

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“MEDIDAS PARA EL CONTROL Y REMEDIACIÓN DE
LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS”.**

Realizado por:

Ochoa Guaipes, Josmary de los Angeles

Sosa Núñez, Andreina Elizabeth

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente
como Requisito Parcial para Optar al Título de:**

INGENIERO CIVIL

Barcelona, Octubre de 2007.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“MEDIDAS PARA EL CONTROL Y REMEDIACIÓN DE
LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS”.**

JURADO

**Prof. Haydeé Lárez
Jurado Principal.**

**Prof. Juan F. Díaz.
Jurado Principal.**

**Prof. Belkis
Sebatiani.**

**Prof. Enrique
Montejo.**

Barcelona, Octubre de 2007

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Para la aprobación definitiva de los Cursos Especiales de Grado, como modalidad Trabajo de Grado, será requisito parcial la entrega a un jurado calificador de una monografía en la cual se profundiza en uno o más temas relacionados con el área de concentración”.

DEDICATORIAS.

- **A Dios Todopoderoso y a la Virgen Del Valle**, por escuchar todas mis peticiones y brindarme salud, sabiduría y paciencia en todo momento de mi vida.
- **A mi Madre: Maritza del Valle Guaipes de Ochoa**, por que siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo incondicional, por enseñarme que en la vida se debe tener mucha fe y positivismo para lograr todas las metas. Te Quiero Mucho.....
- **A mi Padre: José Alberto Ochoa Balza**, por brindarme su apoyo, por ser un ejemplo de rectitud, responsabilidad y por siempre consentirme. Te Quiero Mucho Papi.....
- **A mis Hermanos: Albert**, por ser mi ejemplo a seguir, por cuidarme, protegerme y apoyarme en todo momento de mi vida. **Jhonathan**, por su apoyo y para que le sea ejemplo de lucha y constancia. Esto es para ustedes, Los Quiero Mucho....
- **A mis Abuelos: Martín Guaipes**, que desde el cielo me cuida y me da su bendición. **Felipa Ceballo de Guaipes “Filli”, Tomás Ochoa Guillermina Morantes de Ochoa**, por apoyarme y para que se sientan orgullosos por haber alcanzado esta meta... Los Quiero Mucho.
- **A mis Tíos y Primos:** por sus consejos, preocupación, por el cariño y el apoyo que siempre me han brindado.
- **A mis Amigas: Andris** “mi hermana”, por que siempre me ha brindado su apoyo, por siempre estar cuando te necesito y por compartir tantos momentos lindos. **Dayana, Elioska y Maira**, mis

amigas y compañeras de estudio por compartir tantos momentos difíciles y gratos.

- **A mis ahijadas: Gabriela y Valeria**, mis chiquiticas, que dios las bendiga, las proteja y las cuide...Las quiero Muchísimo!!
- A todas aquellas personas que me han brindado su cariño...

Josmary

- **A Dios Todopoderoso**, por haberme dado la oportunidad de venir a este mundo, por darme salud y escucharme siempre. Gracias por guiarme y permitirme alcanzar mis metas.
- **A mis Padres: Ana C. Núñez de Sosa y Richard M. Sosa G**, por el apoyo incondicional que me han brindado, por sus sacrificios, por estar siempre allí cuando los necesité, por el ejemplo de lucha incansable para alcanzar las metas, por creer en mi, por la confianza...por ser mis padres. Los quiero mucho.
- **A mis Hermanos: Carola**, por brindarme su apoyo incondicional cada vez que lo necesité, por ser un ejemplo a seguir y por enseñarme que, aunque en la vida se presenten adversidades, siempre se puede salir adelante y seguir luchando por lo que se quiere. **A Ricky**, por su apoyo y comprensión, y para que este logro le sirva de ejemplo y así pueda llegar a alcanzar sus metas.
- **A mis Sobrinos: Manuel Alejandro**, mi angelito, que Dios te bendiga y esté siempre a tu lado. A mi futura sobrina **Marianita**, que Dios te guarde y te permita venir a este mundo llena de vida y de mucha salud.
- **A mi Novio: Edicson Acosta**, por estar siempre a mi lado apoyándome en todo, por su paciencia, por soñar conmigo, por creer en mí. Este logro lo comparto contigo, porque tú formas parte de él.
- **A mis Abuelos: José Octavio Reyes G; “Papi”**, que espiritualmente estuvo a mi lado guiándome. Por ser un ejemplo a seguir y por el legado que has dejado. **Rita M Núñez De Reyes; “Mami”**, por apoyarme siempre y por creer en mi.

- **A mis Tíos y Primos**, por el cariño y el apoyo que siempre me han brindado.

Andreína

AGRADECIMIENTOS.

- **A Dios Todopoderoso y a la Virgen Del Valle**, por darme la fortaleza para superar todas las adversidades.
- **A la Universidad de Oriente**, La Magna Casa de Estudio por darme la oportunidad de formarme como profesional.
- **A los Profesores del Departamento de Ingeniería Civil**, en especial a los Profesores de las áreas de grado **Juan F. Díaz, Enrique Montejo, Belkis Sebatiani y Haydeé Lárez**, por ser nuestros guías y compartir sus conocimientos.
- **A la Profesora Haydeé Lárez**, nuestra asesor por su simpatía, dulzura y apoyo en la realización de este trabajo.
- **A mis Compañeros de Áreas de Grado**, por el apoyo que me brindaron en los momentos difíciles.
- **A todos aquellos**, que me han apoyado en la culminación de mi carrera y en la realización de este trabajo.

A todos mil gracias...!

Josmary

- **A Dios Todopoderoso**, por darme la fortaleza que necesité para salir adelante en los momentos difíciles, por darme todo lo que tengo y no dejarme nunca caer.
- **A la Universidad de Oriente**, que me brindó la oportunidad de realizar mis estudios de Ingeniería Civil.
- **A los Profesores del Departamento de Ingeniería Civil**, por darnos lo mejor de sí, por enseñarnos y prepararnos para ser excelentes profesionales y mejores personas.
- **A la Profesora Haydeé Lárez**, por ser nuestra guía y por brindarnos sus conocimientos, haciendo de nosotros mejores profesionales.
- **A los Profesores: Belkys Sebastiani, Juan Félix Díaz y Enrique Montejo**; por brindarnos su apoyo y compartir sus conocimientos y experiencias. Por sus valiosos consejos, que nos impulsan a seguir adelante y nos ayudan a ser mejores cada día.
- **A mis Compañeros de Clase, especialmente los de las Áreas de Grado**, por todos los momentos gratos que compartimos, por ser cómplices, por el apoyo que me brindaron. Les deseo mucho éxito.
- **A todos aquellos**, que de una u otra forma me han apoyado a lo largo de mi carrera, especialmente a la **Sra. Nohema** y a la **Sra. Amalia**; madres de mis compañeras María C. y Andreina V.

Andreína

INDICE

RESOLUCIÓN.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
AGRADECIMIENTOS.	viii
INDICE	x
INDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 Objetivo General.	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1 CICLO HIDROLÓGICO.	18
2.2 AGUAS SUPERFICIALES.	19
2.3 AGUAS SUBTERRÁNEAS.	19
2.3.1 Acuíferos.	20
2.3.1.1 Tipos de Acuíferos.....	21
2.3.2. Fluctuaciones de Nivel.	23
2.3.3 Localización de las Aguas Subterráneas.....	23
2.3.4 Movimiento de las Aguas Subterráneas.....	24
2.3.4.1 La Porosidad.....	25
2.3.4.2 La Permeabilidad.....	25
2.3.5 Uso de las Aguas Subterráneas.....	25
2.3.6 Sobreexplotación de las Aguas Subterráneas.....	26
2.3.7 Calidad de las Aguas Subterráneas.	28
2.3.7.1 Características Físicas.....	28
2.3.7.2 Características Químicas.....	29
2.3.7.3 Características Biológicas.....	29

2.3.8 Contaminación de las Aguas Subterráneas.	30
2.3.8.1 Contaminación Puntual o Local.	30
2.3.8.2 Contaminación no Puntual o Difusa.....	31
2.3.8.3 Movimiento de Contaminantes en las Aguas Subterráneas.....	31
2.3.9 Eutrofización.....	32
2.3.10 Vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación de las Aguas Subterráneas.	34
2.4 DIFERENCIAS ENTRE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	36
CAPITULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO	38
3.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	38
3.1.1 Naturales.....	39
3.1.2 Residuos Sólidos Urbanos.	39
3.1.3 Aguas Residuales.	40
3.1.4 Actividades Agrícolas.	41
3.1.5 Ganadería.	42
3.1.6 Actividades Industriales.....	43
3.1.7 Actividades Mineras.	44
3.1.8 Actividad Radiológica.	45
3.2 TIPOS DE CONTAMINANTES.	46
3.2.1 Cloruros.....	46
3.2.2 Cobre.....	46
3.2.3 Fluoruros.	47
3.2.4 Hierro.....	47
3.2.5 Plomo.	48
3.2.6 Manganeso.....	48
3.2.7 Nitratos.	48
3.2.8 Sodio.	50
3.2.9 Sulfatos.	50

3.2.10 Cinc.	51
3.2.11 Sales de Calcio y Magnesio.	51
3.3 MEDIDAS PARA EL CONTROL Y REMEDIACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	52
3.3.1 Control de las Aguas Subterráneas.....	53
3.3.1.1 Control de las Aguas Subterráneas en la Fuente de Contaminación.	53
3.3.1.2 Control de las Aguas Subterráneas en el Acuífero. ..	54
3.3.2 Remediación de las Aguas Subterráneas.	58
3.3.2.1 Muros de Tratamiento.....	60
3.3.2.2 Carbón Activado.	63
3.3.2.3 Biocorrección.	65
3.3.2.4 Extracción con Aire.	66
3.3.2.5 Enjuague In Situ.	67
3.3.2.6 Fitocorrección.	69
3.3.2.7 Oxidación Química.....	70
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
4.1 CONCLUSIONES.	72
4.2 RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	72
Anexo A.	76
Anexo B.	78
Anexo C.....	89
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ciclo Hidrológico.....	19
Figura 2.2. Acuífero	21
Figura 2.3. Acuíferos Libre y Confinado.	22
Figura 2.4. Explotación de Acuíferos.	27
Figura 2.5. Sobreexplotación de Acuíferos.....	28
Figura 2.6. Proceso de Eutrofización.....	33
Figura 3.1. Fuentes de Contaminación de las Aguas Subterráneas.	38
Figura 3.2. Contaminación por Residuos Sólidos.....	40
Figura 3.3. Contaminación por Lixiviados de Residuos Sólidos en Vertederos.	40
Figura 3.4. Contaminación por Aguas Residuales.....	41
Figura 3.5. Aplicación de Pesticidas.	42
Figura 3.6. Vertidos de Aguas Residuales Industriales.	44
Figura 3.7. Monitoreo de Detección (Ofensivo)	55
Figura 3.8. Monitoreo Defensivo.....	56
Figura 3.9. Monitoreo de Evaluación.	57
Figura 3.10. Vigilancia de Calidad de Abastecimiento de Agua Potable.....	57
Figura 3.11. Muros de Tratamiento.....	60
Figura 3.12. Barreras de Sorción.....	61
Figura 3.13. Barreras de Precipitación.	62
Figura 3.14. Barreras de Degradación.....	63
Figura 3.15. Carbón Activado.	64
Figura 3.16. Extracción con Aire.....	67
Figura 3.17. Enjuague In Situ.	68
Figura 3.18. Fitocorrección.	70
Figura 3.19. Oxidación Química.	72

RESUMEN

La contaminación de las aguas subterráneas, proviene principalmente de las actividades humanas y en menor medida de la naturaleza. Las fuentes de contaminación difusa afectan en gran medida la calidad de las aguas subterráneas, entre ellas tenemos: la agricultura, ganadería y zonas urbanas residenciales. Estas actividades generan sustancias contaminantes que son perjudiciales para la salud, como lo son los nitratos, los cuales causan la enfermedad de metahemoglobinemia (conocida como enfermedad de los bebés azules). Otros contaminantes pueden ser cloruros y cobre, los cuales proporcionan mal sabor al agua, el fluoruro provoca moteado de los dientes, el plomo es un veneno acumulativo muy dañino para la salud. Por lo tanto, antes de estar expuesto se hace necesario establecer medidas de control para verificar la calidad del agua, y en otros casos, detectar en que momento se produce la contaminación. Una vez que las aguas subterráneas están contaminadas se pueden tratar a través de diferentes sistemas como: carbón activado, muros de tratamiento, biocorrección, extracción con aire, enjuague in situ, fitocorrección y oxidación química. La técnica a emplear para el tratamiento de las aguas subterráneas dependerá del tipo de contaminante. La recuperación de la calidad del agua, aunque es factible, es de gran complejidad técnica y supone un elevado costo, por lo que es fundamental tomar medidas para evitar que se produzca la contaminación.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN.

Las aguas subterráneas son un importante recurso natural, equivalente a un embalse del que se puede extraer agua de buena calidad, utilizable para el suministro público y para la industria o la agricultura. Tiene también un importante valor intrínseco desde el punto de vista medioambiental, ya que sirve para mantener un determinado nivel de flujo en ríos y humedales, actuando como reequilibrador en periodos de sequía.

Las aguas subterráneas constituyen uno de los medios receptores más importantes de contaminación, en función de que, si bien se encuentran más protegidas que las superficiales, una vez que el contaminante se incorpora a dicho medio, es más difícil de eliminar. En muchos casos la contaminación de las aguas subterráneas constituye un proceso irreversible.

La contaminación puede ser natural o producida por las actividades humanas. Una potencial fuente de contaminación de las aguas subterráneas es la debida a residuos líquidos y sólidos urbanos, de mayor o menor consideración en función del tratamiento que reciben en los diferentes núcleos de población, que en casos permiten la infiltración de contaminantes inorgánicos y orgánicos hasta la zona saturada del suelo. Así como los lixiviados de residuos agrícolas, de plásticos y otros restos de la producción agrícola muy contaminantes como los pesticidas y fertilizantes.

La circulación de las aguas subterráneas es lenta, por lo que el transporte de contaminantes desde el lugar donde se producen tarda mucho tiempo. Esto significa que una contaminación producida varias décadas antes puede seguir poniendo en peligro más tarde la calidad de las aguas subterráneas.

El agua contaminada constituye una amenaza para la salud, calidad ecológica de los sistemas acuáticos asociados y de los ecosistemas terrestres que dependan directamente de ella. Una vez producida la contaminación, la construcción de nuevos pozos es muy costosa y, en muchas ocasiones, inviable. Es preferible, por lo tanto, prevenir o reducir el riesgo de contaminación, antes que tener que remediar las consecuencias.

En actualidad existen diversos métodos, que se pueden aplicar para el tratamiento de las aguas subterráneas contaminadas, que requiere de mucho tiempo y que además implican una alta inversión. Sin embargo suele ser más factible evitar que los contaminantes lleguen hasta las reservas subterráneas.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, con un volumen mayor que el de la masa de agua retenida en lagos y ríos. Las más extensas pueden alcanzar millones de kilómetros.

Esta agua subterránea se encuentra normalmente empapando materiales geológicos permeables que constituyen capas o formaciones a los que se les denominan acuíferos. Un acuífero no es más que un terreno rocoso permeable dispuesto bajo la superficie, en donde se acumula y circula el agua subterránea.

En muchos lugares las aguas subterráneas constituyen la única fuente de agua potable disponible para las diferentes actividades humanas y tiene un importante valor esencial desde el punto de vista medioambiental, ya que sirve para mantener un determinado nivel de flujo en ríos y lagos, actuando como re-equilibrador en periodos de sequía. La calidad de estas aguas se puede ver afectadas debido a que algunas actividades humanas generan contaminantes que pueden infiltrarse y percolar a través de los estratos del suelo, y en ocasiones pueden llegar a ella por inyección directa. Pese a que las aguas subterráneas son más difíciles de contaminar que las superficiales resulta más complejo y en ocasiones irreversible eliminar los contaminantes.

Esto sucede porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento. Se calcula que mientras el tiempo de permanencia medio del agua en los ríos es de días, en un acuífero es de cientos de años, lo que hace muy difícil su purificación.

Las principales actividades que generan contaminantes se pueden englobar en los siguientes grupos:

- ✓ Residuos sólidos urbanos.
- ✓ Aguas residuales.

- ✓ Agricultura.
- ✓ Ganadería.
- ✓ Industria y Minería.

Por la problemática expuesta es importante establecer medidas para controlar o remediar la contaminación de las aguas subterráneas, con la finalidad de evitarla o disminuirla y de esta manera obtener un recurso de calidad para abastecer las áreas urbanas y rurales que requieren del vital líquido para su desarrollo.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo General.

Establecer las medidas para el control y remediación de las aguas subterráneas.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Identificar las fuentes de contaminación de las aguas subterráneas.
- ✓ Reconocer los tipos de contaminantes provenientes de dichas fuentes.
- ✓ Discutir las medidas para el control y remediación de las aguas subterráneas.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 CICLO HIDROLÓGICO.

El ciclo hidrológico se podría definir como el “proceso que describe la ubicación y el movimiento del agua en nuestro planeta”.

La radiación solar lleva el agua de los océanos hasta la atmósfera por evaporación. El vapor de agua se eleva y luego se acumula dando lugar a la formación de las nubes. Bajo ciertas condiciones la humedad contenida en las nubes se condensa y se precipita en la tierra como lluvia, granizo o nieve, elementos que constituye las variadas formas de precipitación. La lluvia puede tomar diferentes rutas cuando cae al suelo, puede escurrir por la superficie del suelo y desembocar en ríos, lagos, quebradas y arroyos. Una parte es absorbida por plantas, otra se evapora y regresa a la atmósfera y el resto se infiltra en el suelo y pasa a ser agua subterránea. Ver figura 2.1.

La proporción de infiltración respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores. La litología (La naturaleza del material geológico que aflora en la superficie) influye a través de su permeabilidad, la cual depende de la porosidad, del diaclasamiento (agrietamiento) y de la mineralogía del sustrato. Otro factor que afecta la infiltración es una pendiente muy marcada, además de ésta la presencia de vegetación densa influye de forma compleja ya que reduce el agua que llega al suelo.

El ciclo hidrológico se trata de un ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención mínima de reacciones químicas, y el agua solamente se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico.

Los principales procesos implicados en el ciclo del agua son: Evaporación, Precipitación, Infiltración, Escorrentía y Circulación Subterránea.

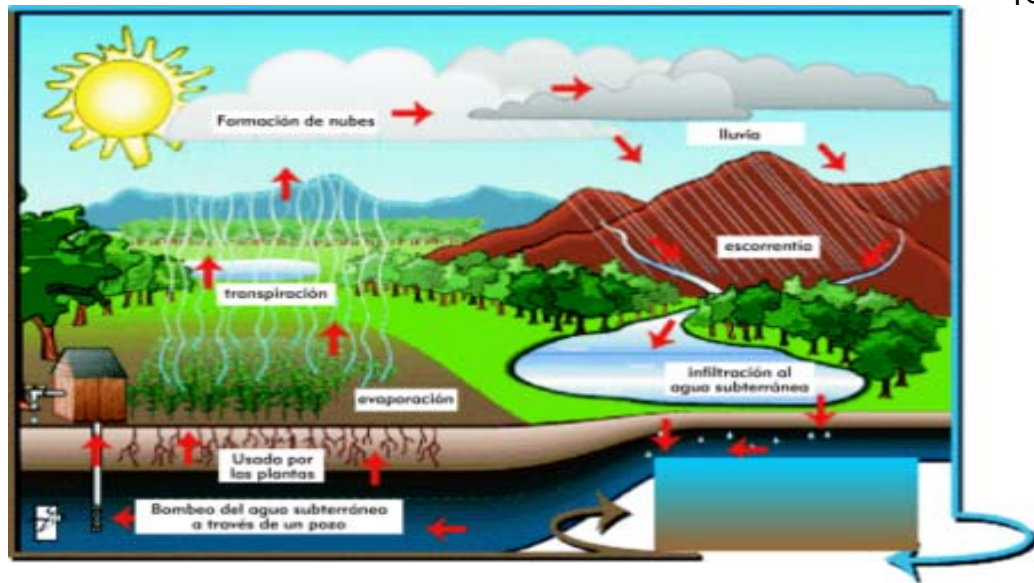


Figura 2.1 Ciclo Hidrológico.

2.2 AGUAS SUPERFICIALES.

Son las aguas continentales que se encuentran en la superficie de la tierra y se dividen en aguas corrientes, que son las masas de agua que se mueven en una misma dirección y pueden circular continuamente, como los ríos y los arroyos; y aguas estancadas, que son las aguas interiores que no presentan corriente continua, como los lagos, las lagunas, las charcas y los pantanos.

En general proceden directamente de las precipitaciones que caen desde las nubes o de los depósitos que éstas forman.

2.3 AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Las aguas subterráneas representan una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, con un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y menor al de los glaciares. El agua del subsuelo es un recurso

importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación. Estas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible. A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales. Otras, hay que ir a recogerlas a distintas profundidades excavando pozos.

El agua subterránea es considerada frecuentemente una fuente inagotable, pero recientemente las circunstancias indican que es muy vulnerable a la contaminación y a su desaparición. Esta agua se encuentra normalmente empapando materiales geológicos impermeables que constituyen formaciones o niveles a los que llamamos acuíferos. ^[1]

2.3.1 Acuíferos.

Un acuífero es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua proveniente de la precipitación percola y se almacena. A veces se mueve lentamente al océano por flujos subterráneos. Ver figura 2.2.

Un acuífero está conformado por dos zonas: una zona de saturación que es la situada por encima de la capa impermeable, donde el agua rellena completamente los poros de las rocas. El límite superior de esta zona es el nivel freático y varía según las circunstancias, descendiendo en épocas secas, cuando el acuífero no se recarga o lo hace a un ritmo más lento que su descarga, y asciende en épocas húmedas. Este nivel separa la zona de saturación de la zona de aireación. La zona de aireación, es el espacio comprendido entre el nivel freático y la superficie, donde no todos los poros están llenos de agua.

Si se excava o perfora la tierra para conectar con un acuífero, a través de pozos y/o galerías se puede explotar esta masa de agua para consumo humano, agrícola o industrial.

En lugares alejados de ríos, lagos o mares, los acuíferos son a menudo la única fuente de agua disponible.

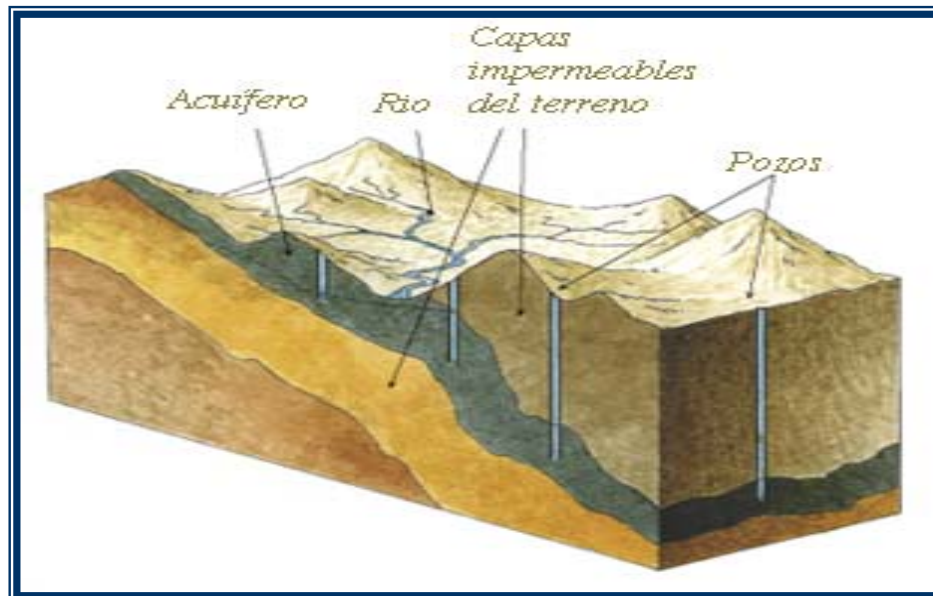


Figura 2.2. Acuífero

2.3.1.1 Tipos de Acuíferos.

a. Acuíferos Libres.

Los acuíferos libres son aquellos en que el agua subterránea presenta una superficie libre y se encuentra a presión atmosférica. La superficie del agua será el nivel freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no, pero lo importante es que no tenga por encima ningún material impermeable. Ver figura 2.3. En estos acuíferos, al perforar pozos que los atraviesen total o parcialmente, el agua alcanza un nivel que sería el mismo que tendría dentro de la formación geológica, es decir

el nivel freático (nivel real) coincide con el nivel piezométrico (nivel ideal que alcanzaría el agua a presión atmosférica).^[2]

b. Acuíferos Confinados.

En este tipo de acuífero, el agua que contienen está sometida a cierta presión, superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente. Están sellados por materiales impermeables que no permiten que el agua ascienda hasta igualar su presión a la atmosférica. Ver figura 2.3.

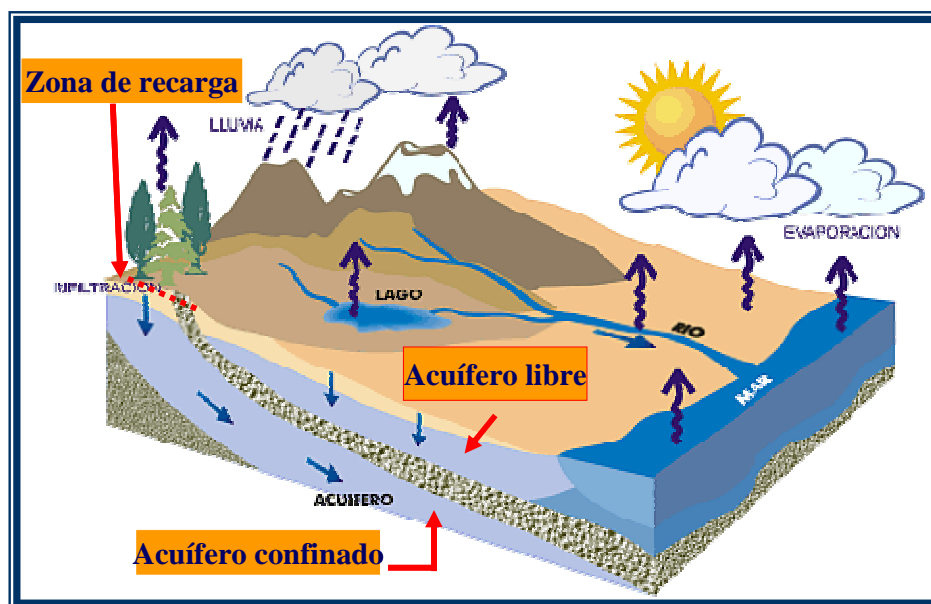


Figura 2.3. Acuíferos Libre y Confinado.

Por este motivo al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, se observará que el nivel del agua asciende muy rápido hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico. El nivel piezométrico viene a ser una superficie imaginaria que representa la

presión o carga hidráulica existente dentro de una parte o de todo un acuífero Artesiano (acuífero confinado o captivo).

Para los acuíferos confinados, el rendimiento de agua se expresa en términos del coeficiente de almacenamiento (S). Este coeficiente puede definirse como el volumen de agua que absorbe o pierde un acuífero por unidad de superficie y por unidad de cambio de la carga normal a la superficie del acuífero.^[3]

2.3.2. Fluctuaciones de Nivel.

Cualquier circunstancia que altere la presión impuesta sobre el agua del subsuelo tendrá como consecuencia una variación en su nivel. Los factores estacionales, los cambios en las cantidades de agua que transporta los ríos y los arroyos, la evapotranspiración, los cambios en la presión atmosférica, los vientos, las mareas, cargas externa, diversas forma de retirada y recarga de agua y los terremotos, todos ellos, pueden producir fluctuaciones en el nivel de la capa freática o superficie piezométrica, dependiendo del tipo de acuífero (Confinado o Libre).

2.3.3 Localización de las Aguas Subterráneas.

Las aguas subterráneas se encuentran debajo de muchos tipos de formas geológicas, entre grietas y espacios que hay en la tierra, incluyendo arena y piedras. Parte del agua que cae por la precipitación de lluvia y nieve se filtra a través del subsuelo avanzando verticalmente por gravedad a través de poros o intersticios existentes entre los granos y pasa a formar los acuíferos subterráneos. Otra parte del agua que puede infiltrarse es la proveniente de ríos, lagos, glaciares y aguas de océanos que se encuentren a niveles profundos.

Las aguas subterráneas pueden generarse también por actividad volcánica, que despide humedad en el interior de la tierra; o por medio de las aguas fósiles, las cuales quedaron atrapadas en etapas geológicas anteriores entre capas de rocas sedimentarias flexionadas.

En los acuíferos se acumula el agua entre los espacios de arena, grava, y rocas, los cuales se encuentran conectados entre sí cual si fuese un sistema de pequeños canales, donde el agua es almacenada y circula muy lentamente a través de la zona de saturación.

La reserva subterránea depende en gran medida de la porosidad del acuífero, o la cantidad de espacios que hay para sostener el agua. La capacidad del acuífero de transmitir agua, o su permeabilidad, se basa en parte en el tamaño de estos espacios y la manera en que están interconectados.

El agua subterránea también puede aparecer en la superficie en forma de manantiales, oasis, o puede ser extraída mediante pozos.^[4]

2.3.4 Movimiento de las Aguas Subterráneas.

Las aguas subterráneas se encuentran en movimiento constante, pueden moverse de lado a lado y de arriba a abajo. Primero el agua se mueve hacia abajo debido a la caída de la gravedad. También puede moverse hacia arriba porque fluiría de zonas de alta presión a zonas de baja presión. Estos movimientos son muy lentos (en condiciones naturales llega desde valores muy bajos hasta valores altos medidos de 4 m/día).

Los lentos movimientos de las aguas subterráneas, ya bien sea en su estado inalterado, o en la cercanía de pozos, pueden ser analizados mediante la observación de las alturas piezométricas entre varios puntos del acuífero o mediante la apreciación de partículas trazadoras, introducidas en las masas de agua en movimiento.

El flujo de las aguas subterráneas es controlado por dos propiedades de las rocas: porosidad y permeabilidad.

2.3.4.1 La Porosidad.

Es el porcentaje en volumen de roca con espacios abiertos (poros). Esto determina la cantidad de agua que contiene la roca. En sedimentos o rocas sedimentarias la porosidad depende del tamaño de grano, forma de grano, el grado de cementación.

2.3.4.2 La Permeabilidad.

Es una medida de la facilidad del movimiento del agua subterránea a través de los acuíferos. Si el grado de permeabilidad de un terreno es alto, el agua penetrará fácilmente por sus poros, de lo contrario se acumulará en la superficie o escurrirá a través de la misma.

La determinación de la permeabilidad se puede realizar por estudios de muestras en el laboratorio y ensayos en el campo.^[5]

2.3.5 Uso de las Aguas Subterráneas.

Las aguas subterráneas son un importante recurso natural, equivalente a

un embalse del que se puede extraer agua de buena calidad, utilizable para el suministro público y para la industria o la agricultura. Tiene también un importante valor intrínseco desde el punto de vista medioambiental, ya que sirve para mantener un determinado nivel de flujo

en ríos y humedales, actuando como reequilibrador en periodos de sequía.

Las aguas subterráneas son un recurso importante, que suelen utilizarse como fuente de agua potable, o para procesos industriales o agrícolas, y es por ello que deben ser protegidas en sus usos actuales y futuros. Estas aguas constituyen la base de los sistemas de agua superficiales (es decir, es un agua que alimenta los ríos durante todo el año), muchas de las cuales son utilizadas como recurso para el suministro público y con fines recreativos.

En muchos ríos más del 50% del flujo anual procede de aguas subterráneas, que a veces efectúa grandes desplazamientos. En periodos de niveles bajos, más del 90% de su caudal puede proceder de aguas subterráneas. De ahí que el deterioro de la calidad de éstas afecte directamente a los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados a ellas.

Un buen uso de las aguas subterráneas exige tener en cuenta que, en los lugares en que las precipitaciones son escasas, los acuíferos se van cargando de agua muy lentamente y si se consumen a un ritmo excesivamente rápido, se agotan.

El empleo de aguas subterráneas debe estar sujeto a criterios establecidos de conservación de caudales y de calidad, así como evitando los casos de abuso, tanto por exceso de extracción como por contaminación de afluentes vertidos al mismo.^[6]

2.3.6 Sobreexplotación de las Aguas Subterráneas.

Debido a una serie de actuaciones incontroladas promovidas por el hombre, los acuíferos se han visto en sobre manera explotados. Esto ha perjudicado notablemente, dando lugar a problemas de diversa índole como agotamiento de las reservas, deterioro de la calidad del agua, impactos económicos y medioambientales, entre otros. Ver figuras 2.4 y 2.5.

El problema de la sobreexplotación afecta a un gran número de acuíferos que son actualmente utilizados como fuente de suministro de agua potable. Se estima que un importante número de unidades hidrológicas empleadas para este fin se ven afectadas por esta causa, lo que amenaza su sostenibilidad.

La sobreexplotación de un acuífero se produce por una diferencia entre el rápido consumo del agua y la lenta capacidad de recarga del mismo, sobre todo en tiempos de sequía. En acuíferos costeros provoca la invasión de agua salada, inutilizándolos para el consumo tanto urbano como agrícola, además de desequilibrar el ecosistema donde esté integrado. El otro problema principal es el generado por actividades urbanas, industriales o agrícolas que contaminan los acuíferos.

Para cualquier planteamiento futuro en lo referente a los recursos hídricos, y más concretamente al trabajo que deban desempeñar las aguas subterráneas, se pueden señalar una serie de principios básicos a seguir: ^[7]

- ✓ Uso sostenible, de manera que los acuíferos tengan una explotación equilibrada y que no de lugar a una destrucción de los mismos.
- ✓ Gestión integral que contemple tanto las aguas subterráneas como superficiales.
- ✓ Conservación del recurso.
- ✓ Protección frente a la contaminación.

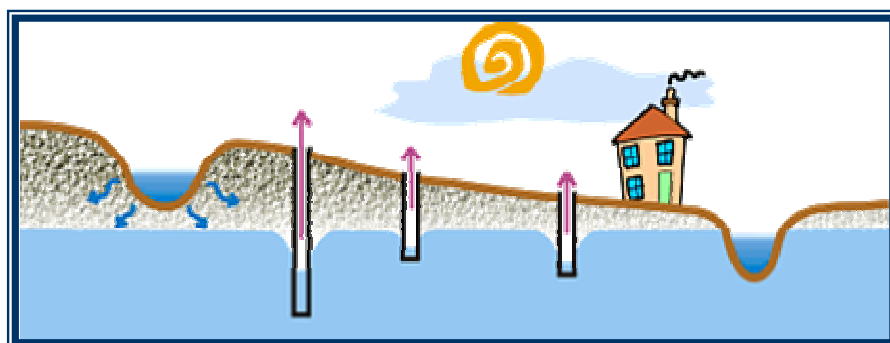


Figura 2.4. Explotación de Acuíferos.

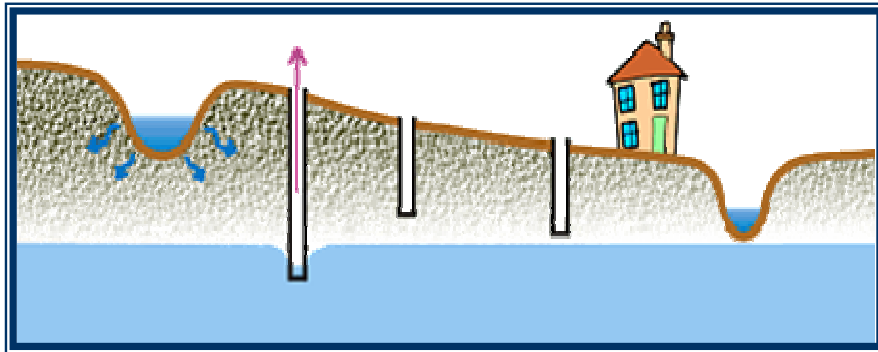


Figura 2.5. Sobreexplotación de Acuíferos

2.3.7 Calidad de las Aguas Subterráneas.

La calidad del agua no es más que una condición general que permite que esta se emplee para usos concretos, bien sea para consumo humano, uso agrícola (comprende animales y agua para riego) o uso industrial.

En el momento en que van a ser destinadas para abastecimiento de aguas potables, deben mantener unos parámetros mínimos de calidad (físicos, químicos y bacteriológicos) que aseguren su correcto estado.

En base a esto, se han establecido una serie de características en las cuales se contemplan los parámetros más importantes para determinar si el agua es apta para el consumo o no. Entre estas destacan: las características físicas, químicas y biológicas.

2.3.7.1 Características Físicas.

Las características físicas están referidas a la calidad del agua para el uso doméstico y usualmente están asociadas con la apariencia del agua, su color o turbidez, temperatura, sabor y olor, materiales en suspensión, radiactividad, espumas y conductividad.

2.3.7.2 Características Químicas.

Las características químicas incluyen la presencia de metales pesados, nitrógeno y fósforo, pH, alcalinidad, conductividad y dureza, así como los compuestos orgánicos naturales (proteínas, carbohidratos y lípidos), los compuestos sintéticos orgánicos y los gases disueltos en el agua (nitrógeno, oxígeno, bióxido de carbono, amoníaco y metano).

El agua de recarga debe ser químicamente compatible con la del acuífero y con los materiales de dicho acuífero. Las reacciones de intercambio iónico, sobre todo con sodio, entre el agua de recarga y el terreno pueden dispersar o hinchar las partículas de arcillas existentes, lo cual producirá una disminución de la permeabilidad del acuífero y de la velocidad de infiltración.

2.3.7.3 Características Biológicas.

Las aguas con materia orgánica permiten el crecimiento de bacterias y, en algunos casos, de algas que pueden dar lugar a procesos de colmatación (proceso de sedimentación de un material en una fuente de agua), y originar la presencia de gases. La putrefacción de esta materia orgánica produce la aparición de nitratos u otros productos que pueden ser tóxicos.

Además, estas características biológicas del agua se relacionan, principalmente, con las poblaciones de microorganismos transmisores de enfermedades, asociadas a desechos humanos y animales tratados

inadecuadamente o depositados en los cuerpos superficiales o en sistemas de agua subterránea.^[8]

2.3.8 Contaminación de las Aguas Subterráneas.

La precipitación contiene muy pocas impurezas, una vez que ésta alcanza la superficie de la tierra, se presentan muchas oportunidades para la intrusión de minerales y sustancias orgánicas, microorganismos, y otras formas de polución. Cuando el agua fluye sobre, y a través, de la superficie terrestre puede recoger partículas de tierra. Esto se nota en el agua por la aparición de turbiedad. También recoge partículas de materia orgánica y materia. Cuando el agua de la superficie se cuela hacia abajo en el suelo y a través del material subyacente hasta la capa freática, la mayoría de las partículas suspendidas se filtran y dejan de pertenecer al agua. Esta filtración natural puede ser de algún modo eficaz eliminando bacterias y otros materiales particulados; no obstante, las características químicas del agua pueden cambiar y variar ampliamente cuando entran en contacto con depósitos minerales.

Se pueden distinguir dos tipos de contaminación del agua subterránea según la fuente que la produce, puntual y no puntual.

2.3.8.1 Contaminación Puntual o Local.

Producida por actividades que dirigen sus desechos en un sitio determinado y que afectan a un sector limitado del acuífero. Este tipo de contaminación es fácil de medir y controlar. Entre ellas destacan los vertederos de residuos sólidos urbanos, los vertidos industriales y los vertidos ganaderos.

Los problemas causados por este tipo de contaminación dependerán de la naturaleza de la sustancia contaminante, que puede convertir el agua en no apta o con limitaciones para el consumo humano, o ser un riesgo sanitario potencial para productos expuestos al agua.

El contaminante se mueve entre el agua por difusión, y su tendencia general es a expandirse siguiendo la dirección de flujo del agua, disminuyendo con el tiempo la concentración del contaminante, pero aumentando el área afectada.

2.3.8.2 Contaminación no Puntual o Difusa.

Producida por actividades que dirigen sus desechos en grandes superficies de terreno y que afectan a grandes volúmenes de acuífero; siendo la agricultura la actividad humana más impactante desde el punto de vista de este tipo de contaminación. También Incluye la contaminación por la actividad ganadera, y la que se da por precipitación (lluvia ácida por ejemplo). Otra fuente difusa es el consumo de productos por parte de la industria o del público.^[9]

2.3.8.3 Movimiento de Contaminantes en las Aguas Subterráneas.

Los perfiles del suelo atenúan activamente un gran número, pero no todos, de los contaminantes del agua. Durante muchos años, han sido considerados como un sistema potencialmente efectivo para la disposición segura de excrementos humanos y efluentes domésticos. Los procesos involucrados en la atenuación de contaminantes continúan, en menor grado, a mayores profundidades, especialmente en donde se encuentran sedimentos no consolidados en la zona no saturada. Adicionalmente, la dispersión hidrodinámica asociada con el flujo del agua

subterránea ocasiona la dilución de contaminantes móviles y persistentes, especialmente en la zona saturada de los acuíferos.

Habrán más dilución en pozos de bombeo porque ellos generalmente interceptan o introducen flujos de agua subterránea a varias profundidades y en varias direcciones, no todos los cuales estarán normalmente contaminados. Sin embargo no todos los perfiles del suelo y las condiciones hidrogeológicas son igualmente efectivas para la atenuación de contaminantes. Además, el grado de atenuación variará ampliamente según el tipo de contaminante y el proceso de contaminación en un ambiente dado.

El flujo de agua y el transporte de contaminantes desde la superficie del suelo al nivel freático tienden a ser un proceso lento en muchos acuíferos. Esto significa que puede tomar muchos años, aún décadas, antes de que se detecte los efectos de un episodio de contaminación por un contaminante persistente.

La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas se relaciona principalmente a los acuíferos no confinados o freáticos, especialmente donde su nivel freático es poco profundo.

Es relevante mencionar la posibilidad de autoeliminación de contaminantes durante el transporte al subsuelo, como resultado de la degradación bioquímica y reacción química. Los procesos de retardación de contaminantes debido a fenómenos de sorción (adsorción o absorción) son también de importancia. Aunque tales fenómenos no conducen a la eliminación de contaminantes desde las aguas subterráneas, ellos incrementan el período en que los procesos de eliminación pueden funcionar y afectan las variaciones temporales en la concentración de contaminantes.

2.3.9 Eutrofización.

El término eutrofización designa el enriquecimiento en nutrientes. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático.

El proceso de eutrofización puede causar problemas: estéticos (mal sabor y olor), crecimiento denso de las plantas con raíces, agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en los fondos de los lagos, así como otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras.

El desarrollo de la biomasa (energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica) en un ecosistema viene delimitado, por la escasez de algunos elementos químicos, que los productos primarios necesitan desarrollarse y a los que llamamos por ello factores limitantes. Ver Figura 2.6.

La contaminación de las aguas, puede aportar cantidades importantes de esos elementos faltantes. El resultado es un aumento de la producción primaria (fotosíntesis) con importantes consecuencias sobre la composición, estructura y dinámica del ecosistema. La eutrofización produce de manera general un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. ^[10]

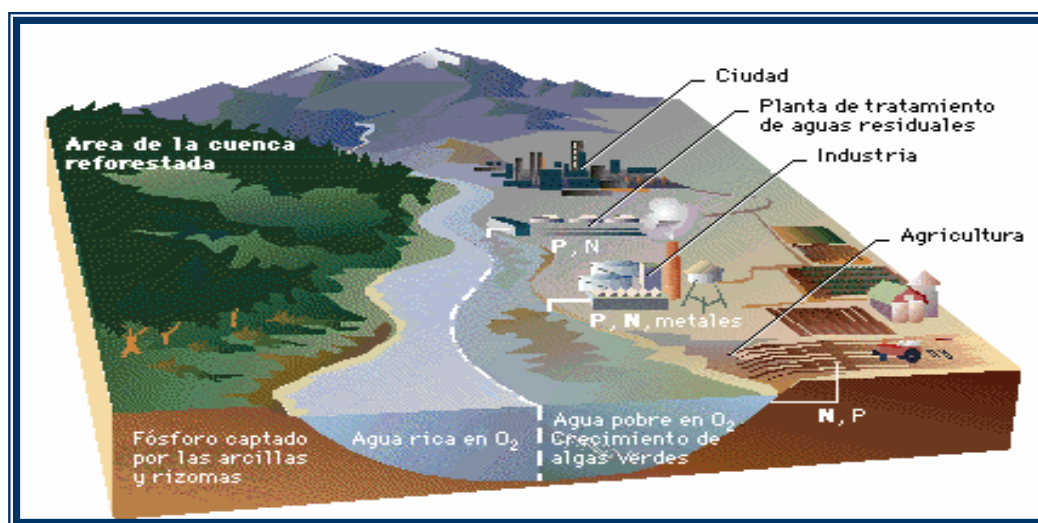


Figura 2.6. Proceso de Eutrofización

2.3.10 Vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación de las Aguas Subterráneas.

La vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación expresa la sensibilidad de las aguas subterráneas a una alteración de la calidad originada por actividades humanas.

Esta vulnerabilidad es función de una serie de características intrínsecas del acuífero, referidas a la parte del terreno situada sobre la superficie piezométrica. Estas características incluyen aspectos mineralógicos, nivel de consolidación y figuración y grado de desarrollo del suelo vegetal.

Según esta definición, la vulnerabilidad dependerá de: la inaccesibilidad hidráulica de la zona no saturada a la penetración de contaminantes; la capacidad de atenuación de dicha zona como resultado de la retención físico-química; o de la reacción de los contaminantes con el terreno. La zona no saturada puede constituir así una poderosa línea de defensa natural contra la contaminación en acuíferos libres.

Además, el grado de afección de las aguas subterráneas como consecuencia de un episodio contaminante está también condicionado por factores externos, unos de origen climatológico-pluviométrico y temperatura, y otros relativos a la carga contaminante (procedimiento y lugar de penetración del contaminante, movilidad y persistencia del contaminante).

La combinación de los factores indicados anteriormente determina el potencial de riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas, siempre referido a una zona determinada.

El término riesgo de contaminación se define como la probabilidad de que las aguas subterráneas se contaminen con concentraciones por encima de los valores recomendados por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para la calidad de agua de consumo humano. El hecho que

este riesgo pueda convertirse en una seria amenaza a la calidad de abastecimiento de agua subterránea ya desarrollado o por desarrollar, dependerá de la movilidad de los contaminantes dentro del acuífero mismo.

Los mecanismos de incorporación del contaminante al acuífero son de varios tipos:

- ✓ Infiltración a través de la zona no saturada en áreas de recarga.
- ✓ Pérdidas en ríos o masas de agua superficial conectadas con el acuífero.
- ✓ Inyección en sondeos y pozos.
- ✓ Intrusión en zonas próximas a aguas salinas.

Asimismo, los procesos que determinan el alcance y evaluación de la contaminación de las aguas subterráneas pueden resumirse en:

- ✓ Filtración mecánica de las partículas y bacterias en suspensión, acentuada en acuíferos con porosidad intergranular y poros de pequeños tamaños y uniformemente distribuidos.
- ✓ Oxidación-reducción, en particular de compuestos nitrogenados y metales pesados durante su paso por la zona no saturada, en la que es más intensa la actividad de microorganismos.
- ✓ Adsorción y absorción, que incrementan el período de permanencia del contaminante en el terreno y, por consiguiente, la posibilidad de una depuración mayor, favorecida por el intercambio iónico y la acción bacteriana.
- ✓ Dilución, por mezcla de agua contaminada con agua de mejor calidad. La capacidad de almacenamiento del acuífero condiciona en este caso el alcance del proceso.
- ✓ Acción bioquímica, particularmente intensa en la zona no saturada.

- ✓ La tipología de sustancias contaminantes puede ser muy diversa abarcando desde iones inorgánicos simples a sustancias sintéticas orgánicas de composición compleja.^[11]

2.4 DIFERENCIAS ENTRE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

En cuanto a la detección, en la superficie la contaminación es más perceptible de inmediato, con lo que las posibles medidas de corrección pueden ponerse en marcha inmediatamente. En las aguas subterráneas, cuando se detecta el problema, pueden haber transcurrido meses o años.

En cuanto a la solución, las aguas de un río se renuevan con la rapidez de su flujo, de modo que, anulado el origen de la contaminación, en un plazo breve el cauce vuelve a la normalidad. En los acuíferos, como su flujo es tan lento y los volúmenes tan grande, se necesita mucho tiempo para se renueve varias veces toda el agua contenida en él, e incluso entonces el problema persiste por las sustancias que quedaron absorbidas en el acuífero.

CAPITULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

La mayor preocupación sobre la contaminación del agua subterránea se ha centrado en la contaminación asociada con actividades humanas. La contaminación de las aguas subterráneas por el hombre están relacionadas con la disposición de residuos (aguas residuales, basureros, depósitos de lodos, industria petrolera, industria minera, emisión de líquidos en pozos profundos, ganadería, radiactivos) o no directamente relacionado con emisión de residuos (accidentes, algunas actividades agrícolas, minería, lluvia ácida, construcción y mantenimiento inadecuado de edificios, sal en caminos y carreteras, entre otros). Ver figura 3.1.

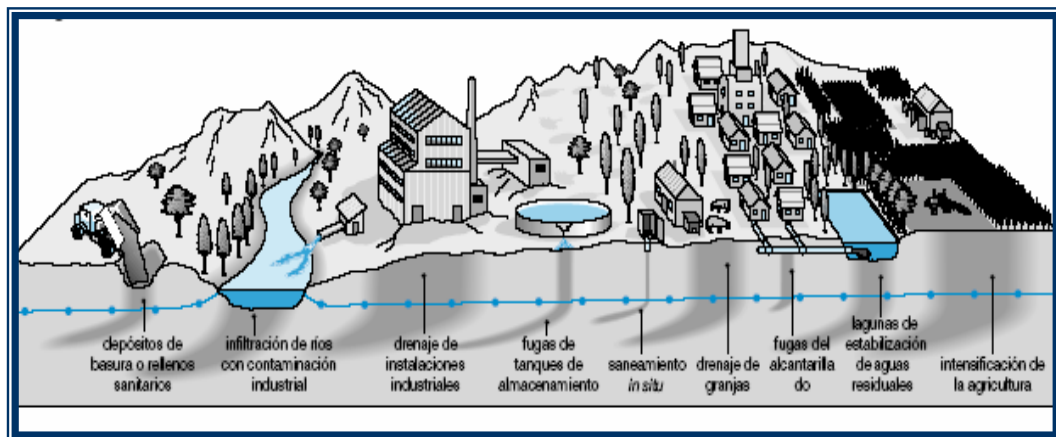


Figura 3.1. Fuentes de Contaminación de las Aguas Subterráneas.

3.1.1 Naturales.

El agua subterránea contiene algunas impurezas, incluso si no queda afectado por actividades humanas. Los tipos y concentraciones de impurezas naturales dependen de la naturaleza del material geológico a partir del cual se mueve el agua subterránea, y la calidad del agua de reposición.

El agua subterránea que se mueve a través de rocas y suelos sedimentarios puede sucederse en grandes cantidades materiales y compuestos como el Magnesio, Calcio y Cloruros. Algunos acuíferos tienen altas concentraciones naturales de constituyentes disueltos como arsénico, boro y Selenio.

El efecto de estas fuentes naturales de contaminación en la calidad del agua subterránea depende el tipo de contaminante y su concentración.

3.1.2 Residuos Sólidos Urbanos.

Los vertederos de basuras domésticas son una fuente de lixiviados que se infiltran hacia los acuíferos portando apreciables cantidades de grasas, aceites, metales tóxicos procedentes de pinturas y botes tales como el arsénico y el estaño. Ver figuras 3.2 y 3.3.

Estos mismos lixiviados procedentes de los residuos depositados en la superficie, al alcanzar la zona del nivel freático, arrastran todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Es esencial que los vertederos estén bien contruidos y utilizados para minimizar su impacto negativo. Para evitar la contaminación se debe impermeabilizar bien el suelo del vertedero y evitar que las aguas de lluvias y otras salgan del vertedero sin tratamiento, arrastrando contaminantes al exterior.

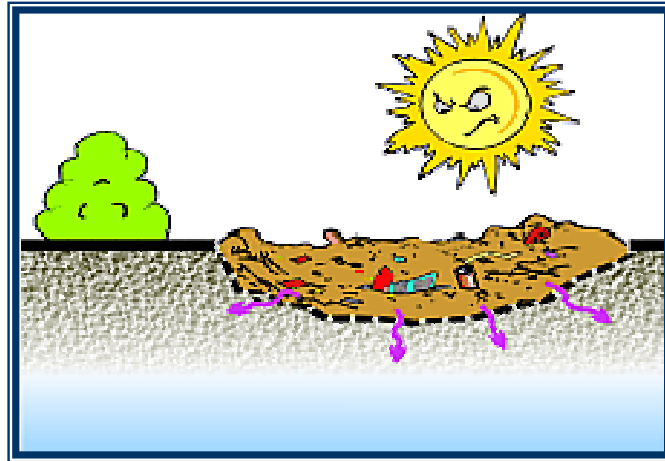


Figura 3.2. Contaminación por Residuos Sólidos.



Figura 3.3. Contaminación por Lixiviados de Residuos Sólidos en Vertederos.

3.1.3 Aguas Residuales.

Las aguas residuales de los núcleos urbanos se vierten a cauces superficiales o en fosas sépticas y pueden ser una fuente de gran cantidad de contaminantes como bacterias, virus, nitratos, materia orgánica y residuos humanos. Ver figura 3.4. Los pozos de inyección usados para disposición de aguas residuales domésticas (sistemas sépticos, letrinas, pozos de drenaje para la recogida de aguas de lluvia,

pozos de recarga de aguas subterráneas) son de una preocupación particular para la calidad de las aguas subterráneas si se localizan cerca de los pozos que alimentan las aguas de uso para beber.

En ocasiones, tras una ligera depuración de las aguas residuales urbanas, se distribuyen en superficie aprovechando el poder filtrante del suelo. Los lodos resultantes de la depuración pueden representar, después de una segunda fase, el mismo problema.



Figura 3.4. Contaminación por Aguas Residuales

3.1.4 Actividades Agrícolas.

La contaminación de aguas subterráneas por este tipo de actividades es muy difícil de controlar ya que producen contaminación difusa (no puntual), que afecta a grandes extensiones. Ver figura 3.5. Así, los fertilizantes aportan compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio.

En ocasiones se ha detectado que hasta el 50% de los nitratos pueden llegar al acuífero por infiltración. Por su parte, los plaguicidas aportan fungicidas, insecticidas, bactericidas, acaricidas, nematocidas, rodenticidas, molusquicidas, herbicidas; estimándose una persistencia de estos productos de entre una semana y varios años. Asimismo, es posible

que los metabolitos procedentes de la degradación de estos productos sean más tóxicos y persistentes que los productos originales.

En otras ocasiones son las impurezas que acompañan a los productos comerciales, y que escapan a los análisis de control, por no figurar en la composición del producto y que, a la larga, resultan ser las verdaderamente tóxicas.

Estas fuentes de contaminación agrícola son muy variadas y numerosas: el derrame de fertilizantes y pesticidas durante el manejo, escorrentía por la carga y el lavado de spray de pesticidas u otro equipo de aplicación, el uso de químicos ladera arriba y a unos cuantos cientos de metros de pozos o aguas de alimentación a pozos.

La tierra agrícola que no tiene suficiente drenaje se considera por muchos granjeros como tierra que ha perdido su beneficio de producción. Los pozos de drenaje luego sirven como un conducto directo a las aguas subterráneas de las aguas residuales.

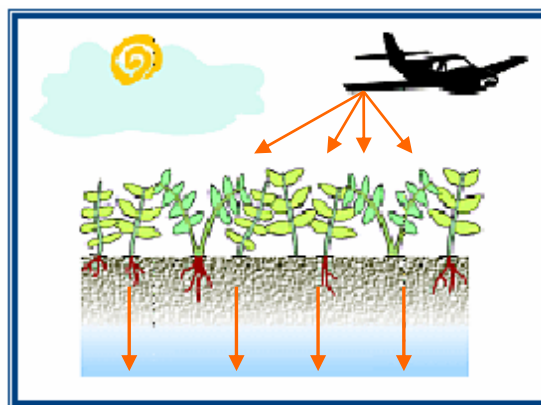


Figura 3.5. Aplicación de Pesticidas.

3.1.5 Ganadería.

De los residuos de los animales proceden diversos compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros, y, en algunos casos, metales

pesados. Este tipo de contaminación normalmente no ocasiona problemas importantes, a no ser que se trate de grandes instalaciones.

Resultan especialmente graves las granjas porcinas, cuyos residuos líquidos se denominan purines (deyecciones líquidas provenientes del orín y estiércol del ganado) ya que estos residuos pueden infiltrarse en el suelo y llegar hasta las fuentes de agua subterránea contaminándolas.

3.1.6 Actividades Industriales.

La fabricación y servicios industriales tienen altas demandas de agua de enfriamiento, aguas de proceso y agua con fines de limpieza. La contaminación de las aguas subterráneas ocurre cuando el agua usada se devuelve al ciclo hidrológico. Las actividades económicas modernas requieren del transporte y almacenamiento de materiales usados en la fabricación, proceso y construcción. En el camino de transporte, parte de este material puede perderse por derrames, fugas o manejo inadecuado.

Algunos negocios, normalmente carentes de sistemas de tratamiento de aguas residuales, son dependientes de depósitos estrechos de aguas subterráneas. Pueden utilizar letrinas o agujeros secos, o enviar las aguas subterráneas y tanques sépticos. Ver figura 3.6. Cualquiera de estas formas de disposición puede dar lugar a la contaminación de las aguas subterráneas destinadas a consumo. Los agujeros secos y letrinas generan residuos que van directos al suelo.

Los sistemas sépticos no pueden tratar los residuos industriales. Algunos residuos y aguas residuales de industrias y empresas como estaciones de servicios de automóviles, limpiadores en seco, componentes eléctricos o fabricantes de maquinas, foto procesadores, y fabricantes de planchas de metal, pueden generar residuos altamente contaminantes y tóxicos.

Otras fuentes de contaminación industrial incluye la limpieza de tanques o equipos de spray en campo abierto, disposición de residuos en sistemas sépticos y pozos secos, almacenamiento de materiales peligrosos en lugares no protegidos o en lugares sin caminos para drenajes o lugares de recogida o retención.

Los tanques de almacenamiento, tanto subterráneos como superficiales, de productos del petróleo, ácidos, solventes y químicos pueden provocar fugas debido a la corrosión, defectos e instalación inadecuada o fallo mecanizo de tuberías y acoples. ^[12]

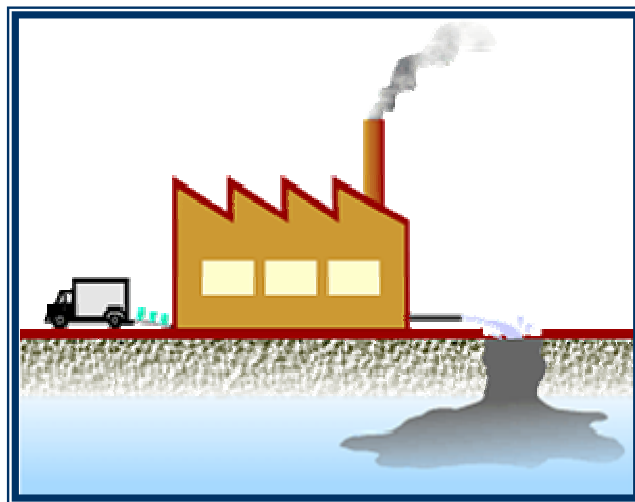


Figura 3.6. Vertidos de Aguas Residuales Industriales.

3.1.7 Actividades Mineras.

En algunas regiones de todas las actividades antrópicas que afectan al medio ambiente es la minería la que provoca mayor efecto contaminante sobre las aguas superficiales y subterráneas, seguida de la agricultura. La industria minera genera un gran número de problemas medioambientales, entre los que merecen destacarse, la contaminación

de las aguas subterráneas por drenaje de aguas ácidas y lixiviados de las minas y las escombreras de residuos mineros ricos en metales pesados.

Generalmente la acumulación de estos residuos en las escombreras y presas de estériles se realiza sobre la superficie del terreno provocando una variación de las condiciones hidrogeológicas locales. El agua del residuo, al elevar el nivel freático y consecuentemente las condiciones de recarga y flujo, provocan el desarrollo de un gran número de procesos y reacciones químicas de los diversos contaminantes modificando el equilibrio geoquímico y pueden dar lugar a procesos de oxidación/reducción, especiación/complejación, disolución/precipitación, adsorción/ desorción, floculación y digestión de coloides.

En el caso del impacto ambiental de la minería, se han realizado importantes investigaciones sobre los efectos contaminantes provocados por el drenaje de aguas ácidas ricas en metales pesados procedentes del lixiviado de las escombreras y las presas de residuos mineros.^[13]

3.1.8 Actividad Radiológica.

El desarrollo de esta actividad puede ocasionar la contaminación radiológica, que nos es más que la alteración producida o inducida por el hombre en la integridad radiológica de las aguas subterráneas. Los agentes de la contaminación son todos los materiales radiactivos, los cuales están constituidos por átomos inestables, a estados de completa o mayor estabilidad; la cual alcanza a través de la emisión de partículas alfa o beta, pudiendo ambos ir o no acompañados de radiaciones gamma.

Las fuentes de contaminación radiológica se pueden agrupar en tres grupos:

- ✓ Radiación de origen natural.
- ✓ Pruebas de armas nucleares.

- ✓ Usos pacíficos de la energía atómica.

Los radionucleidos (restos de núcleos inestables), pueden llegar a los acuíferos directamente, mediante la inyección de los residuos líquidos, o indirectamente transportados por el agua que se infiltra a través del suelo después de lixiviar los residuos radiactivos insuficientemente protegidos. ^[14]

3.2 TIPOS DE CONTAMINANTES.

Las diferentes actividades humanas generan contaminantes que son perjudiciales para el medio ambiente y para la salud. Entre estos tenemos: cloruros, cobre, nitratos, hierro, plomo, cinc, entre otros.

3.2.1 Cloruros.

La mayoría de las aguas contienen cloruros en solución. La cantidad presente puede ser debida a la extracción de depósitos sedimentarios marinos, a la intrusión salina del agua de mar, por contaminación por salmuera, o de residuos industriales y domésticos. Concentraciones de cloruros que excedan 250 mg/l tiene como resultado un sabor apreciable en el agua. Un aumento de cloruros en aguas subterráneas o superficiales puede indicarnos una posible contaminación con aportes del alcantarillado, particularmente si la cantidad normal de cloruro se sabe que es baja.

3.2.2 Cobre.

El cobre se encuentra en muchas aguas naturales, particularmente en áreas donde existen depósitos mineros. Puede haber cantidades excesivas de cobre en aguas corrosivas conducidas por tuberías de cobre. El cobre en cantidades pequeñas no se considera perjudicial para la salud, pero proporcionará un sabor desagradable al agua potable. Por esta razón, el límite recomendado para el cobre es 0,1 mg/l.

3.2.3 Fluoruros.

En algunas zonas, las fuentes de agua contienen fluoruros naturales. Se han observado efectos beneficiosos para la salud cuando las concentraciones se acercan a niveles óptimos. En tales áreas se ha encontrado que la incidencia de caries dental está por debajo de la tasa perteneciente a áreas sin fluoruros naturales. El nivel óptimo de fluoruros para una zona dada depende de la temperatura del aire, puesto que es lo que primero influye en la cantidad de agua que beben las personas. Se recomiendan concentraciones de entre 0,7 a 1,2 mg/l. Demasiados fluoruros en los suministros de agua potable pueden producir fluorosis (moteado de los dientes), que aumenta con la cantidad excedida sobre el nivel óptimo. Deben consultarse las recomendaciones de los departamentos de la salud estatales o locales.

3.2.4 Hierro.

De forma frecuente, están presentes en el agua pequeñas cantidades de hierro debido a la gran cantidad del mismo que hay en el suelo y porque el agua corrosiva disuelve hierro de las cañerías. La presencia de hierro en el agua no se considera aceptable porque

proporciona un color parduzco a las prendas lavadas y afecta el sabor de las infusiones, como té y el café.

3.2.5 Plomo.

Una exposición breve o prolongada del cuerpo al plomo puede ser tremendamente perjudicial para la salud. Una exposición prolongada a cantidades relativamente pequeñas puede producir enfermedades serias o incluso la muerte.

El plomo retenido en el cuerpo en cantidades superiores a un cierto límite normal relativamente bajo, es un veneno acumulativo. Una concentración máxima de 0,05 mg/l de plomo en agua no debe excederse en ningún caso.

Un exceso de plomo puede darse en el suministro del agua, pero la causa principal del exceso de plomo es el agua corrosiva en contacto con tejados pintados que contengan plomo o el uso de tuberías de plomo.

3.2.6 Manganeso.

Hay dos razones para limitar la concentración de manganeso en el agua potable: 1) para prevenir el daño estético y económico y 2) para evitar cualquier posible efecto fisiológico por la ingestión excesiva. El usuario doméstico encuentra que el manganeso produce un color parduzco en las prendas lavadas y afecta el sabor de las bebidas, incluidas el café y el té.

3.2.7 Nitratos.

El nitrato (NO_3), es el contaminante inorgánico más conocido y quizás uno de los que genera mayor preocupación. El nitrato se origina de

diferentes fuentes: aplicación de fertilizantes, pozos sépticos que no estén funcionando bien, lagunas de retención de desperdicios sólidos no cubiertas por debajo y la infiltración de aguas residuales o tratadas. El envenenamiento con nitrato es peligroso en los infantes. Altos niveles de nitrato en el cuerpo pueden limitar la habilidad de la sangre de transportar oxígeno, causando asfixia en bebés. Esta condición podría ser fatal si no se trata a tiempo.^[15]

Los nitratos, una vez que penetran en el medio subterráneo, permanecen allí por un período largo o indefinido. Los factores que controlan el grado de contaminación por nitratos son:

- ✓ La eficiencia de los procesos de eliminación de nitrógeno dentro y debajo de la fosa. Esto dependerá de la conductividad hidráulica del suelo, la carga hidráulica de la fosa, y de si existen condiciones anaeróbicas favorables a la desnitrificación.
- ✓ La población que hace uso del servicio sanitario local y la densidad de las instalaciones sanitarias locales.
- ✓ La dilución por recarga hidráulica local y por flujo en acuíferos regionales, donde la concentración de nitratos sea menor.
- ✓ El tipo de desnitrificación en la zona saturada. Sin embargo, los factores que conducen a la desnitrificación pueden estar relacionados al alto contenido de hierro, manganeso y otros metales en las aguas subterráneas.

Los desechos humanos contienen unos 5kg de Nitrógeno/cápita/año, en forma de amoníaco y de compuestos orgánicos complejos, los que rápidamente pueden convertirse en nitratos bajo condiciones anaeróbicas. No todo este nitrógeno alcanzará el nivel freático, ya que podría ocurrir una desnitrificación. Así mismo, la orina es responsable de cerca del 80% del nitrógeno excretado, aunque no toda llega a ser depositada en las fosas debido a que existen diferentes hábitos de micción.

El nitrato causa metahemoglobinemia (cianosis infantil o enfermedad del bebe azul) en niños que beben agua o se han alimentado con preparados fabricados con agua con un alto contenido de nitratos. Un suministro de agua doméstico no debe contener concentraciones en nitratos superiores a 45 mg/l (10 mg/l expresado como nitrógeno).^[16]

3.2.8 Sodio.

Cuando se necesita saber la cantidad precisa de sodio presente en un suministro de agua, debe hacerse un análisis de laboratorio. La cantidad de sodio aumentará cuando se utilizan descalcificadores domésticos por el método del intercambio iónico.

Por esta razón, debe analizarse el agua que ha sido ablandada cuando se requiere un control individual sobre la ingesta de sodio.

Para las personas con buena salud, el contenido en sodio del agua es significativo porque la cantidad de sal ingerida de otras fuentes es mucho mayor; pero aquellas personas que siguen una dieta baja en sodio debido a problemas del corazón, riñón, afecciones circulatorias o complicaciones del embarazo deben controlar la cantidad de sodio presente en el agua que consumen. Estas dietas bajas en sodio permiten alrededor de 20 mg/l en el agua ingerida. Cuando se supera este límite dichas personas deben acudir a un médico especialista en dietas e ingestión de sodio.

3.2.9 Sulfatos.

Las aguas que contienen altas concentraciones de sulfato debido a la filtración a través de depósitos naturales de sulfato de

magnesio (sal Epson) o sulfato de sodio (sal de Glauber) no son muy deseables debido a sus efectos laxantes.

3.2.10 Cinc.

El cinc suele encontrarse en las aguas naturales, especialmente en áreas de depósitos mineros de mineral cinc. No es considerado perjudicial para la salud, pero proporciona un sabor desagradable al agua potable. Por esta razón, el límite recomendado es de 5,0 mg/l.

Se han desarrollado serios problemas de contaminación, tanto en las aguas superficiales como en las aguas subterráneas, debido a la actividad minera aún existente y a la ya desaparecida. Entre los peores problemas se encuentran aquellos asociados con las actividades de las minas de carbón, donde se generan importantes concentraciones de hierro, manganeso, sulfatos y ácidos como resultado del tratamiento y lixiviados de minerales.

3.2.11 Sales de Calcio y Magnesio.

Estos son responsables de la dureza del agua. Agua dura y agua blanda son términos relativos. Las aguas duras retardan la acción limpiadora de jabones y detergentes, causando un gasto extraordinario de agentes de limpieza. Además, cuando se calienta deposita una dura incrustación (en ollas, resistencias calefactores o en utensilios de cocina) lo que supone un gasto extra de combustible.

El contenido mineral del agua subterránea refleja su movimiento a través de los minerales que constituyen la corteza de la tierra. Generalmente, estas aguas son más duras y mineralizadas en regiones áridas que las de las regiones en las que la tasa de lluvia anual es alta.

También, los acuíferos más profundos son más propensos a contener concentraciones altas de minerales en solución, porque el agua tiene más tiempo (quizás millones de años) para disolver la roca.

El agua dura se divide en dos clasificaciones generales: las aguas carbonatadas, o de dureza temporal, y las no carbonatadas, o de dureza permanente.

Las aguas carbonatadas o con dureza temporal se llaman así porque calentando el agua que las contiene, ésta perderá su dureza en gran medida. Al calentarse los bicarbonatos se disocian en carbonatos insolubles que precipitan como partículas sólidas adhiriéndose a la superficie calentada y en el interior de las tuberías.

Las aguas no carbonatadas o con dureza permanente reciben este nombre porque al calentar el agua no pierde su dureza. Ésta se debe en gran medida principalmente a la presencia de sulfatos y cloruros de calcio y magnesio.

3.3 MEDIDAS PARA EL CONTROL Y REMEDIACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Las aguas subterráneas cumplen un rol importante, y en numerosos casos vital, para el suministro de agua potable de muchas áreas urbanas y rurales del mundo. Sin embargo, en la mayoría de los casos se ha prestado poca atención a la prevención de la contaminación de las mismas fuentes de aguas subterráneas, y aún menos, a la protección de los acuíferos en su conjunto, a través de medidas de control.

La contaminación de las aguas subterráneas tiende a ser insidiosa y es invariablemente muy persistente. La recuperación de acuíferos una vez que han sido contaminados es excesivamente cara y técnicamente problemática.

3.3.1 Control de las Aguas Subterráneas.

Una forma de evaluar la calidad del agua subterránea es a través de monitoreo, por medio de dispositivos de control, de esta manera se podrá detectar si el agua está contaminada, o en caso de que no lo esté, en que momento podría generarse. Por ello el sistema debe ser instalado adecuadamente, a fin de que permita una detección rápida de la contaminación y poder actuar en las primeras fases de la misma, pues cuanto mayor sea la cantidad de contaminante presente en las aguas, mayores serán también los costos de tratamiento.

El control se puede realizar en las fuentes de posible contaminación o directamente en el acuífero.^[17]

3.3.1.1 Control de las Aguas Subterráneas en la Fuente de Contaminación.

La corrección de los problemas de contaminación en el caso de las aguas subterráneas es prácticamente imposible en la mayoría de los casos, por lo que hay que poner especial énfasis en que no llegue a producirse.

Las medidas de control en las fuentes de contaminación son generalmente:

✓ **Basureros y Escombreras.**

Buscar lugares impermeables, o recoger los efluentes con sondeos o drenes.

✓ **Aguas Residuales Urbanas.**

Depuración previa a los vertidos; precaución con la utilización de los lodos de depuración. Correcta construcción y vigilancia de conducciones y fosas sépticas.

✓ **Fertilizantes y Plaguicidas.**

Utilización racional y medida de estas sustancias. Por ejemplo, introduciendo regulaciones que especifiquen el tipo y cantidad de pesticidas que se permiten utilizar en un área.

✓ **Actividades Industriales de todo tipo.**

Estudio hidrogeológico previo de las permeabilidades y del sistema regional del flujo subterráneo. Especial precaución en el almacenamiento bajo tierra de residuos peligrosos.

✓ **Actividades Ganaderas y Agrícolas.**

Prohibiendo operaciones y granjas con animales confinados cerca de zonas vulnerables de aguas subterráneas o prohibiendo actividades intensivas de ganadería y agricultura.

3.3.1.2 Control de las Aguas Subterráneas en el Acuífero.

En muchos casos no es posible controlar la contaminación en las fuentes de origen, por lo que se hace necesario realizar el monitoreo directamente en el acuífero.

Las mediciones para controlar la posible afección del vertido de residuos a las aguas subterráneas se realizarán en, al menos, un punto situado aguas arriba del vertedero en la dirección del flujo de aguas subterráneas entrante y en, al menos, dos puntos situados aguas abajo del vertedero en la dirección del flujo saliente. El número de puntos de control podrá aumentarse sobre la base de un reconocimiento hidrogeológico específico y teniendo en cuenta la necesidad de, en su

caso, la detección rápida de cualquier vertido accidental de lixiviados en las aguas subterráneas.

a. **Monitoreo de la Calidad de las Aguas Subterráneas.**

El monitoreo no es más que el proceso continuo de recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos, con base en los objetivos planteados en un programa o proyecto, que tiene como propósito descubrir fortalezas y/o debilidades para establecer líneas de acción, permitiendo brindar correcciones y reorientaciones técnicas en la ejecución.

Refiriéndose a las aguas subterráneas, las estrategias para la implementación de un programa de monitoreo incluyen:

- ✓ La posibilidad de obtener aviso previsto de seria contaminación, a fin de permitir la adopción de medidas efectivas de control; y
- ✓ La selección de parámetros indicadores de contaminación para reducir los costos analíticos de laboratorio.

El requisito fundamental en la mayoría de los programas de monitoreo es determinar la variación espacial de la calidad de las aguas subterráneas. Ver figura 3.7.

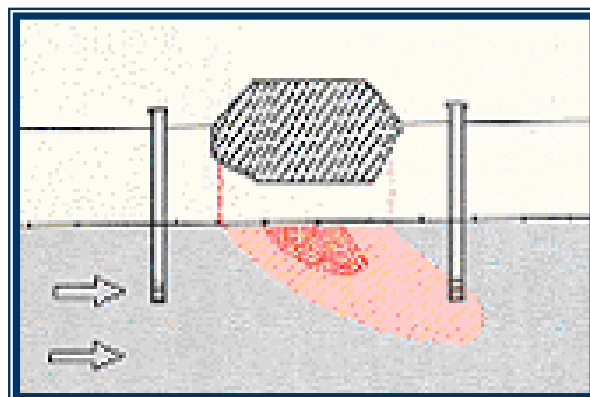


Figura 3.7. Monitoreo de Detección (Ofensivo)

Este objetivo es esencialmente el mismo sin tener en cuenta que el propósito sea:

- ✓ Determinar la distribución subterránea de la contaminación y las tasas de migración de los contaminantes.
- ✓ Establecer la extensión de intrusión salina costera.
- ✓ Determinar la distribución de las aguas subterráneas de baja calidad causada por la interacción natural agua-roca.
- ✓ Monitorear la efectividad de medidas para controlar o remediar la contaminación.

En cualquiera de estos casos, el propósito del monitoreo es obtener resultados que reflejen exactamente la condición de las aguas subterráneas en el acuífero, así como la vigilancia (o control de calidad) de las aguas subterráneas que se utilizan para el suministro de agua. Ver figura 3.8.

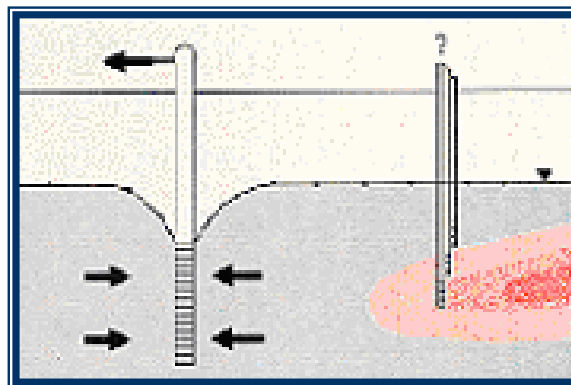


Figura 3.8. Monitoreo Defensivo.

En síntesis, se puede decir que las actividades de monitoreo de aguas subterráneas se llevan a cabo básicamente:

✓ Para identificar el inicio de la contaminación de las aguas subterráneas por una actividad dada, tan pronto como sea posible, de manera que permita la introducción de medidas de control a tiempo. Ver figura 3.9.

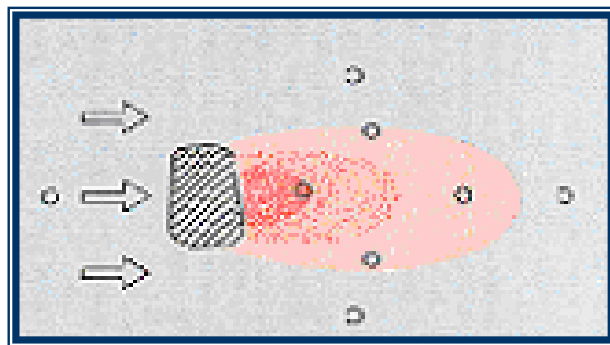


Figura 3.9. Monitoreo de Evaluación.

✓ Para proporcionar aviso anticipado de la llegada de aguas contaminadas a las fuentes importantes de suministro de aguas subterráneas, a fin de conceder tiempo para iniciar acciones correctivas. Ver figura 3.10.

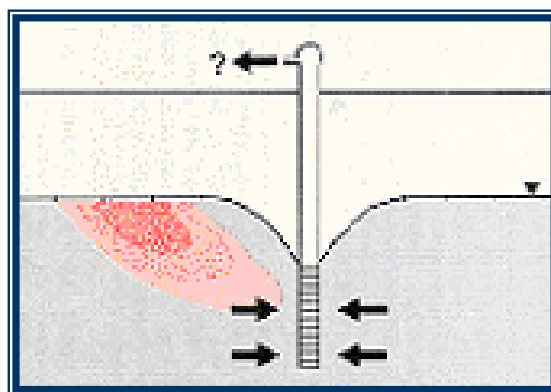


Figura 3.10. Vigilancia de Calidad de Abastecimiento de Agua Potable.

- ✓ Para determinar responsabilidad legal en los incidentes de contaminación de aguas subterráneas.

Cuando el objetivo del monitoreo está relacionado con la calidad de las aguas subterráneas y/o los problemas de contaminación, la selección de parámetros analíticos normalmente estará impuesta por la interacción entre: el uso principal de las aguas subterráneas y la posibilidad que los parámetros así definidos se encuentren presentes en concentraciones problemáticas como resultado del régimen hidrogeoquímico natural y/o el carácter de cualquier carga contaminante que está siendo descargada al subsuelo.^[18]

3.3.2 Remediación de las Aguas Subterráneas.

Se puede definir “remediación” como el conjunto de acciones necesarias para llevar a cabo la limpieza de cualquier descarga o sospecha de descarga de contaminantes, incluyendo la realización de una evaluación preliminar, investigación del sitio, determinación del alcance del problema, estudio de factibilidad y acciones correctivas. Esta definición es muy completa, pues contempla la limpieza de un sitio contaminado en todo su concepto.

Cuando se tiene el conocimiento de que la fuente de agua subterránea se ha contaminado, lo que procede es identificar el tipo de concentración de los contaminantes, lo cual constituye el punto de partida para estudiar las alternativas que permitan su tratamiento. Para ello se debe realizar un estudio de la cuantificación de los contaminantes presentes, lo cual se recomienda hacer simultáneamente con una muestra de agua limpia para saber si se trata de una característica natural de la misma o, en su defecto, de una contaminación. Los resultados que

se obtengan formarán parte de la caracterización de los contaminantes y servirán para evaluar las posibles alternativas de tratamiento.

Es muy importante llevar a cabo una evaluación del daño para establecer un diagnóstico muy preciso, ya que de aquí se genera la información que será utilizada, tanto para la definición de responsabilidades, como para la planeación de las medidas de mitigación, limpieza y, en su caso, restauración. Para llevar a cabo dicha evaluación, se hace indispensable conocer ciertos datos referentes a la zona en estudio como:

- ✓ Ubicación geográfica del sitio afectado.
- ✓ Tipo de instalación que dio origen a la contaminación.
- ✓ Plano de instalaciones superficiales y vías de acceso (terrestre, fluvial y marítimo).
- ✓ Planos de instalaciones subterráneas con identificación.
- ✓ Ubicación de las zonas urbanas aledañas.
- ✓ Resultados de estudios previos que se hayan realizado.
- ✓ Apariencia del material contaminante.
- ✓ Ubicación de la(s) fuente(s) de contaminación.
- ✓ Antigüedad de la contaminación.
- ✓ Precipitaciones pluviales (frecuencia y nivel).
- ✓ Escorrentías.
- ✓ Ubicación de los cuerpos de aguas aledaños.
- ✓ Clima y temperatura ambiente del sitio.
- ✓ Pozos de extracción de agua aledaños (en uso, clausurados y planeados).
- ✓ Uso del suelo afectado.
- ✓ Topografía y tipo de vegetación.

Una vez obtenido los datos de la zona afectada y las características

de los contaminantes, se procede a determinar el tipo de tecnología a emplear para la remediación del acuífero. Se pueden aplicar tratamientos, tanto in situ como en la superficie. Entre las tecnologías aplicadas se tienen: Muros de Tratamiento, Carbón Activado, Biocorrección, Extracción con Aire, Enjuague In Situ, Fitocorrección y Oxidación Química.

3.3.2.1 Muros de Tratamiento.

Los muros de tratamiento son estructuras subterráneas para tratar agua subterránea contaminada en vertederos de desechos peligrosos. Para construir muros de tratamiento, llamados también *muros de tratamiento pasivo* o *barreras permeables*, se hace una zanja gigante a través de un curso de agua subterránea contaminada y se rellena con uno de diversos tipos de materiales (rellenos reactivos) seleccionado minuciosamente por su capacidad para eliminar determinados tipos de contaminantes. Cuando el agua subterránea contaminada pasa por el muro de tratamiento, los contaminantes quedan atrapados en el muro o salen transformados en sustancias inocuas. Ver figura 3.11.

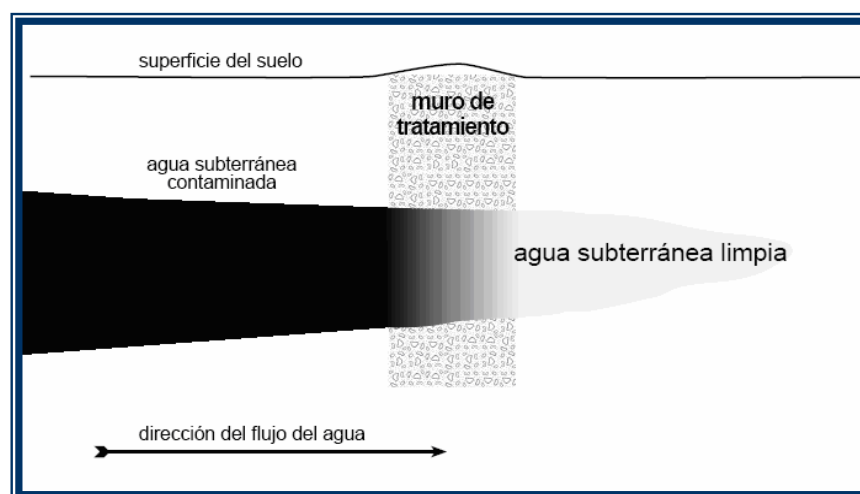


Figura 3.11. Muros de Tratamiento

El relleno reactivo del muro de tratamiento con frecuencia se mezcla con arena u otro material poroso para que sea menos denso que el suelo que lo rodea. De esta forma se encauza el agua para que fluya por el muro al ofrecerle “el trayecto de menor resistencia”. En algunos lugares se agrega un sistema de embudos subterráneos para dirigir el agua contaminada hacia el muro. El relleno que se selecciona para un muro depende de los tipos de contaminantes que haya en el lugar. Cada tipo de relleno actúa por medio de procesos químicos diferentes: *sorción*, *precipitación* y *degradación*.

a. Las Barreras de Sorción.

Contienen rellenos que retiran contaminantes del agua subterránea capturándolos físicamente y reteniéndolos en la superficie de la barrera. Ver figura 3.12. Algunos ejemplos de estos adsorbentes son las ceolitas, partículas diminutas con forma de jaula que atrapan moléculas de contaminantes en su interior, y el carbón activado, que tiene una superficie muy áspera a la cual se adhieren los contaminantes al pasar.

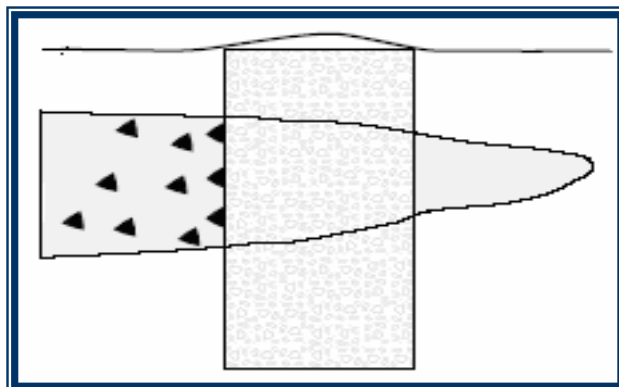


Figura 3.12. Barreras de Sorción.

b. Las Barreras de Precipitación.

Contienen rellenos que reaccionan con contaminantes del agua subterránea que pasan por el muro. Ver figura 3.13. La reacción produce un cambio en los contaminantes disueltos en el agua subterránea: salen del estado de disolución y se precipitan. Estos productos “insolubles” quedan atrapados en la barrera, y el agua subterránea sale limpia del otro lado. Por ejemplo, si el plomo es el contaminante, una barrera de precipitación rellena con piedra caliza erigida a través del curso de agua subterránea acidifica el agua; en consecuencia, el plomo pasa a estado sólido y queda atrapado en la barrera. El cromo sumamente tóxico, se trata con barreras de precipitación en forma similar y se convierte en cromo inmóvil, que queda atrapado en la barrera.

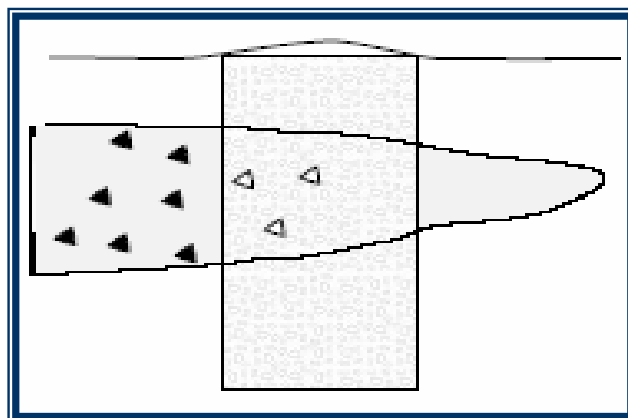


Figura 3.13. Barreras de Precipitación.

c. Las Barreras de Degradación.

Causan reacciones que descomponen o “degradan” los contaminantes del agua subterránea, convirtiéndolos en productos inocuos. Ver figura 3.14. Por ejemplo, el relleno de gránulos de hierro degrada ciertos compuestos orgánicos volátiles. Los muros también pueden rellenarse con una mezcla de nutrientes y fuentes de oxígenos

que estimulan la actividad de los microorganismos de las aguas subterráneas.

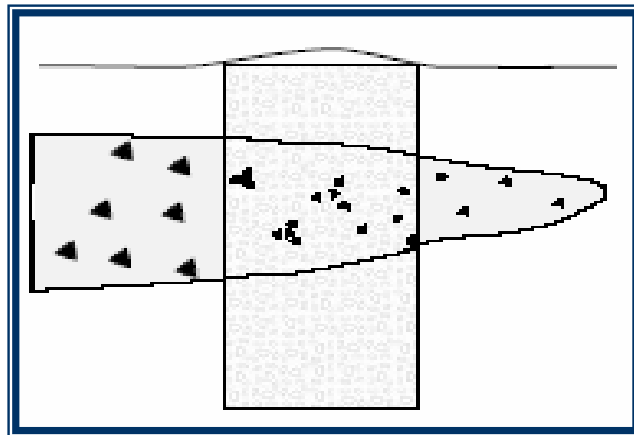


Figura 3.14. Barreras de Degradación.

3.3.2.2 Carbón Activado.

El carbón activado es un material que se usa para filtrar químicos nocivos del suelo y el agua contaminados. Tiene una textura similar a la de pequeños gránulos de arena negra. A medida que el agua o el aire fluyen a través de un filtro de carbón activado, los químicos sorben o se adhieren

a la superficie y dentro de los poros de los gránulos. La mayoría de los filtros de agua corriente y filtros de tanques de uso en los hogares contienen carbón activado y funcionan de la misma manera. A menudo, los filtros de carbón activado se utilizan como parte de un sistema de extracción y tratamiento para limpiar aguas subterráneas contaminadas Ver figura 3.15.

Generalmente, un filtro de carbón activado consiste en uno o más recipientes o columnas de gránulos. Está diseñado para absorber específicamente aquellos químicos peligrosos que se encuentran en un

sitio. Normalmente, se bombea agua o aire a través de una columna desde arriba hacia abajo, pero el flujo de abajo hacia arriba también es posible. A medida que el agua o aire contaminado fluye a través de la columna, los químicos se sorben a la superficie porosa de los gránulos. El agua o aire que salen de la columna están más limpios que el agua o el aire que entraron, pero si no están suficientemente limpios, se los bombea hacia otra columna o se los limpia utilizando otros métodos.

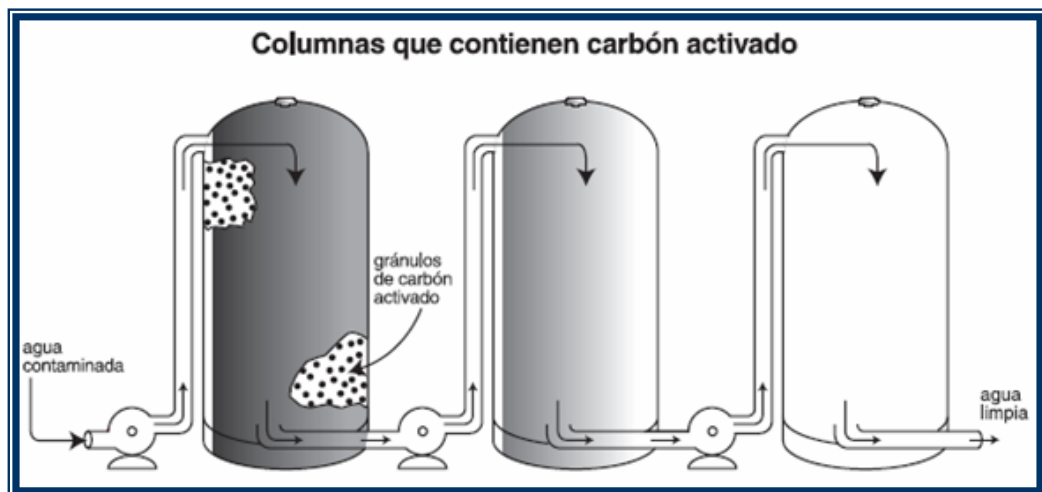


Figura 3.15. Carbón Activado.

Cuando la superficie disponible del carbón activado se llena de químicos, se dice que el carbón está *gastado*. Este carbón gastado debe reemplazarse o limpiarse para permitir que el filtro se reutilice. Si se reemplaza el carbón gastado, tanto el carbón como los químicos absorbidos se queman o eliminan en un vertedero autorizado.

Cuando la superficie disponible del carbón activado se llena de químicos, se dice que el carbón está *gastado*. Este carbón gastado debe reemplazarse o limpiarse para permitir que el filtro se reutilice. Si se reemplaza el carbón gastado, tanto el carbón como los químicos absorbidos se queman o eliminan en un vertedero autorizado. Las

columnas se limpian o se reemplazan con cuidado a fin de evitar la liberación de contaminantes.

3.3.2.3 Biocorrección.

La biocorrección emplea los procesos naturales para eliminar las sustancias químicas dañinas del medio ambiente. A los organismos microscópicos o microbios que viven en el suelo y en las aguas subterráneas les gusta comer ciertas sustancias químicas dañinas, como las que se encuentran en los derrames de gasolina y petróleo. Cuando los microbios digieren totalmente esas sustancias químicas, las convierten en agua y gases inofensivos como el dióxido de carbono o anhídrido carbónico.

Para que los microbios puedan eliminar las sustancias químicas dañinas, el suelo y las aguas subterráneas deben tener la temperatura, los nutrientes (fertilizantes) y la cantidad de oxígeno apropiados. Esas condiciones permiten que los microbios crezcan y se multipliquen, y que coman más sustancias químicas. Cuando las condiciones no son las adecuadas, los microbios crecen muy despacio o mueren. Incluso pueden crear sustancias químicas más dañinas. Si las condiciones no son las adecuadas en el sitio, se trata de mejorarlas. Una manera de hacerlo es bombeando aire al interior de la tierra, así como nutrientes u otras sustancias, como la melaza. A veces se añaden microbios si no los hay.

El agua se mezcla con nutrientes y aire antes de que se bombee de vuelta a la tierra. Los nutrientes y el aire añadidos ayudan a los microbios a biocorregir las aguas subterráneas. Éstas también pueden mezclarse bajo la superficie bombeando nutrientes y aire por los pozos. Una vez que se han eliminado las sustancias químicas dañinas, los microbios ya no tienen “comida” disponible y mueren.

3.3.2.4 Extracción con Aire.

La extracción con aire es el proceso por el cual se fuerza aire a través de las aguas subterráneas o superficiales contaminadas a fin de eliminar los contaminantes nocivos. El aire logra que los contaminantes pasen a estado gaseoso (se volatilizan). Luego se capturan y se limpian generalmente con carbón activado.

Este sistema hace uso de un *equipo de extracción con aire* que fuerza aire a través del agua contaminada. En general, este equipo consiste en un tanque de gran tamaño que contiene un material de relleno de plástico, acero o cerámica. El agua contaminada se bombea hacia dentro del tanque y se rocía sobre el material de relleno. El agua se escurre a través de los espacios entre el material de relleno hasta el fondo del tanque. Al mismo tiempo, un ventilador ubicado en el fondo sopla aire hacia arriba. A medida que el aire sube a través del agua que se está escurriendo, produce la evaporación de los contaminantes. El aire transporta los contaminantes evaporados hasta la parte superior del tanque donde se capturan y limpian. La dispersión del agua sobre el material de relleno permite que el aire en ascenso pueda cubrir más agua contaminada y evaporar mayor cantidad de contaminantes. El agua que se escurre hacia el fondo del tanque es recolectada y analizada para asegurar que se encuentre limpia. Si todavía hay presencia de contaminantes, el agua puede ser reciclada por el sistema o limpiada mediante el empleo de otro método. Los equipos utilizados varían en tamaño y estructura. Algunos soplan el aire a través del tanque, en lugar de forzarlo en dirección ascendente. Otros no hacen uso del aire forzado sino que, por el contrario, simplemente se basan en el escurrimiento de agua a través del aire del tanque para poder evaporar los químicos. Cada unidad se diseña específicamente para los tipos y cantidades de químicos nocivos presentes en el agua que se encuentra en un sitio específico. Ver figura 3.16.

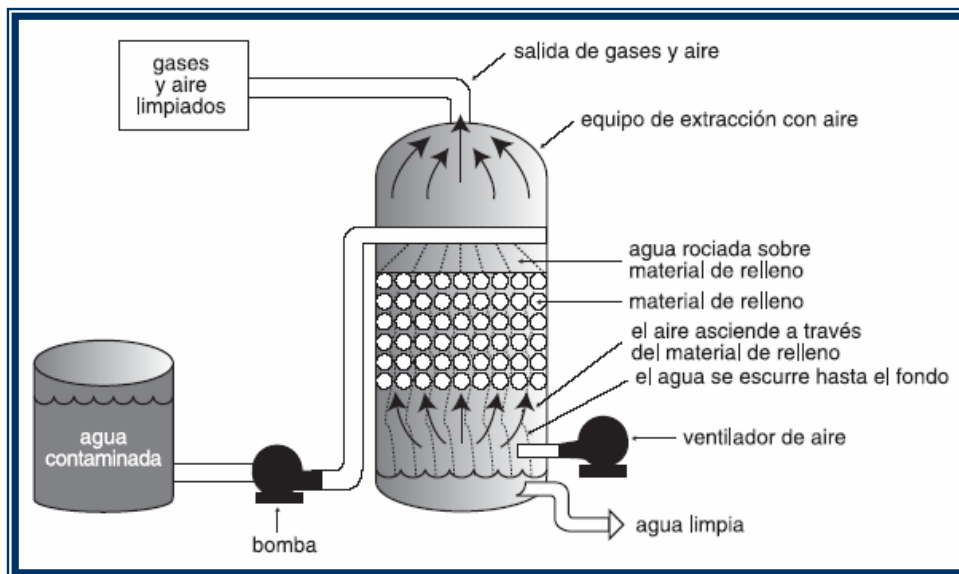


Figura 3.16. Extracción con Aire.

3.3.2.5 Enjuague In Situ.

El enjuague in situ es una manera de limpiar agentes químicos nocivos de los suelos y napas (capas) subterráneas contaminadas mediante el bombeo de agua u otros agentes químicos en el suelo. Esto ayuda a enjuagar los elementos nocivos del suelo moviéndolos hacia pozos que bombean los contaminantes. El proceso funciona in situ, lo que significa que el suelo contaminado se limpia en el lugar y no se necesita excavar.

El propósito del enjuague in situ consiste en mejorar la efectividad de los métodos de bombeo y tratamiento, los cuales bombean agua contaminada a través de pozos hacia la superficie del suelo donde se procede a limpiarla.

Cuando los agentes nocivos no se disuelven en el agua subterránea, no se les puede bombear hacia la superficie. Hay elementos químicos como los solventes y el petróleo de calefacción, que son fluidos pero no se disuelven fácilmente en el agua. A estos se les llama *líquidos*

de fase no acuosa (LFNA), y pueden permanecer en el suelo durante muchos años antes de disolverse lentamente en el agua subterránea. Por lo tanto, pueden constituir una fuente de contaminación de las napas subterráneas durante mucho tiempo.

El enjuague in situ que utiliza surfactantes y cosolventes puede ayudar a disolver los LFNA. Los surfactantes se encuentran generalmente en los detergentes y en algunos productos de alimentación. Los cosolventes son alcoholes, como el etanol y el metanol. Cuando se utilizan para el enjuague in situ, el surfactante o el cosolvente se mezclan con agua, la mezcla se bombea dentro de uno o varios pozos perforados en la zona contaminada donde ayuda a disolver los LFNA. La mezcla puede también contribuir a desplazar los LFNA hacia los pozos.

Esta técnica de enjuague in situ funciona mejor en los suelos muy permeables. Es decir, que el agua subterránea podrá fluir a través de ellos con facilidad. El enjuague in situ también es más eficaz cuando el suelo por debajo de la superficie contaminada es menos permeable, como por ejemplo de arcilla. Esta evita que el surfactante o el cosolvente lleguen por debajo del área contaminada. Ver figura 3.17.

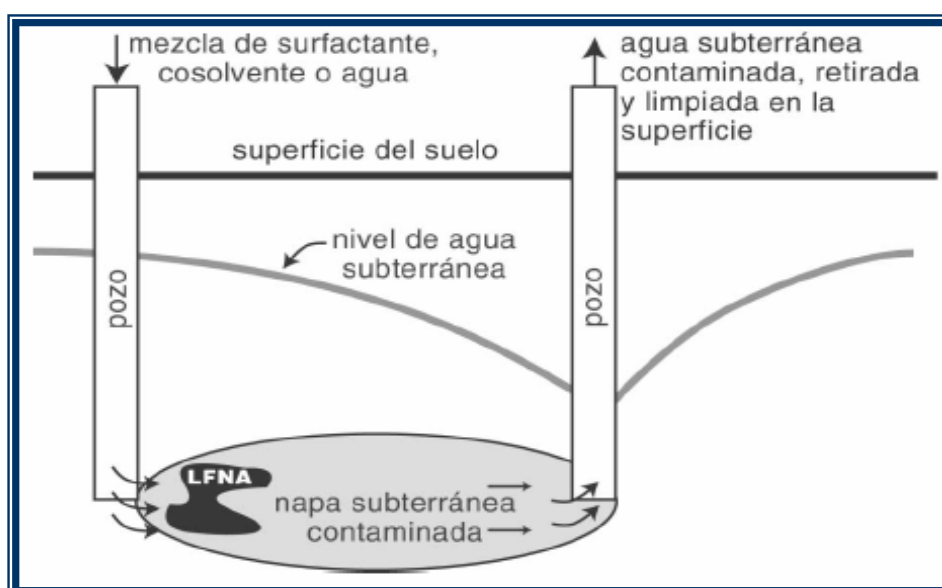


Figura 3.17. Enjuague In Situ.

3.3.2.6 Fitocorrección.

La fitocorrección emplea plantas para eliminar la contaminación del medio ambiente. Las plantas ayudan a eliminar muchos tipos de contaminación como metales, plaguicidas, explosivos y el petróleo en el suelo y en las aguas subterráneas. Las plantas también contribuyen a impedir que el viento, la lluvia y las aguas subterráneas extiendan la contaminación a otras zonas.

La fitocorrección es más eficaz en los sitios donde hay baja concentración de contaminantes. Al tomar por las raíces el agua y los nutrientes que se hallan en los suelos, y las aguas subterráneas, las plantas extraen del suelo las sustancias químicas perjudiciales. La cantidad de contaminación que puede eliminar una planta depende entre otros factores de la profundidad hasta la que puedan crecer sus raíces.

Las raíces de los árboles penetran más profundo que las raíces de las plantas más pequeñas, por lo que se emplean las raíces de los primeros para eliminar los contaminantes que se encuentran a mayor profundidad. Ver figura 3.18.

Una vez extraídas y dentro de la planta, las sustancias químicas se ven sometidas a uno o varios procesos:

- ✓ Se almacenan en las raíces, los tallos y las hojas.
- ✓ Se transforman en sustancias químicas menos perjudiciales en el interior de la planta.
- ✓ Se transforman en gases que se liberan al aire cuando la planta transpira (respira).

Las plantas que se cultivan para la fitocorrección también pueden contribuir a impedir que las sustancias químicas dañinas pasen de un sitio contaminado a otras zonas. Las plantas limitan la cantidad de sustancias químicas que puede arrastrar el viento o la cantidad de lluvia que penetra en el suelo o que fluye hacia otros sitios.

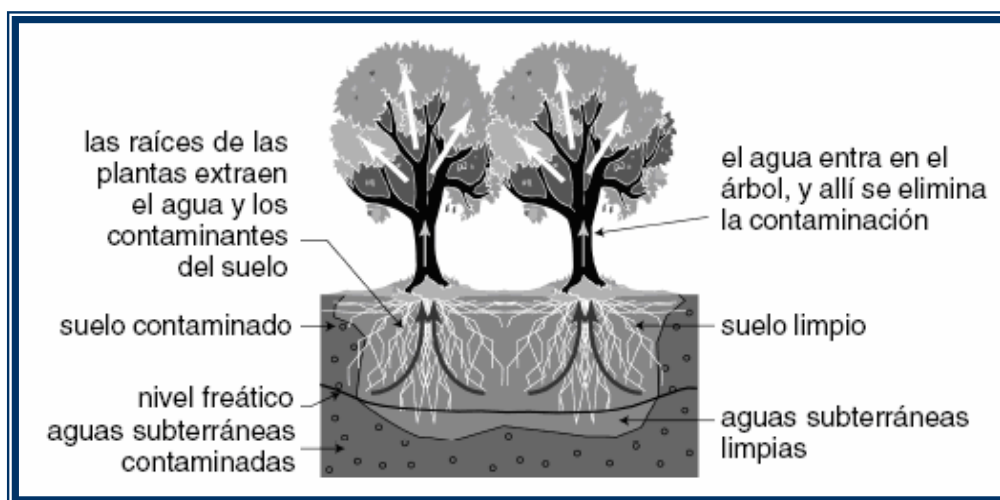


Figura 3.18. Fitocorrección.

3.3.2.7 Oxidación Química.

La oxidación química emplea sustancias químicas llamadas oxidantes para destruir la contaminación en los suelos y las aguas subterráneas. Los oxidantes ayudan a transformar las sustancias químicas dañinas en otras inofensivas, como el agua y el dióxido de carbono o anhídrido carbónico. La oxidación química es capaz de destruir muchos tipos de sustancias químicas, como combustibles, solventes y plaguicidas.

La oxidación química no requiere que se extraigan suelos o aguas subterráneas que se hayan contaminado. En lugar de eso, se perforan pozos a distintas profundidades en la zona contaminada. Mediante los pozos se bombea el oxidante al interior del suelo. El oxidante se mezcla con las sustancias químicas dañinas y las descompone. Cuando se concluye el proceso, lo que queda atrás es sólo agua y sustancias químicas inofensivas. Para descontaminar un sitio con mayor rapidez, se bombean los oxidantes por un pozo y se extraen por el otro. Este método ayuda a que se mezcle el oxidante con las sustancias químicas dañinas

en las aguas subterráneas y el suelo. Luego de que se bombea la mezcla hacia el exterior, se vuelve a bombear al interior (se *recircula*) por el primer pozo. A medida que continúa el bombeo y la mezcla, se descontamina una mayor cantidad de suelo y aguas subterráneas.

Puede resultar difícil bombear oxidantes en el lugar adecuado del suelo. Por eso, antes de comenzar a perforar, se deben estudiar las condiciones del subsuelo examinando los suelos y las aguas subterráneas. ¿Dónde se halla la contaminación? ¿Cómo se difundirá el oxidante a través del suelo y de las aguas subterráneas hasta llegar a los contaminantes? El oxidante de uso más común que se emplea en la descontaminación es el peróxido de hidrógeno o agua oxigenada. Otro de empleo corriente es el *permanganato de potasio*, que resulta más económico. Ambos oxidantes se bombean en forma líquida. Cada uno presenta ventajas según el sitio. Otro oxidante fuerte es el ozono, pero por ser un gas, puede resultar más difícil de emplear. En algunos sitios, se emplea un *catalizador* junto con el oxidante. El catalizador es una sustancia química que aumenta la potencia o la velocidad de un proceso. Por ejemplo, si se mezcla el agua oxigenada con un catalizador de hierro, se produce una sustancia química fuerte denominada *radical libre*. Los radicales libres son capaces de destruir mayor cantidad de sustancias químicas dañinas que cuando se emplea el agua oxigenada sola. Ver figura 3.19.

La oxidación química puede crear suficiente calor como para hacer hervir el agua. El calor puede hacer que las sustancias químicas que se hallan en el subsuelo se *evaporen*, es decir, que se transformen en gases. Los gases ascienden a través del suelo hacia la superficie del terreno donde son capturados y descontaminados.^[19]

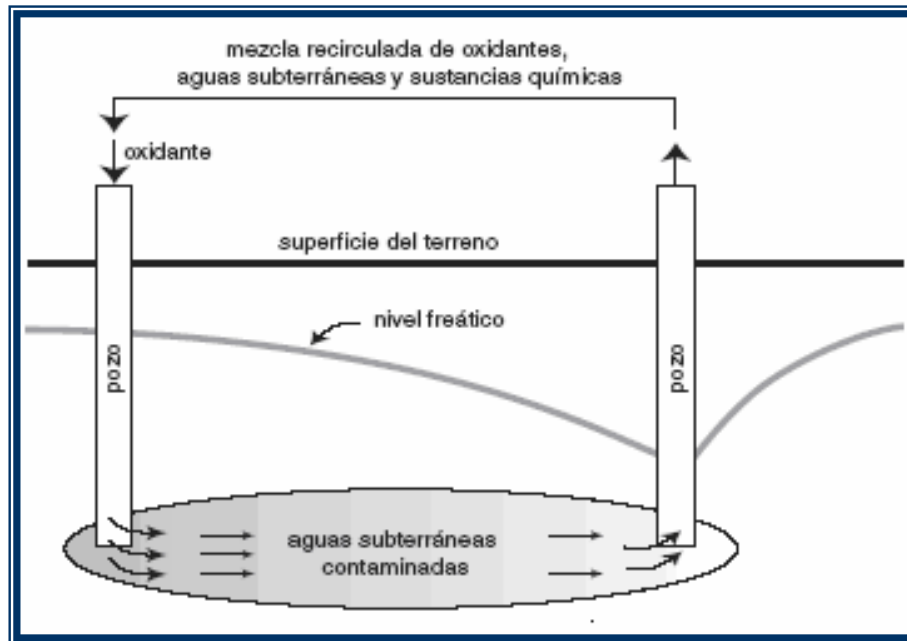


Figura 3.19. Oxidación Química.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

- 1.** La mala calidad del agua subterránea puede ser debida a causas naturales o a la actividad humana.
- 2.** La contaminación difusa es más problemática que la contaminación puntual, debido a que el área de incidencia es mucho mayor, afectando grandes volúmenes de acuíferos.
- 3.** Los riesgos más serios y extensos de contaminación de las aguas subterráneas están asociados con sistemas de saneamiento sin alcantarillado, actividad agrícola, la infiltración de aguas contaminadas provenientes de ríos y a varios aspectos de la actividad industrial, especialmente la disposición de efluentes líquidos.
- 4.** El proceso de contaminación de un acuífero es lento, principalmente debido al lento ritmo de renovación de las aguas subterráneas.
- 5.** Las aguas subterráneas suele ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar.
- 6.** La amenaza más seria de la contaminación de las aguas subterráneas está relacionada con las concentraciones de nitratos que se incrementan en grandes proporciones y, más aún, con episodios cada vez más frecuentes de contaminación causada por fertilizantes y plaguicidas, provenientes de las actividades ganaderas y agrícolas.

7. La calidad de las aguas subterráneas debe regirse por el principio de prevención.
8. La contaminación de las aguas subterráneas puede ser controlada en las fuentes que la generan o bien sea directamente en el acuífero.
9. Controlar la calidad de las aguas subterráneas, a través, de monitoreo permite detectar cuando ocurre la contaminación.
10. Existen diversos métodos para el tratamiento de aguas subterráneas, tanto en la superficie como In Situ.
11. Para determinar el tratamiento adecuado se debe conocer las características del agente contaminante.
12. Entre los diferentes tratamientos para la remediación de las aguas subterráneas no se puede establecer cual es más eficaz, debido a que cada uno se ajusta a ciertos tipos de contaminantes.

4.2 RECOMENDACIONES.

1. Se debe controlar la contaminación en las fuentes de generación, para evitar que esta llegue a las aguas subterráneas.
2. Implantar perímetros de protección, que consisten en determinar alrededor del pozo una zona donde no se pueden hacer una serie de actividades.
3. Se deben establecer los medios y normativas que limiten el vertido incontrolado, la instalación de actividades peligrosas sin las debidas medidas de seguridad y la aplicación indiscriminada de productos agroquímicos.
4. Realizar controles sobre la calidad de las aguas y los posibles focos contaminantes.
5. Preservar los recursos subterráneos a través de una gestión coordinada que garantice una explotación racional.
6. Implementar medidas tales como: impermeabilizar lugares para los basureros o escombreras, depuración previa de los vertidos, utilización cuidadosa de fertilizantes y pesticidas así como tener especial precaución a la hora de almacenar bajo tierra residuos peligrosos.
7. Plantear un procedimiento consistente para la evaluación de los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas. Este debería basarse en la clasificación e interacción de la vulnerabilidad natural del acuífero y la carga de contaminante generada por el hombre en el subsuelo.
8. Promover las investigaciones exhaustivas y/o el monitoreo cuidadoso de la calidad de las aguas subterráneas en situaciones seleccionadas, para mejorar el conocimiento y concentrar la

atención sobre los problemas potenciales de contaminación de las aguas subterráneas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **“Aguas Subterráneas”**. Información tomada de la página Web <http://www.astromia.com/tierraluna/aguasubterraneas.htm>
2. **“Clasificación de las Unidades Geológicas en Relación con las Aguas Subterráneas”**. Información tomada de la página Web <http://www.fortunecity.com/campus/carthage/1033/Pag2/acuif.htm>
3. CORBILT, R. **“Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”**
Mc. Graw – Hill. España. 1999.
4. **“Guía Para La Protección de las Aguas Subterráneas”**. EPA
Abril 1999 Información tomada de la página Web http://www.epa.gov/safewater/sourcewater/pubs/guide_citguidegwps_p_1990.pdf
5. **“Propiedades de las Aguas Subterráneas”**. Información tomada de la página Web <http://www.lenntech.com/espanol/Agua-subterranea/propiedades.htm>
6. **“Revista Ambientum”**. Información tomada de la página Web http://www.ambientum.com/revista/2001_24/2001_24_AGUAS/GSST_RRNS2.htm
7. **“Revista Ambientum”**. **Uso de las Aguas Subterráneas”**. Información tomada de la página Web http://www.ambientum.com/revista/2003_01/CLDDGSSB.htm

8. **“Grupo de Gestión de Recursos Hídricos”**. Información tomada de la página Web <http://www.agua.uji.es/>
9. **“Contaminación de las Aguas Subterráneas”**: Información tomada de la página Web <http://www.elsitioagricola.com/gacetillas/pergamino/pe20050407/contaminacion.asp>
10. T. HARE, **“Los Residuos Domésticos”**, Ediciones S.M. Colección Tierra Viva, tercera edición. Joaquín Turina 39, Madrid.
11. Monográficos Hispaagua. **“Las Aguas Subterráneas”**: Información tomada de la página Web http://hispaagua.cedex.es/documentacion/especiales/aguas_subterranas/3_contaminacion.htm
12. **“Agua Subterránea – Fuentes de Contaminación”**. Información tomada de la página Web <http://www.lenntech.com/espanol/Agua-subterranea/fuentes-contaminacion.htm>
13. RODRÍGUEZ, R. y LUCILA, C. **“La Contaminación de las Aguas Subterráneas”**. España. 1998. Información tomada de la página Web <http://aguas.igme.es/igme/publica/pdf/lib3/rodrigue.pdf>
14. **“Causas, Tipos y Extension de la Contaminacion de las Aguas Subterráneas”**. Información tomada de la página Web http://aguas.igme.es/igme/publica/libro50/pdf/lib50/in_04b.pdf

15. **“El Agua Subterránea”**. Información tomada de la página Web [http://www.atsdr.cdc.gov/es/general/es_groundwater fs.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/general/es_groundwater_fs.html)
16. Lewis, W. y Drasar, B. **“Análisis de Contaminación de las Aguas Subterráneas por Sistemas de Saneamiento Básico”** Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (CEPIS). Perú. 1988.
17. Foster, S., Ventura, M.y Hirata, R. **“Contaminación de las Aguas Subterráneas”**. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (CEPIS) Perú. 1987.
18. Foster, S. y Gomes, D.. **“Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas”**. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (CEPIS). Lima, 1989.
19. **“Remediación”**. Información tomada de la página Web <http://www.remediacion.com/>

ANEXOS

Anexo A.

Tabla 1. Fuentes de Contaminación y Tipos de Contaminantes.
“Fuente Propia”.

Fuentes Contaminantes	Tipos de Contaminantes	Compuestos
Residuos Sólidos Urbanos	Líquidos cloacales y Lixiviados (Contienen más de 200 compuestos químicos diferentes).	Cloruro de vinilo, Cloruro de metilo, Tetracloruro de carbono, Clorobencenos, Arsénico, Plomo, Nitratos, Cadmio, Manganeso y Mercurio.
Aguas Residuales	Detergentes, Aceites, Grasas, Bacterias, Virus, Materia Orgánica Disuelta, entre otros.	Nitritos, Nitratos, Coliformes, Fósforo, Sulfatos, Carbonatos, Arsénico, Cloruros, Cianuro, Cadmio, Cromo, Plomo, Cinc, entre otros.
Actividad Agrícola	Productos Químicos: Fertilizantes, Pesticidas, Herbicidas, Insecticidas, etc.	Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre y Trazas de elementos organoclorados.
Actividad Ganadera	Compuestos Nitrogenados, Bacterias, y en algunos casos, metales pesados.	Fosfatos, Cloruros Nitrógeno, Fósforo, Potasio y altos contenidos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Tabla 1. Fuentes de Contaminación y Tipos de Contaminantes.
Fuente Propia”.

Fuentes Contaminantes	Tipos de Contaminantes	Compuestos
Actividades Radiológicas	Materiales Radiactivos.	Átomos inestables, partículas alfa y beta, tritio, etc.
Actividades Industriales y Mineras	Las sustancias contaminantes son muy variables: Ácidos, Metales Pesados, Sales y Restos de materiales en descomposición.	Cinc, Plomo, Cadmio, Cromo, Mercurio, Cobre, Sodio, etc.

Anexo B.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos dañinos potenciales por ingestión de agua.	Fuentes de contaminantes en el agua potable
Fluoruro	4,0	4,0	Fluorosis esquelética y dental.	Depósitos naturales; fertilizantes, industria de aluminio; aditivo del agua.
Compuestos orgánicos volátiles				
Benceno	0	0,005	Cáncer	Algunos alimentos, gas, medicamentos, pesticidas, pinturas, industrias plásticas.
Tetracloruro de Carbono	0	0,005	Cáncer	Disolventes y sus productos de degradación.
p- Diclorobenzeno	0,075	0,075	Cáncer	Desodorantes de estancias y aseos, bolas de naftalina.
1,2-Dicloroetano	0	0,005	Cáncer	Gasolina con plomo, fumigadores, pinturas.

1,1-Dicloroetileno	0,007	0,007	Cáncer	Plásticos, tintes, perfumes, pinturas.
Tricloroetileno	0	0,005	Cáncer	Textiles, adhesivos y desengrasantes para metal.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos potenciales por ingestión de agua.	Efectos dañinos por ingestión de agua.	Fuentes de contaminantes en el agua potable
1,1,1-Tricloroetano	0,2	0,2	Hígado, Efectos sobre el sistema nervioso.		Adhesivos, aerosoles, textiles, pinturas, tintas, desengrasantes para metal.
Cloruro de vinilo	0	0,002	Cáncer		Lixiviados desde tubos de PVC; formados por rupturas de solventes hacia tierra.
Coniformes y tratamientos de aguas superficiales					
Giardia Lamblia	0	TT	Enfermedades gastroentericas		Aguas residuales fecales de humanos y animales.
Legionella	0	TT	Enfermedades por		Desde personas hacia aguas

Conteo en placa	N/A	TT	Indicadores de la calidad del agua, eficiencia del tratamiento	legionelas naturales, puede producirse en sistemas de aguas calientes.
* Coliformes totales	0	<5%+	Indicadores de patógenos gastroentéricos	Aguas fecales de humanos y animales.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos potenciales por ingestión de agua.	daños por ingestión de agua potable	Fuentes de contaminantes en el agua potable
Turbidez *	N/A	TT	Interferencias con la desinfección y filtración		Escorrentía en suelos.
Virus	0	TT	Enfermedades gastroentéricas		Aguas fecales de humanos y animales.
Inorgánicos					
Antimonio	0,006	0,006	Cáncer		Retardantes de incendio, cerámicos,

Asbestos (<10 m)	7 MFL	7MFL	Cáncer	electrónicos, fuegos artificiales, soldaduras. Depósitos naturales, cemento de asbestos en sistemas de aguas.
Bario *	2	2	Efectos sobre el sistema	Depósitos naturales, pigmentos, cerramientos de epoxy, carbón agotado.
Belirio	0,004	0,004	Huesos, pulmonares, daños	Eléctricas, aeroespaciales, industrias de defensa.
Cadmio *	0,005	0,005	Efectos sobre el riñón	Corrosión de tubos galvanizados; depósitos naturales; baterías, pinturas.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos dañinos potenciales por ingestión de agua.	Fuentes de contaminantes en el agua potable
Cromo * (Total)	0,1	0,1	Hígado, riñones, desordenes circulatorios	Depósitos naturales; minería, galvanizado, pigmentos.
Cianuros	0,2	0,2	Tiroides, daños en el sistema nervioso	Galvanizado, acero, plásticos, minería, fertilizantes.

Mercurio * (inorgánico)	0,002	0,002	Riñones, desórdenes en el sistema nervioso	Escorrentías sobre cultivos, depósitos naturales, baterías, interruptores eléctricos.
Nitrato	10	10	Metahemoglobinemia	Aguas residuales, fertilizantes, depósitos naturales, tanques sépticos, residuales.
Nitrito	10	10	Metahemoglobinemia	Igual al nitrato; conversión rápida a nitrato.
Selenio *	0,05	0,05	Daños en el hígado	Depósitos naturales, minería, acerados, combustión carbón/petróleo.
Talio	0,0005	0,002	Riñón, hígado, sistema cerebro intestinal	Electrónicos, medicamentos, aleaciones, vidrios.
Compuestos orgánicos (1 de 4)				
Acrilamida	0	TT	Cáncer, efectos sobre el sistema nervioso	Polímeros usados en depuradoras/tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos potenciales por ingestión de agua.	Fuentes de contaminantes en el agua potable
---------------	----------------	---------------	--------------------------------------------------	------------------------------------------------

Adipato (di(2-etilexil))	0,4	0,4	Disminución del peso corporal	Goma sintética, empaquetado de comidas, cosméticos.
Alaclor	0	0,002	Cáncer	Escorrentía con herbicidas provenientes de cereales, semillas soja, otros cultivos.
Atrazina	0,003	0,003	Tumores en glándulas mamarias	Escorrentías con herbicidas provenientes de cultivos y tierras de cultivo.
Carbofurano	0,04	0,04	Sistema nervioso, efectos sobre el sistema reproductor	Fumigantes del suelo sobre cultivos y algodón; restringido en algunas áreas.
Clordane *	0	0,002	Cáncer	Lixiviados de tratamientos del suelo antitermitas.
Clorobenzeno	0,1	0,1	Efectos sobre el sistema nervioso y el hígado	Aguas residuales con disolventes a partir de procesos de desengrasado de metales.
Dalapon	0,2	0,2	Hígado y efectos sobre el riñón	Herbicidas sobre huertos, judía, café, césped, carreteras/raíles.
Dibromocloropropano	0	0,0002	Cáncer	Fumigantes de suelo sobre semillas de soja, algodón, piña, huertos.
o-Diclorobenzeno	0,6	0,6	Hígado, riñón, daños sobre células sanguíneas	Pinturas, componentes para máquinas de limpieza, tintes, aguas residuales químicas.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos dañinos potenciales por ingestión de agua.	Fuentes de contaminantes en el agua potable
cis-1,2-Dicloroetileno	0,07	0,07	Hígado, riñón, circulación, sistema nervioso	Aguas residuales de extracción de disolventes.
Diclorometano	0	0,005	Cáncer	Pinturas artísticas, metal desengrasado, proplente, extracción.
1,2-Diclopropano	0	0,005	Hígados, efectos sobre el riñón, cáncer	Fumigantes del suelo, aguas industriales con disolventes.
Dinoseb	0,007	0,007	Tiroides, daños en los órganos reproductivos	Escorrentía con herbicidas sobre cultivos y aplicaciones sobre baldíos.
Dioxina	0	0,00000003	Cáncer	Producción química (subproductos), impurezas en herbicidas.
Diquat	0,02	0,02	Hígado, riñón, efectos sobre los ojos	Escorrentía a partir de herbicidas sobre trigo, cereales, dehesas, césped.
2,4-D*	0,07	0,07	Hígado, y daños sobre el riñón	Escorrentía a partir de herbicidas sobre trigo y cereales, dehesas, césped.

Endotal	0,1	0,1	Hígado, gastrointestinal	riñón,	Herbicidas sobre cultivos tierra/malas hiervas acuáticas, degradado rápidamente.
Endrin	0,002	0,002	Hígado, riñón, daños al corazón.		Pesticidas sobre insectos, rodenticidas, pájaros, restringidos desde 1980.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos potenciales de agua.	daños por ingestión	Fuentes de contaminantes en el agua potable
Endrin	0,002	0,002	Hígado, riñón, daños al corazón.		Pesticidas sobre insectos, rodenticidas, pájaros, restringidos desde 1980.
Epicloridrina	0	TT		Cáncer	Tratamientos químicos de agua, aguas residuales de resinas de epoxy, baños.
Etilbenzeno	0,7	0,7	Hígado, sistema nervioso	riñón,	Gasolina; insecticidas; aguas residuales de fabricación de productos químicos.
Dibromuro de etileno	0	0,00005		Cáncer	Aditivos de gasolina con plomo; lixiviados de fumigantes del suelo.

Glifosato	0,7	0,7	Hígado, daños en riñón	Herbicidas sobre hierbas, malas hierbas, maleza.
Heptacloro	0	0,0004	Cáncer	Lixiviados de insecticidas para termitas, muy pocos cultivos.
Heptacloro epóxido	0	0,0002	Cáncer	Biodegradación del heptacloro.
Hexaclorobenceno	0	0,001	Cáncer	Producción de aguas residuales de pesticidas por productos.
Hexaclorociclopentadieno	0,05	0,05	Riñón, daños en el estómago	Intermediario en la producción de pesticidas.
Lindano	0,0002	0,0002	Riñón, hígado, nervios, inmunidad, circulatorio	Insecticida sobre ganado, madera, parques; restringido 1983.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos dañinos potenciales por ingestión de agua.	Fuentes de contaminantes en el agua potable
Metoxicloro	0,04	0,04	Crecimiento, hígado, riñón, efectos nerviosos	Insectos para frutas, vegetales, alfalfa para ganadería, mascotas.
Oxamil (vidato)	0,2	0,2	Daños en riñón	Insecticidas.

PAH (benzo(a)pireno)	0	0,0002	Cáncer	Bolas asfálticas, materia orgánica quemada proveniente de volcanes, combustibles fósiles.
PCB	0	0,0005	Cáncer	Aceites refrigerantes de transformadores eléctricos, plásticos.
Pentaclorofenol	0	0,001	Efectos sobre el hígado, riñón y cáncer	Preservación de madera, herbicidas, torres de enfriamiento de agua.
Ftalato(di(2-etilhezil))	0	0,006	Cáncer	PVC y otros plásticos.
Picloram	0,5	0,5	Riñón, daños en hígado	Herbicidas sobre hojas anchas y plantas con maderas.
Simazina	0,004	0,004	Cáncer	Herbicidas sobre césped con hierba, algunos cultivos, algas acuáticas.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG	MCL	Efectos	daños	Fuentes de contaminantes en el
---------------	------	-----	---------	-------	--------------------------------

	(mg/l)	(mg/l)	potenciales por ingestión de agua.	potenciales por ingestión de agua potable
Estireno	0,1	0,1	Hígado, daños sobre el sistema nervioso	Plásticos, gomas, resinas, industrias de medicamentos, lixiviados desde vertederos de ciudades.
Tetracloroetileno	0	0,005	Cáncer	Vertido incorrecto de limpieza en seco u otros solventes.
Tolueno	1	1	Hígado, riñón, sistema nervioso, circulación	Aditivos de la gasolina; fabricación y operaciones con solventes.
Toxafeno	0	0,003	Cáncer	Insecticidas enlatados, algodón, semillas de soja, prohibido en 1982.
2,4,5-TP	0,05	0,05	Hígado y daños en riñón	Herbicidas sobre cultivos, campos de golf; prohibido en 1983.
1,2,4-Triclorobenzeno	0,07	0,07	Hígado, daños al riñón	Producción de herbicidas, empresas de tintorerías.
1,1,2-Tricloroetano	0,003	0,005	Riñón, hígado, sistema nervioso	Disolventes en gomas, otros productos orgánicos; producción de aguas residuales químicas.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos potenciales por ingestión de agua.	daños por ingestión de agua.	Fuentes de contaminantes en el agua potable
Xileno (total)	10	10	Hígado, riñón, sistema nervioso		Por producto de refinado de gasolina, pintura, tintas, detergentes.
Plomo y Cobre					
Plomo *	0	TT++	Riñones, daños en el sistema nervioso		Depósito naturales/industriales; emplomado, soldaduras, grifos de aleación de latón.
Cobre	1,3	TT#	Irritación gastrointestinal		Depósito naturales/industriales; preservación de madera, emplomado.
Otras directrices provisionales					
Emisores beta/fotones	0	4mrem/año		Cáncer	Decadencia de los radionucleidos en medio natural y en depósitos por el hombre.
Emisores alfa	0	15pCi/L		Cáncer	Decadencia en radionucleidos en depósitos naturales.
Radio combanado 226/228	0	5pCi/L		Cáncer de hueso	Depósitos naturales.

Tabla 2. Directrices Nacionales Primarias para el Agua Potable. “Fuente: Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”.

Contaminantes	MCLG (mg/l)	MCL (mg/l)	Efectos potenciales por ingestión de agua.	daños por ingestión de agua.	Fuentes de contaminantes en el agua potable
Arsénico *	0,05	0,05	Piel, toxicidad para el sistema nervioso		Depósitos naturales; aceros, vidrio, aguas residuales de componentes electrónicos; huertos.
Trihalometanos totales	0	0,10		Cáncer	Subproductos de la cloración de agua de bebida.

Notas: MCLG = Meta para el nivel máximo de contaminantes.

MCL = Nivel de contaminantes.

TT= Técnicas que requieren un tratamiento especial.

* Contaminantes con directrices provisionales que tienen que ser revisadas.

+ = Menos del 5 % de muestras positivas.

MFL= millón de fibras por litro.

++ = Nivel reacción de 0,015 mg/l.

= Nivel de acción de 1,3 mg/l.

pCi = picocurios.

Anexo C.

Tabla 3. Enfermedades que Podrían Transmitirse por las Aguas Subterráneas Contaminadas. “Fuente: Análisis de Contaminación de las Aguas Subterráneas por sistemas de Saneamiento, CEPIS”.

Enfermedades	Agentes Patógenos
Transmitidas por bacterias	
Cólera	Vibrio cholerae
Fiebre tifoidea	Salmonella typhi
Fiebre paratifoidea	Salmonella paratyphi
Disenteria bacilar	Shigella spp.
Diarreas	E. coli enterotoxigénica E. coli enteropatógena Salmonella spp. Y otros
Transmitidas por virus.	
Enfermedades	Agentes Patógenos
Hepatitis infecciosa	Virus de hepatitis A
Poliomelitis	Poliovirus
Diarreas	Rotavirus agente Norwalk
Diversos síntomas	Echovirus, coxsackievirus y otros.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	MEDIDAS PARA EL CONTROL Y REMEDIACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
SUBTÍTULO	
O	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Ochoa G, Josmary De Los A.	CVLAC: 16.718.299 E MAIL: josmary8a@hotmail.com
Sosa N, Andreina E.	CVLAC: 15.051.560 E MAIL: andry2000@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES: Aguas Subterráneas,
Contaminación, Control, Remedación.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y

ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERÍA CIVIL

RESUMEN (ABSTRACT):

La contaminación de las aguas subterráneas, proviene principalmente de las actividades humanas y en menor medida de la naturaleza. Las fuentes de contaminación difusa afectan en gran medida la calidad de las aguas subterráneas, entre ellas tenemos: la agricultura, ganadería y zonas urbanas residenciales. Estas actividades generan sustancias contaminantes que son perjudiciales para la salud, como lo son los nitratos, los cuales causan la enfermedad de metahemoglobinemia (conocida como enfermedad de los bebés azules). Otros contaminantes pueden ser cloruros y cobre, los cuales proporcionan mal sabor al agua, el fluoruro provoca moteado de los dientes, el plomo es un veneno acumulativo muy dañino para la salud. Por lo antes expuesto se hace necesario establecer medidas de control para verificar la calidad del agua, y en otros casos, detectar en que momento se produce la contaminación. Una vez que las aguas subterráneas están contaminadas se pueden tratar a través de diferentes sistemas como: carbón activado, muros de tratamiento, biocorrección, extracción con aire, enjuague in situ, fitocorrección y oxidación química. La técnica a emplear para el tratamiento de las aguas subterráneas dependerá del tipo de contaminante. La recuperación de la calidad del agua, aunque es factible, es de gran complejidad técnica y supone un elevado costo, por lo que es fundamental tomar medidas para evitar que se produzca la contaminación.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y

ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / EMAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Lárez, Haydee.	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
DÍAZ, JUAN F.	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Sebastiáni, Belkys.	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Montejo A, Enrique.	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2.007	11	
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y

ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
MONOGRAFIA.DOC	APPLICATION/M SWORD

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A
B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g
h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO CIVIL

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PRE- GRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y

ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Para la Aprobación Definitiva de los Cursos Especiales de Grado como Modalidad de Trabajo de Grado, será requisito parcial la entrega, a un Jurado Calificador de una Monografía en la cual se profundice en uno o más Temas Relacionados con el Área de Concentración”

AUTORES

JOSMARY OCHOA

ANDREINA SOSA

JURADO

HAYDEE LAREZ

JURADO

BELKYS SEBASTIANI

JURADO

JUAN F. DIAZ

JURADO

ENRIQUE MONTEJO

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

YASSER SAAB