

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
CURSOS ESPECIALES DE GRADO



**“IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA COMO
FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN
VENEZUELA.”**

Presentado por:

Emilia J. Rojas Ortiz

Adriana A. Serrano Rincón.

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como
requisito parcial para optar al Título de

INGENIERO CIVIL.

Puerto La Cruz, Octubre de 2007.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
CURSOS ESPECIALES DE GRADO



**“IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA COMO
FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN
VENEZUELA.”**

Profesora Haydeé Lárez
Jurado Principal

Profesora Belkis Sebastiani
Jurado Principal

Profesor Juan Félix Díaz
Jurado Principal

Profesor Enrique Montejo
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Octubre de 2007.

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 57 del Reglamento de Trabajos 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 profundiza en uno o mas temas relacionados con el área de concentración”.

DEDICATORIA

Las palabras que escribo en esta dedicatoria son pequeñas ante toda tu grandeza, **GRACIAS DIOS** por tu infinita bondad, por darme la fortaleza para resistir lo que pase y estar hoy en día con vida, siempre mostrando la sonrisa que me regalaste, gracias por ir conmigo de la mano y ayudarme en este camino, por estar ahí aunque no te vea, sin ti nada de esto hubiera sido posible.

Este triunfo es para ustedes papi y mami espero estén orgullosos de todo lo que he logrado hasta ahora y de la persona en que me he convertido, GRACIAS POR SER MIS PADRES Los Amo.

A las personas que no se ven pero están ahí siempre conmigo; a ti Abuelita espero que tengas una gran sonrisa por como e vivido y por todo lo que soy T Amo.

A mi amiga Adriana por estar a mi lado en este logro, juntas lo hicimos, Gracias por compartir el día a día conmigo, Te Quiero mucho Amiga.

A mi Profe Haydee por su ayuda, su asesoría, sus consejos, su colaboración, por su amistad GRACIAS Profe.

Emilia Rojas Ortiz

DEDICATORIA

Este gran logro se lo dedico primeramente a **DIOS**, ya que sin el no estaría aquí y todo lo que he sido, soy y seré es por él y para él.

A mi **MADRE** adorada porque se que donde quiera que este siempre me ha acompañado y me seguirá acompañando todos los días de mi vida. Te Amo mamá y ni la distancia ni el tiempo podrán borrar este sentimiento todo por lo que he luchado es para ti y sé que estás orgullosa de todo lo que he logrado en tu ausencia, todo esto es para ti.

Adriana Serrano Rincón

AGRADECIMIENTO

GRACIAS **Diosito** por haberme permitido llegar hasta el final del camino universitario y por darme la oportunidad de seguir viviendo y cada día ir superando las dificultades por las que he pasado, nada de esto estuviera pasando si tú no hubieses querido GRACIAS.

GRACIAS **Papi** por darme las fuerzas cuando creí que ya no las tenía y hacerme entender que soy capaz de hacer todo lo que me proponga, por darme tus palabras cuando lo necesitaba, por estar conmigo, espero estés orgulloso de la persona que soy, tu sabes que en todas mis metas estas presente eres el mejor padre del mundo Te Quiero.

GRACIAS **Mami** por todo el cariño que me has dado, por los sacrificios que hiciste para ayudarme, por estar siempre conmigo, por llorar y reír conmigo, por creer en mí, esta meta sin ti no hubiese sido posible Te Quiero.

GRACIAS **Hermano** por siempre creer en mí, por apoyarme en los momentos buenos y malos, por tu cariño, tu sabes lo mucho que te quiero y te adoro, todo lo que soy y seré también es para ti, Te Quiero.

GRACIAS **Tía Enoe** por quererme como una hija, por siempre creer en mí, por apoyarme, por tus detalles, tu sabes que esta meta y las que logro son tuyas también, espero estés orgullosa de todo lo que he conquistado hasta ahora y de la persona que soy, Te Quiero.

GRACIAS **Novio** por escucharme, por apoyarme, por tu comprensión, por estar conmigo en los triunfos y los fracasos, por creer en mi siempre a pesar de todo, por todo el amor que me has dado, espero te sientas orgulloso de mi, Te Amo.

GRACIAS **Sr. Jesús y Sra. Marllory** por tratarme siempre como una hija, darme sus consejos, su apoyo y su cariño incondicional, siempre los llevo en mi corazón, Los Quiero.

GRACIAS **Tíos** por toda la ayuda y el apoyo que me han dado, por sus concejos, por creer en mi Gracias.

GRACIAS **Amigas** por todo el cariño que me han dado y estar ahí cuando necesite las fuerzas para seguir luchando, sin ustedes no hubiese podido salir adelante y superar todo lo que viví; nunca voy a olvidar todas las alegrías y tristezas que compartimos, le doy gracias a Dios por darme la dicha de ponerlas en mi camino, siempre las voy a querer porque son lo máximo.

Gracias infinitas a todos

Emilia Rojas Ortiz

AGRADECIMIENTO

GRACIAS **Dios** todo poderoso por haberme permitido vivir y llegar a alcanzar mis metas, por ayudarme a nunca desfallecer ante las dificultades. Gracias por darme la dicha maravillosa de hacerme la persona que soy hoy en día.

GRACIAS **Tía Mariné**, por tantas cosas que no cabrían en estas líneas, pero fundamentalmente por entregar tu vida y dejarla a un lado para que pudiera alcanzar mis sueños y por confiar en mí en los momentos difíciles cuando hasta yo dudaba de mi misma.

GRACIAS **Tíos** por ser padres, madres, buenos amigos y consejeros. Gracias porque siempre han estado allí para tenderme una mano amiga cuando la necesito.

GRACIAS **Padre**, por haberme dado la vida, por ser un buen amigo, por enseñarme que no importa lo que pase hoy siempre hay un mañana y que la vida es solo una y es para vivirla.

GRACIAS **Novio**, por haber estado siempre allí en mis celebraciones, en mis angustias, en mis tristezas, en mis logros. Gracias por apoyarme cuando más lo necesitaba, por tus palabras de aliento y por todo tu amor.

GRACIAS **Hermanas**, por los abrazos, las risas y las palabras que siempre necesite, nunca duden lo importante que son para mí.

Gracias **Amigas**, por ser tan especiales conmigo y por darme la oportunidad de descubrir las personas maravillosas que son, las quiero mucho.

Gracias **Emi**, por haber sido una excelente compañera y amiga, por darme la mejor lección de vida y por no desfallecer, gracias por acompañarme en las dificultades y por luchar a mi lado por esta meta.

Gracias a los **Profesores** que marcaron la diferencia, a esos que con sus enseñanzas me mostraron lo hermoso de mi carrera y a los que día a día me incentivaron para llegar a ser quien soy.

A Todos mil gracias,

Adriana Serrano Rincón

CONTENIDO

RESOLUCIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	viii
CONTENIDO.....	x
INDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN	xiii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	14
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	24
2.1.1 Origen de las Aguas Subterráneas.....	24
2.1.2 Tipos Hidroquímicos de las Aguas Subterráneas.....	25
2.1.3 Calidad del Agua Subterránea para el Consumo Humano..	26
2.2 ACUIFEROS.....	26
2.2.1 Zonas de un Acuífero.....	28
2.2.2 Tipos de Acuíferos.....	29
2.2.3 Propiedades Hidrogeológicas de los Acuíferos.....	37
2.2.4 Propiedades Físico- Químicas de las Aguas Subterráneas:	38

2.2.5 Características Químicas de los Iones y Sustancias Disueltas más Importantes:	43
2.2.6 Consideración de Mecanismos para el Tratamiento del Agua Subterránea.....	53
2.2.7 Estudios de Localización de las Formaciones Acuíferas..	55
2.2.8 Explotación y Sobreexplotación de los Acuíferos.....	59
CAPITULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO	62
3.1 ZONAS EN DONDE SE LOCALIZAN LOS PRINCIPALES DEPOSITOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN VENEZUELA.....	62
3.1.1 Ubicación.....	62
3.2 INFLUENCIA DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LA SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO.	77
3.2.1 Composición del Agua Subterránea.....	77
3.2.2 Influencia de la Calidad del agua en la selección de la fuente.	79
3.2.3 Influencia de la Cantidad de Agua Subterránea para la Selección de la Fuente.	86
3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS FLUJOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE LA MISMA EN VENEZUELA.....	90
3.3.1 Ventajas y Desventajas en General.	90
3.3.2 Comparación entre un mecanismo de abastecimiento y otro.	93
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
4.1 Conclusiones	96
4.2 Recomendaciones	99
BIBLIOGRAFÍA	1

INDICE DE TABLAS

Fig. # 1. Ubicación de Venezuela en América.....	14
Fig. # 9. Principales Acuíferos de Venezuela	64
Tabla # 3. Niveles de Agua Subterránea en los Acuíferos	65
Fig. # 10. Mapa de Transmisibilidad de La Mesa de Guanipa.....	67
Fig. # 11. Columna Litológica de La Mesa de Guanipa.....	68
Fig. # 12. Recursos de Aguas Subterráneas en la Zona del Río Guárico.	69
Tabla # 4. Clasificación de acuerdo a valores límites y rangos	80
Fig. # 14. Esquema de un Sistema de Abastecimiento de Agua por Gravedad sin Tratamiento	94
Fig. # 15. Esquema de un Sistema de Abastecimiento de Agua por Bombeo sin Tratamiento.....	95

RESUMEN

Los acuíferos o depósitos explotables de agua subterránea representan en Venezuela una superficie total de 829.000 Km², los cuales a través de estudios preliminares se han estimado en cinco millones de metros cúbico por año y se pueden clasificar de acuerdo a su potencialidad en: Acuíferos de gran potencialidad, potencial medio y en vías de agotamiento. En Venezuela se han encontrado hasta ahora la formación de acuíferos importantes entre los cuales están el de la Mesa de Guanipa (Estado Anzoátegui), al Sur de Monagas, Sistema del río Guarico, Llanos de Apure, Llanos de Barinas, Portuguesa y Valencia. Estos son extraídos mediante pozos que son perforaciones o excavaciones cuasivertical o verticalmente, cortando la zona de agua freática.

Lo que se pretende con el presente trabajo es mostrar la necesidad de la realización de una buena gestión hídrica en el país, resaltando la importancia de las fuentes de aguas subterráneas y enfatizando el uso aprovechable de los acuíferos, el cual se tiene que ver representado por modelos de estudios de impacto de obras civiles como la excavación de nuevos pozos en el campo a explotar, la construcción de aducciones, la construcción de estanques de almacenamiento, la dotación de nuevas tuberías matrices y de sistemas de potabilización para los pozos, para así prestar un adecuado servicio de agua potable para la población actual y futura.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El agua ocupa las tres cuartas partes de la superficie de la tierra y se debe a lluvias que duraron muchos años o siglos. A consecuencia de esto, se formaron depósitos de agua dulce en la superficie los cuales se estiman en un 0,25%. Los lagos, ríos y pantanos contienen otras cantidades de agua dulce. En el aire, suelo, rocas y en canales subterráneo, la variable cantidades de agua suma otra cantidad difícil de precisar.

De esta cantidad de agua dulce que se encuentra en la tierra el agua correspondiente a los cursos subterráneos ofrece la posibilidad en ciertas zonas de ser extraída de una manera económicamente explotable, en este caso las aguas subterráneas se encuentran manifestadas en forma de acuíferos.

Como es de saberse el agua potable es un recurso vital para el ser humano y el derecho al agua potable y al saneamiento forma parte integrante de los derechos humanos. Nunca se ha considerado el agua como lo que realmente es: un bien común universal, patrimonio vital de la humanidad. El acceso al agua debe ser considerado como un derecho básico, individual y colectivamente inalienable.

El uso del agua subterránea no es una moda de nuestros tiempos. Existen documentos históricos que hablan de las cualidades del agua de manantial. Pero el uso del agua subterránea se ha incrementado en todas partes a un ritmo vertiginoso desde la década de los 60. Es así como se han ido desarrollando a lo largo de la historia una serie de estudios y herramientas tecnológicas que para cada caso se emplean para determinar

la factibilidad de la explotación de los recursos de aguas subterráneas para el abastecimiento de agua potable de una población.

Los usuarios del agua son cada vez más numerosos, mientras que las disponibilidades del recurso en muchas partes, no sólo no permanecen iguales sino que van mermando, por consiguiente surge la necesidad de establecer en la naciones del mundo una buena gestión de recursos hídricos que permita explotar las fuentes sin agotarlas, de esta manera se preserva el medio y se continúa satisfaciendo la necesidad del vital líquido.

El área de estudio de las condiciones de reservas de aguas subterráneas en Venezuela, la cual posee una excelente ubicación geográfica al norte de la América del Sur, ubicada en el Trópico de Cáncer entre los 0° y 12° de Latitud Norte y los 60° y 73° de Longitud Oeste y una superficie marítima de 860.000 Km². Limitando al Norte con el Mar Caribe, al Sur con la República Federativa del Brasil y República de Colombia, al Este con el Océano Atlántico y República Cooperativa de Guyana y por el Oeste con la República de Colombia. La extensión total del territorio abarca 916.490 Km². A través de la figura # 1 se puede observar claramente la ubicación geográfica de Venezuela.

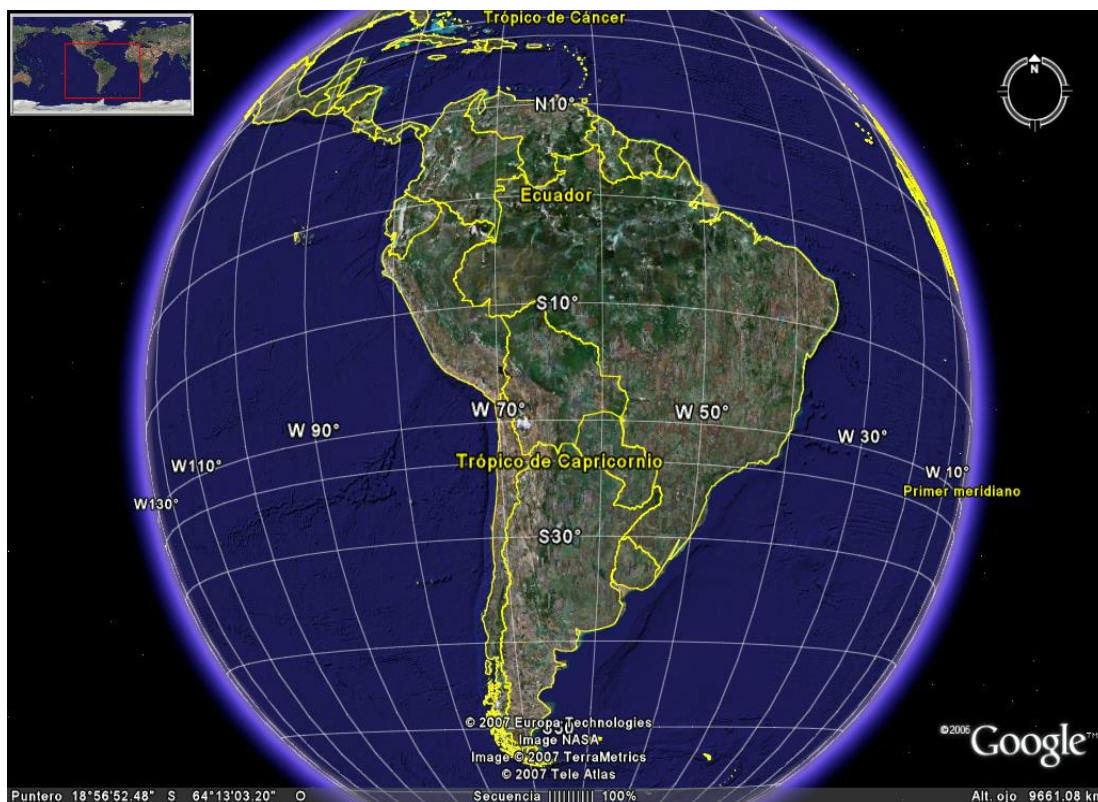


Fig. # 1. Ubicación de Venezuela en América.

Fuente: <http://www.google.mapas.html>

1.1 ASPECTOS GENERALES.

Venezuela es una República Federal dividida en 23 Estados Federales, el Distrito Capital (que comprende a la ciudad de Caracas), las Dependencias Federales (conformadas por más 311 islas, islotes y cayos en su mayoría deshabitados), además de los Territorios Federales y el territorio de la Guayana Esequiba (zona reclamada por Venezuela). Es así como se reconocen los siguientes estados y sus capitales: Distrito Capital, Caracas; Amazonas, Puerto Ayacucho; Anzoátegui, Barcelona; Apure, San Fernando

de Apure; Aragua, Maracay; Barinas, Barinas; Bolívar, Ciudad Bolívar; Carabobo, Valencia; Cojedes, San Carlos; Delta Amacuro, Tucupita; Falcón, Coro; Guárico, San Juan de los Morros; Lara, Barquisimeto; Mérida, Mérida; Miranda, Los Teques; Monagas, Maturín; Nueva Esparta, La Asunción; Portuguesa, Guanare; Sucre, Cumaná; Táchira, San Cristóbal; Trujillo, Trujillo; Vargas, La Guaira; Yaracuy, San Felipe; Zulia, Maracaibo. Para recrear gráficamente la constitución del país, se puede apreciar la figura #2 representada a una escala 1:200.

Debido a encontrarse en el trópico, Venezuela posee un clima cálido y lluvioso en general, pero debido a la orografía (altura media de la tierra, medida en metros geopotenciales, sobre cierto dominio) y los vientos, el mar, hay diferencias climáticas. Existen alteraciones climáticas en las diferentes regiones del país debido en gran parte a la altura sobre el nivel del mar. Los tipos climáticos que se manifiestan en el país son: monzónico, de sabana lluvioso, calido lluvioso, de estepa, de desierto, lluvioso templado, de tundra, frío.



Escala 1:200

Fig. #2. Mapa de Venezuela.

Fuente: http://www.fulldayturismo.com/map_es.html

Las temperaturas oscilan entre los 8° C y 40° C dependiendo de la ubicación geográfica de cada región.

De acuerdo a la cantidad de precipitación caída, se definen dos estaciones: una estación seca comprendida entre los meses de Diciembre y

Abril, y una estación lluviosa comprendida entre los meses de Mayo a Noviembre. Las precipitaciones son variables de acuerdo a la región del país y oscila entre 300mm para la zona costera y 4000mm en el territorio amazónico.

La variación geográfica de la evaporación depende de los patrones espaciales de temperatura, radiación, vientos y de la cantidad de humedad disponible. La evaporación anual medida en tina (evapo-rímetros tipo "A", de los que a partir de 1984 quedaron muy pocos instalados en el país), presenta una variación geográfica entre valores un poco menores a 1500 mm, en tierras altas, a más de 2500 mm en regiones secas con altas temperaturas, donde es mayor la demanda evaporativa.

La humedad relativa en Venezuela es por lo general muy alta, encontrándose valores mayores al 80% en los Andes, sur del Lago de Maracaibo y río Caura en Bolívar; los mínimos pueden llegar hasta 2% en localidades como Barcelona y Carora. La insolación es mayor en la región de Anzoátegui, mientras que los máximos de radiación se ubican cerca de los 11° de latitud norte, abarcando el norte de Falcón y cadenas de las islas venezolanas, incluyendo Margarita.

La vegetación está constituida por un conjunto de plantas pertenecientes a una determinada forma de vida y que ocupa una extensión espacial reconocible, así se reconocen cuatro formaciones de vegetación: bosques, arbustales, herbazales, vegetación pionera (plantas especiales como algas).

Venezuela presenta una gran variedad de suelos, que constituyen uno de los recursos físicos ambientales más importantes, ya que sintetizan la

acción de diversos factores como el clima, la topografía, el drenaje y la vegetación, los cuales, a su vez, contribuyen a su formación, determinando la litología y la morfodinámica del relieve.

Venezuela posee una gran variedad de suelos, como resultado de la combinación de los elementos naturales. La dinámica de los factores clima, material geológico, relieve, fauna, flora, etc., ha generado una variedad de suelos que permite una amplia diversidad de usos entre los cuales se encuentra la formación de acuíferos importantes. En el Escudo Guayanés y en las Mesas de Oriente del sur del Guárico y del Apure encontramos rocas ácidas que producen suelos con ese mismo carácter. Las montañas andinas y de la Cordillera Central poseen rocas variadas, con predominio de materiales ricos en micas y carbonatos, que producen suelos diversos. En las zonas planas, como la depresiones de los lagos de Maracaibo y Valencia, los Llanos y los valles occidentales y centrales, los materiales son aluviales jóvenes con una mediana y alta riqueza mineral y de fertilidad.

Los principales suelos de Venezuela, en orden de abundancia, son: suelos ácidos caracterizados por ser bien drenados, con textura que va de arenosa a media y baja fertilidad (oriente y sur del país), de aquí la relación con la formación de los acuíferos de Gran Potencialidad como el de la Mesa de Guanipa, Sur de Monagas, Sistema del Río Guarico. Suelos neutros o ligeramente ácidos con problemas de drenaje y textura que va de media arcillosa a mediana fertilidad (llanos occidentales y centrales). Suelos que oscilan entre neutros y calcáreos con mediano drenaje y textura que va de media a fertilidad relativamente alta (valles intramontanos y zonas semiáridas).

En lo que respecta a la hidrografía, Venezuela cuenta con abundantes recursos de aguas superficiales y subterráneas. En el caso de las aguas superficiales su distribución muestra marcadas diferencias regionales. El territorio es drenado por más de un millar de ríos, 124 de los cuales poseen cuencas mayores de 1.000km².

También se han encontrado hasta ahora la formación de acuíferos importantes en el país entre los cuales están el de la Mesa de Guanipa (Estado Anzoátegui), al Sur de Monagas, Sistema del río Guarico, Llanos de Apure, Llanos de Barinas, Portuguesa y Valencia. Estos son extraídos mediante pozos que son perforaciones o excavaciones cuasivertical o verticalmente, cortando la zona de agua freática.

Lo que se pretende con el presente trabajo es mostrar la necesidad de la realización de una buena gestión hídrica en el país, resaltando la importancia de las fuentes de aguas subterráneas y enfatizando el uso aprovechable de los acuíferos, el cual se tiene que ver representado por modelos de estudios de impacto de obras civiles como la excavación de nuevos pozos en el campo a explotar, la construcción de aducciones, la construcción de estanques de almacenamiento, la dotación de nuevas tuberías matrices y de sistemas de potabilización para los pozos, para así prestar un adecuado servicio de agua potable para la población actual y futura.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El agua es uno de los recursos naturales más preciados del planeta. Más de mil millones de personas no disponen de agua potable, lo que provoca que cada año mueran unos tres millones y medio de personas a

causa de enfermedades relacionadas con la falta o el mal estado de este recurso. Por ello, la distribución equitativa y la explotación sostenible del vital líquido se presenta como uno de los principales retos del siglo XXI. En la consecución de esta meta, el agua subterránea puede jugar un papel relevante. Ésta puede ser encontrada debajo de la tierra casi en cualquier sitio.

Cerca del 97 por ciento del agua dulce del mundo es agua subterránea. Esto dá lugar a que puedan ser aprovechados económicamente de manera racional para evitar casos de sequía. Pero sin duda la mayor influencia de las aguas subterráneas son las asociadas a los flujos de los ríos. La calidad y cantidad de ella varía de sitio a sitio, y las mayores reservas se encuentran en formaciones llamadas acuíferos, esta formación viene definida por una base estanca (muro), y por un techo, que puede ser libre, semiimpermeable o impermeable; por lo que son los continentes de las masas de agua subterránea. 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 Venezuela la disponibilidad natural de agua, está constituida por el balance entre las entradas, representadas por la precipitación y los aportes laterales provenientes de Colombia, y las salidas representadas por las

pérdidas por evaporación, evapotranspiración y flujos transfronterizos hacia Brasil y Guyana. Estas contribuciones permiten la formación y recarga de los depósitos subterráneos, de los cuales algunos pueden ser explotados con el fin de satisfacer el abastecimiento de agua potable en el país.

Venezuela presenta un marcado contraste entre la distribución de la población, concentrada principalmente en el norte, y la de la oferta de agua, muy abundante en la franja sur del territorio. El crecimiento acelerado de estas poblaciones ha generado la necesidad de asegurar fuentes adicionales de abastecimiento, ya que los volúmenes de agua constituyen uno de los principales problemas. Los recursos hídricos superficiales no suministran los volúmenes necesarios y entonces las fuentes subterráneas se transforman en la mejor alternativa disponible.

Una vez conocida la demanda aproximada de agua potable requerida por una determinada zona, obtenida mediante el estudio preliminar de dotaciones correspondiente, se procede a investigar las posibles fuentes de donde se podría obtener dicho caudal para cumplir con lo requerido por la población. Se estudia entonces la posibilidad de abastecer por gravedad, y en caso de que se tenga el conocimiento de la existencia de algún depósito subterráneo, determinar la cantidad de pozos necesarios para cubrir la demanda. Cada fuente puede tener sus ventajas y desventajas, sin embargo, se puede decir que para el caso de urbanizaciones, donde la demanda de agua generalmente es de poca magnitud, o no existen fuentes superficiales relativamente cercanas, lo más conveniente es el abastecimiento por fuentes subterráneas.

Debido a esto se manifiesta la importancia de los depósitos de agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua potable, siendo esta una opción probable en aquellas regiones en donde no exista un sistema de acueductos o resulte económicamente ventajosa la explotación del mismo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Estudiar la importancia del agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua potable en Venezuela.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Indicar las zonas en donde se localicen los principales depósitos de aguas subterráneas en Venezuela.
2. Establecer la influencia de la calidad y cantidad del agua subterránea para la selección de la fuente de abastecimiento.

3. Señalar las ventajas y desventajas de los flujos de agua subterráneos para el abastecimiento de la misma en Venezuela.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS.

2.1.1 Origen de las Aguas Subterráneas.

Las aguas subterráneas son las que se encuentran bajo la superficie del terreno o dentro de los poros o fracturas de las rocas, en zonas húmedas a metros de profundidad, en desiertos a cientos de metros. Representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes, con un volumen mucho más importante que la retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de Km. (como el acuífero guaraní).

Antiguamente se creía que las aguas subterráneas procedían del mar y habían perdido su salinidad al filtrarse entre las rocas. Hoy se sabe que es agua procedente de la lluvia. Es una creencia común que el agua subterránea llena cavidades y circula por galerías. Sin embargo, no siempre es así, pues puede encontrarse ocupando los intersticios (poros y grietas) del suelo, del sustrato rocoso o del sedimento sin consolidar, los cuales la contienen como una esponja. La única excepción significativa, la ofrecen las rocas solubles como las calizas y los yesos, susceptibles de sufrir el proceso llamado karstificación, en el que el agua excava simas, cavernas y otras vías de circulación, modelo que más se ajusta a la creencia popular. Estas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible. 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.

Las aguas subterráneas proceden de la precipitación y la condensación. Las aguas de precipitación debidas al ciclo del agua, se originan principalmente en la superficie de los mares que poseen 365 millones de km. cúbicos de agua y el 73% de la superficie de la Tierra. Por otro lado el aporte calorífico de la radiación solar permite convertir en vapor de dos a tres litros de agua por metro cuadrado y por día, por lo que el agua evaporada sobre la Tierra en un día alcanza a 10^{12} m^3 .

Para muchos hidrólogos la condensación del vapor de agua en el interior del suelo desempeña una función poco importante en la formación de las aguas subterráneas, incluso consideran que los rocíos internos no deben intervenir en los caudales. Pero esta participación, la de las aguas de condensación internas y externas presenta características diferentes e importantes según se trate de un terreno abundantemente permeable (calizas fisuradas, por ejemplo) o de un terreno de escasa permeabilidad (arenas) o compuesto de capas porosas impregnadas de arcilla coloidal cuya naturaleza permite la fijación de agua.

2.1.2 Tipos Hidroquímicos de las Aguas Subterráneas

De acuerdo a los aniones predominantes, las aguas subterráneas pueden clasificarse en aguas bicarbonatadas y sulfatadas y según los cationes prevalentes, en aguas cálcicas, sódicas y magnésicas. De la combinación de ambos grupos iónicos se obtienen los tipos hidroquímicos:

- Aguas bicarbonatadas-cálcicas
- Aguas bicarbonatadas-sódicas
- Aguas bicarbonatadas-magnésicas
- Aguas sulfatadas-cálcicas
- Aguas sulfatadas-sódicas

2.1.3 Calidad del Agua Subterránea para el Consumo Humano

El contenido del Total de Sólidos Disueltos (TSD) puede utilizarse para la determinación de la calidad de agua para el consumo humano. Según las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se consideran:

- Aguas de buena calidad, si el TSD es inferior a 500 ppm.
- Aguas de aceptable calidad, si el TSD está entre 500 y 1000 ppm.
- Aguas salobres, si el TSD está entre 1.000 y 2.000 ppm.
- Aguas salinas, si el TSD está entre 2.000 y 10.000 ppm.

2.2 ACUIFEROS.

Un acuífero es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua de la superficie (p. ej. lluvia) percola y se almacena. Es aquella formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua susceptible de ser explotada en cantidades económicamente apreciables para atender diversas necesidades. A veces se mueve lentamente al océano por flujos subterráneos. Una formación acuífera viene definida por una base estanca (muro), y por un techo, que puede ser libre, semiimpermeable o impermeable; por lo que son los continentes de las masas de agua subterránea.

Sólo a determinada profundidad, una roca puede estar permanentemente saturada de agua formando así un manto acuífero, y es aquí en donde los pozos encuentran agua y donde se establece el nivel freático de la capa de filtración. El nivel freático puede encontrarse a muy diferentes profundidades, dependiendo de las circunstancias geológicas y climáticas, desde sólo unos centímetros hasta decenas de metros por debajo de la superficie. En la mayoría de los casos la profundidad varía con las circunstancias meteorológicas de las que depende la recarga de los acuíferos. El nivel freático no es horizontal, a diferencia del nivel superior de los mares o lagos, sino que es irregular, con pendiente monótonamente decreciente desde el nivel fijo superior al nivel fijo inferior.

Por encima del nivel hidrostático o de la superficie piezométrica de esa capa freática, las aguas circulan sin cesar. El agua es suplementada o eventualmente sale a la superficie por medios naturales.

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, usando bombas de extracción para extraer el agua. El estudio de la distribución y movimiento de acuíferos se llama hidrogeología.

En lugares alejados de ríos, lagos o mares, los acuíferos son a menudo la única fuente de agua disponible, especialmente en extensas áreas como los desiertos de Atacama, Kalahari y Sahara.

2.2.7 Zonas de un Acuífero.

Si admitimos que los acuíferos reciben agua de la precipitación (aunque puede recibirla por otras vías), se pueden definir tres zonas fundamentales: zona de alimentación o recarga, zona de circulación y zona de descarga.

La zona de alimentación es aquella donde el agua de precipitación se infiltra. La renovación se produce lentamente cuando la comparamos con la de los depósitos superficiales, como los lagos, y los cursos de agua. El tiempo de residencia (el periodo necesario para renovar por completo un depósito a su tasa de renovación normal) es muy largo. En algunos casos la renovación está interrumpida, por la impermeabilidad de las formaciones geológicas superiores (acuitardos), o por circunstancias climáticas sobrevenidas de aridez.

La zona de descarga es la zona donde el agua sale del acuífero, como puede ser un manantial o la descarga al mar o a un río. El agua subterránea mana de forma natural en distintas clases de surgencias en las laderas (manantiales) y a veces en fondos del relieve, siempre allí donde el nivel freático intercepta la superficie. Cuando no hay surgencias naturales, al agua subterránea se puede acceder a través de pozos, perforaciones que llegan hasta el acuífero y se llenan parcialmente con el agua subterránea, siempre por debajo del nivel freático, en el que provoca además una depresión local.

La zona de circulación es la parte comprendida entre la zona de alimentación y la zona de descarga, en esta zona se produce el movimiento de las aguas subterráneas de una manera muy lenta.

En la figura # 3 podemos observar claramente el recorrido del flujo de agua subterránea a través de las zonas del acuífero.

2.2.2 Tipos de Acuíferos.

Las clasificaciones de los acuíferos pueden variar según el factor que se tome en cuenta para hacerlas. De este modo se pueden clasificar los acuíferos según los materiales litológicos que los constituyan (detríticos, fisurados, volcánicos, etc.) o, como en este caso vamos a tomar el factor de la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos, lo cual se traduce en unas circunstancias prácticas muy útiles al hablar de captaciones de ese agua.

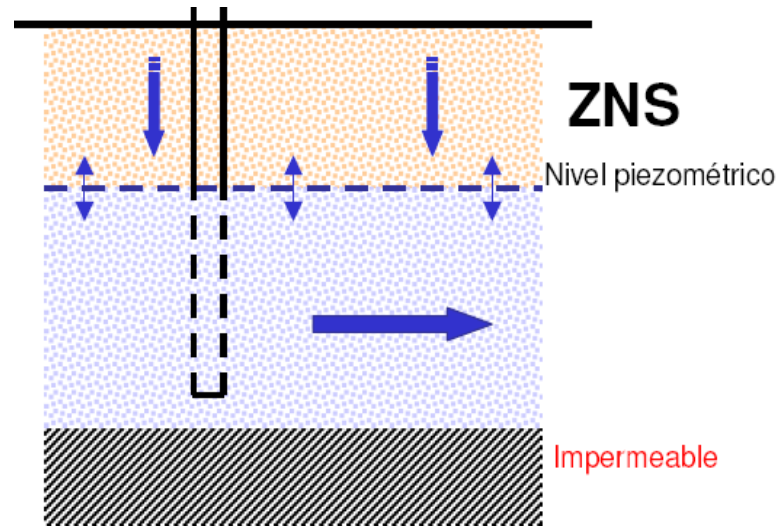
- ACUÍFERO LIBRE: También llamados no confinados o freáticos. En ellos existe una superficie libre y real del agua encerrada, que está en contacto con el aire y a la presión atmosférica. Entre la superficie del terreno y el nivel freático se encuentra la zona no saturada. El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas. Si perforamos total o parcialmente la formación acuífera, la superficie obtenida por los niveles de agua de cada pozo forman una superficie real: superficie freática o piezométrica, que coinciden. Para apreciar de una mejor manera las características de este tipo de acuífero se hace referencia a la constitución del mismo en la figura # 4.



Fig. # 3. Flujo del Agua Subterránea.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea

En esta observamos primeramente la zona no saturada (ZNS), luego la línea de comienzo del deposito y el lecho impermeable en la profundidad del acuífero.



Existencia de zona no saturada (ZNS).
 Nivel piezométrico real
 Superficie libre de agua a presión atmosférica
 Recarga directa

Fig. # 4. Acuífero Libre.

Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf>

- ACUÍFERO CONFINADO: También llamados cautivos, artesianos a presión o en carga, son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos impermeables o prácticamente impermeables (una inferior y otra superior). En estos acuíferos, el agua está sometida, en general, a una presión mayor que la atmosférica y al perforar un pozo en ellos, el agua se eleva por encima de la parte superior (techo) del acuífero hasta un nivel que se denomina nivel piezométrico. La superficie imaginaria que representa la carga piezométrica en los distintos

puntos del acuífero se conoce como superficie piezométrica. En algunos casos, la superficie piezométrica puede estar por encima del nivel del terreno natural, por lo que un pozo perforado en el lugar se llamará surgente. En la siguiente figura (figura # 5) se observa representado claramente este tipo de acuífero.

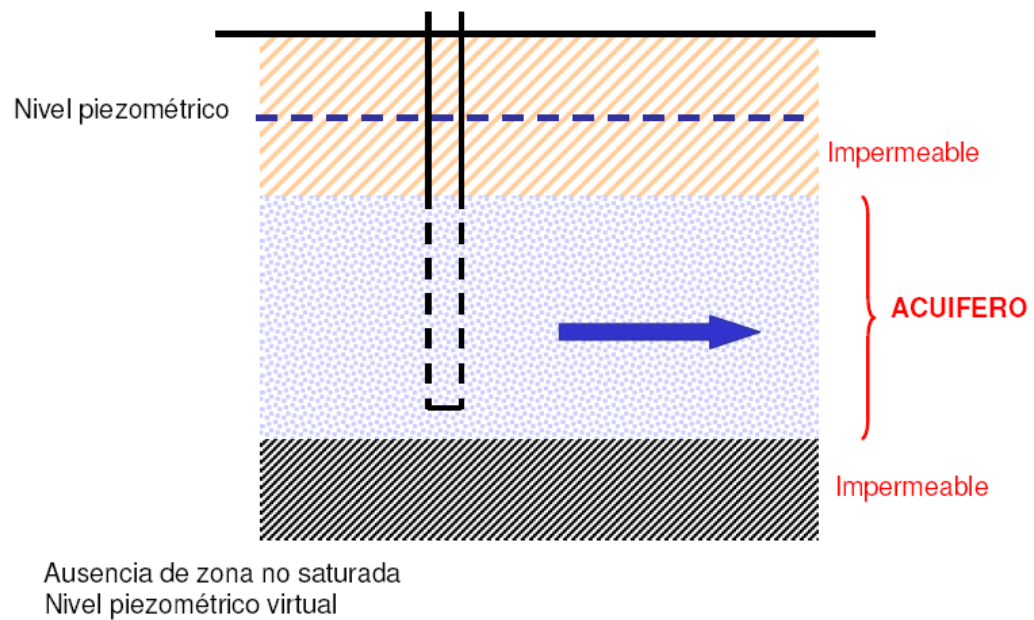


Fig. # 5. Acuífero Confinado.

Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf>

- ACUÍFERO SEMICONFINADO: Constituyen una variedad de los confinados, y se caracterizan por tener el techo (parte superior) o/y el muro (parte inferior) sellado por materiales que no son totalmente impermeables, sino que constituyen un acuitardo, es decir, un material que permite una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal. En estos casos, habrá situaciones en los que la recarga podrá hacerse en ambos sentidos en función de la diferencia

de potencial. De esta manera en la Figura # 6 se puede observar gráficamente con detalles las características de este tipo de acuífero.

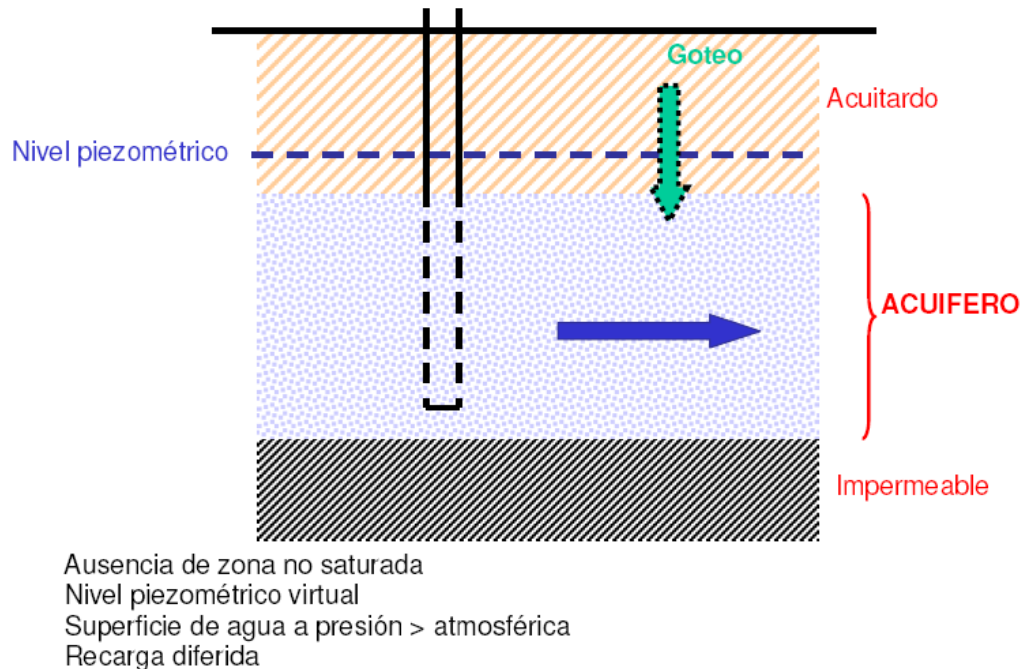


Fig. # 6. Acuífero Semiconfinado.

Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf>

- ACUÍFERO COLGADO: Algunas veces se da una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda atrapada en esta capa para formar un lentejón, que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima. Los acuíferos colgados son más comunes de lo que se pueda suponer, aunque quizá sólo ocupan unos pocos centímetros de espesor, o sólo se alimenten después de una recarga muy

excepcional. No suponen un recurso muy fiable, ya que a veces se puede perforar del todo y el pozo construido facilita el drenaje del agua contenida en el lentejón hacia la zona saturada.

Los acuíferos también pueden ser clasificados según el material geológico constituyente, y así tenemos:

Acuíferos Formados por Depósitos No Consolidados:

- **Acuíferos Porosos.** Se dan en rocas sedimentarias, sedimentos, y sectores descompuestos de rocas cristalinas. Constituyen los acuíferos más importantes, por el gran volumen de agua que pueden almacenar.

Se dan en cuencas sedimentarias y en las zonas donde se acumularon sedimentos arenosos. Una particularidad de este tipo de acuíferos es su porosidad, casi siempre homogéneamente distribuida, permitiendo que el agua fluya hacia cualquier dirección, en función solamente de los diferenciales de presión hidrostática allí existente. Esta propiedad es conocida como isotropía.

Los espacios huecos o intersticios que presentan las rocas que componen los acuíferos, pueden ser poros o vacíos intergranulares, como en el caso de rocas formadas por depósitos sedimentarios granulares (grava y arena) consolidados o no, o fracturas, fisuras y canales de disolución. Parece oportuno destacar aquí, que una

porosidad alta puede ser una buena cualidad de un acuífero pero que la alta porosidad no significa, al mismo tiempo, la posibilidad de transmitir grandes cantidades de agua. (Las arcillas, como se dijo, son muy porosas pero a la vez poco permeables).

Los acuíferos formados por depósitos no consolidados, están constituidos por materiales sueltos, fundamentalmente, arenas, gravas o mezclas de ambas de origen geológico muy diverso.

Según Todd el 90% de los acuíferos en explotación en el mundo, caen bajo esta categoría.

A continuación se presenta en la figura # 7 la manera como el agua circula a través del material acuífero.

Acuíferos Formados por Rocas Consolidadas:

- **Acuíferos Fracturados o Fisurados.** Este tipo de acuífero se presenta en rocas ígneas o metamórficas. La capacidad de estas rocas de acumular agua está relacionada a la cantidad de fracturas, a sus aberturas y a la intercomunicación que pueda llegar a existir entre ellas. Pozos perforados en estas rocas erogan en términos generales, caudales por debajo de los que producen los acuíferos sedimentarios.

- **Acuíferos Cársticos:** Son los acuíferos formados en rocas carbonáticas. Constituyen un tipo particular de acuíferos fracturados,

donde las fracturas, debido a la disolución del carbonato por el agua, alcanzan aberturas muy grandes (cavernas), creando en este caso, verdaderos ríos subterráneos.

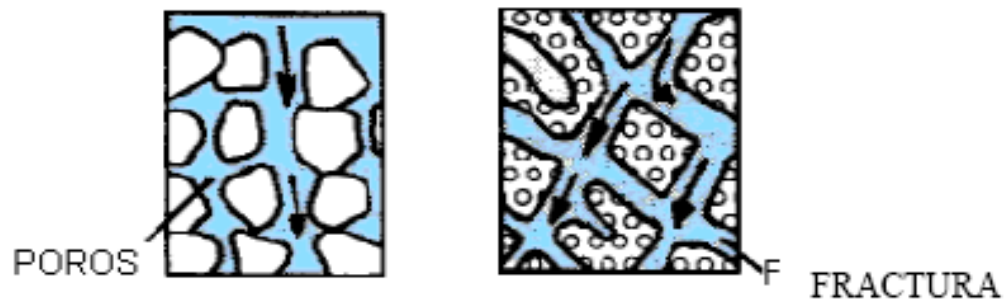


Fig. # 7. Situación de Circulación del Agua entre Poros y Fracturas.

Fuente:http://www.sg-guarani.org/microsite/materiales/manual_para_adolescentes.pdf

Asimismo existen otros términos de clasificación en función de las características de las rocas constitutivas del depósito de agua subterránea a los que hacemos referencia a continuación:

- **Acuífugo:** Este término se refiere a aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o unas rocas metamórficas sin apenas meteorización ni fracturación.

- **Acuicludo:** Se define como aquella formación geológica que, conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos de arcillas de cualquier origen.
- **Acuitardo:** Este término hace referencia a numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas.

2.2.7 Propiedades Hidrogeológicas de los Acuíferos.

En el comportamiento hidráulico de los acuíferos pueden distinguirse diversas propiedades que se describen a continuación y que se utilizan para caracterizar dicho comportamiento y establecer sus leyes.

- CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA O PERMEABILIDAD (K ó P): La conductividad hidráulica representa la mayor o menor facilidad con que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. Tiene las dimensiones de una velocidad y modernamente se distinguen dos tipos: la conductividad hidráulica Darciana o lineal, y la conductividad hidráulica turbulenta. La ley de Darcy dice que la velocidad del flujo del agua a través de una columna de suelo saturado, es directamente proporcional a la diferencia en carga hidráulica e inversamente proporcional a la longitud de la columna. Posee dimensiones de una velocidad (longitud/ tiempo), se usaran las unidades: m/día, cm/seg, m/hora, m/año.

- TRANSMISIBILIDAD O TRANSMISIVIDAD (T): Un concepto muy útil en la práctica habitual es la transmisividad o transmisibilidad de un sistema acuífero, la que mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario). La transmisividad es el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero. Para un acuífero compuesto de muchos estratos esta propiedad es la suma de las transmisividades de cada estrato. Este puede ser expresado $m^3/día*m$, es decir, $m^2/día$, m^2/seg , cm^2/seg ó $l/día*m$.
- COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S): Si se produce un cambio en el nivel de agua en un acuífero saturado, o una unidad confinada, una cantidad de agua puede ser almacenada o liberada. El coeficiente de almacenamiento, S, es el volumen de agua, por unidad de área y cambio en altura de agua, que una unidad permeable absorberá o liberará desde el almacenamiento. De acuerdo a esta definición esta cantidad es adimensional.

2.2.4 Propiedades Físico- Químicas de las Aguas Subterráneas:

El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas, presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas: temperatura, pH, conductividad, total de sólidos disueltos, radiactividad, dureza, turbidez, entre otras. Estas propiedades varían en el espacio y en el tiempo.

- Temperatura: Las aguas subterráneas gozan por lo general, de una constancia de temperatura que las aguas de circulación superficial no pueden poseer nunca, sometidas como están a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie, radiación solar etc. En las aguas de capas (porosidad primaria) tienen temperaturas que varían mucho con la extensión y penetración de la capa en el suelo. En promedio por cada dos grados de latitud que nos alejemos del ecuador la temperatura disminuye 1 °C y por cada 150 m., en altitud, la variación de la temperatura es de 1 °C.

- pH: Este parámetro representa el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica. El pH aumenta con el aumento de temperatura hasta en un 8% por lo que debe referirse a la temperatura de medida in situ. Por regla general el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6.5 y 8, aunque excepcionalmente puede variar entre 3 y 11.

El pH juega un papel importante en muchos procesos químicos y biológicos de las aguas subterráneas naturales (equilibrio carbonatado. procesos redox. etc.). Es fácilmente alterable por lo que su determinación debe hacerse en el momento de la toma de muestra.

- Conductividad y Total de Sólidos Disueltos: Como consecuencia de su contenido iónico el agua se hace conductora de la electricidad. La conductividad es variada según los intercambios químicos y aportes de agua exterior, e informa sobre su riqueza en electrolitos o sólidos disueltos.

Igualmente permite reconocer la salinidad del agua diferenciando entre la salada, salobre o dulce. A medida que la concentración iónica aumenta, aumenta también hasta cierto límite la conductividad (C) o capacidad de un agua para conducir la corriente eléctrica. La unidad de medida de conductividad es el $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens/cm) o $\mu\text{mho}/\text{cm}$ (micromho/cm), ambas equivalentes. La variación de temperatura modifica notablemente la conductividad. Para disoluciones diluidas se estima que el aumento de temperatura en 1°C se traduce en un aumento de alrededor del 2% en la conductividad.

De acuerdo a su conductividad las aguas se clasifican en cuatro clases:

- C1 = agua de baja salinidad.
- C2 = agua de salinidad media.
- C3 = agua de salinidad alta.
- C4 = agua de salinidad muy alta.

De acuerdo a la relación de adsorción de sodio (RAS) las aguas se clasifican en:

- S1= agua de bajo contenido en sodio.
- S2= agua de contenido medio en sodio.
- S3= agua de contenido alto en sodio.

S4= agua de contenido muy alto en sodio.

De las combinaciones de ambos grupos C y S se conforman las diferentes categorías de agua para riego.

El total de sólidos disueltos (TSD) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua sean o no volátiles. Diversos factores (tipo de ión, grado de disociación, movilidad iónica, etc.) determinan que no exista una relación estrecha entre conductividad y TSD ó RS. En todo caso, se han propuesto diferentes relaciones de proporcionalidad entre estos parámetros. Así $TSD = C * A$ ó $C = B * RS$, en que A varía entre 0.54 y 0.96 y B entre 1.15 y 1.56; TSD y RS se expresan en mg/l. Los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían considerablemente, Valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$: en Salmueras pueden alcanzarse valores de 100000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- Radiactividad: Otra característica es la radiactividad de las aguas subterráneas. Se agrega que no son tampoco las aguas de origen más profundo las que poseen siempre mayor radiactividad. Esta característica se debe a la presencia de muy pequeñas cantidades de átomos radioactivos diseminados en las formaciones. En la mayoría de los casos permite reconocer la cantidad de elementos finos que se encuentran presentes en una formación, ya que las arcillas, por ejemplo, poseen mayor radioactividad que la arena, caliza o areniscas.

- Dureza: La dureza de un agua mide la capacidad de ésta para consumir jabón o producir incrustaciones. Aunque en la reacción con jabón para producir compuestos insolubles pueden intervenir Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Ba, Zn, etc. actualmente la dureza se define en términos de contenido en Ca y Mg (dureza total). Menos utilizados son los términos dureza permanente y dureza temporal que representan la parte de la dureza asociada al Cl^- y $\text{SO}_4^{=}$ y la parte asociada a las especies carbónicas respectivamente. La dureza suele expresarse bien en mg/l de CaCO_3 . La dureza de las aguas subterráneas naturales varía generalmente entre 10 y 300 mg/l de CaCO_3 .

pudiendo llegar a 2000 o más. Las aguas duras son, por lo general, incrustantes en tanto que las blandas suelen ser agresivas.

- Turbidez y Transparencia: Estas propiedades de las aguas superficiales varían en muchas ocasiones con su caudal. Las aguas subterráneas, contrariamente permanecen transparentes casi siempre por la filtración del sistema. Si el color es, por regla general, muy débil, salvo cuando están cargadas con sales de hierro, el sabor de las aguas depende de las sales y de los gases en suspensión o solución. Y el olor de las no termales, resulta, por lo general, inodoro cuando son potables o fétido, similar al del hidrógeno sulfurado, cuando proceden de charcas por la descomposición de material orgánico. Este parámetro se expresa en Unidades Nefelométricas de turbidez (UT).

- Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO): La demanda química de oxígeno mide la capacidad de un agua para consumir oxidantes en procesos químicos (materia orgánica oxidable,

Fe^+ , Mn^+ , NH_4^+ , etc.). En aguas naturales el valor usual de DQO varía desde 1 a 15 mg / l. La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno precisa para eliminar por procesos biológicos aerobios, la materia orgánica contenida en un agua. Suele referirse a un periodo de cinco días. En aguas subterráneas por lo general la DBO, suele ser inferior a 1 mg/l de O_2 .

- Composición: Desde el punto de vista químico cada fuente tiene una composición que depende de la constitución de las zonas subterráneas atravesadas y que le cede o con las que ha intercambiado sustancias. Las

sales alcalinas son muy frecuentes, el cloruro de sodio se encuentra casi siempre y en cantidad generalmente aceptable para la alimentación humana. Los sulfatos alcalinos son más raros. El carbonato de calcio, con el sulfato de calcio es el elemento mineral más importante de las aguas subterráneas. La dureza del agua se modifica en las diferentes regiones. El hierro existe a menudo en las aguas subterráneas pero es inestable bajo la forma de bicarbonato ferroso. El manganeso sigue de cerca al hierro, eliminándose con menor facilidad. El plomo y los nitratos o nitritos bastantes infrecuentes, indican habitualmente contaminación.

. El agua subterránea se encuentra normalmente empapando materiales geológicos permeables que constituyen capas o formaciones a los que se les denominan acuíferos.

2.2.5 Características Químicas de los Iones y Sustancias Disueltas más Importantes:

- Aniones y sustancias aniónicas:

1. Ion Cloruro, Cl⁻

a) *Características químicas.* Sales en general muy solubles. Muy estable en disolución y muy difícilmente precipitable. No se oxida ni reduce en aguas naturales.

b) *Concentraciones.* Entre 10 y 250 ppm en aguas dulces. El agua de mar tiene entre 18000 y 21000 ppm. Las salmueras naturales pueden llegar a tener 220000 ppm (saturación).

c) *Nocividad y toxicidad.* Más de 300 ppm comunican sabor salado al agua de bebida, pero no es perjudicial por lo menos hasta algunos miles de ppm. Es esencial para la vida. Contenidos elevados

son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua.

2. Ion Sulfato, SO_4^{2-}

a) *Características químicas.* Sales moderadamente solubles a muy solubles, excepto las de Sr (60 ppm) y de Ba (2 ppm). Es difícilmente precipitable químicamente ya que las sales solubles de Sr y Ba son muy escasas en la naturaleza, pero puede separarse de la solución por concentración si existe una evaporación importante.

b) *Concentraciones.* Entre 2 y 150 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a 5000 ppm en aguas salinas si existe Ca y hasta 200000 si está asociado a Mg y Na en ciertas salmueras. El agua del mar contiene alrededor de 3000 ppm.

c) *Nocividad y toxicidad.* Las aguas selenitosas (elevado contenido en sulfato) no quitan la sed y tienen sabor poco agradable y amargo. Por sí mismo o si va asociado a Mg o Na en cantidades importantes puede comunicar propiedades laxantes. En cantidades elevadas puede ser perjudicial a las plantas. Más de algunos centenares de ppm perjudican a la resistencia del hormigón y cemento.

3. Iones Bicarbonato y Carbonato, $\text{CO}_3 \text{H}^-$ y CO_3^{2-}

a) *Características químicas.* Estos iones comunican alcalinidad al agua en el sentido que dan capacidad de consumo de ácido al producir una solución tampón. Se pueden precipitar con mucha facilidad como CO_3Ca .

b) *Concentraciones*. El ion bicarbonato varía entre 50 y 350 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a veces hasta 800 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 100 ppm. El ion carbonato está en concentraciones mucho menores que el ion bicarbonato y si el pH < 8.3 se le considera cero. En aguas alcalinas con pH > 8.3 puede haber cantidades importantes, hasta 50 ppm en algunas aguas naturales. El agua del mar tiene menos de 1 ppm.

c) *Nocividad y toxicidad*. No presenta problemas de toxicidad. Las aguas bicarbonatadas sódicas son malas para riego, debido a la fijación del Na en el terreno y creación de un medio alcalino.

4. Ion Nitrato, NO_3^-

a) *Características químicas*. Sales muy solubles y por lo tanto es muy difícilmente precipitable.

b) *Concentraciones*. Normalmente entre 0.1 y 10 ppm pero en aguas polucionadas puede llegar a 200 ppm y en algún caso hasta 1000 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 1 ppm o menos.

c) *Nocividad y toxicidad*. Concentraciones elevadas en agua de bebida puede producir cianosis en los niños y comunican corrosividad (oxidaciones) al agua y producen interferencias en fermentaciones.

5. Silice, SiO_2

a) *Características químicas*. La hidroquímica del silicio no está del todo aclarada pero se cree que la mayoría de la sílice está como SiO_4H_4 , en parte disuelta y en parte coloidal, y sólo una pequeña parte está ionizada (SiO_4H_3^-) a pH normales.

b) *Concentraciones*. La mayoría de las aguas naturales tienen entre 1 y 40 ppm en SiO_2 pudiendo llegar hasta 100, en especial en aguas

bicarbonatadas sódicas. En aguas muy básicas se puede llegar a 1000 ppm.

c) *Nocividad y toxicidad*. El mayor inconveniente está relacionado con su incrustabilidad en calderas y calentadores.

- *Cationes y sustancias catiónicas:*

1. Ion Sodio, Na^+

a) *Características químicas*. Solubilidad muy elevada y muy difícil de precipitar.

b) *Concentraciones*. Entre 1 y 150 ppm en aguas dulces, no siendo raro encontrar contenidos mucho mayores, hasta varios miles de ppm. El agua del mar tiene alrededor de 10000 ppm, las salmueras naturales pueden llegar a tener 100000 ppm, siendo un límite que rara vez se sobrepasa el de 500 meq/l (= 110000 ppm).

c) *Nocividad y toxicidad*. Las aguas con concentraciones elevadas en sodio son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo; son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas.

2. Ion Potasio, K^+

a) *Características químicas.* Solubilidad muy elevada y difícil de precipitar.

b) *Concentraciones.* Entre 0.1 y 10 ppm en aguas dulces. Extraordinariamente se pueden tener algunos cientos de ppm y sólo muy raramente se pueden tener algunos cientos de ppm y sólo muy

raramente se puede tener salmueras de hasta 100000 ppm. El agua del mar tiene alrededor de 400 ppm.

c) *Nocividad y toxicidad.* No presenta problemas especiales a las concentraciones habituales y es un elemento vital para las plantas.

3. Ion Calcio, Ca⁺⁺

a) *Características químicas.* Sales de moderadamente solubles a muy solubles. Es muy fácil de precipitar como CO₃Ca.

b) *Concentraciones.* Entre 10 y 250 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a 600 ppm en aguas selenitosas. El agua del mar contiene alrededor de 400 ppm. Excepcionalmente se puede tener 50000 ppm en salmueras de Cl₂Ca.

c) *Nocividad y toxicidad.* El mayor inconveniente va asociado al aporte de dureza y producción de incrustaciones.

4. Ion Magnesio, Mg⁺⁺

a) *Características químicas.* Propiedades similares a las del ion calcio pero más soluble y algo más difícil de precipitar.

b) *Concentraciones*. Entre 1 y 100 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a veces a algunos miles de ppm en aguas salinas o salmueras. El agua del mar contiene 1200 ppm.

c) *Nocividad y toxicidad*. Propiedades laxantes y da sabor amargo al agua de bebida si hay algunos centenares de ppm. Contribuye a la dureza del agua.

- Principales gases disueltos:

1. Anhidrido Carbonico, CO₂

a) *Características químicas*. Es un gas relativamente soluble y que al hidrolizarse produce ácido carbónico parcialmente disociado.

b) *Concentraciones*. Frecuentemente se sitúa entre 1 y 30 ppm, correspondiendo los valores más bajos a aguas en contacto fácil con la atmósfera.

c) *Nocividad y toxicidad*. Las aguas con un exceso de CO₂ son agresivas y las que pierden CO₂ pueden convertirse en incrustantes.

Aguas con más de 20 ppm de CO₂ libre pueden ser agresivas para el hormigón.

En las siguientes tablas (# 1 y # 2) se presenta un resumen de los compuestos presentes en las aguas subterráneas.

COMPOSICION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Tabla # 1. Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la Calidad del Agua Potable, Establecidas en Génova, 1993, son el Punto de Referencia Internacional para el Establecimiento de Estándares y Seguridad del Agua Potable.

Elemento/ sustancia	Símbolo/ fórmula	Valores normales en aguas dulces/superficiales/subterráneas	Directriz de la OMS basada en la salud
<u>Aluminio</u>	Al		0,2 mg/l
Amonio	NH ₄	< 0,2 mg/l (hasta 0,3 mg/l en aguas anaeróbicas)	No hay directriz
<u>Antimonio</u>	Sb	< 4 µg/l	0.005 mg/l
<u>Arsénico</u>	As		0,01 mg/l
Asbestos			No hay directriz
<u>Bario</u>	Ba		0,3 mg/l
<u>Berilio</u>	Be	< 1 µg/l	No hay directriz
<u>Boro</u>	B	< 1 mg/l	0,3 mg/l
<u>Cadmio</u>	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
<u>Cloro</u>	Cl		250 mg/l
<u>Cromo</u>	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	0,05 mg/l
Color			No se menciona

<u>Cobre</u>	Cu		2 mg/l
<u>Cianuro</u>	CN ⁻		0,07 mg/l
<u>Oxígeno disuelto</u>	O ₂		No hay directriz
<u>Fluor</u>	F	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
<u>Dureza</u>	mg/l CaCO ₃		No hay directriz
<u>Sulfuro de hidrógeno</u>	H ₂ S		No hay directriz
<u>Hierro</u>	Fe	0,5 - 50 mg/l	No hay directriz
<u>Plomo</u>	Pb		0,01 mg/l
<u>Manganeso</u>	Mn		0,5 mg/l
<u>Mercurio</u>	Hg	< 0,5 µg/l	0,001 mg/l
<u>Molibdeno</u>	Mo	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
<u>Níquel</u>	Ni	< 0,02 mg/l	0,02 mg/l
<u>Nitratos y nitritos</u>	NO ₃ , NO ₂		50 mg/l nitrógeno total
<u>Turbidez</u>			No se menciona
<u>pH</u>			No hay directriz

<u>Selenio</u>	Se	< < 0,01 mg/l	0,01 mg/l
<u>Plata</u>	Ag	5 – 50 µg/l	No hay directriz
<u>Sodio</u>	Na	< 20 mg/l	200 mg/l
<u>Sulfato</u>	SO ₄		500 mg/l
<u>Estaño inorgánico</u>	Sn		No hay directriz
<u>SDT</u>			No hay directriz
<u>Uranio</u>	U		1,4 mg/l

<u>Zinc</u>	Zn		3 mg/l
-------------	----	--	--------

Fuente:

<http://www.monografias.com/trabajos/geohidro/geohidro.shtml?monosearch>

• **Tabla # 2. Compuestos Orgánicos de las Aguas Subterráneas.**

Grupo	Sustancia	Fórmula	Directriz de la OMS basada en la salud	
Alcanos clorinados	Tetracloruro de carbono	$C Cl_4$	2 $\mu g/l$	
	Diclorometano	$C H_2 Cl_2$	20 $\mu g/l$	
	1,1-Dicloroetano	$C_2 H_4 Cl_2$	No hay directriz	
	1,2-Dicloroetano	$Cl - CH_2 - CH_2 - Cl$	30 $\mu g/l$	
	1,1,1-Tricloroetano	$CH_3 C Cl_3$	2000 $\mu g/l$	
Etenos clorinados	1,1-Dicloroetano	$C_2 H_2 Cl_2$	30 $\mu g/l$	
	1,2-Dicloroetano	$C_2 H_2 Cl_2$	50 $\mu g/l$	
	Tricloroetano	$C_2 H Cl_3$	70 $\mu g/l$	
	Tetracloroetano	$C_2 Cl_4$	40 $\mu g/l$	
Hidrocarburos aromáticos	Benceno	$C_6 H_6$	10 $\mu g/l$	
	Tolueno	$C_7 H_8$	700 $\mu g/l$	
	Xilenos	$C_8 H_{10}$	500 $\mu g/l$	
	Etilbenceno	$C_8 H_{10}$	300 $\mu g/l$	
	Estireno	$C_8 H_8$	20 $\mu g/l$	
	Hidrocarburos Aromáticos (PAHs)	Polinucleares $C_{2-10} H_{3-10} N_1 O_5$	P_{1-3}	0.7 $\mu g/l$
Bencenos clorinados	Monoclorobenceno (MCB)	$C_6 H_5 Cl$	300 $\mu g/l$	
	Diclorobencenos (DCBs)	1,2-Diclorobenceno (1,2-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	1000 $\mu g/l$
		1,3-Diclorobenceno (1,3-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	No hay directriz
		1,4-Diclorobenceno (1,4-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	300 $\mu g/l$

		Diclorobenceno (1,4-DCB)			
		Triclorobencenos (TCBs)	$C_6H_3Cl_3$	20 $\mu g/l$	
Constituyentes orgánicos misceláneos		Di(2-etilhexil)adipato (DEHA)	$C_{22}H_{42}O_4$	80 $\mu g/l$	
		Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	$C_{24}H_{38}O_4$	8 $\mu g/l$	
		Acrilamida	C_3H_5NO	0.5 $\mu g/l$	
		Epiclorohidrin (ECH)	C_3H_5ClO	0.4 $\mu g/l$	
		Hexaclorobutadieno (HCBd)	C_4Cl_6	0.6 $\mu g/l$	
		Ácido etilendiamintetraacético (EDTA)	$C_{10}H_{12}N_2O_8$	200 $\mu g/l$	
		Ácido nitrilotriacético (NTA)	$N(CH_2COOH)_3$	200 $\mu g/l$	
		Organo-estaños	Dialkil estaños	R_2SnX_2	No hay directriz
			Tributilóxido (TBTO)	$C_{24}H_{54}O_2Sn_2$	2 $\mu g/l$

Fuente:

<http://www.monografias.com/trabajos/geohidro/geohidro.shtml?monosearch>.

2.2.6 Consideración de Mecanismos para el Tratamiento del Agua Subterránea.

El agua subterránea es una fuente vital de agua para beber y para el riego agrícola, pero cuando llega a contaminarse no puede depurarse por sí misma, como el agua superficial tiende a hacerlo, debido a que los flujos de agua freática son lentos. También hay pocas bacterias degradadoras, porque no hay mucho oxígeno.

El agua que se filtra en el suelo y forma las aguas subterráneas como el agua contenida en acuíferos, generalmente tienen una gran cantidad de minerales disueltos, como resultado del contacto con el suelo y las rocas. Las

actividades humanas, como son la agricultura y la industria generan gran cantidad de contaminantes que luego se descargan a las aguas residuales.

Cuando el agua sedimenta en la tierra o las capas subterráneas se produce la filtración natural del agua. Los contaminantes se descomponen, o se mantendrán en las capas subterráneas. La capacidad de auto-depuración del agua no es suficiente para producir agua apta para consumo humano. Además existen gran cantidad de contaminantes introducidos en las aguas debido a las actividades agrícolas o industriales.

En 1970 se descubrió que las emisiones y descargas de aguas residuales industriales y agrícolas eran las fuentes causantes de la contaminación. Después se empezaron a aplicar medidas de control y prevención de la contaminación.

A pesar de estas medidas el agua generalmente necesita tratarse para poder ser agua apta para consumo humano, y cumplir con las exigencias legales que regulan la materia, desde el punto de vista de estándares físicos, bacteriológicos y químicos. El agua no debería de contener olores o sabores, y debe de ser agua clara y químicamente estable (ej. sin compuestos corrosivos).

El tipo de tratamiento que necesita el agua, depende en gran medida de la composición y calidad del agua. El tratamiento del agua se basa fundamentalmente en estos dos procesos: eliminación física de partículas sólidas, y principalmente minerales y materia orgánica y desinfección química para matar los microorganismos existentes en el agua.

La calidad del agua tratada es un aspecto de importancia fundamental en la operación de un sistema de abastecimiento de agua potable. Generalmente nos atenemos a satisfacer las Normas de Calidad del Agua Potable, que para condiciones óptimas, obligan a un tratamiento completo. Aún cuando reconozcamos que ello es lo deseable, no siempre esta justificado cuando no se dispone del personal local adecuado.

Es la cantidad de agua suministrada el factor determinante bajo el punto de vista de la salud pública, independientemente de su calidad. En efecto, no se logra una mayor salubridad pública con el suministro de agua de calidad óptima si existen, por el otro lado, privaciones en su uso por la escasez o limitaciones en la oportunidad de obtenerla.

2.2.7 Estudios de Localización de las Formaciones Acuíferas.

Consiste en un conjunto de estudios, trabajos y operaciones, llevados a cabo tanto por técnicas directas como indirectas, encaminados a la localización de acuíferos, para captación de aguas subterráneas, en cantidad y con calidad adecuada para el fin pretendido y definición de las condiciones óptimas de explotación.

Para la exploración de la zona de estudio de un acuífero se debe tener en cuenta lo siguiente:

- 1.- Recopilación de la información: Economía de tiempos y costes de realización, acceso a datos históricos.

2.- Estudio de la demanda de agua: Estimación de demandas actuales y futuras. Previsión de crecimiento demográfico permanente y estacional, industrial, agrícola, recreativo. Usos del agua: cantidad, calidad.

3.- Estudio geológico: Reconocimiento preliminar (mapas topográficos, mapas geológicos, fotografías aéreas). Formulación de hipótesis sobre localización y movimiento de aguas subterráneas. Comprobación de hipótesis y establecimiento de otras nuevas en trabajos de campo: Series estratigráficas. Cartografía geológica. Cortes geológicos. Bloques diagrama. Correlaciones. Estructuras. Facies.

4.- Estudio geofísico: Métodos eléctricos y electromagnéticos. Métodos sísmicos y gravimétricos. Resonancia magnética. En la figura # 8 se pueden observar los dispositivos colocados en terreno para el estudio geofísico.

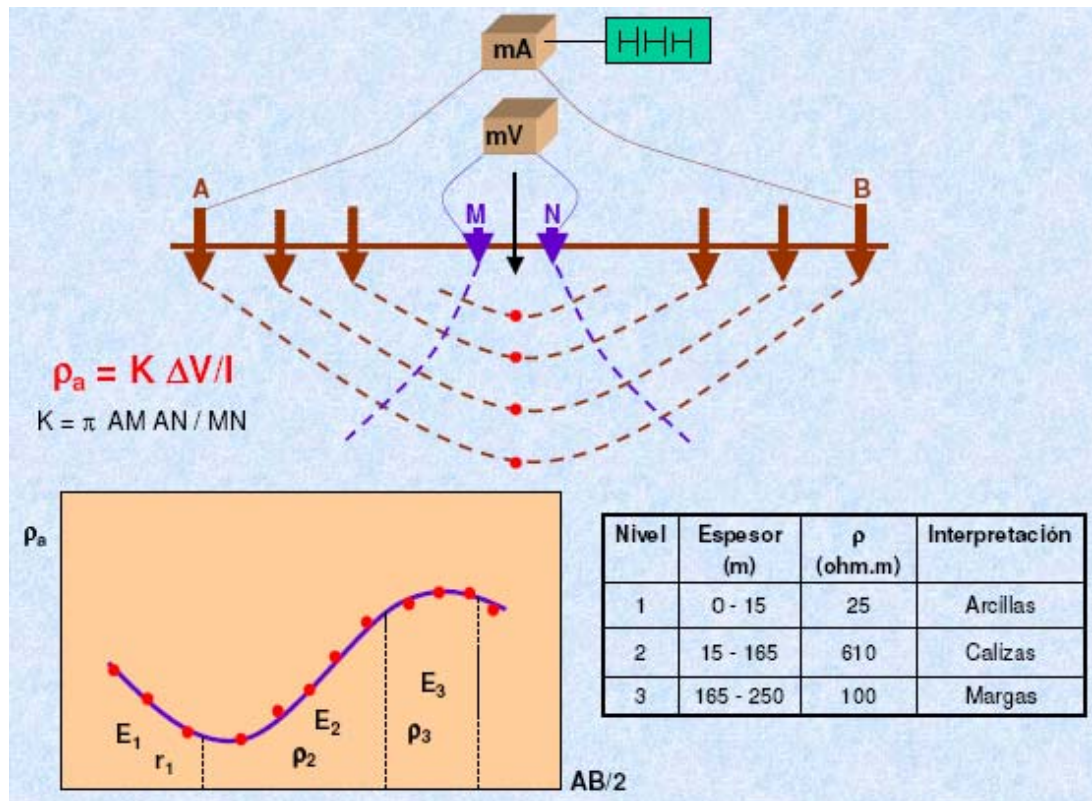


Fig. # 8. Estudio Geofísico.

Fuente: <http://www.agua.uji.es/pdf/peg02.pdf>

5.- Estudio climatológico: Precipitación. Evapotranspiración. Infiltración. Escorrentía.

6.- Hidrología superficial: Ubicación y caudal de manantiales. Aforos periódicos (limnógrafos, limnímetros, molinete...).

7.-Estudio hidrogeológico.

- Obtención de datos básicos: Fundamentalmente incluye el inventario de pozos, que consiste en la localización, identificación, toma de información y situación georeferenciada de los puntos

acuíferos. Su finalidad e importancia radica en el reconocimiento del tipo de acuíferos; existencia o no de Manantiales, Zanjias de drenaje y galerías, Pozos de excavación, Sondeos.

La información que ofrece este inventario es: Naturaleza litológica de los acuíferos. Columnas estratigráficas. Geometría de los acuíferos. Piezometría del área investigada. Determinación de la red de flujo. Caudales que aportan las captaciones. Parámetros hidráulicos (T, S, caudal específico). Características químicas de las aguas. Extracciones que se llevan a cabo en el acuífero, así como uso que de ellas se hace.

- Síntesis hidrogeológica: Recoge la información hidrogeológica obtenida a lo largo del estudio, referida a los siguientes aspectos:

- a) Características geológicas e hidrogeológicas de acuíferos: Litología, estructura y límites; relaciones laterales y verticales; piezometría: parámetros hidráulicos; hidroquímica.
- b) Funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos: Direcciones de flujo, gradientes,...
- c) Balance hídrico: Entradas, salidas, recursos, reservas.
- d) Cartografía hidrogeológica (escala variable): Aspectos geológicos (Litologías, Tipos de contacto, Estructuras antiformes y sinformes, Dirección y buzamiento de los estratos); Aspectos hidrogeológicos (Formaciones permeables e impermeables, Inventario de puntos acuíferos, Límites de acuíferos, Isolíneas de caudales

específicos, Transmisividades, Coeficientes de almacenamiento); Aspectos de hidrología de superficie (Cursos de agua principales, Embalses superficiales, Divisorias hidrológicas); Aspectos geomorfológicos; Aspectos piezométricos (Líneas isopiezas, Isoprofundidad de la zona saturada, Isoespesor de la zona saturada, Isovariaciones piezométricas); Aspectos hidrodinámicos (Divisorias hidrogeológicas, Direcciones del flujo subterráneo, Relaciones río-acuífero); Aspectos hidroquímicos (Isolíneas de contenidos de diferentes aniones y cationes, Isolíneas de conductividad, Isolíneas de cloruros, Representación gráfica de parámetros químicos).

2.2.8 Explotación y Sobreexplotación de los Acuíferos.

El volumen máximo de agua a ser extraído de un acuífero está íntimamente asociado con su recarga y con el costo de producción del agua, incluyendo su extracción, tratamiento y distribución. Sin embargo existen estudios que proponen que la explotación de un acuífero induce recargas mayores que las naturales (Custodio y Llamas 1981, Fetter 1988). La explotación recomendable será, por tanto, una fracción del volumen que se infiltra y se convierte en recarga, limitada a un costo dado. Extracciones superiores a la propia recarga podrán causar problemas a largo plazo, incluyendo hasta la pérdida del recurso.

Incluso cuando los caudales totales extraídos son inferiores a la recarga, habrá limitaciones asociadas con la densidad de pozos existentes en el área. Cualquier extracción de un pozo crea un cono de abatimiento. Pozos muy próximos producirán una superposición de sus conos individuales creando descensos pronunciados, muchas veces no sustentables por el acuífero. Por tanto, una apropiada explotación del acuífero debe considerar tanto la recarga como los volúmenes de agua extraídos por el nuevo pozo, de tal modo que sea compatible con las obras existentes a su alrededor.

Los acuíferos son altamente útiles y son un recurso abundante, pero en zonas áridas o semi-secas no se recargan con el mismo ritmo con el que es aprovechado por los humanos. Si el agua es extraída intensamente por pozos, como para irrigación o uso municipal para zonas áridas y semi-secas, no se recuperarían de su estado subdesarrollado. El problema más evidente

que se puede dar a notar al explotar un acuífero es que el nivel freático disminuye y así los pozos se tienen que profundizar para poder alcanzar el agua. Un bajo nivel freático por razones de extracción puede traer otros problemas como la subsidencia del terreno.

Los pozos se pueden secar si el nivel freático cae por debajo de su profundidad inicial, lo que ocurre ocasionalmente en años de sequía, y por las mismas razones pueden dejar de manar las fuentes. El régimen de recarga puede alterarse por otras causas, como la repoblación forestal, que favorece la infiltración frente a la escorrentía, pero aún más favorece la evapotranspiración, o por la extensión de pavimentos impermeables, como ocurre en zonas urbanas e industriales.

La principal razón para el descenso del nivel freático es sin embargo la sobreexplotación. En algunas partes del mundo la extensión de la irrigación y de otras actividades que consumen agua se ha hecho a costa de acuíferos cuya recarga es lenta o casi nula. El resultado ha sido diverso pero siempre negativo. En algunos casos la sobreexplotación ha favorecido la intrusión de agua salina por la proximidad de la costa, provocando la salinización del agua e indirectamente la de los suelos agrícolas.

CAPITULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 ZONAS EN DONDE SE LOCALIZAN LOS PRINCIPALES DEPOSITOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN VENEZUELA.

3.1.1 Ubicación.

Venezuela cuenta con abundantes recursos de aguas superficiales y subterráneas, en el caso de las aguas superficiales su distribución muestra marcadas diferencias regionales.

Los acuíferos o aguas subterráneas del país representan una superficie total de 829000 km², los cuales a través de estudios preliminares se han estimado en 5000 x 10⁶ m³ por año, esto coloca a Venezuela en posición privilegiada en el ámbito mundial, al poseer en abundancia tan importante y vital recurso. La figura # 9 muestra la ubicación de los acuíferos más importantes en Venezuela y es complementada con la tabla # 3 donde se puede constatar los niveles de las aguas subterráneas en los acuíferos señalados.

Según la Dirección de Hidrológica de MARNR de 1995, los acuíferos se pueden clasificar de acuerdo a su potencialidad en:

1. Acuíferos de gran potencialidad:

- Mesa de Guanipa (Estado Anzoátegui).
- Sur de Monagas.
- Sistema del río Guarico
- Llanos de Barinas y Portuguesa.

- Llanos de Apure.

2. Acuíferos con potencial medio:

- Barlovento.
- Valle de Caracas.

3. Acuíferos en vías de agotamiento:

- Valle de Quibor (Estado Lara).
- Coro (Estado Falcón).

4. Otras unidades acuíferas:

- Valencia.
- San Joaquín – Mariara.
- Guigue.
- Maracay.

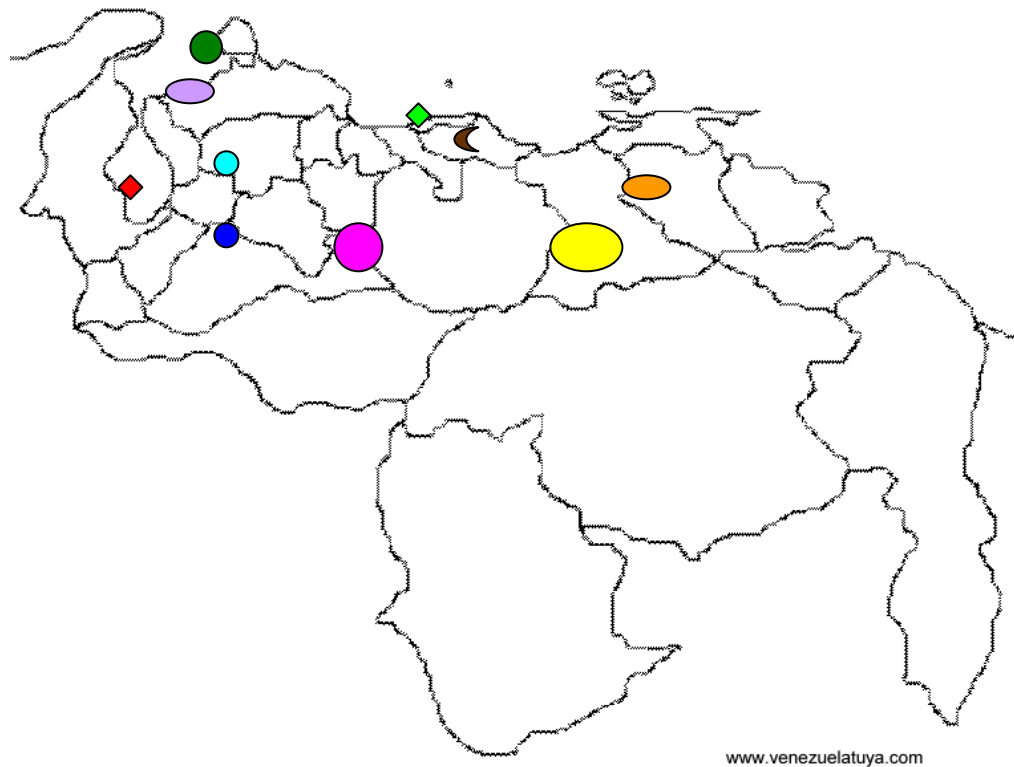


Fig. # 9. Principales Acuíferos de Venezuela

Fuente: Dirección de Hidrología, 1994. MARNR.

LEYENDA:

- 1. Cuenca Río Motatán 
- 2. Sistema de riego Río Guárico 
- 3. Valle de Caracas 
- 4. Mesa de Guayana 
- 5. Valle de Quibor 






- 6. Llanos Orientales 
- 7. Acuífero de Coro 
- 8. Llanos Occidentales 
- 9. Acuífero de Barlovento 
- 10. Paraguará 

Tabla # 3. Niveles de Agua Subterránea en los Acuíferos

Acuífero	Período	Nivel	Año 1993
Cuenca del Río Motatán	1987-1992	-0.20	-0,96
Sistema de Riego río Guárico	1976-1992	+0.21	+0,56
Valle de Caracas	1983-1992	-0.27	+0.14
Mesa de Guanipa	1971-1988	-0.09	No se dispone de información
Valle de Quibor	1975-1992	-0.12	-0.28
Llanos Orientales-Monagas	1980-1992	-0.17	-0.09
Acuífero de Coro-Falcón	1983-1992	-0.08	-0.27
Acuífero	Período	Nivel	Año 1993
Llanos Occidentales Barinas-			
Portuguesa	1983-1992	-0.13	-0.26
Acuífero de Barlovento-Miranda	1981-1992	+0.04	+0.12
Península de Paraguaná-Falcón	1986-1992	-0.07	-0.29

Fuente: MARNR, 1995.

1. Acuíferos de Gran Potencialidad:

- **Mesa de Guanipa, Sur de Monagas y Anzoátegui:** Sobre "las mesas", así denominadas por su morfología, cae una precipitación media anual de 875 mm. y evaporación potencial de 1414 mm. El subsuelo está conformado por sedimentos no consolidados con abundante fracción arenosa intercalado con estratos de arcilla todos de edad Pleistoceno y pertenecientes a la Formación geológica Mesa, de espesor aproximado 150 m. estructural, litológica y morfológicamente muy uniforme. Constituye un acuífero, único, no confinado, no homogéneo con permeabilidad entre 20 y 35 m/d, transmisividad entre 1000 y 2500

m³/d/m, porosidad efectiva entre 10 y 20%, capacidad específica 10-12 lps/m, con aguas de excelente calidad, bicarbonatadas sódicas, con bajo contenido mineral, tipo C1S1.

La figura # 10 hace referencia a los valores de transmisibilidad en el área de la Mesa de Guanipa, lo cual aunado a la figura # 11 en donde se representa la columna litológica de la zona, complementan la información del acuífero en estudio.

- **Sistema del río Guarico:** Las aguas subterráneas se derivan de una parte de las aguas superficiales que se infiltran. Encontrándose que las reservas totales de estas aguas son los volúmenes de agua que existe aproximadamente entre 50 y 300 m de profundidad. Dentro de esta zona las aguas subterráneas son de importancia según el área que se trate, así se tiene que en las altiplanicies las áreas de mayor potencialidad se localizan en la superficie de Mesa, siendo las de menor potencial las que presentan materiales o sedimentos impermeables de espesor considerable como las lutitas en la Altiplanicie de Denudación, y en los sedimentos arcillosos de las Planicies Aluviales en los Llanos Centrales Bajos. Se menciona la existencia de extensos acuíferos de alto rendimiento en las Planicies Aluviales de los Llanos Centrales Intermedios así como en los Valles, donde su explotabilidad es promisoría en cuanto a la calidad de las aguas y rendimiento con un coeficiente de transmisibilidad en un rango entre 800 y 1500 m³/d/m. El valor de la permeabilidad de esta formación es $1,1 \times 10^{-4}$ m/seg.

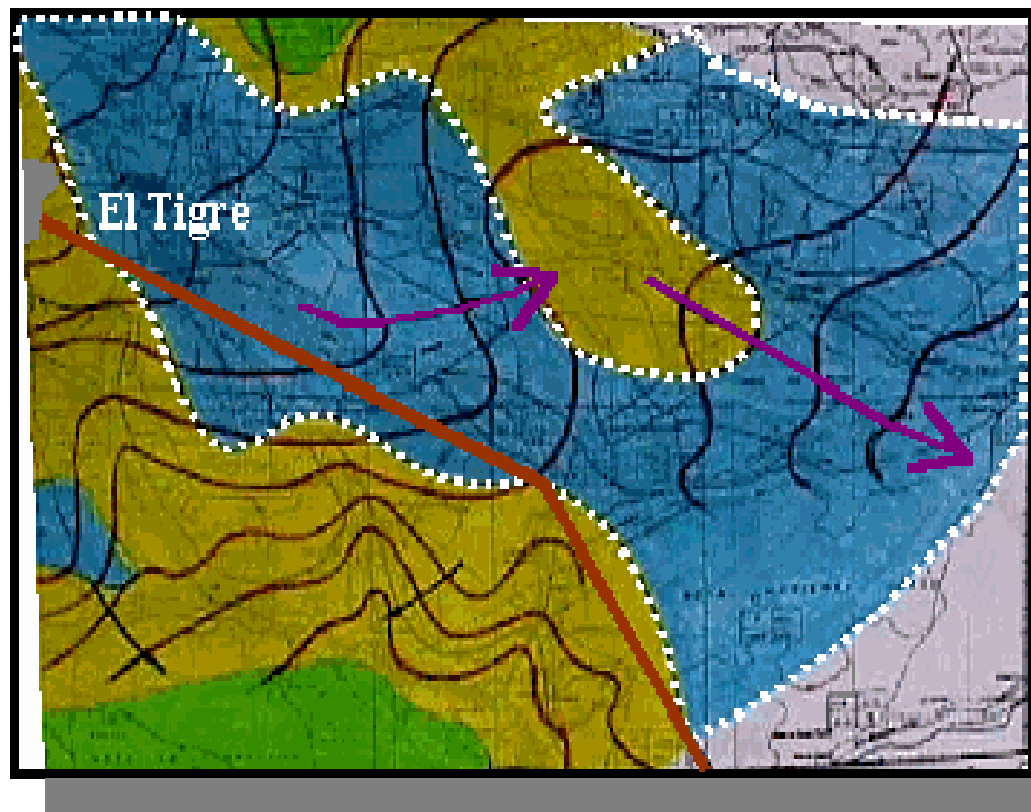


Fig. # 10. Mapa de Transmisibilidad de La Mesa de Guanipa.

Fuente: <http://www.geocities.com/ingemora/acuifero/mgua.html>

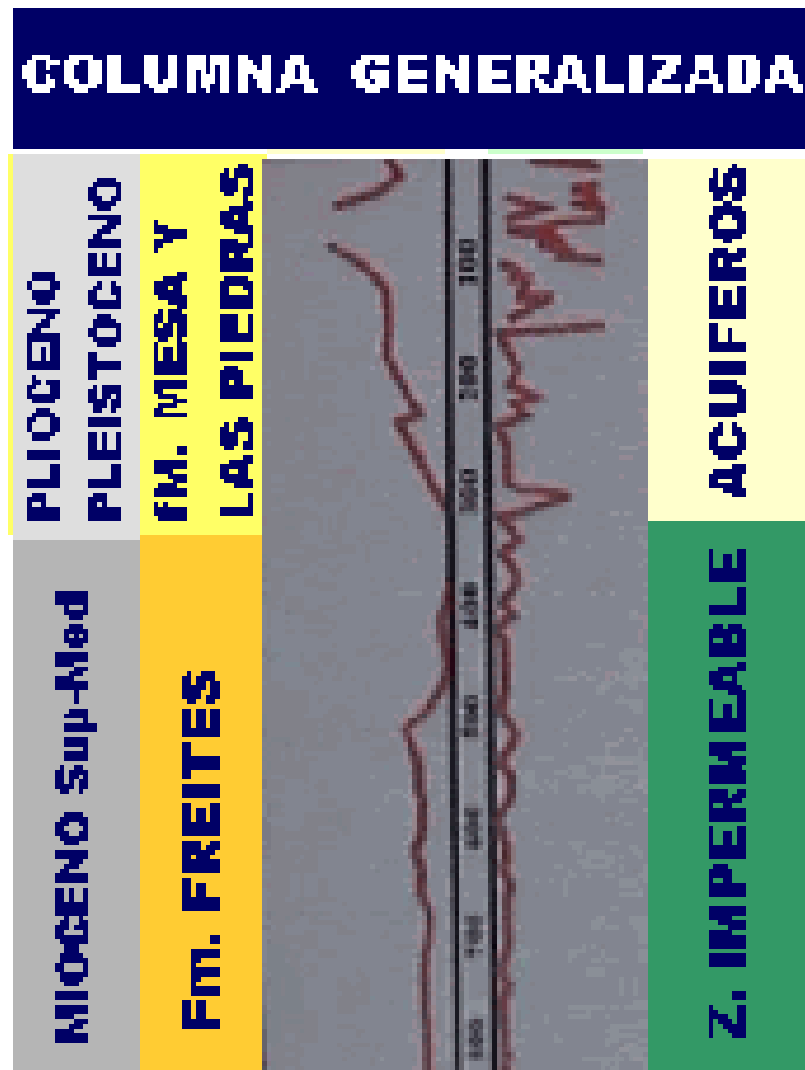


Fig. # 11. Columna Litológica de La Mesa de Guanipa.

Fuente: <http://www.geocities.com/ingemora/acuifero/mgua.html>

A través de la figura # 12 se pueden distinguir gráficamente las características de las aguas subterráneas para esta zona, en lo que se refiere a la importancia de las mismas.

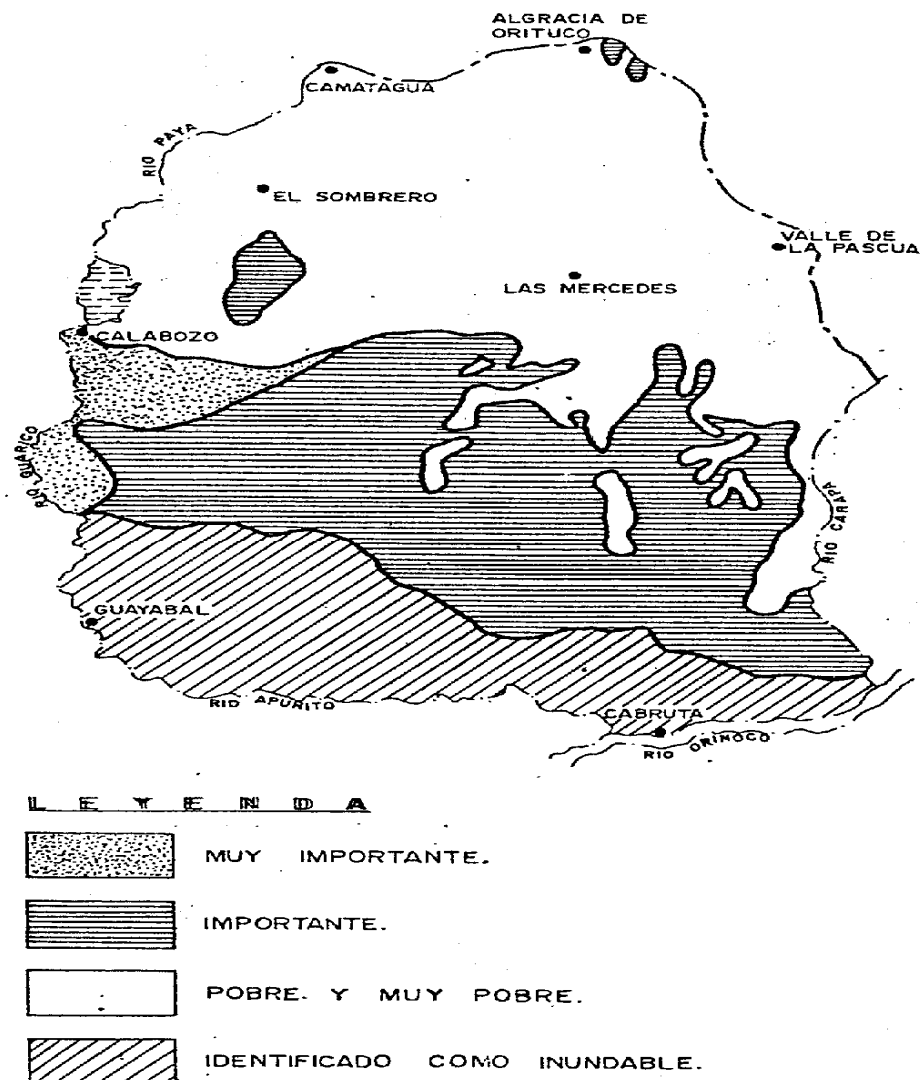


Fig. # 12. Recursos de Aguas Subterráneas en la Zona del Río Guárico.

Fuente: Publicación de COPLANARH N°30.

Llanos de Barinas, Portuguesa y Apure: Los mejores acuíferos los que se puedan encontrar desde el piedemonte hasta unos 14 km. agua abajo, separados en freáticos y confinados, entre los ríos Bocono y Masparro. Contando con una precipitación promedio anual de 1582,3 mm., observándose picos lluviosos durante los meses de Junio, Julio y septiembre,

así como los más secos Enero, Febrero y Marzo. Como fuentes subterráneas de alto rendimiento, se pueden mencionar en el estado Portuguesa las que se encuentran entre Achaguas y San Fernando.

2. Acuíferos con Potencial Medio:

- **Barlovento.**
- **Valle de Caracas.**

3. Acuíferos en Vías de Agotamiento:

- **Valle de Quíbor.** El Valle de Quíbor ocupa un área de unos 434 km² en el Estado de Lara, tiene clima semi-árido y una precipitación entre 400 y 500 mm/año. Se ubica a 25 km al sur de Barquisimeto, ciudad de alrededor de un millón de habitantes, el mayor centro de distribución de alimentos de Venezuela.

El desarrollo agrícola en el Valle de Quíbor se ha logrado por medio de la explotación de los recursos locales de agua subterránea ubicados en el relleno de un valle cuaternario que incluye lentes de arena y grava aluvial intercalados con limos y arcillas lacustres.

La predominancia de estratos de arcilla en las capas superficiales del fondo del valle dificulta la infiltración de la precipitación al agua subterránea. Sin embargo, se estima que la recarga en el Acuífero del Valle de Quíbor es en promedio 22 Mm³/año, principalmente como resultado de la infiltración desde cauces permeables ubicados en la orilla del valle ínter-montano principal.

La tasa de extracción de agua subterránea para riego agrícola ha excedido la recarga a lo largo de un período de casi 40 años, y en la actualidad es de alrededor de 27 Mm³/año. Esto ha reducido importantemente las reservas acuíferas con potencial de explotación, de unos 350 Mm³ a 42 Mm³, y se ha observado un descenso continuo en los niveles de agua subterránea así como también un aumento en la salinidad de la misma; ambos fenómenos afectan la posibilidad de la explotación del acuífero.

Barquisimeto se abastece actualmente con pozos de otros acuíferos de la región y del sistema de agua superficial del Alto Tocuyo, pero todas estas fuentes (como las del Valle de Quíbor) están resultando insuficientes para satisfacer la creciente demanda en los sectores urbano y agrícola.

Con el fin de complementar el abastecimiento hídrico de Barquisimeto y aumentar el área de riego en el Valle de Quíbor, desde 1973 se inició el diseño del proyecto de transferencia de agua Yacambú-Quíbor. Tiene capacidad para conducir 330 Mm³/a, de los cuales un 30% se asignó al uso urbano y el resto al riego. Sin embargo, los pronósticos indican que durante los próximos 5 a 30 años habrá un excedente potencial de agua transferida disponible, esto ofrece una oportunidad para utilizar en riego el excedente de agua transferida al suspender el bombeo de agua subterránea, con el fin de permitir la recuperación del acuífero del Valle de Quíbor. Además, como la capacidad de regulación de la presa de Yacambú es de 80%, en época de crecientes estaría disponible en promedio un caudal de 83 Mm³/a adicionales, parte del cual se podría utilizar para recarga artificial del acuífero.

Este proyecto considerar todas las opciones potenciales de recarga para el acuífero del Valle de Quíbor, incluyendo técnicas como lagunas o zanjas de infiltración, infiltración por lechos normalmente secos, inyección en pozos abandonados, etc. Dado el tamaño de los probables excedentes de las transferencias de agua superficial, algunas de estas opciones pueden tener restricciones, pero su potencial teórico es tal que puede justificar estudios piloto de factibilidad técnica y económica, antes de emprender proyectos de recarga de gran envergadura. En la figura # 13 se ve referenciada la ubicación del sistema de transferencia Yacambú, así como el comportamiento de las aguas subterráneas en el valle de Quíbor.

El Proyecto Yacambú-Quíbor para el uso conjunto de los recursos de agua superficial y agua subterránea ya se ha convertido en una especie de modelo por su enfoque integrado a nivel nacional en Venezuela.

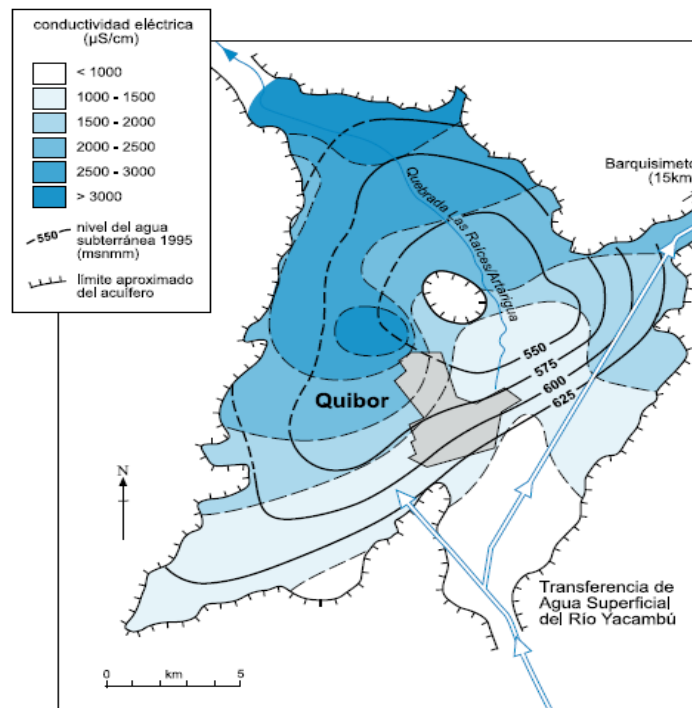


Fig. # 13. Croquis Hidrogeológico del Valle de Quíbor Mostrando Abatimiento del Manto Freático, Salinidad del Agua Subterránea y Ubicación del Sistema de Transferencia Yacambú de Agua Superficial.

Fuente:

http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE_Spanish_CP_07.pdf

Coro: En esta área existe un inmenso depósito de agua subterránea llamado olla de Curimagua; ubicado específicamente en el Parque Nacional Juan Crisóstomo Falcón, en la Sierra de San Luis, la cual pertenece al sistema montañoso coriano también conocido como Sierra de Coro. Es una zona protectora natural; en ella se encuentran las cuencas de los ríos: Seco, Coro, Mitare, Ricoa y Hueque, todos ellos nacen en sus montañas. Este acuífero se ha generado a través del tiempo debido al fenómeno cárstico o karst, característico de la piedra caliza que predomina en las montañas de la sierra. La caliza se disuelve por la acción de los ácidos orgánicos contenidos en el agua, formándose fisuras y grietas que al unirse van conformando áreas de mayor tamaño y canales que se comunican con amplias galerías subterráneas. El agua penetra a través de estos canales y se acumula en el interior de la montaña, formando un depósito subterráneo de donde se originan numerosos manantiales que, en época de estiaje, contribuyen en forma significativa a aumentar el caudal de los ríos y embalses.

Así mismo, en la Cueva del Toro, cerca de la Sierra de San Luís, se encuentra el lado subterráneo más grande de Venezuela denominado "Riíto Acarite".

Sin embargo actualmente se han iniciado estudios acerca de la probable salinización de los acuíferos ubicados a lo largo de la costa

falconiana, debido a las consecuencias que ello provoca en el desarrollo agrícola, pecuario y la utilidad del agua para el uso de la población. Ante este panorama, recientemente se dio inicio al proyecto “Evaluación de la posible intrusión marina y salinización de acuíferos costeros en el norte continental del Estado Falcón”, que tiene como propósito generar conocimiento del volumen y calidad del agua, recarga, sustentabilidad y dinámica de aguas subterráneas en la zona costera comprendida entre las poblaciones de Tocopero y Puerto Cumarebo.

Para la reducción del problema de la intrusión marina se han estudiado muchos métodos, como la creación de barreras impermeables o la recarga de los acuíferos mediante la inyección de agua dulce, pero la única medida efectiva es la reducción de la tasa de extracción hasta adecuarla a las características del acuífero. Además, esta medida es la más económica y adecuada, pues siempre es mejor prevenir que curar.

4. Otras Unidades Acuíferas:

- **Acuífero de Valencia**

La unidad Acuífero de Valencia ocupa el área situada en la costa occidental del lago, entre las ciudades de Valencia, Guacara, El Roble, El Central Tacarigua y la Sabana de Cuatro Alambres.

Al sur de la ciudad de Valencia se han distinguido dos zonas de una intensa explotación de agua subterránea. Las partes centrales están situadas a 30 m. por debajo del nivel del lago para la zona El Roble y 12 m. por debajo del nivel del lago para el Central Tacarigua.

En consecuencia, la dirección del flujo subterráneo se encuentra invertido junto a la costa occidental del lago en la zona El Roble, indicando una alimentación del lago hacia el acuífero.

- **Acuífero de San Joaquín-Mariara**

La unidad Acuífero de San Joaquín-Mariara, está situada junto a la costa norte del lago, ocupando un antiguo valle afluyente del curso de agua principal que parece haber existido antes de la formación del lago. Dicho valle afluyente, el cual probablemente estaba dirigido desde Aguas Calientes en dirección Guacara-El Roble, presenta aún remanentes de su borde sur representados por las penínsulas de La Cabrera, Santa Clara y Chambergo.

El drenaje subterráneo está orientado hacia el lago, con centros situados a unos 10 metros por debajo del nivel del lago; así mismo ocurre al este de Agua Blanca, en las Vegas de Mariara. En el área de Guacara la unidad se comunica con el acuífero de Valencia.

- **Acuífero de Guigue**

La unidad Acuífero de Guigue, situada junto a la costa sur del lago, presenta un flujo subterráneo dirigido hacia el lago. Al norte del Asentamiento La Linda junto a la costa, la superficie piezométrica presenta formas radial divergentes, características de áreas de recarga, probablemente debido a infiltración del río Guigue.

- **Acuífero de Maracay**

La unidad Acuífero de Maracay, ocupa la planicie situada junto a la costa oriental del lago, presentando una superficie piezométrica con formas muy sinuosas. Uno de los pozos principales se presenta al sureste de la ciudad de Maracay, con niveles situados en su parte central o sea en la Morita a 30 metros por debajo del nivel del lago.

Otros pozos se observan hacia el oeste de la ciudad de Maracay, así como también en El Limón. Como áreas de recarga se reconocen formas radial-divergentes provenientes del valle de El Castaño, así como otras situadas entre Santa Cruz, Palo Negro y Camburito.

Hacia la parte sur de la unidad, el flujo subterráneo está dirigido hacia el lago, mientras que en la parte norte la dirección del flujo se invierte originado por un bombeo intensivo.

3.2 INFLUENCIA DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN LA SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO.

3.2.1 Composición del Agua Subterránea.

La naturaleza geológica del suelo determina la composición química de las aguas subterráneas. El agua está en constante movimiento con el suelo donde se estanca y recircula, y así se desarrolla un equilibrio entre la composición del suelo y la del agua: por ejemplo, el agua que circula en substrato arenoso o granítico es ácida y tiene menos minerales. El agua que circula en suelos limosos y arcillosos es alcalina y contiene bicarbonatos.

Algunas de las características típicas de las aguas subterráneas son turbidez débil, temperatura constante y composición química constante y generalmente ausencia de oxígeno. El agua subterránea en circulación puede ser de gran variación en la composición con la apariencia de contaminantes y varios contaminantes. Adicionalmente, las aguas subterráneas son bastante puras desde un punto microbiológico.

Sustancias que se encuentran disueltas en un agua natural subterránea.

Iones fundamentales y menores:

En un agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Unos cuantos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones presentes; estos son los iones fundamentales.

Estos iones fundamentales son:

Aniones	Cationes
Cloruro Cl^-	Sodio Na^+
Sulfato SO_4^{--}	Calcio Ca^{++}
Bicarbonato CO_3H^-	Magnesio Mg^{++}

Es frecuente que los aniones nitrato (NO_3^-) y carbonato (CO_3^{--}) y el catión potasio (K^+) se consideren dentro del grupo de iones fundamentales aun cuando en general su proporción es pequeña. Otras veces se incluye además el ion ferroso (Fe^{++}).

Entre los gases deben considerarse como fundamentales el anhídrido carbónico (CO_2) y el oxígeno disuelto (O_2), aunque no es frecuente que se analicen en aguas subterráneas, y en las sustancias disueltas poco ionizadas o en estado coloidal son importantes los ácidos y aniones derivados de la sílice (SiO_2).

El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente más pequeñas que los anteriores y se llaman iones menores a aquellos que se encuentran habitualmente formando menos del 1% del contenido iónico total y elementos traza a aquellos que aunque presentes están por lo general en cantidades difícilmente medibles por medios químicos usuales.

Los iones menores más importantes son, además de los ya citados NO_3^- , CO_3^{2-} , K^+ y Fe^{2+} , el NO_2^- , F^- , NH_4^+ y Sr^{2+} . Suelen estar en concentraciones entre 0.01 y 10 ppm. En concentraciones entre 0.0001 y 0.1 ppm, suelen estar los iones menores:

- Aniones: Br^- , S^{2-} , PO_4^{3-} , BO_3H_2^- , NO_2^- , OH^- , I^- , etc.
- Cationes: Fe^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} , etc.

Los iones metálicos derivados del As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg, U, etc., a veces están en cantidades medibles, pero en general son elementos traza. El resto de posibles iones están casi siempre en cantidades menores que 0.0001 ppm.

Las aguas subterráneas llamadas dulces contienen como máximo 1000 o quizá 2000 ppm de sustancias disueltas; si el contenido es mayor, por ejemplo hasta 5000 ppm se llaman aguas salobres y hasta 40000 aguas saladas. No es raro encontrar aguas que superen los 40000 ppm de sustancias disueltas llegando a veces hasta 300000 ppm.

A estas aguas se les llama salmueras y están asociadas con frecuencia a depósitos salinos, aguas de yacimientos petrolíferos o bien aguas muy antiguas situadas a gran profundidad.

3.2.2 Influencia de la Calidad del agua en la selección de la fuente.

Cuando se habla de la calidad del agua se refiere a la temperatura del agua, la cantidad de sólidos disueltos y la ausencia de contaminantes tóxicos y biológicos. El agua con un alto contenido de sustancias disueltas y presencia de químicos debido a la alteración de sustancias en el suelo puede

tener un sabor amargo y se denomina generalmente agua dura. Mientras el nivel de salinidad es la preocupación más importante, existen otros sólidos disueltos presentes en el agua subterránea que pueden provocar problemas. El agua dura causa problemas de incrustaciones calcáreas en los calentadores de agua y tuberías, y hace que el jabón sea difícil de eliminar.

En algunas aguas subterráneas puede existir altos niveles de hierro. El hierro puede darle color al agua y manchar ropas; el hierro en muchos procesos de fabricación es indeseable. Los sulfatos en el agua pueden dejar un sabor amargo, y pueden tener efecto laxante.

Una investigación llevada a cabo por la Agencia Europea para el medio ambiente (EEA) en 1999 tiene como objetivo dar una visión general del estado de las aguas subterráneas mediante su distribución por indicadores de calidad específicos: nitratos y pesticidas. Se pidió a los países de la Unión Europea (UE) informar sobre los datos más recientes disponibles a nivel nacional de al menos tres áreas importantes de aguas subterráneas. Los lugares de muestreo son clasificados de acuerdo con los valores medios anuales usando valores límites y rangos. Por cada indicador EEA identifica un valor crítico basado en la experiencia y niveles establecidos de la directiva

de Agua potable (80/778/EC) y la Organización Mundial para la salud (OMS), la tabla # 4 nos muestra los valores límites y rangos establecidos.

Tabla # 4. Clasificación de acuerdo a valores límites y rangos

	Clas e 1	Clas e 2	Clas e 3	Clas e 4	Clas e 5	Valo r Critico
Nitrato [mg/l]	≤ 10	> 10	> 25	> 50		> 25

Pesticidas [mg/l]		≤ 25	≤ 50			≤ 50
	≤ 0.1	> 0.1				> 0.1
Cloro[mg/l]		> 25	> 50	>	>	>
	≤ 25	≤ 50	≤ 100	100 - ≤250	250	250
Valor pH		> 5.5	> 6.5	> 7.5		
	≤ 5.5	≤ 6.5	≤ 7.5	≤ 8.5	> 8.5	≤ 5.5
Conductivida d [mS/cm]		>	>	>	>	>
	≤	200 - ≤ 500	500 ≤ 1000	1000 - ≤ 2000	2000	2000
Alcalinidad [mval/l]		> 1				
	≤ 1	≤ 4	> 4			≤ 1

Fuente:

<http://www.monografias.com/trabajos/geohidro/geohidro.shtml?monosearch>

- **Nitratos en las aguas subterráneas**

Los niveles naturales de nitratos en las aguas subterráneas son generalmente muy bajas (típicamente menor de 10 mg/l NO₃), pero los niveles de concentración de nitratos crecen a causa de las actividades humanas, como la agricultura, la industria, efluentes domésticos y emisiones de motores de combustión.

Los nitratos generalmente se mueven lentamente en el suelo y las aguas subterráneas: existe un lapso de tiempo de aproximadamente 20 años entre la actividad de contaminación y la detención de contaminantes en el subsuelo y aguas subterráneas. Por esta razón, se predice que las actividades actuales de contaminación continúen afectando a niveles de

nitrate por varias décadas. De cualquier modo si la presión del acuífero es alta, el transporte puede ser muy rápido dentro de la zona de saturación.

- **Arsénico en las aguas subterráneas**

El arsénico es un semi-metal, o metaloide, cuyas propiedades varían si se entremezclan entre los metales y no-metales. El arsénico ocurre de manera natural tanto en la tierra como el mar. No tiene sabor ni olor. El arsénico (As) es un elemento común en las rocas de la corteza terrestre, en el suelo, en todas fuentes naturales de exposición, o pueden encontrarse en las aguas salobres profundas usadas para la producción de aceite y gas natural. Fuentes ambientales de arsénico, son debidas al uso continuo de compuestos químicos y pesticidas, liberación intencionada en las actividades de minería para la extracción de oro y plomo y por la combustión de carbón con alto contenido de arsénico.

Las fuentes externas de arsénico son debido al uso continuado de compuestos y pesticidas, la liberación no intencionada en actividades de minería de oro y plomo y, por supuesto, a la combustión del carbón. Los efluentes industriales también contribuyen a la liberación de arsénico en el agua en ciertas áreas. Se piensa que el arsénico que se libera de manera natural se disuelve en ciertas formaciones rocosas cuando el nivel de agua subterránea cae significativamente. Los contaminantes superficiales de arsénico entran los sistemas de aguas subterráneas cuando se va moviendo con el flujo de las lluvias, derretimiento de nieve, etc. El agua potable, especialmente agua subterránea, es uno de las mayores fuentes de consumo de arsénico para la mayoría de la gente.

El arsénico inorgánico se produce en el ambiente de varias formas pero en las aguas naturales, y por lo tanto en el agua potable, se encuentra mas frecuentemente como arsénico trivalente (As(III)) o arseniato pentavalente (As (V)). Las especies de arsénico orgánico, abundantes en marisco, son menos dañinas a la salud, y son eliminadas rápidamente por el cuerpo.

Los efluentes industriales también pueden constituir una fuente de aporte de arsénico. Es una idea generalizada el echo de que el arsénico generado por causas naturales se disuelve de ciertas formaciones rocosas cuando el nivel de las aguas subterránea disminuye de manera significativa.

El limite de arsénico recomendable para el agua potable por la Organización Mundial para la salud y que se menciona en los estándares de la calidad del agua es de 0.01mg/L.

- **Hierro en las aguas subterráneas**

El hierro en los suministros de aguas procedentes del subsuelo en zonas rurales es muy frecuente: los niveles de concentración van entre rangos de 0 a 50mg/L, mientras la OMS recomienda niveles de <0.3mg/L. El hierro ocurre de manera natural en acuíferos pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente de color naranja y provoca el destiño en las ropas lavadas, y además tienen un sabor desagradable, que se puede notar en el agua y en la cocina.

El hierro que es disuelto en las aguas subterráneas se reduce a su forma hierro II. Esta forma es soluble y normalmente no causa ningún

problema por si misma. El hierro II se oxida a formas de hierro III que son hidróxidos insolubles en agua. Estos son compuestos rojos corrosivos que tiñen y provocan el bloqueo de pantallas, bombas, tuberías y sistemas de recirculación, etc. Si los depósitos de hidróxido de hierro se producen por bacterias del hierro entonces son pegajosos y los problemas de manchas y bloqueo de sistemas son todavía mas graves. La presencia de bacterias de hierro puede venir indicada por sustancias limosas corrosivas dentro de lugares de distribución, la reducción del flujo del agua, olor desagradable del agua bombeada del agujero, depósitos limosos y pegajosos que bloquean líneas de distribución principales y laterales, manchas en el pavimento, caída de paredes.

La eliminación de hierro biológico significa la eliminación del hierro de las aguas subterráneas dentro de filtros de aguas. Los microbiólogos reconocen por muchos años que ciertas bacterias son capaces de oxidar e inmovilizar el hierro. Las bacterias responsables de este proceso se encuentran naturalmente en el medio.

Cuando se va a escoger si un acuífero tiene la calidad del agua, es necesario para la selección tomar en cuenta ciertos factores a demás de las características químicas, entre los requisitos para considerar el agua como potable están:

1. Color: Debe ser incolora, el color proviene de la materia orgánica en suspensión.
2. Olor: Debe ser completamente inodora, aún después de haber estado almacenada durante varios días.

3. Sabor: Debe ser de gusto agradable, éste está dado por las sales que contiene.

4. Turbiedad: Debe ser límpida, la turbiedad depende del material orgánico e inorgánico. Las aguas superficiales son turbias.

5. Requisitos microbiológicos: Debe estar exenta de gérmenes patógenos.

6. Requisitos químicos: Debe carecer de elementos químicos tóxicos en proporciones que superen los límites considerados como admisibles. Además, debe tener pocas sales minerales disueltas, pues su exceso la haría agua pesada.

En lo que respecta a la calidad del agua de los acuíferos anteriormente estudiados, se presenta la siguiente información:

- Acuífero de la Mesa de Guanipa:

La mayoría del agua pertenece al tipo bicarbonatada sódica. La clasificación según el grado de peligro de salinización determina que el agua subterránea pertenece a la categoría C1-S1; mostrando buena calidad para el riego. La baja mineralización total, la poca dureza y la ausencia de iones dañinos, conduce a la conclusión de que el agua en toda la región es buena para el consumo doméstico y uso humano.

- Acuífero de Valencia:

Presenta elevados valores del total de sólidos disueltos (TSD) con máximos superiores a 3000 ppm, podría asumirse que la causa de esta elevada concentración se debe a la intrusión de aguas del lago de Valencia en el acuífero. Así mismo el contenido de sulfatos en la zona es elevado. La dureza total es de 250 mg/litro.

- Acuífero de Guigue, San Joaquín-Mariara y Maracay:

Sus características son bastantes similares, poseen el total de sólidos disueltos con un valor inferior a 300 ppm, lo cual indica aguas de excelente calidad para el consumo humano. La dureza total posee como valor máximo 100 mg/litro y desde el punto de vista agrícola las aguas son de las categorías: C1S1, C2S1, C3S1, C4S2.

- Acuífero del Sur de Monagas:

De acuerdo al total de sólidos disueltos el área posee aguas aptas para el consumo humano. A pesar de esta condición existen otras limitantes para el uso del agua, la medición de pH es una de ellas ya que indica valores mas ácidos que el nivel permisible; a demás el hierro se encuentra por encima de los 0,3 mg/litro siendo un valor indeseable ya que el máximo permisible es 1 mg/litro. En cuanto a la dureza total se puede decir que el agua es blanda a ligeramente dura, en la mayor parte del área el agua posee aptitud buena para ser usada en todo tipo de cultivo. En cuanto al uso industrial el agua necesita tratamiento para controlar los parámetros limitantes (hierro y pH).

3.2.3 Influencia de la Cantidad de Agua Subterránea para la Selección de la Fuente.

Se ha considerado con anterioridad el hecho de que la calidad del agua depende fundamentalmente de su composición y de las características físico – químicas de la misma. Por otra parte es fundamental la consideración de la cantidad de agua que se puede extraer del acuífero, ya que este valor representa la importancia del mismo para los diferentes usos del vital líquido bien sea doméstico, industrial, para riego, etc.

Como ya se menciona el almacenamiento de agua dentro de un acuífero representa el volumen de agua que puede ser drenado de la formación por área unitaria del mismo. Sin embargo, la importancia del conocimiento de las características hidráulicas de un acuífero no solo quedan referidas al almacenamiento, sino también de la capacidad que tiene para conducir o transmitir el agua de forma explotable.

Por esta razón el coeficiente de trasmisibilidad es una de las principales características del acuífero ya que indica cuanta agua se mueve a través de la formación, mientras que el coeficiente de almacenamiento muestra que cantidad de agua puede ser obtenida por bombeo o drenaje.

Si en un acuífero en particular se pueden determinar ambos coeficientes, se podrán efectuar predicciones de gran significación, alguna de estas son:

- Capacidad específica de pozos de diferentes tamaños.
- Abatimiento en el acuífero a diversas distancias del pozo de bombeo.
- Abatimiento de un pozo en cualquier tiempo después de haber comenzado el bombeo.

Un ejemplo importante de la significación de estos coeficientes radica en el hecho de que de acuerdo a sus valores se escogerá el uso del agua extraída, de esta manera las formaciones acuíferas cuyas trasmisibilidades sean menores de $12.4 \text{ m}^2/\text{día}$, pueden únicamente suministrar agua para usos domésticos o similares. Cuando la trasmisibilidad es del orden de 12400

m²/día o mayor, el rendimiento será adecuado a propósitos industriales, municipales y de riego.

Otros factores importantes a considerar en la determinación de la cantidad de agua que se encuentra almacenada en una formación acuífera es la rata de infiltración y la recarga de la misma, las cuales se encuentran estrechamente relacionadas.

La razón de recarga de un depósito de agua subterránea depende del régimen de precipitación, de la escorrentía superficial y del caudal de los ríos. Así mismo, varía de acuerdo con la permeabilidad del suelo y de los otros materiales a través de los cuales debe percolar para alcanzar la zona de saturación. La oportunidad de infiltrar depende en gran medida de la condición del suelo, su contenido de humedad, de la duración de la lluvia y del patrón de drenaje de cuenca; como también la pendiente de la superficie constituye un factor fundamental, puesto que las inclinadas favorecen la escorrentía superficial, y si son menos fuertes retienen por tiempo el agua favoreciendo la infiltración.

En algunos lugares, los depósitos de agua subterránea son recargados rápidamente por la lluvia que cae en terrenos que yacen por encima de aquellos. En otros sitios en que el nivel del agua de ríos y lagos se halla más alto que la superficie freática y sus lechos son permeables, el depósito es recargado por esos cuerpos líquidos.

Luego de reconocer la importancia de las características hidrológicas antes mencionadas, es preciso hacer referencia a la cantidad de agua almacenada en algunos acuíferos existentes en Venezuela, para esto se cuenta con datos de la producción anual de los pozos de agua en las

diferentes unidades acuíferas, estas puede ser considerada como una producción inicial, ya que fue realizado en base a una encuesta sin comprobación mediante mediciones de rendimiento. Los rendimientos proporcionados por los encuestadores, corresponden en gran parte a rendimientos iniciales de explotación, muy probablemente modificados en la actualidad, entre estos tenemos:

- Acuífero de los Llanos de Barinas, Portuguesa y Apure:

El recurso hídrico del área es abundante, el aprovechamiento eficaz del mismo haría factible la utilización de un volumen estimado en 8 millones de m³ al año de aguas superficiales, ya que cuenta con una gran cantidad de sitios de aprovechamiento hidráulico, adicionalmente cuenta con aguas subterráneas estimadas en 1 150 millones de m³ al año.

- Acuífero de la Mesa de Guanipa

Esta formación brinda gran cantidad de agua suministrada a las poblaciones que se abastecen de ella, estimándose en 3300 millones de metros cúbicos anuales.

- Acuífero de Valencia:

En la unidad "Acuífero de Valencia" el volumen de explotación anual de aguas subterráneas alcanza a 54 millones de metros cúbicos, para el área del acuífero alrededor de 290 Km².

- Acuífero de San Joaquin - Mariara:

En la unidad "Acuífero de San Joaquín-Mariara", el volumen de explotación anual de pozos de agua alcanza a 22 millones de metros cúbicos, considerando la superficie total del acuífero, la cual llega a 98 Km².

- **Acuífero de Guigue:**

En la unidad "Acuífero de Guigue", el volumen de explotación anual de pozos de agua alcanza a 23.5 millones de metros cúbicos, considerando la superficie total del acuífero, vale decir 76 Km².

- **Acuífero de Maracay:**

En la unidad "Acuífero de Maracay", el volumen de explotación anual de pozos de agua alcanza a 151,5 millones de metros cúbicos, para el área del acuífero de 272 Km².

3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS FLUJOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE LA MISMA EN VENEZUELA.

3.3.1 Ventajas y Desventajas en General.

- **Ventajas:**

- ✓ La disponibilidad del recurso en amplias superficies hace que no se necesiten grandes obras de transporte (tuberías o canales) ya que se puede realizar la perforación cerca del lugar donde se necesita el agua.
- ✓ Los niveles de agua en los acuíferos tienen cierta independencia respecto de las variaciones del tiempo y las estaciones. Por lo general lo que demora el agua en circular hacia y a través del

acuífero es mucho más que lo que tarda el agua superficial en escurrir. Esto hace que el agua subterránea sea un recurso de comportamiento más previsible permitiendo una explotación más permanente.

- ✓ En su camino hacia y a través de los acuíferos, el agua atraviesa el suelo y el subsuelo que actúan como depuradores y filtros, eliminando muchas impurezas y contaminantes. Esto hace que generalmente el agua subterránea requiera de poco o ningún tratamiento para usos domésticos y agrícolas.
- ✓ Son generalmente claras, con menos color y sólidos suspendidos, contienen menos bacterias y otros organismos, si se toma de un pozo solo, generalmente tiene un contenido mineral uniforme.

- **Desventajas:**

- ✗ La velocidad de renovación del agua en el acuífero es por lo general muy lenta, por ello, si no se explota el recurso respetando las velocidades con las que se renueva, se llega a una sobreexplotación.
- ✗ Esta lenta tasa de renovación del agua hace que si se contamina, tengan que pasar años, décadas... siglos... para volver a tener agua de calidad adecuada. Por lo tanto, para su aprovechamiento se necesitan políticas preventivas difíciles de implementar.

- × La utilización del agua de los acuíferos puede generar efectos negativos en otros lugares (externalidades negativas). Al bajar
- × el nivel del agua subterránea se puede afectar los caudales de manantiales y ríos o incluso secarse algunos humedales, y en las zonas costeras puede ingresar agua salada del mar al acuífero (intrusión salina).
- × El hecho de estar disponible en grandes superficies, que lo hace un recurso mas accesible, es una complicación para las autoridades de aguas que tienen que controlar las explotaciones subterráneas y para las autoridades ambientales que tienen que prevenir su contaminación.
- × Su incierta calidad. Los componentes calcio y magnesio están presentes en mayores cantidades que en aguas superficiales encontradas en las mismas localidades. Lo mismo es probablemente cierto para otras sales disueltas tales como cloros y sulfatos. Como una regla, los sólidos disueltos totales (TDS) serán mayores. El hierro y el manganeso están presentes en muchos suministros de pozo. El sulfuro de hidrógeno está a menudo presente.
- × El costo de bombeo del agua de pozo es generalmente mayor que el costo de bombeo del agua de superficie.
- × El contenido mineral de dos pozos puede ser enteramente diferente aún cuando estén ubicados en el mismo plano del suelo.

3.3.2 Comparación entre un mecanismo de abastecimiento y otro.

El tipo de fuente que es objeto de estudio es muy usada cuando no existe un sistema de acueductos en la zona y dependerá de la existencia de aguas subterráneas en suficiente cantidad.

El sistema de aducción por medio de aguas subterráneas para el abastecimiento de una población consiste en:

- **Sistemas por gravedad.**

Abastecimiento de agua por gravedad sin tratamiento

Fuente: Aguas subterráneas.

Debido a que el agua ha filtrado a través de los estratos porosos del subsuelo, la desinfección puede no ser muy exigente.

La captación para manantiales puede ser de ladera o de fondo y para galerías filtrantes, por drenes superficiales, como se muestra en la figura # 14.

Ventajas:

- ✓ Mínima operación y mantenimiento.
- ✓ Bajo costo de inversión.
- ✓ Bajas tarifas por el servicio.
- ✓ Sistema de alta confiabilidad.
- ✓ No requiere tratamiento ni clarificación.
- ✓ Bajo o nulo contenido de coliformes y puede ser usado sin desinfección permanente.

Desventajas:

- × Debido a su origen, el agua puede tener un alto contenido de sales disueltas.

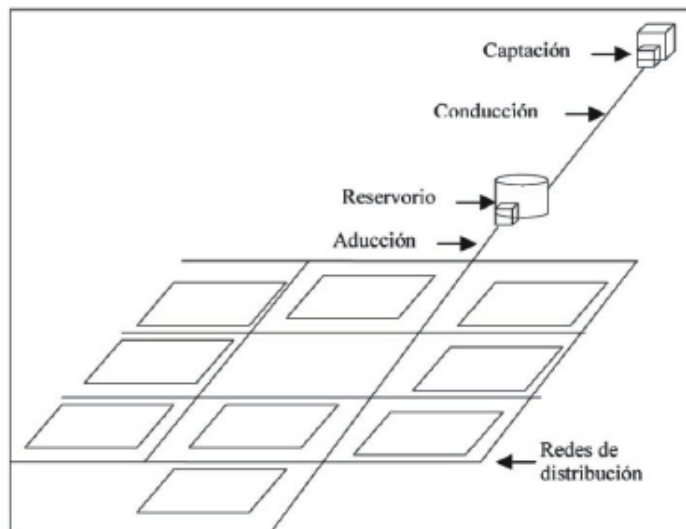


Fig. # 14. Esquema de un Sistema de Abastecimiento de Agua por Gravedad sin Tratamiento

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/hdt/hdt89/hdt89.pdf>

- **Sistemas por Bombeo.**

- **Abastecimiento por bombeo sin tratamiento.**

- **Fuente:** Aguas subterráneas.

- Demandan algún tipo de equipo electromecánico para impulsar el agua hasta el nivel donde pueda ser utilizado. La captación para manantiales puede ser de ladera o de fondo y para galerías filtrantes, por drenes superficiales, como se muestra en la figura # 15.

- **Ventajas:**

- ✓ Desinfección poco exigente.
- ✓ Menor riesgo de contraer enfermedades relacionadas con el agua.

Desventajas:

- × Requiere personal especializado para operar y mantener sistemas de bombeo.
- × Elevada inversión para su implementación.
- × Tarifas de servicio elevadas.
- × Muchas veces trabaja por horas porque la tarifa no permite la atención durante las 24 horas del día.

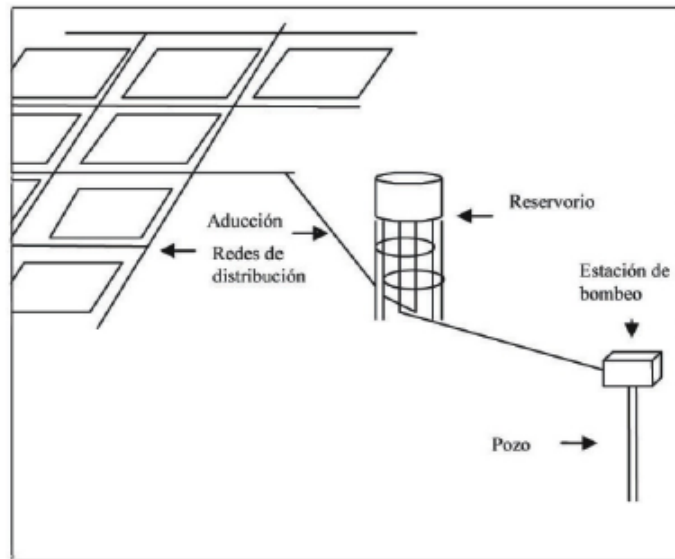


Fig. # 15. Esquema de un Sistema de Abastecimiento de Agua por Bombeo sin Tratamiento.

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/hdt/hdt89/hdt89.pdf>

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los principales depósitos de aguas subterráneas en Venezuela se localizan en la zona norte y centro del país; esto se debe a que en estas áreas se encuentran suelos ácidos caracterizados por ser bien drenados, con textura que va de arenosa a media y baja fertilidad, de aquí la relación con la formación de los acuíferos de Gran Potencialidad, representando una superficie total de 829000 km², los cuales a través de estudios preliminares se han estimado en 5000 x 106 m³ por año, esto coloca a Venezuela en posición privilegiada en el ámbito mundial, al poseer en abundancia tan importante y vital recurso.
- La calidad del agua tratada es un aspecto de importancia fundamental en la operación de un sistema de abastecimiento de agua potable. Generalmente nos atenemos a satisfacer las Normas de Calidad del Agua Potable, que para condiciones óptimas, obligan a un tratamiento completo.
- A través de los estudios encontrados se pudo constatar que la gran mayoría de los acuíferos de los cuales se hace referencia en esta investigación, presentan características físico-químicas, mineralógicas, bacteriológicas significativamente favorables para la explotación de estas formaciones y a su vez el suministro del servicio de agua potable para la poblaciones que carecen de este vital recurso.

- Para acuíferos de alto rendimiento la explotación de aguas subterráneas se puede realizar en forma técnica y económicamente satisfactoria, tomando en cuenta que para la mayoría de los casos se ha registrado información de pozos con rendimientos mayores a los 100 l/seg.
- La relación entre aguas superficiales y aguas subterráneas en las mayoría de las zonas estudiadas del país indican que cuando los caudales de los ríos son muy bajos existe una influencia determinante de las aguas subterráneas en la composición de los cursos superficiales en épocas de sequía; pero cuando el caudal de los ríos es significativo este aporta importantes recargas para la formaciones acuíferas.
- El agua subterránea se agota en un área cuando se consume más agua de la que ingresa al acuífero. Esto causa que el manto freático disminuya, por lo que el agua subterránea se hace más difícil y cara de extraer. Este caso se ha evidenciado en el Valle de Quibor estado Lara, en donde una mala gestión del recurso hídrico causo la sobre explotación de este, hasta el punto de no poder ser usado actualmente.
- La principal ventaja encontrada de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento es que esta suele ser encontrada con menor cantidad de impurezas y contaminantes, lo cual hace que generalmente esta requiera de poco o ningún tratamiento para usos domésticos y agrícolas.

- Por otra parte La velocidad de renovación del agua en el acuífero es usualmente muy lenta, esto la hace poco favorable al momento de seleccionarla como fuente de abastecimiento. Por lo tanto, para su aprovechamiento se necesitan políticas preventivas difíciles de implementar.
- Con la realización de este trabajo se pudo comprobar la falta de información disponible en cuanto a las características de las formaciones acuíferas existentes en el país, que pudieran servir como base para la elaboración de investigaciones posteriores.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar en las formaciones acuíferas que han sido objeto de estudio un programa de exploraciones detalladas, el cual debe abarcar tanto los trabajos de exploración del medio (perforaciones exploratorias, pozo de prueba, análisis de agua, entre otras), como las investigaciones de las condiciones de recarga y drenaje de los acuíferos (precipitaciones, escurrimiento superficial, escurrimiento subterráneo, etc.).
- Se aconseja aforar periódicamente los pozos que sean productores con la finalidad de tener una idea de la magnitud de la explotación de las aguas subterráneas. Así mismo se deben realizar análisis físico-químicos periódicamente a fin de determinar eventuales deterioros de las características del agua.
- En los casos en que los estudios físico-químicos del agua del acuífero a explotar no se encuentre entre los rangos establecidos por la normativa correspondiente, se debe tomar en cuenta la posibilidad de emplear alguno de los mecanismos mencionados con anterioridad para el tratamiento de la misma. Si esto no se considera factible se debe tener en cuenta otro tipo de método para el abastecimiento a la población.

- La rápida expansión de las áreas urbanas resulta en el sobreuso de los suministros del agua subterránea y provoca su agotamiento y contaminación, es por esto que se debe tener sumo cuidado en este aspecto. En las áreas costeras, el sobrebombeo crónico puede causar la intrusión de agua salada. La intrusión de agua salada ocurre en las zonas costeras donde la extracción excesiva de agua dulce permite que el agua salada del mar se introduzca dentro del acuífero. Para evitar este fenómeno se aconseja realizar periódicamente pruebas de bombeo y así determinar los parámetros hidráulicos de los acuíferos y constatar que estos se encuentren en los límites aceptables de explotación.
- La información hidrogeológica concerniente a la caracterización de la formaciones acuíferas del país, deben ser controladas y recolectadas por un ente gubernamental, el cual ponga a disposición dicha información a quienes realicen investigaciones acerca del tema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Duque Escobar, Gonzalo. **“Manual de Geología para Ingenieros Civiles”**. Cap. 18: Aguas Subterráneas.

Tomado del sitio web:

http://www.geocities.com/manualgeo_18/

2. **“Agua Subterránea”**.

Tomado del sitio web:

http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea

3. **“Aguas Subterráneas, Acuíferos, Pozos y Manantiales”**.

Tomado del sitio web:

<http://www.astromia.com/tierraluna/aguasubterraneas.htm>

4. **“Acuíferos”**.

Tomado del sitio web:

<http://www.hondurassilvestre.com/Reportajes/Acuifero.htm>

5. **“El Futuro del Agua en Venezuela”**.

Tomado del sitio web:

http://www.eraecologica.org/revista_04/era_ecologica_4.htm?future_del_agua.htm~mainFrame

6. **“Sistema de Cuencas Hidrográficas de Venezuela”.**

Tomado del sitio web:

http://www.mipunto.com/venezuelavirtual/mapas/mapa_cuencas.html

7. **“Acuíferos”.**

Tomado del sitio web:

<http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf>

8. **“Clasificación de las Unidades Geológicas en Relación a las Aguas Subterráneas”**

Tomado del sitio web:

<http://www.fortunecity.com/campus/carthage/1033/Pag2/acuif.htm>

9. **“Distintos Tipos de Acuíferos”.**

Tomado del sitio web:

<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/libroPIEB/1-3.html>

10. Profesor c. Espinoza. **“Propiedades Físicas del Agua Subterránea y Acuíferos II”**. Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento. Universidad de Chile, Otoño de 2004.

11. “Exploración Hidrogeológica”.

Tomado del sitio web:

<http://www.agua.uji.es/pdf/peg02.pdf>

- 12. R.C. Hirata, L.C. Ferrari, L.M.R. Ferreira y M. Pede. “La Explotación de las Aguas Subterráneas en la Cuenca Hidrográfica del Alto Tiete (Sao Paulo, Brasil): Crónica de una Crisis Anunciada”.** Boletín Geológico y Minero # 113. Sao Paulo, SP. Brasil, 2002.

13. “Principales Acuíferos en Venezuela”.

Tomado del sitio web:

<http://www.geocities.com/ingemora/acuifero/mgua.html>

14. “Sequía en un Mundo de Agua”.

Tomado del sitio web:

<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/sequia/indice.html>

15. “Inventario Nacional de Tierras Guarico Central y Sur de Aragua Tomo I”.

Tomado del sitio web:

http://www.ceniap.gov.ve/pbd/atlas/guarico/guarico_aragua/artic/descripcion_general_area.htm#Aguas%20subterr%C3%A1neas

16. **“Venezuela: Yacambú, Quíbor – un Proyecto para Integrar la Gestión del Agua Subterránea y el Agua Superficial”.**

Tomado del sitio web:

http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE_Spanish_CP_07.pdf

17. **“Algoritmo Para la Selección de Tecnología para el Abastecimiento Rural de Agua”.**

Tomado del sitio web:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/hdt/hdt89/hdt89.pdf>

18. **“Geohidrología: Composición de las Aguas Subterráneas”.**

Tomado del sitio web:

<http://www.monografias.com/trabajos/geohidro/geohidro.shtml?monosearch>

19. **“Ventajas y Desventajas de las Aguas Subterráneas”.**

Tomado del sitio web:

<http://www.unesco.org/phi/libros/subterrugas/temas/ventajas/ventajas2.htm>

20. **“Composición Química de las Aguas Subterráneas Naturales”.**

Tomado del sitio web:

http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf

21. **“Vegetación, Suelos y Geología de Venezuela”.**

Tomado del sitio web:

<http://200.44.126.163/atlas/Ecologico.htm>