA DADO SIN ESTUDIOS NI PLANEACIÓN, HA DADO COMO RESULTADO GRANDES CONTRASTES EN EL APROVE CHAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS EN NUESTRO PAÍS; EXISTEN REGIONES EN -- LAS QUE EN EL PASADO HUBO ESCASEZ DEBIDO PRINCIPALMENTE A UNA GRAN DEMANDA GENERADA POR EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS Y A - LA FALTA DE FUENTES DE AGUA EN LA SUPERFICIE, Y EN LAS QUE HAN SI- DO SOBREEXPLOTADOS LOS ACUÍFEROS, ALGUNOS CON CONSECUENCIAS GRAVES. EN OTRAS REGIONES EN CAMBIO LA ABUNDANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA, AL MISMO TIEMPO QUE ES UNA POTENCIALIDAD AÚN NO EXPLOTADA PROPICIA - DOS CASOS EN LOS QUE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA HA PLAN TEADO SERIOS PROBLEMAS PARA LA EXPLOTACIÓN SATISFACTORIA DE ESTE -

## RECURSO.

### 4.1. EL ACUIFERO DE MERIDA, YUCATAN.

#### 4.1.1 ANTECEDENTES.

LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN CUENTA CON 612,232 HABITANTES EN UNA EXTENSIÓN DE APROXIMADAMENTE 8,300 HAS. QUE ES UN 52% DEL ÁREA MUNICIPAL, PRESENTANDO UNA DENSIDAD PROMEDIO DE 70 HAB/HA.

EN LA ACTUALIDAD SE TIENEN REGISTRADAS APROXIMADAMENTE -- 106,000 TOMAS DE AGUA POTABLE, LO QUE REPRESENTA UN SERVICIO DE -- AGUA POTABLE A POCO MÁS DEL 90% DE LA POBLACIÓN TOTAL. EN CONTRAS-- TE, ÚNICAMENTE EL 10% DE LA POBLACIÓN CUENTA CON DRENAJE SANITARIO, TODAS LAS DESCARGAS SON AL SUBSUELO POR MEDIO DE POZOS DE ABSOR -- CIÓN.

AUNADO A ÉSTO, EN EL ÁREA MUNICIPAL DE MÉRIDA, HAY ESTABLE CIDAS ALREDEDOR DE 1281 INDUSTRIAS, 43 HOTELES Y 26 CLÍNICAS Y HOS-- PITALES, QUE TAMBIÉN APORTAN GRAN CANTIDAD DE CONTAMINACIÓN AL AGUA SUBTERRÁNEA, TOMANDOSE COMO PARÁMETRO LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍ-- GENO A LOS 5 DÍAS (  $DBO_5$  ) SE ESTIMA QUE SE GENERA ALREDEDOR DE -- 24'641,000 KG/AÑO DE LOS CUALES EL 70% ES URBANO Y 30% INDUSTRIAL.

À LA FECHA SE TIENEN ESTUDIOS TANTO DE CALIDAD DEL AGUA --

DEL ACUÍFERO COMO DE LAS MEDIDAS DE SANEAMIENTO REQUERIDAS. ESTAS COINCIDEN EN QUE POR FALTA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y DEBIDO AL FRACTURAMIENTO DEL SUBSUELO, SE INFILTRAN DIRECTAMENTE LAS AGUAS RESIDUALES AL ACUÍFERO, CONTAMINÁNDOLO.

SE HA DEMOSTRADO QUE LA CAPACIDAD DEL CUERPO RECEPTOR PARA ASIMILAR LAS SUBSTANCIAS SE HA SOBREPASADO, EN GENERAL ESTO SE REDUCE A LOS PRIMEROS METROS SUPERFICIALES DEL ACUÍFERO YA QUE EL AGUA A UNA PROFUNDIDAD DE 20 M ES POR LO GENERAL DE BUENA CALIDAD. SIN EMBARGO EXISTEN SITIOS EN LOS QUE, POR TENER DESCARGAS INADECUADAS EN SUS SISTEMAS DE DRENAJE, HAN GENERADO FUERTES ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN EN TODO EL ESPESOR DEL ACUÍFERO. POR OTRA PARTE EL AGUA SUBTERRÁNEA NO ES APROVECHADA EN SU TOTALIDAD DE AQUÍ QUE EL FLUJO NATURAL HACIA LA COSTA SE HA MANTENIDO DEJANDO A SALVO DE CONTAMINACIÓN LAS ZONAS DE CAPTACIÓN DEL AGUA POTABLE.

EN GENERAL LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN MÁS ALTOS SE SITUAN AL CENTRO Y NOROESTE DE LA CIUDAD COINCIDIENDO CON EL FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

PARA LA SOLUCIÓN DE ESTE PROBLEMA SE HAN PROPUESTO VARIAS ALTERNATIVAS, SOBRESALIENDO LAS SIGUIENTES:

- 1) INSTALAR UN SISTEMA DE DRENAJE SANITARIO, INCLUSO DE ESTE YA SE HA CONSTRUÍDO UNA PARTE.
- 2) PERFORAR POZOS PROFUNDOS DE INYECCIÓN, SE DICE QUE - PODRÍAN INYECTARSE HASTA 300 L/S, SIN EMBARGO SE HA DEMOSTRADO EN POZOS EXPERIMENTALES QUE SOLO SE PUEDE INYECTAR DEL ORDEN DE 2 L/S.

#### 4.1.2 PLANTEAMIENTO.

PARA PODER ESTABLECER ACCIONES PARA SANEAR EL ACUÍFERO SE - REALIZÓ UN ESTUDIO GENERAL DE LA SITUACIÓN, AGRUPÁNDOSE EN 4 TEMAS.

##### 1.- AGUA POTABLE.

AUNQUE EL 90% CUENTA CON DICHO SERVICIO NO ES SUFI - CIENTE NI EN CALIDAD NI EN CANTIDAD, DEBIDO A QUE LA RED ES MUY ANTI - GUA, NO HABIENDO EQUILIBRIO DE PRESIONES EN EL SISTEMA, EXISTEN NUME - ROSAS FUGAS Y LAS ZINAS DE CAPTACIÓN OPERAN A MÁXIMA CAPACIDAD.

EL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN HA SIDO TAN RÁPIDO -- QUE PROVOCÓ QUE LAS OBRAS AVANCEN A UN RITMO MENOR Y SIN PLANEACIÓN.

##### 2. MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LODOS.

DIARIAMENTE SE DISPONEN DE MÁ S DE 800 TON. DE BASURA Y 150 M<sup>3</sup> DE LODOS DE LIMPIEZA DE FOSAS SÉPTICAS. (AÑO DE 1988) LA - MAYOR PARTE DE ESTA BASURA SE DISPONE A CIELO ABIERTO SIN MEDIDAS -

SANITARIAS DE PROTECCIÓN Y MANEJO, AFECTANDO LA CALIDAD DEL AGUA POR LA INFILTRACIÓN DE LIXIVIADOS.

LOS LODOS SE DISPONEN EN CUATRO CHARCAS SITUADAS EN LA PERIFERIA DE LA CIUDAD PERMITIENDO LA INFILTRACIÓN DE VOLUMENES IMPORTANTES ALTAMENTE CONTAMINADOS QUE PONEN EN RIESGO LA SALUD DE PERSONAS QUE UTILIZAN AGUA DE POZO POR NO TENER AGUA POTABLE. EN LAS TABLAS 4.1.1 Y 4.1.2 SE MUESTRAN ALGUNOS DATOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LODOS.

#### 5.- MANEJO Y DISPOSICIONES DE AGUAS RESIDUALES.

LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN TODOS LOS SECTORES Y ACTIVIDADES DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, EQUIVALENTES A 1500 L/S SON -- CARGADAS AL ACUÍFERO, INCLUYENDO LOS EFLUENTES DE FRACCIONAMIENTOS -- QUE CUENTAN CON ALCANTARILLADO SANITARIO YA QUE LA DESCARGA FINAL ES POR MEDIO DE POZOS DE ABSORCIÓN Y EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS NO LLEVAN PREVIO TRATAMIENTO O ACASO UN PASO POR TANQUES SÉPTICOS.

ESTA DESCARGA NO ES UNIFORME YA QUE LA DENSIDAD DE -- POBLACIÓN VARÍA. LA INDUSTRIAL EN LA MAYOR PARTE DE LOS CASOS, AL IGUAL QUE CLÍNICAS Y HOSPITALES GENERAN VOLUMENES IMPORTANTES DE -- AGUAS RESIDUALES ALTAMENTE CONTAMINADAS MISMAS QUE DESCARGAN DE LA -- MISMA FORMA Y PRACTICAMENTE SIN TRATAMIENTO ALGUNO.

#### 4.- SANEAMIENTO BÁSICO URBANO Y SUBURBANO.

LA POBLACIÓN CON ESCASOS RECURSOS ECONÓMICOS O ASENTADA EN PREDIOS IRREGULARES, PRINCIPALMENTE AL SUR DE LA CIUDAD E INCLUSIVE EN TODA LA PERIFERIA VIVEN EN CONSTRUCCIONES ANTIGUAS O QUE NO CUENTAN CON SERVICIOS BÁSICOS Y EN MUCHOS CASOS CONTINUAN REALIZANDO FECALISMO AL AIRE LIBRE.

ADEMÁS, EN LA MAYOR PARTE DE LOS CASOS CUENTAN CON ANIMALES DE TRASPATIO O TIENEN PEQUEÑAS GRANJAS AGROPECUARIAS EN LOS TERRENOS QUE HABITAN. LAS ESCRETAS, EN AMBOS CASOS, POR LO GENERAL SON DISPUESTOS A CIELO ABIERTO POR LO QUE AL LLEGAR LA PRECIPITACIÓN SE INFILTRAN GRAN CANTIDAD DE PATÓGENOS Y MATERIA ORGÁNICA. CONTAMINANDO LOS POZOS QUE LES SIRVEN DE ABASTECIMIENTO.

#### 4.1.3 MEDIDAS DE SANEAMIENTO.

PARA SANEAR EL CUERPO RECEPTOR SE REQUIERE REALIZAR UNA SERIE DE ACCIONES QUE SON:

- 1.- AGUA POTABLE
  - 1.1 CONTROL DE FUGAS Y RENOVACIÓN DE LÍNEAS DETERIORADAS.
  - 1.2 EQUILIBRAR PRESIONES MEDIANTE UN CIRCUITO PERIFÉRICO DE INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA.
  - 1.3 AUMENTAR LA OFERTA.

- 1.4 TRATAR EL AGUA OFRECIDA.
- 2.- MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS Y LODOS.
  - 2.1 REUBICACIÓN DEL BASURERO MUNICIPAL.
  - 2.2 TRATAR LAS BASURAS MEDIANTE COMPOST, RECUPERANDO LIXIVIADOS Y TRATÁNDOLOS.
  - 2.3 INCINERAR DESECHOS SÓLIDOS DE CLÍNICAS Y HOSPITALES.
  - 2.4 INSTALAR UN SISTEMA DE LECHOS DE SECADO PARA LODOS-EFLUENTES DE LIMPIEZA DE FOSAS SÉPTICAS CON RECUPERACIÓN Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS.
  - 2.5 CANCELAR Y PROHIBIR ESTRICTAMENTE LA DESCARGA DE LODOS EN CHARCAS A CIELO ABIERTO.
- 3.- MANEJO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES.
  - 3.1 APROVECHAR CONSTRUCCIÓN INCONCLUSA DEL DRENAJE SANITARIO.
  - 3.2 REHABILITACIÓN DE FOSAS SÉPTICAS.
  - 3.3 LOS FRACCIONAMIENTOS NUEVOS DEBERÁN DE CONTAR CON DRENAJE SANITARIO.
  - 3.4 TODAS LAS INDUSTRIAS DEBERÁN TRATAR SUS AGUAS RESIDUALES.
- 4.- SANEAMIENTO BÁSICO URBANO Y SUBURBANO.

EN ÉSTAS ZONAS SE REQUIERE LA INSTALACIÓN DE LETRI-

NAS O FOSAS PARA SANITARIO; ASÍ COMO DIGESTORES PARA EXCRETAS O FO-

## SAS DE OXIDACIÓN BIEN DISEÑADAS.

### 4.2 HIDROARSENISMO EN LA COMARCA LAGUNERA.

#### 4.2.1. ANTECEDENTES.

EL GRAN DESARROLLO DE LOS SECTORES AGROPECUARIOS E INDUS -  
TRIAL OBSERVADO EN LA REGIÓN LAGUNERA DURANTE LAS 3 ÚLTIMAS DÉCA -  
DAS, HA TENIDO COMO BASE PRINCIPAL EL AGUA. EN LA MISMA FORMA HA -  
SIDO LA CANTIDAD DISPONIBLE DE ESTE RECURSO EL FACTOR LIMITANTE PA -  
RA EL DESARROLLO ÓPTIMO DEL SECTOR AGROPECUARIO YA QUE ACTUALMENTE -  
SE ENCUENTRA APROVECHADA EL TOTAL DEL AGUA SUPERFICIAL DISPONIBLE Y  
MÁS DE LO TÉCNICAMENTE RECOMENDABLE, LA SUBTERRÁNEA.

LA DEMANDA CRECIENTE POR EL AGUA, CÓMO RESULTADO, ENTRE O -  
TROS FACTORES, DEL CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO, DE LA GRAN NECESIDAD DE  
PRODUCTOS AGRÍCOLAS Y DEL DESARROLLO INDUSTRIAL. HA ORIGINADO UNA -  
GRAN COMPETENCIA POR ESTE RECURSO. DURANTE LA DÉCADA DE 1940 SE I -  
NICIÓ LA EXPLOTACIÓN INTENSIVA DEL RECURSO HIDRÁULICO SUBTERRÁNEO -  
CON LA PERFORACIÓN DE GRAN CANTIDAD DE POZOS Y DESDE ENTONCES, LA -  
EXTRACCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA REBASÓ CON MUCHO A LA RECARGA DEL -  
ACUÍFERO. ESTO DIÓ LUGAR AL VACIADO GRADUAL DEL ALMACENAMIENTO SUB  
TERRÁNEO Y POR CONSIGUIENTE, AL DESCENSO PROGRESIVO DE LOS NIVELES -  
DE AGUA MODIFICANDO RADICALMENTE EL RÉGIMEN HIDROLÓGICO DE LA RE --

CIÓN Y AFECTANDO AL ACUÍFERO DE LA LLANURA.

EN LO CONCERNIENTE A LA CALIDAD DEL AGUA, SE TIENE LA CERTEZA DE LA PRESENCIA DE ARSÉNICO EN EL AGUA, Y SE HA EVIDENCIADO EN LA SALUD DE LOS HABITANTES DE LAS POBLACIONES RURALES, LO QUE HA MOTIVADO PREOCUPACIÓN EN LOS TRES NIVELES DE GOBIERNO POR LO QUE SE HAN REALIZADO NUMEROSOS ESTUDIOS A FIN DE CONOCER LA VERDADERA MAGNITUD DE LA PROBLEMÁTICA QUE REPRESENTA LA PRESENCIA DE ÉSTE ELEMENTO TÓXICO.

ESTA CALIDAD VARÍA, PERO EN TÉRMINOS GENERALES, ES BUENA PARA USO AGRÍCOLA PERO EN UNA GRAN PARTE DE ÉSTA ZONA NO ES APTA PARA CONSUMO HUMANO.

AL RESPECTO, EXISTEN DIVERSAS OPINIONES RELATIVOS AL ORIGEN DEL ARSÉNICO EN LAS AGUAS DEL ACUÍFERO DE LA LAGUNA, QUE VAN DESDE ATRIBUIRLO A ACTIVIDADES DE TIPO ANTROPOGÉNICO, HASTA DE ORIGEN NATURAL. EL MÁS ACEPTADO ES LA CERTEZA DE QUE LA SOBREEXPLOTACIÓN YA MENCIONADA HA PROPICIADO EL AUMENTO EN LA CONCENTRACIÓN DEL MISMO.

#### 4.2.2. PLANTEAMIENTO.

DESDE 1973 LA S.A.R.H. Y OTRAS DEPENDENCIAS HAN REALIZADO-

ESTUDIOS DE CALIDAD EN LAS AGUAS NATURALES SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS MISMOS QUE MUESTRAN LA FORMA EN QUE SE HAN INCREMENTADO LAS -- CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO EN EL AGUA ADEMÁS DE OTRAS SUBSTANCIAS-- QUE AÚN NO HAN REBASADO LOS LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS POR -- LOS CRITERIOS INTERNACIONALES DE CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

CON LA FINALIDAD DE RESOLVER ÉSTE PROBLEMA SE ESTABLECIERON ACUERDOS DE COORDINACIÓN PARA QUE A TRAVÉS DE LAS DEPENDENCIAS OFICIALES ( SARH, SPP, SEDUE Y SSA ) SE LLEVEN A CABO EN VARIAS ETAPAS LAS ACCIONES PARA ABASTECER DE AGUA DE BUENA CALIDAD A LA REGIÓN.

#### 4.2.3 SOLUCIONES PLANTEADAS.

PARA DAR UNA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DEL ARSENISMO EN LA COMARCA LAGUNERA SE HAN TOMADO DOS CAMINOS:

1) IDENTIFICACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE OTRAS FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA.

SE INAUGURÓ EL ACUEDUCTO "SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN BLOQUE A LAS COMUNIDADES RURALES Y URBANAS DE LA REGIÓN LAGUNERA, 1A. ETAPA" QUE CONDUCE ACTUALMENTE 425 L.P.S. Y TIENE UNA CA-

PACIDAD TOTAL DE 715 L.P.S. PARA SURTIR DE AGUA DE BUENA CALIDAD A LAS POBLACIONES EN DONDE ÉSTE LÍQUIDO TIENE LOS MÁ S ALTOS CONTENIDO DE ARSÉNICO. ESTA AGUA PROVIENE DE LA ZONA MÁ S CERCANA A LA DESEMBOCADURA DEL RÍ O NAZAS EN LA GRAN LLANURA DE LA COMARCA LAGUNERA, - DONDE LAS AGUAS SON DE BUENA CALIDAD.

OTRAS MEDIDAS EN ESTE SENTIDO SON:

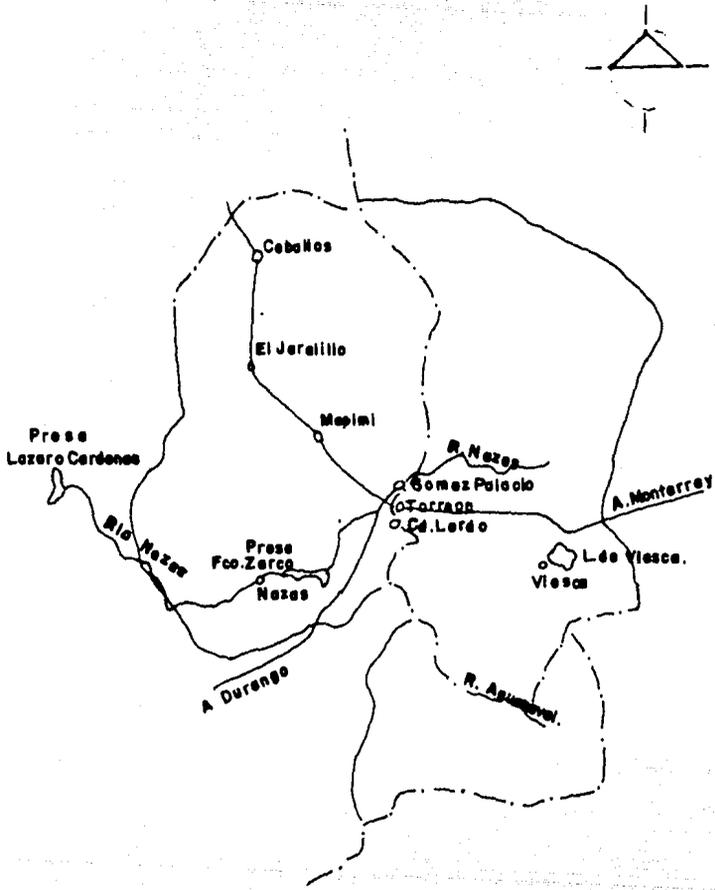
- A) UTILIZACIÓN DE POZOS CERCANOS A LA DESCARGA DEL RÍ O NAZAS.
  - B) CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DE AGUAS DE LA PRESA FRANCISCO ZARCO.
- 2) DESARROLLO DE MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA.

ES IMPORTANTE DESTACAR EN ÉSTE PUNTO LA IMPORTANCIA DE UN LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA QUE MONITOREA LOS ELEMENTOS TÓXICOS- DETECTADOS EN EL ACUÍFERO, YA QUE POR TRATARSE DE UNA ZONA DE ALTA- DINÁMICA EN EL MOVIMIENTO DE LAS AGUAS, POR LO MISMO TIENE ALGÚ N -- RIESGO DE EMPEZAR A DISTRIBUIR AGUAS CON CONTENIDOS DE ARSÉNICO MÁ S ALTOS DE LO RECOMENDABLE, CON ESTE MONITOREO SE LOGRA PREVENIR DI - CHA SITUACIÓN AVANZANDO EN LAS SOLUCIONES PLANTEADAS AL PROBLEMA DE ÉSTA ZONA.

POR OTRO LADO SE HA TRATADO DE ESTUDIAR Y DESARROLLAR PRO-

CECOS DE TRATAMIENTO PARA LA REMOCIÓN DEL ARSÉNICO EN LAS GUENTES -  
ACTUALES, ASEGURANDO ASÍ LAS DEMANDAS ACTUALES Y FUTURAS DE LA ZONA.

LAS SOLUCIONES ALCANZADAS VAN DESDE UN ELIMINADOR DE ARSÉNICO DE TIPO DOMICILIARIO HASTA PLANTAS DE TRATAMIENTO PARA ELIMINACIÓN DE ARSÉNICO POR FLOCULACIÓN.



 <b>UNAM</b>	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
<b>Comarca Lagunera .</b>	
<b>DANIEL ESTRADA MARTINEZ</b>	

TABLA 4.1.1 COMPOSICION DE LOS RESIDUOS  
SOLIDOS DE MERIDA, YUCATAN

<u>SUBPRODUCTO</u>	<u>% EN PESO</u>
Papel	24.71
Cartón	1.61
Residuos de Alimentos	58.20
Envases de Cartón	1.17
Plástico Película	2.19
Plástico Rígido	0.44
Metales	0.66
Residuos de Jardinería	1.90
Textiles	0.88
Miscelaneos	4.39
Vidrio	0.22

NOTA.- Peso de la muestra 129.11 Kg.

TABLA 4.2.2 CARACTERISTICAS DE LOS LODOS  
DE FOSA SEPTICA EN MERIDA, YUCATAN.

<u>PARAMETRO</u>	<u>VALOR</u>	<u>UNIDADES</u>
pH	7.8	
Humedad	98.44	%
Sólidos Volátiles	8,240	mg/l
Sólidos Fijos	7,400	mg/l
Sólidos Totales	15,640	mg/l
Fósforo	6.92	%
Nitrógeno	146.78	%

## 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

EL AGUA SUBTERRÁNEA PROPORCIONA UNA PORCIÓN SIGNIFICATIVA DEL TOTAL EXTRAÍDO EN NUESTRO PAÍS; POR EJEMPLO, PROPORCIONA UNA GRAN PARTE DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y MAS DEL 36% DEL AGUA UTILIZADA PARA RIEGO.

COMO EL CONTROL DE LAS DESCARGAS DE CONTAMINANTES EN AGUAS SUPERFICIALES SE HA HECHO MÁS EFECTIVO, LA DESCARGA DE DICHOS CONTAMINANTES AL SUBSUELO ES CADA MEZ MÁS UTILIZADA. UN CONOCIMIENTO CRECIENTE Y CONTINUO DE LAS SUSTANCIAS QUE ESTÁN SIENDO DEPOSITADAS (INTENCIONAL O INADVERTIDAMENTE) POR MEDIO DE POZOS Y OTRAS EXCAVACIONES EN EL SUBSUELO Y HACIA ADONDE SE ESTÁN MOVIENDO, ES ESCENCIAL SI QUEREMOS PREVENIR LA DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES EN NUESTROS RECURSOS SUBTERRÁNEOS DE AGUA.

COMO SE VIÓ, EL USO DE EXCAVACIONES PARA LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS ESTÁ AUMENTANDO, EL TIPO DE MATERIALES QUE SE DISPONEN SON MUCHOS Y EL EMPLAZAMIENTO Y AISLAMIENTO DE ESTOS DESECHOS PARA EVITAR IMPACTOS AMBIENTALES ADVERSOS (PARTICULARMENTE DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA) ES UN PROBLEMA DIFÍCIL Y COMPLICADO, SIN EMBARGO EN NUESTRO PAÍS YA SE ESTÁ LEGISLANDO Y REGLAMENTANDO EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS, UN EJEMPLO DE ELLO-

ES EL "REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS.

LAS DEPENDENCIAS OFICIALES, PARA PODER PREVENIR UNA CONTAMINACIÓN MAYOR DE GRANDES CANTIDADES DE AGUA UTILIZABLE, DEBEN DE TENER UN CONTROL MINUCIOSO Y PONER UNA ATENCIÓN ESPECIAL EN EL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE SUBTERRÁNEO, ASEGURANDO ASÍ A LA POBLACIÓN UN CONTÍNUO SUMINISTRO DE AGUA SUBTERRÁNEA DE BUENA CALIDAD AL MENOR COSTO POSIBLE.

EN NUESTRO PAÍS LO MÁS USUAL, EN CUANTO AL USO DE AGUA SUBTERRÁNEA SE REFIERE, ES TRATAR LOS PROBLEMAS E INICIAR LAS ACCIONES EN FORMA PARCIAL E INDIVIDUAL, POR ELLO CADA INSTITUCIÓN TIENE OBJETIVOS PROPIOS QUE CASI SIEMPRE ESTÁN EN CONFLICTO CON LOS OTROS ORGANISMOS. POR EL CONTRARIO LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEBE DARSE CON UNA PLANEACIÓN INTEGRAL DEL USO Y CONSERVACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA QUE LAS INSTITUCIONES EN CONFLICTOS SE CONJUNTEN O CREEN UN ORGANISMO CON REPRESENTACIÓN DE TODOS.

EN ALGUNOS CASOS, LA EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA ES MENOS COSTOSA QUE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES, EN OTROS CASOS LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS TANTO MUNICIPALES COMO INDUSTRIALES IMPLICA UN MENOR COSTO

SI ES SUBTERRÁNEA COMPARATIVAMENTE CON PROCESOS DE TRATAMIENTO Y -  
DISPOSICIÓN EN SUPERFICIE DE LOS MISMOS, POR LO QUE TANTO LA EXPLO-  
TACIÓN COMO LA DISPOSICIÓN FINAL EN MEDIOS SUBTERRÁNEOS SE PREFERE -  
RE; DICHA ELECCIÓN, SIN ESTUDIOS PREVIOS, PUEDE LLEVAR A LA PRO --  
DUCCIÓN DE EFECTOS NOCIVOS SOBRE LOS ACUÍFEROS EN FORMA IRREPARA -  
BLE, CUANDO CON UNA EXPLOTACIÓN Y USO DEL MEDIO SUBTERRÁNEO PLANIFI  
CADOS PUEDE OBTENERSE UN MAYOR BENEFICIO CON CARÁCTER PERMANENTE.

LOS PROGRAMAS DE USO Y PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA-  
SUBTERRÁNEA, DEBEN TENER COMO OBJETIVO EL DESARROLLO DE UN USO RA -  
CIONAL Y ORDENADO DE ÉSTOS; ESTE USO RACIONAL SE LOGRA TRATANDO -  
DE OBTENER LA MÁXIMA UTILIDAD CONGRUENTE CON LAS LIMITACIONES FISI  
CAS, LEGALES, SOCIALES, ECONÓMICAS Y POLÍTICAS QUE EXISTEN Y EL --  
USO ORDENADO MEDIANTE LA ACEPTACIÓN POR PARTE DE LOS RESPONSABLES,  
TANTO DE LA EXPLOTACIÓN COMO DE LAS EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS Y DE  
INYECCIÓN DE DESECHOS, DE LAS POLÍTICAS QUE SE ADOPTEN EN EL PLAN,-  
CREANDO UN ORGANISMO CON AUTORIDAD Y RECURSOS PARA LLEVAR ADELANTE-  
LAS ACCIONES DE PREVENCIÓN Y CONTROL ASÍ COMO PARA RESOLVER CON --  
FLICTOS Y SANCIONAR TRANSGRESIONES A LOS LINEAMIENTOS EMANADOS DE-  
DICHO ORGANISMO Y CONTEMPLADOS EN EL PLAN.

DE ESTE MODO BASANDONOS EN LO EXPUESTO EN ESTE TRABAJO PODAMOS HACER LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES:

- 1.- QUE TANTO LAS DEPENDENCIAS OFICIALES, COMO LAS EMPRESAS PRIVADAS ESPECIALIZADAS, LLEVEN A CABO MÁS ESTUDIOS SOBRE LA CANTIDAD DE ACUÍFEROS, SU AFORO Y SU GRADO DE CONTAMINACIÓN (DE EXISTIR ÉSTA ÚLTIMA).
- 2.- QUE SE EJERZA UN CONTROL ESTRICTO SOBRE DESCARGAS INDUCIDAS EN ACUÍFEROS APLICANDO LOS REGLAMENTOS RESPECTIVOS.
- 3.- TENER UN MAYOR CONTROL DE LAS CONDICIONES DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE DEPÓSITOS SUBTERRÁNEOS QUE CONTENGAN LIQUIDOS O ELEMENTOS QUE PONGAN EN RIESGO LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.
- 4.- EVITAR, EN LA MEDIDA DE LO POSIBLE, LOS TIRADEROS A CIELO ABIERTO CON LA COLABORACIÓN DE LAS AUTORIDADES MUNICIPALES, ESTATALES Y FEDERALES, SUSTITUYENDOLOS CON RELLENOS SANITARIOS.
- 5.- QUE LOS PROFESIONALES ESPECIALIZADOS DIFUNDAN EN CONGRESOS Y REUNIONES INVESTIGACIONES SOBRE EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y SU CONTROL.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- EL AGUA SUBTERRÁNEA Y LOS POZOS  
JOHNSON DIVISIÓN, UOP. INC.  
ST. PAUL, MINNESOTA.
- 2.- MECÁNICA DE SUELOS. TOMO I.  
JUÁREZ BADILLO E.- RICO RODRÍGUEZ A.  
EDITORIAL LIMUSA.
- 3.- HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA  
CUSTODIO Y LLAMAS  
EDITORIAL OMEGA
- 4.- MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES  
SECC. HIDROTÉCNIA, TOMO: A.12 GEOHIDROLOGÍA  
COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
- 5.- MEMORIA DEL VII SIMPOSIUM DE INGENIERÍA SANITARIA  
QUERÉTARO, QRO. 1988  
S M I S

## REFERENCIAS

- 1.- EVALUACIÓN, EFECTOS Y SOLUCIONES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.  
M.I. ERNESTO MURGUÍA VACA.
  
- 2.- ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL ESTUDIO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.  
ING. JAIME A. TINAJERO.  
F.I. U.N.A.M.
  
- 3.- POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO - APUNTES DE CLASE.  
ING. CARLOS MENENDEZ.  
F.I. U.N.A.M.
  
- 4.- GROUND WATER POLLUTION FROM SUBSURFACE EXCAVATIONS.  
U.S.E.P.A.  
WASHINGTON, D.C.