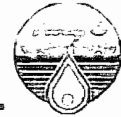




CAPITULO I GENERALIDADES

Este capítulo incluye Planteamiento del Problema. Objetivos (Principales y Específicos); Justificación e Importancia. Alcances y Limitaciones.



CAPITULO 1 GENERALIDADES

1.- LAS GENERALIDADES COMPRENEN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Hidrológica del Oriente (Hidrocaribe), específicamente en la zona de El Tigre Estado Anzoátegui, se han detectado ciertos problemas desde hace algún tiempo en la producción del agua dulce, la cual es usada para el consumo humano, una vez que recibe el tratamiento adecuado para ser potabilizada, ya que esta proviene de pozos perforados a profundidades aproximadamente que oscilan entre 120 y 150 m.

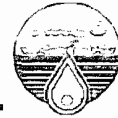
El primer campo de pozos que se creó en la ciudad del Tigre, se encuentra en la zona de las Malvinas ubicada al Noroeste de la Ciudad, Anteriormente llamado “Estación de cloración” El cual estuvo conformado por 14 Pozos.

Debido a la contaminación que comenzaron a presentar los Pozos de Agua como consecuencia del crecimiento Demográfico, producido en esa zona por invasiones en los alrededores fue necesario desincorporarlo completamente. Esta medida trajo como consecuencia la necesidad de buscar y ubicar una nueva zona donde se pudiera perforar y que se encontrara fuera de la zona Urbana, creando así el campo de pozos “**LAS MERCEDES**”.

Este Nuevo campo de pozos está formado por Doce (12) pozos, los cuales generaron un buen rendimiento en su producción de agua para abastecer gran parte de la población. A medida que han pasado los años se ha detectado un desmejoramiento del vital Líquido de algunos pozos, los cuales han sido necesarios desincorporar, minimizando de esta forma el suministro del mismo, que para los actuales momentos se hace más necesario aumentar la producción, debido al crecimiento demográfico que vive la ciudad del Tigre.

La desincorporación de estos pozos, ha conllevado a la empresa Hidrocaribe a realizar evaluaciones de este campo para determinar la calidad y cantidad de la fuente productora del líquido, considerando necesario realizar estudios hidrogeológicos para determinar la caracterización del agua y unido a esto la capacidad que pueda generarse para cubrir las necesidades requeridas en la región.

De acuerdo a las características representativas del territorio, las aguas subterráneas son de suma importancia en la vida cotidiana de sus habitantes y sobre todo en el progreso económico de esta amplia zona. Es por eso que se requiere de una pronta medida para el dicho problema.



1.2.- OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Principal

Determinar las Características Hidrogeológicas que conforman el Acuífero Ubicado en el campo de Pozos “Las MERCEDES” a cargo de la empresa Hidrocaribe, en el Municipio Simón Rodríguez (El Tigre) –Edo. Anzoátegui.

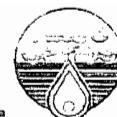
1.2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Efectuar una recopilación de las bases teóricas metodológicas y normativas que determinen el funcionamiento de la Hidrología de la Zona.
- ❖ Diagnosticar las condiciones actuales operacionales de las fuentes existentes en los Pozos Subterráneos.
- ❖ Evaluar el perfil Litológico de las Fuentes Subterráneas
- ❖ Elaboración de Mapas Geológicos e Hidrogeológicos
- ❖ Evaluar las reservas disponibles en el Acuífero ubicado en el campo de Pozos del estudio
- ❖ Caracterizar el tipo de Acuífero
- ❖ Evaluar algunas Características físico-químicas del Agua del Acuífero

1.3.- JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

El trabajo de grado propuesto en esta investigación tiene como finalidad evaluar y determinar Hidrogeológicamente la calidad y producción del agua Subterránea en El Tigre Estado Anzoátegui, en el campo de pozos “Las Mercedes” de la empresa Hidrocaribe, ya que en la actualidad se están generando problemas que de no ser atendidos con la prontitud del caso pueden traer consecuencias de desabastecimiento en el futuro.

El Tigre. Municipio Simón Rodríguez esta comprendido en la Mesa de Guanipa perteneciente a la Formación Mesa siendo esta una de las causas para que su geología, litología, geomorfología, hidrología, etc, sean muy consecuentes. Esto genera que el



Material Subterráneo presente una alta porosidad y permeabilidad de acuerdo a los sedimentos que conforman a la formación, obteniéndose así uno de los acuíferos más significativo con el rendimiento más valioso del país.

Esto conlleva a que se realicen muchas exploraciones hidrogeológicas en la región ya que se ha incrementado un desarrollo intensivo en esta parte oriental de Venezuela, originando el crecimiento de la ciudad. La evolución de la agricultura e industrias, exclusivamente las exploraciones y explotaciones petroleras, atribuyen la urgencia del aprovechamiento de las aguas subterráneas.

Motivado a lo ante expuesto, la Empresa a decidido desarrollar un estudio Hidrogeológico para determinar un diagnóstico actual de las condiciones del Acuífero Ubicado en el campo de pozos "Las Mercedes".

1.4.- ALCANCE

Se procura determinar el comportamiento Hidrogeológico del acuífero con el propósito de diagnosticar su situación actual y generar estrategias de explotación adecuadas de acuerdo al almacenamiento disponible, en los pozos "Las Mercedes" de El Tigre, Mesa de Guanipa en el estado Anzoátegui, y conseguir junto con las autoridades pertinentes al caso una mejor previsión.

1.5.- LIMITACIONES

Estas se presentan cuando la falta de información no permite de una u otra manera que se lleve a cabalidad una buena recopilación de datos, material de apoyo, etc, para una mejor valoración del caso, tanto de análisis Físicos- Químicos como de la litología de algunos pozos en este caso, pozos 1-3 y 4 para lograr una óptima evidencia en cuanto a las arenas existentes y determinar las secciones para su correlación y disposición del material permeable.

La ausencia de material cartográfico del estado como de la región en referencia a la geología e hidrogeología no consiente que la investigación sea más exhaustiva con respecto a la escorrentía y a las características de las formaciones geológicas del entorno.

La falta de datos Físico-Químico, como iones mayoritarios imposibilita la Caracterización Química de las aguas.



CAPITULO I MARCO REFERENCIAL

Este capítulo comprende Ubicación de la Zona de Estudio, Principios Básicos de Hidrogeología (Agua Subterránea), Calidad del Agua Subterránea, Geología, Antecedentes.



2.- UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO

2.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO

2.1.1.- Ubicación y Superficie del Área

La ciudad de El Tigre, capital del Municipio Simón Rodríguez del estado Anzoátegui se encuentra Circundada por el río Tigre, cuyo cauce sirve de demarcación limítrofe con el Norte con el Municipio Freites, del manso río Caris y el Municipio Independencia por el Sur; de los Municipio Guanipa por el Este; Miranda y Aragua por el Oeste, ubicada en el extremo norte de un área de sesenta 70 kilómetros cuadrados de la extensa y límpida Mesa de Guanipa. Se halla establecida en los llanos Orientales de Venezuela.

Comprendida entre los 8° 00" y 9° 00" de Latitud Norte y entre 64° 00" y 65° 00" de Longitud Oeste. Su altura varía entre 200 a 300 metros sobre el nivel del mar. (Ver figura 2-1)

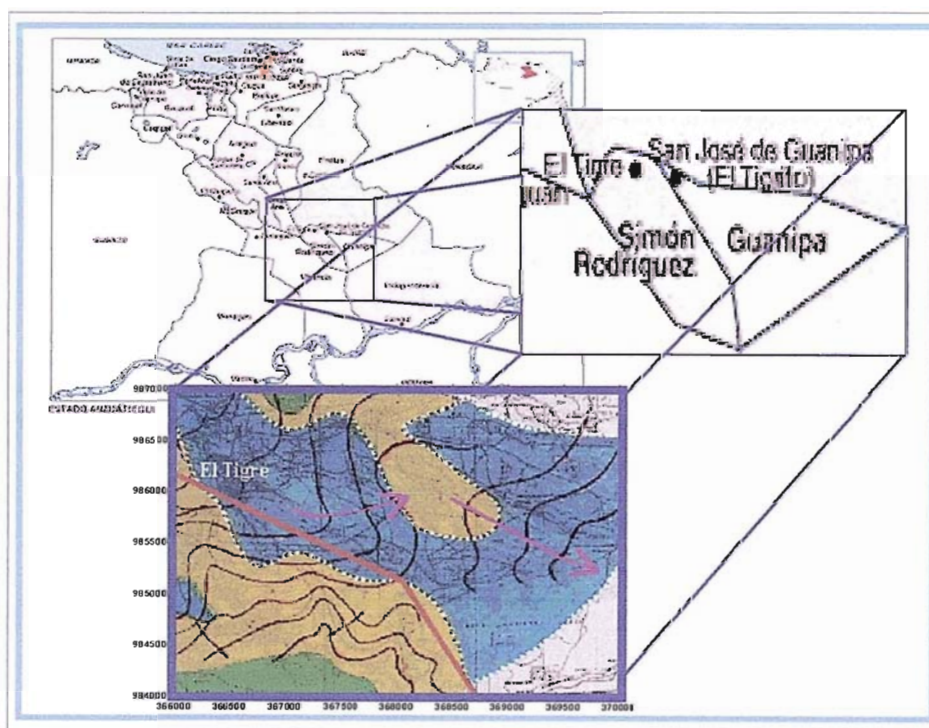
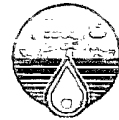


Figura 2-1: Ubicación de la zona en estudio. (Modificado de <http://geocities.com>)



2.1.2- Referencia esencial del estado Anzoátegui

2.1.2.1.- Reseña elemental recopilada

Antes de establecer las características de la zona en estudio, se presenta una información del estado Anzoátegui que comprende al Municipio Simón Rodríguez; la cual permitirá señalar una mejor posición con respecto a la particularidad del sitio.

2.1.2.2.- Localización:

El Estado Anzoátegui se localiza en la región Nororiental del país, frente a las costas del mar Caribe. Sus coordenadas geográficas son: 07° 40' 00''; 10° 15' 30'' de latitud norte 62° 43' 18''; 65° 43' 30'' de longitud oeste

2.1.2.3.- Límites:

El Estado Anzoátegui limita por el norte con el mar Caribe, por el sur con el río Orinoco, el cual lo separa del Estado Bolívar, por el este con los Estados Sucre y Monagas y por el oeste con los Estados Guárico y Miranda.

2.1.2.4.- Clima:

El Estado Anzoátegui se caracteriza por altas temperaturas durante todo el año. La temperatura media anual es de 27°C y el período más caluroso va de marzo a mayo. La precipitación promedio varía entre los 700 y los 1.400 mm y el período de lluvias se extiende desde mayo a octubre.

2.1.2.5.- Vegetación:

El paisaje vegetal está estrechamente asociado a las unidades fisiográficas y las condiciones climáticas. La vegetación xerófila se presenta en todo el eje costero del estado, mientras que en las sabanas dominan las gramíneas. Las riberas de los ríos y sus zonas próximas están cubiertas con bosques semidesiduos, morichales y bosques de galerías. Desde la década del setenta las plantaciones forestales se han desarrollado con éxito a campo abierto. Las principales especies sembradas con fines comerciales son el Pino y el Eucalipto.



2.1.2.6.- Basamentos Estratigráficos

La mayor parte de la superficie del estado, representada por áreas planas y onduladas, está cubierta por cimientos geológicos de la era cuaternaria, constituido por material arenoso no consolidado en proporción significativa. La zona de montañas y colinas muestra basamentos geológicos de la era terciaria de origen sedimentario. El río Orinoco y el resto de los cursos de agua que surcan el estado, depositan sedimentos de la misma era en los diferentes valles, al igual que los depósitos aluviales y marinos de la zona de costa.

2.1.2.7.- Suelos

Tanto el relieve como el clima determinan suelos aluviales, pero sin capacidad para soportar la actividad agrícola a gran escala. Ello da ventaja a la ganadería. La sierra de Bergantín posee un gran potencial edáfico favorable a la explotación agropecuaria, especialmente en sus estrechos valles. La cuenca media del Unare presenta un potencial edáfico medio que ha permitido la producción agrícola tradicional de subsistencia. Asimismo, los conos aluviales han permitido el desarrollo de una agricultura más especializada, principalmente algodón y tabaco, aunque la actividad predominante es la ganadería extensiva, la cual ocupa tanto los valles como las partes más altas. En los suelos de la margen izquierda del Orinoco, las inundaciones periódicas, que dejan depósitos aluviales significativos, han permitido el desarrollo de una alta capacidad edáfica productiva, que hoy es aprovechada en la explotación de rubros agrícolas. Los cultivos de frijoles, algodón y yuca son los predominantes.

2.1.2.8.- Relieve

Aunque el paisaje del Estado Anzoátegui está dominado por el relieve plano y ondulado con pendientes suaves y alturas no mayores a los 300 m, destacan dos sistemas montañosos bien definidos, con relieve abrupto, fuertes pendientes y alturas superiores a los 2.000 m, como son la serranía del Interior y el macizo de Turimiquire. El Estado Anzoátegui presenta variedad de paisajes. Entre ellos tenemos, la línea costera Unare- Neverí, con una costa baja, arenosa y de albuferas, debido a la deposición fluvial; el material depositado es transportado por la corriente marina litoral. La costa Puerto La Cruz, que es una costa de hundimiento muy profundo, con presencia de fiordos y un grupo de islas frente a la línea costera. Aunque los depósitos arenosos son escasos, el material transportado por las corrientes marinas ha permitido que algunos de los islotes más próximos a tierra firme se unan a ella, como en el caso del Morro de Barcelona. La sierra de Bergantín, que forma parte del macizo de Turimiquire el cual se extiende hacia los estados Sucre y Monagas. Es la continuación del sistema montañoso del interior de la región central del país. Las mesas, que muestran el paisaje más extenso, cubren el centro y el sur del estado. Es un área de formación sedimentaria cuyos depósitos son más recientes a medida que se avanza hacia el este, la mesa más extensa es la de



Guanipa. La cuenca de Unare, que se extiende hacia el sur, con un relieve ondulado y quebrado, con pendientes muy marcadas, caracterizada por la presencia de colinas disectadas. Las riberas del río Orinoco, el cual corre hacia el sur del estado en dirección Oeste-Este.

Su margen izquierda está sometida a inundaciones periódicas que la convierten en área de depósitos recientes y de topografía suave, a diferencia de la zona de las mesas. (Ver figura- 2.2)

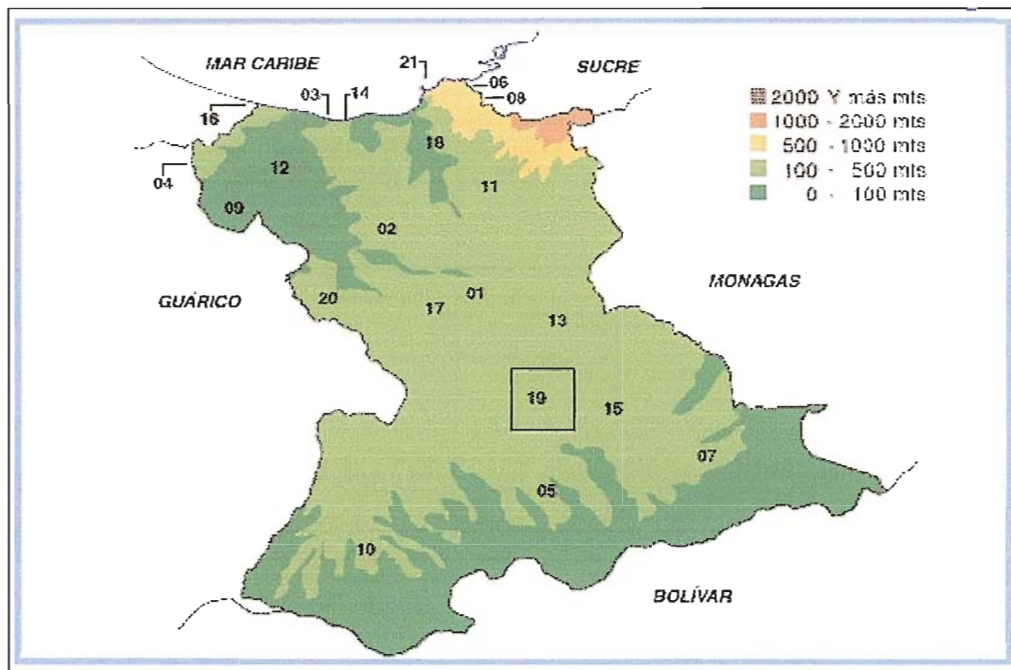


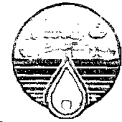
Figura-2.2 Mapa elevación de Anzoátegui.
Tomado de <http://www.a-Venezuela.com>

En el mapa de elevación se muestra la identificación del municipio que constituye a la Región de El Tigre con el número que se indica.

19) Municipio Simón Rodríguez

2.1.2.9.- Hidrografía

La red hidrográfica del Estado Anzoátegui pertenece a dos cuencas, la del mar Caribe y la del río Orinoco. Los ríos principales de la cuenca del mar Caribe son el Guaribe, Unare, Naricual y Neverí. La cuenca del Orinoco puede dividirse en dos subvertientes, la del Delta del Orinoco, a la cual pertenece el río Amana el cual nace en el macizo de



Turimiquire y la del río Orinoco propiamente dicho, cuyos ríos principales, Gauanipa, Tigre y Uracoa, nacen en las formaciones mesetarias del centro y sur del estado.

2.1.3.- Cualidades generales de la región a evaluar (El tigre)

2.1.3.1.- Climatología

El Tigre goza de un clima cálido propio de Los Llanos, variante entre 21° y 36°C, pero cuya intensidad se ve disminuida por vientos moderados que, provenientes del Norte, se hacen sentir constantemente.

El mes más arropado por estos vientos es Marzo, mes en que se desarrollan corrientes de hasta 16kph, siendo diferente el mes de Agosto con vientos de 7.5 kph normalmente.

En general, los cambios térmicos durante el año son poco notables, sucediéndose las temperaturas mas bajas entre los meses de Diciembre y Febrero y las más altas entre Mayo y septiembre. Durante todo el año la humedad relativa se mantiene en un 78 por ciento, disminuyendo a 61 por ciento hacia horas de mediodía, sintiéndose un clima de sequedad en el lapso comprendido entre Enero y Mayo. La altura de la ciudad se aproxima a los 200 m. Sobre el nivel del mar.

Normalmente, el ciclo de invierno comienza en el mes de Junio y concluye en Octubre, con precipitaciones pluviales de 1.200 mm, registrándose las lluvias esporádicas en los meses de Noviembre, Diciembre y Enero. Pero, generalmente, el tiempo entre Diciembre y Mayo transcurre en estado de sequedad veraniega.

Sobre la mesa de Guanipa predominan los vientos alisios del Noroeste y del Este, con una gran afluencia marina. Las corrientes afluentes del Caroni contribuyen a suavizar las altas temperaturas que se registran durante el período de verano. Estos vientos son por lo general húmedos.

Cabe señalar que entre las bendiciones con que la naturaleza premió el área que comprende el Municipio Simón Rodríguez, además del petróleo y el gas, se cuenta con uno de los reservorios de agua subterráneos más copiosos del país, con lo cual asegura un recurso indispensable para acometer el desarrollo agropecuario en forma racional y tecnificada, pasos que se vienen dando en la actualidad con resultados muy satisfactorios en la explotación.



2.1.3.2.- Régimen Hidrográfico

La principal cuenca hidrográfica de la región la constituye el río Tigre, que nace en la parte norte de la localidad del mismo nombre. Este río abastece a El Tigre mediante acueducto.

Al oriente de la Mesa Tentación pasa el río Caris que nace al Oeste de El Tigre. Recibe numerosos afluentes entre los principales se encuentran: El Moquete, La Peña, La Canoa y El Chipre. En los valles altos de el río El Caris con pendientes abruptas entre 3,5% y 6,5%, alcanza altitudes de 70 a 80mts hacia el Sur-Oeste de los ríos, se fomenta la agricultura, aunque no a gran escala.

El río Guanipa el cual desemboca en el golfo de paria y Cachama nacen en un sector boscoso de Las Mesas, localizados entre El Tigre y Pariaguán. Siendo su recorrido desde el Norte hacia el Sureste.

El drenaje superficial en una gran parte del área de estudio, es escaso ya que la superficie de la zona esta cubierta por sedimentos predominantemente permeables, implicando esto una alta tasa de infiltración del agua de precipitación. El drenaje se encuentra en parte intervenido, por la trayectoria general de la formación.

Por tanto la escorrentía superficial de dichos ríos se origina esencialmente de la descarga natural de los acuíferos.

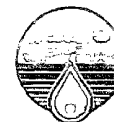
2.1.3.3.- Topografía y Vegetación:

La topografía dominante es plana con escasas pendientes hacia el Sur-Este, la región corresponde geomorfológicamente, a los llanos Orientales de Venezuela siendo su fisiografía muy característica estando el lugar muy disectada por barrancos de los primordiales cursos del agua, ocasionando esto amplias mesas con desarrollo de cárcavas (Badlands). La vegetación en sentido norte, sur y oeste es el típico chaparral integrado por gramíneas de escaso valor forrajero. Pocas especies arbóreas logran mantenerse en la sabana. Entre ellas podemos mencionar: el chaparro, el chaparro manteco, el merey y el alcornoque. A lo largo de los cursos de agua se desarrollan típicas líneas de morichales.

2.1.3.4.- Suelos que caracterizan la Zona

Los suelos de toda la región son extremadamente áridos. Prácticamente desprovistos de vegetación en casi la totalidad de su extensión, sufren el recalentamiento por efecto de la insolación y por lo general no contienen materias orgánicas.

La mesa de Guanipa está cubierta por arena, con unos 20 ó 30 cm de espesor totalmente desprovista de humus y muy pobres en sales de potasio y fósforo.



El agua es retenida por poco tiempo en la escasa masa del suelo permeable y, por lo tanto, no es suficiente para la mayoría de los géneros y especies vegetales.

2.1.3.5.- Hidrogeología

La región a evaluar se encuentra ubicada en la cuenca Hidrogeológica de los Llanos Bajos, perteneciente a la sub-provincia de los Llanos Orientales., la cual a su vez es parte de la provincia del Orinoco.

Geológicamente está situado dentro del flanco Sur y parte Central sobre los rellenos de la cuenca sedimentaria de Venezuela Oriental, comprendiendo parte de la Mesa de Guanipa. Siendo consecuencia de la erosión retrógrada de los Llanos Piemontinos, durante el período meramente erosional y sedimentario del pleistoceno. Los sedimentos del tipo paludal, deltaica y aluvial, fundamentalmente continental, violenta y respectivamente rápida, escaso de continuidad y uniformidad, son típicas de las molazas de la formación Mesa, debido a esto se origino un terreno irregular con respecto a parámetros físicos como porosidad, permeabilidad, espesor, etc., siendo este tipo de terreno el que forma el reservorio de aguas subterráneas de la región.

Según convenio, Instituto Agrario Nacional y el Ministerio de los Recursos Naturales Renovables (IAN-MARN). “En la península de El Tigre se pueden observar dos zonas acuíferas. Una zona superior de espesor variable hasta aproximadamente 60 m de arenas medias a muy gruesas, asociadas con la parte superior de la Formación Mesa y una zona inferior de arenas gruesas a finas, asociadas a la parte inferior de la formación Mesa y el intervalo de transición del contacto Mesa-Piedra, hasta una profundidad que varía de 40 a 200m”.

“Condiciones de acuíferos libres se esperan que prevalezcan en la zona superior, mientras que condiciones de acuíferos confinados con recarga vertical se esperan en la zona inferior, sin embargo, condiciones de acuífero libre con rendimiento retardado podrían existir localmente. Desde el punto de vista analítico ambas zonas se consideran homogéneas y anisotrópicas”.

En la región la zona superior normalmente está compuesta de capas de arenas de espesor variable hasta unos 25mts, con intercalaciones de capas delgadas de arenas arcillosas y arcillas arenosas.

En la faja inferior, los mantos de arenas se forman copiosamente más delgados y aumenta el número de capas de arcillas interestratificadas. Cerca de los ríos también se observan, esencialmente variaciones laterales donde el espesor de la zona superior es pequeño y el contacto Mesa-Piedra esta más cerca de la superficie.

El espesor saturado en la zona varía entre 40 y 100mts, indicando una disminución en el espesor hacia el Oeste.



2.2.-BASES TEORICAS

2.2.1.- PRINCIPIOS BÁSICOS DE HIDROGEOLOGIA

2.2.1.1.- Agua Subterránea

Existe en depósitos subterráneos los cuales constituyen las fuentes principales de agua dulce bajo la superficie de la tierra, en rocas que tengan una buena permeabilidad para trasladar por sus poros el flujo y suministrar agua a los pozos, manantiales o ríos.

En función de su capacidad de almacenamiento y del aforo de grandes cantidades extraíbles, a este reservorio de agua se le designa como **acuífero**. Figura 2-3.

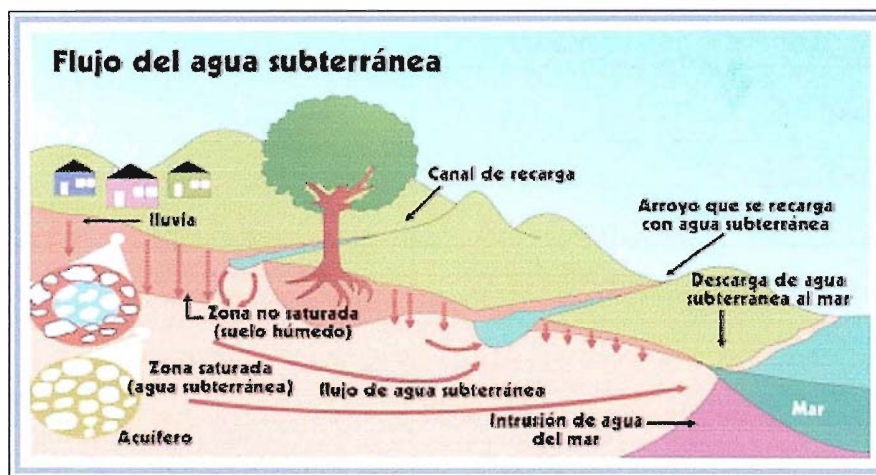


Figura 2.3: Forma cómo llegan las aguas superficiales a los acuíferos
Fuente: www.atsdr.cdc.gov/es/general/es_groundwater_fs.html

También se le denomina **acuífero** a todo estrato o formación geológica, aluviones de ríos de mezcla de arenas y gravas, calizas muy fisuradas, arenas de playa, algunas rocas volcánicas, etc, que sean capas de circular por los poros o vacíos intergranulares que presenta la misma. Los acuíferos en sus capas subterráneas, estratos o formaciones geológicas mundialmente contienen el 90% de agua fresca natural con que se cuenta para uso humano, industrial y otros. Muchas de estas aguas son desaprovechadas ya que se encuentran a gran profundidad para ser explotada económicamente. Otras clasificaciones de las unidades geológicas en relación a los acuíferos o embalses subterráneos son:

❖ **Acuícludos:** Es toda formación geológica que, contiene agua en su interior hasta la saturación y no la trasmite debido a eso no es posible su explotación, como las arcillas diferentes, o sea de origen deltaico y estuario. Estos no son competentes hidrogeológicamente para la construcción de captación de aguas subterráneas.



❖ **Acuitardos:** Son formaciones geológicas que en su haber contienen gran cantidad de agua pero que al transmitirla lo hace muy lentamente, es por eso que no son funcionales como emplazamiento de captaciones del agua subterránea, sin embargo en ambientes específicos admite una sobrecarga vertical de distintos embalses, ejemplo de ello son las arcillas limosas o arenosas.

❖ **Acuífugos:** Se denomina de esta manera a las formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, por ejemplo, un macizo granítico que no presente fracturamiento o rocas metamórficas sin meteorizar.

❖

2.2.1.2.- Clasificación de los Acuíferos

Los tipos de acuífero que se mencionan son los que dependen de las limitaciones hidrostáticas en el mismo, siendo ventajosos en las afinidades del agua subterránea, debido a esto se tienen:

2.2.1.2.1.-) Acuíferos Libres, no confinados o freáticos. Se les designa de esta manera ya que son formaciones geológicas con una superficie libre del agua que se encuentra limitada en ellos por una presión atmosférica. Su nivel freático será la extensión del agua subterránea, esto depende de que no exista material impermeable sobre de el como la arcilla si no material muy permeable como la arena que estén parcialmente saturados. Si se perforan pozos y son atravesados parcial o totalmente, el agua logra un nivel real siendo el mismo freático coincidiendo este con el nivel piezométrico. (Ver figura 2.4)

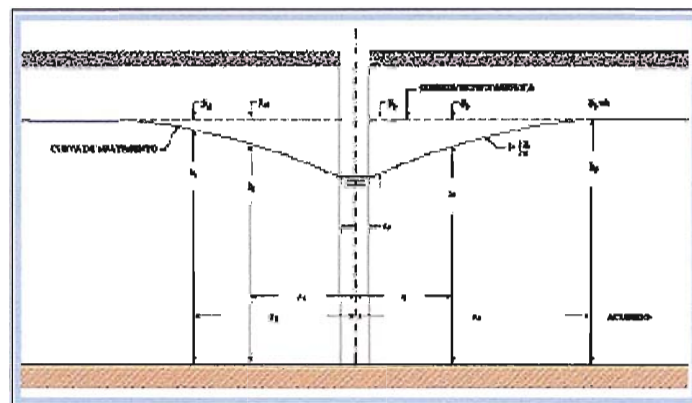


Figura. 2.4 Flujo hacia un pozo en acuífero libre

2.2.1.2.2.-) Acuíferos confinados, cautivos o artesianos Son aquellos en los cuales la formación que lo forma se encuentra totalmente saturada de agua, siendo muy permeables sujetas a una presión superior a la atmosférica, se encuentra entre mantos impermeables, lo que genera que el efluente no salga al medio ambiente creando una presión distinta a la atmosférica. Al perforar un pozo de agua este sobrepasa la parte



superior del acuífero atravesándolo donde el nivel de agua fluye violentamente hasta llegar al nivel piezométrico. Los pozos cuyo régimen de agua se localizan por debajo del nivel piezométrico siendo del mismo acuífero, se les denomina artesiano, todo lo contrario a los surgentes, en donde el nivel piezométrico se encuentra situado por encima de la capa acuática. (Ver figura 2.5)

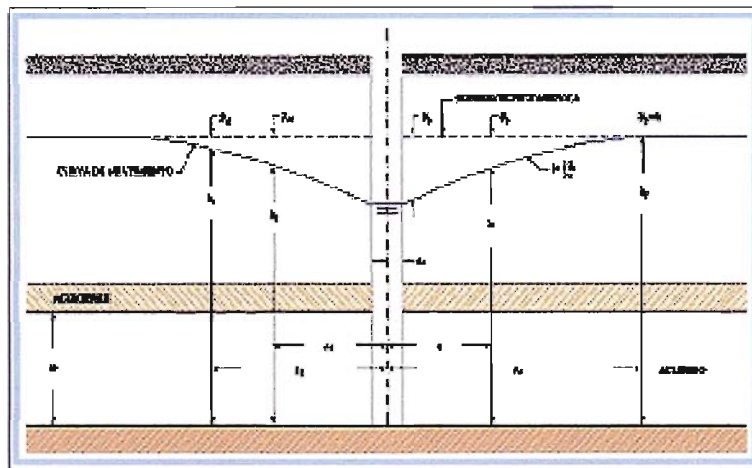


Figura. 2.5: Flujo hacia un pozo en acuífero confinado.

2.2.1.2.3.-) **Acuíferos semiconfinados o semicautivos.** Este tipo de embalse son parecidos a los confinados ya que contienen gran cantidad de agua pero se encuentran encerrados entre capas pocas permeables como la de los acuitardos que permiten la circulación vertical del vital líquido muy lentamente, en dirección del acuífero si hay diferencia de potencial. Su sobrecarga se genera por medio del tope y la pérdida de agua por la base, la recarga será conforme a la diferencia de cota del acuífero y los mantos semipermeables. (Ver figura 2.6)

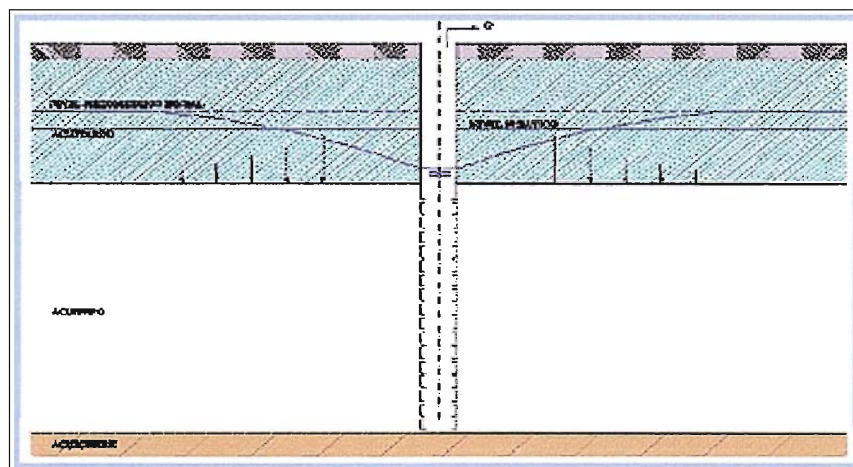
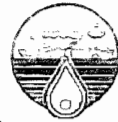


Figura. 2.6.-Representación esquemática de un pozo en acuífero semiconfinado



2.2.1.2.4.-) Acuíferos colgados o semilibres. Constituidos por un buen material muy poroso el cual se localiza restringido en su base por capas regularmente impermeables, permitiendo que la altura saturada de agua permanezca por arriba de la cota de agua a nivel regional. Este tipo de acuífero por lo general ocupan pequeños cuerpos de arenas, ya que su recarga es particular. Si se perfora un pozo este no se considera muy confiable porque el recurso extraído en su proceso de desagüe se dirige hacia el lugar saturado.

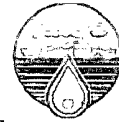
2.2.1.3.- El Agua en la naturaleza como agente Físico–Químico

El agua tiene una gran capacidad de disolución teniendo esta una elevada reactividad la cual hace que el agua en su estado natural proporcione una gran cantidad de sustancias disueltas, las cuales forman parte de la composición de muchas sustancias como (agua de formación, hidratos, etc.) y atacando a muchas otras en forma directa o por medio de las sustancias que transporta directamente (oxidaciones, hidrólisis, etc.). Este vital líquido puede disolver gases, líquidos y sólidos. Su mecanismo de disolución puede ser a veces simple como la disolución de nitrógenos y azúcar, otras veces un mecanismo de simple ionización como la disolución de sal común, en ciertas ocasiones se trata de mecanismos muchos más complejos donde participan reacciones químicas con la propia agua (disolución de NH_3) o directamente con el agua y diferentes sustancias disueltas en ella así como (disolución de calizas en presencia de CO_2), formación de complejos también en la disolución de metales pesados con ayudas de ácidos húmicos o ciertas sustancias orgánicas y otros, se presentan ataques de silicatos a través de alteraciones previas por el agua en materiales que son insolubles.

El agua pura para su tratamiento es una sustancia que se encuentra exclusivamente en el laboratorio el cual debe contar con un buen estudio de valorización y precisión de prevención para así lograr su optimización y conservación como tal.

2.2.1.4.- Estructura del suelo y su relación con el Agua Subterránea

El suelo es una estructura que se origina con la desintegración física en fragmentos pequeños de la roca madre conformado a su vez por una serie de minerales, el cual puede presentar diversidad de granos en su litología como gruesos, finos, etc., debido a ello el agua subterránea es uno de los recursos más importantes cuya distribución en la tierra es muy extensa, esta penetra bajo la superficie siendo transportadas por los intersticios de las rocas permeables, su infiltración debe ser tal que el importe de agua sea suficiente para así poder saturar un espesor de roca considerable, y poder ser un recurso aprovechable, puede presentar grietas, fisuras, cavernas o canales por los cuales se pueden desplazar transitoriamente cantidades grandes de contaminantes a las aguas subterráneas. De no existir las fracturas, la disposición estructural del suelo provoca un flujo de agua más rápido en los macroporos de los ínteragregados, que dentro de los



microporos de los intragregados ya que los contaminantes potenciales pueden ser retenidos en los poros.

2.2.1.5.- Relaciones entre Geología, Litología y Composición de las Aguas Subterráneas

2.2.5.1.- Relación Litología – Composición de las Aguas Subterráneas

Para establecer la relación existente entre facies geológica y composición de las aguas subterráneas o facies hidrogeoquímica, deben intervenir diferentes agentes como los de origen externo, los de composición iónica del agua de lluvia, la evaporación y precipitaciones en el suelo. Las mejores relaciones que se pueden obtener entre ellos es cuando el agua subterránea se infiltra a través de un suelo bien desarrollado sobre el mismo material que forma el acuífero.

En el caso de dos acuíferos litológicamente semejantes, que se encuentren en diferentes lugares el agua que contengan pueden ser similar o diferentes, se pueden encontrar parecido en sus características dependiendo del método de estudio que se emplee en el momento.

Cuando las aguas transitan en terrenos desiguales, la composición química que se encuentra en el lugar de estudio puede influir de acuerdo a la litología local, también por la litología que presentan los terrenos que se encuentran antes y son cruzados y por los fenómenos de la infiltración.

2.2.5.2.- Relaciones Geológica – Geomorfológico – Composición de las Aguas Subterráneas. Tiempo de Permanencia

La geología y geomorfología de una zona establece la forma de circular el agua subterránea y su distribución así como los sitios de la recarga y descarga, de otra manera el relieve logra condicionar también de modo transcendental la pluviometría y cantidad de agua de recarga profunda. De esta forma se establece el sistema de flujos locales y regionales, con líneas de corriente las cuales difieren unas de otras grandemente en cuanto a recorrido y profundidad, y debido a esto en tiempo de permanencia del agua en el terreno, temperatura y presión. Así el flujo circule por el mismo tipo de roca los manantiales cercanos que se encuentren en un mismo medio acuífero pueden diferir marcadamente en la composición del agua, las características químicas de uno o varios iones, es poca para colocar de realce las relaciones existentes, considerándose a menudo que las aguas que circulan por un mismo acuífero con trayectoria desiguales sean absolutamente diferentes así tengan el mismo origen geológico.



2.2.1.6.- Superficies Piezométricas

Profundidad a la que se encuentra el nivel del agua en un pozo, siendo el nivel del agua subterránea determinada por un piezómetro. La altura de una columna de agua que da una presión igual a la presión relativa del agua, en la zona no saturada la altura de presión es negativa, del agua subterránea en el suelo.

Es el valor de la carga hidráulica observado en un acuífero o acuitardo a diferente profundidad en el mismo y en el medio saturado.

Pueden delinearse en ellas curvas de nivel que acoplen los puntos de equivalente altitud. Estas curvas muestran el lugar de los puntos de igual presión o de igual cota piezométrico. Son las curvas isopiezas. Se identifican con las líneas equipotenciales. Sobre estas curvas se logran trazar líneas perpendiculares a las isopiezas, en el aparente caso de flujo laminar, de modo que la reserva forma una red ortogonal.

La morfología de la superficie piezométrica permite estudiar, a escala global regional, las características del movimiento del agua subterránea.

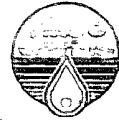
Las fluctuaciones de la superficie piezométrica en el tiempo permiten estudiar la variación de las reservas; la alimentación de los mantos, y sobre todo, su observación y control son importantes para la conservación de los recursos en aguas subterráneas (Castany, 1975).

2.2.6.1.- Trazados de las Curvas de Isopiezas

En principio se diseñan de manera diferente a como se realiza topográficamente, a modo de mostrar la superficie piezométrica de la capa acuífera evaluada, así se podrán observar las propiedades del movimiento del flujo subterráneo. Son mapas en donde se expresan los puntos de medidas y el mismo nivel piezométrico, de la misma manera se deduce la profundidad de la superficie piezométrica, las líneas de corrientes para determinar la orientación del movimiento de las aguas en profundidad al igual que el gradiente hidráulico y la construcción del perfil de depresiones.

Con la siguiente ecuación se podrá determinar el levantamiento de los mapas de curvas isopiezas o sea los piezométricos:

$$CP= CT- NE$$



Siendo:

CP: Cota Piezométrico

CT: Cota del Terreno

NE: Nivel Estático

2.2.6.2.- Nivel Estático

Elevación de la capa freática o de la superficie piezométrica cuando no está influenciada por bombeo de los pozos u otras formas de extracción de agua subterránea. Nivel de elevación que alcanzaría el extremo superior de una columna de agua, si se dieran las condiciones, desde un acuífero artesiano, cuenca, o conducto bajo presión.

Del mismo modo se tiene el Nivel Dinámico o de Bombeo. Siendo la altura a la que se mantiene el agua de un pozo para un caudal de bombeo dado.

2.2.1.7.- Precipitación

La precipitación es cualquier forma de agua que cae del cielo. Esto incluye lluvia, nieve, neblina y rocío.

La precipitación es una parte importante del ciclo del agua y es responsable por depositar agua fresca en el planeta. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) se forman, que caen a la Tierra por gravedad

De esta manera el volumen de agua que se precipita al descender entra en un determinado tiempo en contacto con el terreno permitiendo que las rocas porosas y permeables de las formaciones geológicas ocupen parcial o totalmente a los poros del suelo saturándolo, produciendo el agua subterránea. (Ver figura 2.7)

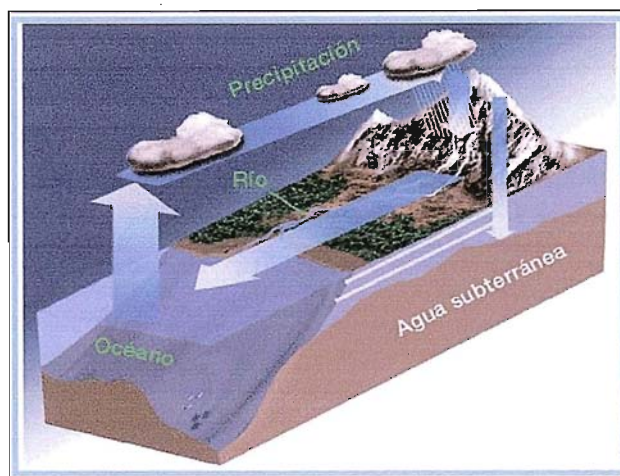


Figura 2.7.- Proceso del Ciclo de Agua. Tomado de www.windows.ucar.edu

2.2.1.8.- Escorrentía

En hidrología, la escorrentía es la lámina de agua que circula en una cuenca de drenajes es decir la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida uniformemente. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real. Según la teoría de Horton se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo. Esto sólo es aplicable en suelos de zonas áridas y de precipitaciones torrenciales. Ésta deficiencia se corrige con la teoría de la saturación, aplicable a suelos de zonas de pluviosidad elevada y constante. Según dicha teoría, la escorrentía se formará cuando los compartimentos del suelo estén saturados de agua.

La escorrentía superficial es una de las principales causas de erosión a nivel mundial. Suele ser particularmente dañina en suelos poco permeables, como los arcillosos, y en zonas con una cubierta vegetal escasa.

2.2.8.1.- Coeficiente de escorrentía

Llamamos coeficiente de escorrentía a la relación entre el índice de escorrentía y la precipitación anual. Indica qué porcentaje de la precipitación anual circula.

$$C_e = I_e/P_{mm}$$

o expresado en tantos por ciento:



$$C_e = (I_e/P_{mm}) \cdot 100$$

C_e = Coeficiente de escorrentía

I_e = Índice de escorrentía

P_{mm} = Precipitaciones anuales en milímetros

Si se toma una cuenca ideal impermeable, sin evaporación ni retención superficial que origine en su cauce principal el escurrimiento producto de una precipitación semejantemente distribuida, se determinará que el escurrimiento será igual a la precipitación, su diferencia será nula y su coeficiente igual a 1, pero en la realidad ese coeficiente tendrá un valor menor a 1 ya que ese tipo de cuenca ideal no se encuentra.

Cuando hablamos de la cantidad de lluvia que resbala sobre un material determinado lo llamamos factor de impermeabilidad, que es diferente para cada uno de ellos; por ejemplo: pizarra (0,70-0,95); grava de carretera (0,15-0,30); césped (0,05-0,03).

Se presenta otra manera de determinar el coeficiente de escurrimiento por medio de la siguiente tabla 2.1, de acuerdo a la clasificación de los suelos según su permeabilidad obtenida a partir de estudios geológicos, en muestreos y reconocimiento directo.

Tabla 2.1: Determinación del Coeficiente de Escurrimiento

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C_e						
COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		50%	20%	5%	1%	
SIN VEGETACION	IMPERMEABLE	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	SEMIPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50.
	PERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50.
	SEMIPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	PERMEABLE	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
PASTOS VEGETACIÓN LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
HIERVA GRAMA	IMPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	SEMIPERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	PERMEABLE	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUE DENSE VEGETACIÓN	IMPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	SEMIPERMEABLE	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	PERMEABLE	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05



2.2.1.9.- 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.

En general puede decirse que la velocidad con que circula el agua subterránea es proporcional a una potencia del gradiente hidráulico, multiplicada por una constante de proporcionalidad denominada conductividad hidráulica.

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 (L T⁻¹) y modernamente se distinguen dos tipos: la conductividad hidráulica darciana o lineal, K_D y la conductividad hidráulica turbulenta, K_T.

La transmisibilidad o transmisividad es el producto del espesor saturado del acuífero m y la conductividad hidráulica. Tiene las dimensiones L²/t T⁻¹, y lógicamente se distinguirán dos tipos:

La transmisibilidad darciana o lineal, TD=m K_D y la transmisibilidad turbulenta, TT; TT = m K_T.

Diversos experimentos han demostrado que la conductividad hidráulica darciana no sólo depende de las características del medio, sino también de las del fluido su viscosidad y peso específico por lo que se estableció una relación entre K_D, las propiedades del fluido y una característica intrínseca del medio que es independiente del fluido que circula a través de él. Esa característica se denomina permeabilidad intrínseca o geométrica se representará por el símbolo k. La ecuación que relaciona K_D con k se puede expresar como:

$$K_D = (\gamma / \mu) k = (g / \nu) k \quad (2.1)$$

Y también:

$$K = (\nu / g) K_D \quad (2.2)$$

Donde:

- γ , peso específico absoluto del fluido
- μ , viscosidad dinámica del fluido
- g, aceleración de la gravedad
- ν , viscosidad cinemática del fluido



La permeabilidad intrínseca tiene las dimensiones de una longitud al cuadrado, L^2 .

Con esto se manifiesta que al considerar el flujo en medios porosos en su forma más general no lineal, es necesario tomar en consideración un nuevo parámetro adimensional característico de cada medio, o sea una nueva propiedad intrínseca, que por analogía con el flujo en tuberías denomina rugosidad equivalente, y que se representa por el símbolo C . Esta propiedad está relacionada con la conductividad hidráulica turbulenta por la expresión.

$$K_r = (g K^{1/2} / C)^{1/2} \quad (2.3)$$

Como se puede ver, al disponer de las ecuaciones 2.1 y 2.3 es posible utilizar indistintamente para caracterizar el medio las propiedades KD y KT o en su lugar k y C .

Se ha definido como coeficiente de almacenamiento, que se representará por el símbolo, S , como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero, de sección unitaria y de altura igual a su espesor saturado, cuando se produce un descenso unitario de la carga hidráulica, del nivel piezométrico o del nivel freático. De esta definición se deduce que el coeficiente de almacenamiento es adimensional.

En el caso de los acuíferos confinados, el agua liberada procede de los efectos mecánicos de la compresión del cuerpo del acuífero y del agua. En el caso de los acuíferos libres o freáticos, ignorando los efectos relativamente pequeños que puede introducir la elasticidad del acuífero, resulta claro que el coeficiente de almacenamiento es equivalente, a la llamada porosidad efectiva, ya que en ambos casos resulta ser la cantidad de agua que puede ser extraída por gravedad de una unidad de volumen del acuífero saturado.

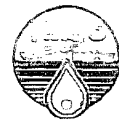
Tanto para acuíferos confinados como para acuíferos libres las propiedades a considerar y determinar serían cualquiera de los tres tríos:

K, C y S
 KD, KT y S
 TD, TT y S

Ya que las ecuaciones de transformación de que se dispone permiten calcular todo el conjunto si se tienen los valores de uno o cualquiera de los tríos.

Para el análisis de acuíferos semiconfinados es necesario tener en cuenta dos nuevas propiedades, la resistencia hidráulica y el factor de goteo.

La resistencia hidráulica, representada por el símbolo C' , es una medida de la resistencia que ofrece la capa confinante al flujo en dirección vertical, y se define por la



relación entre el espesor saturado del acuitardo, m' y su conductividad hidráulica darciana vertical, $K'D$, o sea que:

$$C = m' / K'D \quad (2.4)$$

Las dimensiones de la resistencia hidráulica son las del tiempo. Si el acuífero es confinado, el acuitardo se convierte en acucierre y $C' = \infty$

El factor de goteo, representado por el símbolo B , tiene las dimensiones de una longitud y está definido por la ecuación:

$$B = (C'T_D)^{1/2} = (C' m K_D)^{1/2} = (mm' K_D / K'D)^{1/2} \quad (2.5)$$

Los valores altos de B indican una gran resistencia al flujo del acuitardo confinante en comparación con el acuífero, lo que implica una pequeña influencia relativa en la recarga del acuífero a partir del acuitardo.

En el análisis de acuíferos libres con entrega retardada o semilibres, es necesario tener en cuenta el llamado factor de drenaje, D , que está definido por la ecuación:

$$D = (K_D m / \alpha S_Y)^{1/2} \quad (2.6)$$

Donde: α , inverso del índice de retraso de Boulton ($1/\alpha$).

S_y , volumen total de entrega retardada procedente del almacenamiento, por unidad de abatimiento por unidad de área horizontal. Rendimiento específico después de un tiempo grande de bombeo.

Los valores altos de D indican un drenaje rápido. Si $D = \infty$, la entrega es instantánea al descender la superficie freática y el acuífero será libre sin entrega retardada. El factor de drenaje; tiene dimensiones de longitud.



2.2.1.10.- Estructura de un Pozo de Bombeo

El pozo de bombeo, perforado en un acuífero por cualquier procedimiento, podrá estar provisto de una estructura, cuando sea necesaria para garantizar la estabilidad de las paredes de la perforación. Esta estructura ocupará una parte del espacio interior definido por la cara del pozo.

En su forma más general, tal como aparece representada en la figura 2.8, la estructura del pozo, al atravesar el acuífero, puede estar compuesta por un empaque de grava y una camisa, total o parcialmente convertida en rejilla, que permitirá que el agua entre a dicha camisa para ser extraída por la bomba:

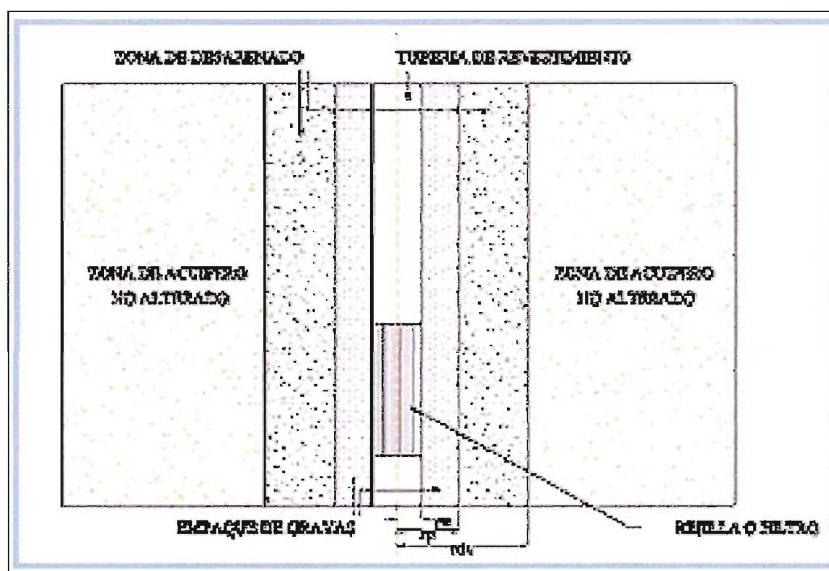


Fig. 2.8.- Representación esquemática de la estructura de un pozo de bombeo y de las zonas características en su cercanía, Fuente: www.atsdr.cdc.gov/es/general/es_groundwater_fs.html

Las operaciones de perforación y el desarrollo del pozo afectarán al acuífero más allá del perfil del pozo. El desarrollo remueve el material más fino del acuífero, corrigiendo cualquier afectación o colmatación en la formación geológica originadas como efecto colateral del proceso de perforación. Asimismo, estabiliza la formación alrededor del pozo, de modo que el agua extraída estará desprovista de arena y aumenta además la porosidad y la permeabilidad de la formación natural en las inmediaciones del pozo de extracción.



Es decir, que en la práctica, una vez desarrollado el pozo, se formará una zona de desarenado más permeable que el acuífero, que se extenderá desde la cara del pozo hasta una distancia rda, que definirá el comienzo de la formación acuífera no alterada.

De esa forma, quedan definidas tres zonas alrededor de la camisa del pozo:

- ❖ Zona del empaque de gravas, comprendida entre las distancias radiales rw y rp.
- ❖ Zona de desarenado, comprendida entre las distancias radiales rp y rda.
- ❖ Zona del acuífero no alterado, situada más allá de la distancia radial rda.

Las distancias radiales que definen estas zonas, están definidas como:

rw, distancia del centro del pozo a la cara interior de la tubería de revestimiento camisa y rejilla.

rp, distancia del centro del pozo hasta el límite exterior del empaque de grava, frente del pozo.

rda, distancia del centro del pozo hasta la formación acuífera no alterada.

Como cada zona tiene sus características hidrogeológicas propias, el abatimiento que se produce en el pozo, Sw, para el caso de un acuífero confinado, estará formado por varias componentes y podrá expresarse como.

$$S_w = S_{rda} + \Delta_{rda-p} + \Delta_{rp-w} + h_{fcs} \quad (2.7)$$

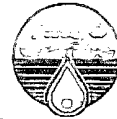
Donde:

S_{rda} , abatimiento producido en el acuífero no alterando a la distancia rda

Δ_{rda-p} abatimiento adicional que se produce en la zona de desarenado (diferencia en abatimiento entre las distancias rp y rda)

Δ_{rp-w} , abatimiento adicional que se produce en el empaque de gravas (diferencia en abatimiento entre las distancias rw y rp)

h_{fcs} , pérdida de carga en la rejilla y la tubería de revestimiento del pozo (camisa)



2.3.- GEOLOGIA GENERAL

2.3.1.- PROCESO SEDIMENTARIO

2.3.1.1.- Estructura Llanos Orientales de Venezuela

La región central del país geomorfológicamente esta formada de Norte a Sur por extensas llanuras, distribuidas a lo largo de un eje de rumbo aproximado Este-Noreste; se esparcen, desde el Río Orinoco hasta el pie de monte de la Cordillera de Los Andes Venezolanos y de la Cordillera de la Costa. Hacia el Este y el Escudo de Guayana, pasan gradualmente a las Llanuras Deltaicas del bajo Orinoco, con una superficie aproximada de 237.280 km² ó 26% de la superficie de Venezuela, por lo tanto.

Esta región limita por el Norte con las Cordilleras de los Andes y de la Costa, por el Sur con el Escudo de Guayana, por el Oeste con el piedemonte andino y al Este con el delta del Orinoco. La longitud Este-Oeste de la región alcanza casi 850 kilómetros, con una anchura variable de casi 200 kilómetros en la sección más oriental y alrededor de 400 kilómetros en su parte más ancha en el occidente.

En el mapa de Venezuela que se muestra a continuación, se enmarca en rojo la zona que ocupa los Llanos Orientales abarcando gran parte del estado Anzoátegui incluyendo la Región El Tigre. Figura 2.9.

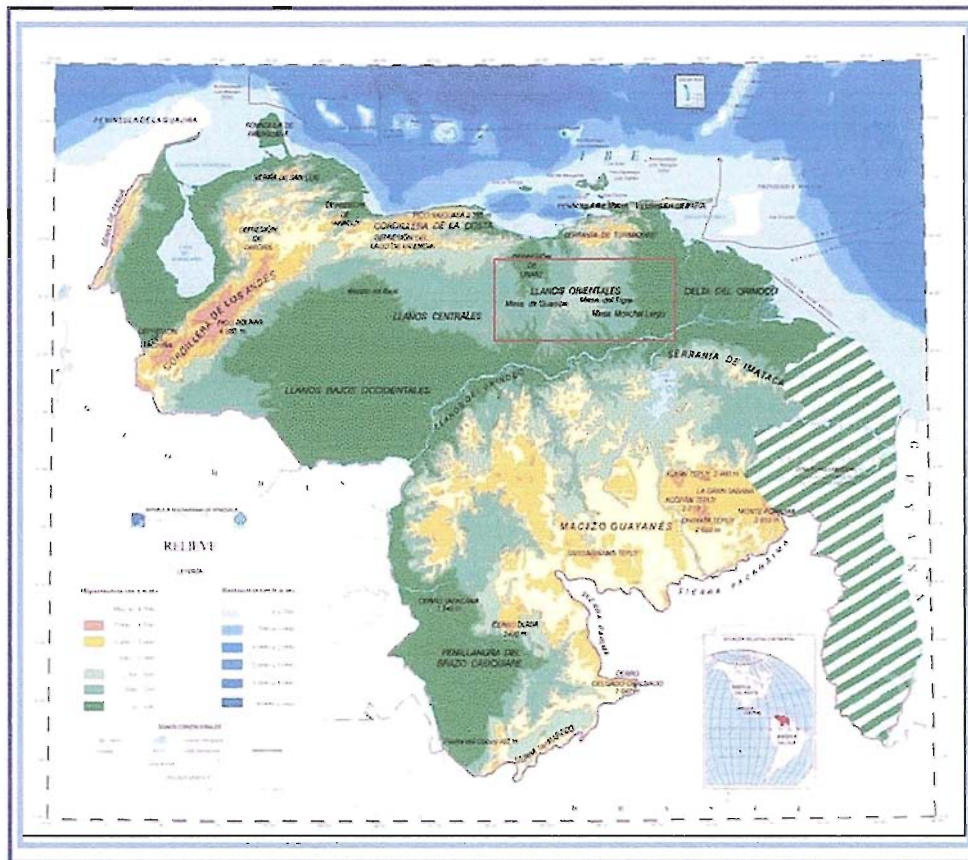


Figura 2.9 Mapa de Venezuela Llanos Llanos orientales

Fuente: <http://www.Biosferaca.com>

La región se caracteriza topográficamente por su bajo relieve, de un promedio de 150 a 200 metros sobre el nivel del mar, con la excepción de algunas alturas aisladas, como El Baúl y las más altas de los Llanos Orientales. Por lo general, su relieve es el de una llanura muy plana y suavemente ondulada que va descendiendo de Norte a Sur y de Oeste a Este, junto a la Serranía del interior y al pie de los Andes. Las altitudes alcanza alrededor de 200 m y van disminuyendo hacia el río Orinoco con un gradiente tan pequeño que ha sido calculado en 70 cm por kilómetro.

2.3.1.2.- Despliegue Estratigráfico Llanos Orientales

Los Llanos están constituidos por espesores de considerable sedimentos, depositados desde etapas anteriores al Cretáceo, en las sucesivas cuencas marinas teniendo al Sur límites frecuentes, no siendo concurrente siempre, en el margen Septentrional del Escudo de Guayana.



Solo se conocen hacia el Norte la posición aproximada de las sucesivas barreras terrestres que limitan la cuenca Oriental, a partir del Paleoceno; para el Terciario la posición y los caracteres de la misma varían ampliamente.

Las características fisiográficas en la actualidad de los Llanos Orientales han sido establecidas a consecuencia de la erosión diferencial sobre sedimentos no muy deformados del Mioceno, o del Pleistoceno, y por la degradación de poderosos sedimentos Cuaternarios por encima de las dilataciones regionales estimables. La erosión que se generó en los Llanos a creado una topografía características de mesetas, o bien decir “mesas”, de tope plano y flancos escalonados, dando origen a la Formación Mesa, de allí su nombre, de edad Pleistoceno.

En los Llanos afloran rocas más antiguas constituidas por depósitos moderadamente plegados con edades comprendidas desde el Oligoceno hasta el Plioceno; encontrándose restringida al pie del monte septentrional un sector estrecho de sedimentos del Eoceno y aun localmente del Paleoceno.

2.3.1.3.- Periodos que Caracterizan los Llanos Orientales

El Cuaternario engloba dos épocas, el Pleistoceno y el Holoceno, caracterizadas por cambios de climas y cuatro glaciaciones intercaladas con lapsos cálidos. El último cambio corresponde al Holoceno. El Pleistoceno Inferior en Venezuela está integrado por sedimentos continentales que ocurren en el oriente del país y presentan formas características de mesas con topos planos y pendientes escarpadas, típicas en los llanos de Anzoátegui y Monagas.

Durante el Pleistoceno la cuenca del río Orinoco emergió lentamente hasta convertirse en tierra firme. Los extensos llanos venezolanos se desarrollaron con el aporte de los sedimentos del Macizo de Guayana y de las Cordilleras de los Andes y de la Costa.

La extensa superficie de los llanos se encuentra prácticamente cubierta por sedimentos del Pleistoceno reciente derivados principalmente por las altas cordilleras que lo rodean, las cuales están circundadas por sedimentos de grano grueso en el piedemonte.

Los rellenos de las cuencas y la región general que se observa al final del Cretáceo se acentúan a comienzos del Cenozoico; los sedimentos de esta etapa reflejan este movimiento regresivo. Hacia el Oriente, los sedimentos del Eoceno Inferior son los sedimentos paleógenos (Eoceno–Oligoceno), como los de la Serranía del Interior, que también se encuentran en los estados Lara, Portuguesa y Guárico. En el oriente de Venezuela el Paleógeno consta principalmente de capas arenosas y limolíticas depositadas al Sur de la cuenca.



2.3.1.4.- Cuencas sedimentarias

La región de los Llanos morfológicamente se divide en dos grandes cuencas sedimentarias, separadas por una división de rocas ígneas intrusivas y metamórficas que pueden considerarse como una extensión noroccidental del Escudo de Guayana. Esta división ígnea–metamórfica aflora en forma de varias prominencias en la zona de El Baúl. La separación o divisoria ocurre a lo largo del paralelo 68°, quedando una cuenca en la parte oriental y la otra cuenca en la parte occidental.

El drenaje de estas cuencas sedimentarias se verifica en el curso de sus ríos, los cuales debido a la poca inclinación de la superficie de los Llanos tienen cauces sinuosos y meandros hacia la parte Sur. Las respectivas cuencas consisten en llanuras suavemente onduladas, con ocasionales mesas o colinas.

❖ Cuenca sedimentaria oriental

La cuenca oriental de los Llanos ubicados al Este de la divisoria de El Baúl se extiende al Sur del piedemonte de la Serranía del Interior, entre esta serranía y el río Orinoco. Cubre una superficie aproximada de 118.000 km², casi 50% de la superficie de los Llanos venezolanos.

Esta región geomorfológicamente puede ser separada en dos secciones: la que limita con la cuenca occidental conocida como los Llanos Centrales que incluye la parte Oriental de los Llanos de Cojedes, la parte sur de los estados Carabobo y Aragua y casi todo Guárico y los Llanos Orientales, que incluye la región de las Mesas, los Llanos de Maturín y los Llanos Orientales del Orinoco.

2.3.1.5.- Unidades Fisiográficas

Esta región de los Llanos alcanza una superficie en torno a los 40.000 km², en la cual se reconocen tres unidades fisiográficas: a) Región de las Mesas, b) Llanos de Maturín, y c) Llanos Orientales del Río Orinoco.

❖ Región de las mesas

Esta región constituida topográficamente por terrenos elevados y Llanos de gran extensión, rodeados de acantilados o barrancos, forma las denominadas mesas. Los acantilados o flancos occidentales de estas mesas son muy verticales. El relieve en general de la región va disminuyendo hacia el Oriente y hacia el Sur. Las mesas presentan acantilados verticales que alcanza a veces 70 m. Esta unidad fisiográfica se extiende por 13.000 km² de superficie y ocurre políticamente en el estado Anzoátegui y en la parte occidental del estado Monagas.

Se presenta en la siguiente imagen figura 2.10 los diferentes tipos de mesa, valles y fisiografía que caracterizan a los Llanos Orientales de Venezuela.

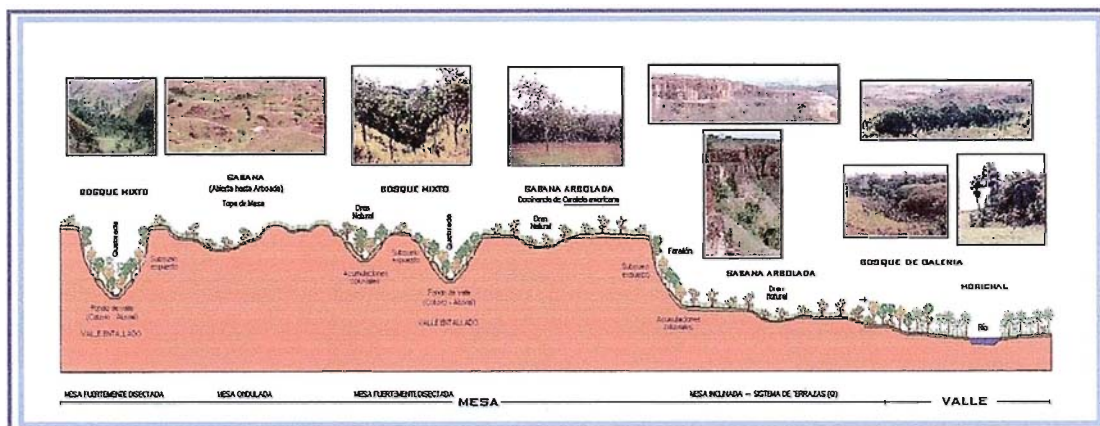


Figura 2.10 Mesas y Valle

Fuente: <http://www.Biosferaca.com>

La formación Mesa es de edad Plioceno, en la parte Occidental de la región y de edad Pleistoceno en la Oriental, que yacen sobre sedimentos de Oligoceno. Estos sedimentos consisten en areniscas no consolidadas en estratificación cruzada, gravas y una arcilla manchada arenosa. Los suelos de la región son silíceos en algunas partes y en otras se desarrolla una costra laterítica (placa de hierro).

2.4.- GEOLOGIA DEL ESTADO ANZOATEGUI

2.4.1.- Evolución Estratigráfica

Los basamentos geológicos corresponden a las eras terciaria y cuaternaria, que son en su mayoría de origen sedimentario. Los primeros afloran en las montañas, representados por margas, conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y limonitas, manifestados en las formaciones Quiamare, San Antonio y Querecual (Grupo Guayuta). Así como en el sistema de colinas, donde se hallan lutitas y arcillas calcáreas o margas con afloramientos menos extensos de areniscas y arenas no consolidadas, correspondientes a las formaciones Chaguaramas, Freites, Las Piedras y Quiamare. Existen medios de ablación donde se presentan abundantes concreciones de hierro, gravas y cantos de cuarcita pertenecientes a la Formación Freites.

Un 60% de la superficie de la entidad la cubre el basamento geológico de la Formación Mesa de edad cuaternaria, conformada por materiales arenosos no consolidados.



De la misma era, aunque más reciente, son los sedimentos depositados por el río Orinoco y los otros ríos en los valles, así como los depósitos aluviales y marinos de la planicie costera. Los suelos, son aluviales pero empobrecidos, poco aptos para el desarrollo de actividades agrícolas a gran escala, exceptuando algunas tierras en las cercanías de los ríos y planicies, que presentan mejores condiciones para su aprovechamiento. Entre ellos destacan los suelos de los valles del Neverí y cuencas del Unare, Amana y los de la Mesa de Guanipa.

2.5.- GEOLOGIA DE LA ZONA A EVALUAR

2.5.1.- Región de El Tigre

Geológicamente su estructura es poco complicada ya que no presenta tectonismo alguno como plegamientos o fallas. Se encuentra establecida por sedimentos clásticos de la Formación Mesa del Pleistoceno (Qpm), en las vertientes de los ríos se localizan estrechas bandas de aluviones de menor grosor y distensión. Esta suprayace concordante y transicionalmente a la Formación Las Piedras del Mio- Plioceno (Tmplp).

La Formación presenta un espesor voluble entre 120 a 150mts. Contempla sedimentos gruesos en la superficie, generando de este modo un acuífero propicio a la explotación de las aguas subterráneas.

2.5.2.- Origen Sedimentario

Como expresa González de Juana (1980, Ref. 2. Pág. 713), la sección tipo es resultado de un proceso sedimentario fluvio-deltaica, paludar, a consecuencia de un desarrollado delta, el cual avanzaba en dirección Este de la misma manera en que adelanta hoy el delta del Orinoco, recibiendo gruesos del Norte, arenas del Sur con pantanos hacia el centro. Con aportaciones sedimentarias de clastos de granos más gruesos; la Formación Mesa grada lateralmente hacia el Este a la Formación Paria.

2.5.3.- Formación Mesa de Edad Cuaternaria (Pleistoceno)

El nombre que la caracteriza fue dado por Hedberg y Pyre (1944) por sus sedimentos jóvenes que los cubren, respecto a la localidad tipo no se ha designado sección específica, ya que la formación aparece en casi todas las mesetas y los farallones que la circunda constituye una sección representativa, como en la Mesa de Guanipa (Anzoátegui). Figura 2.11. Ver fotos de formación en Anexo VII



Descripción litológica: En los límites norte y sur de la Mesa de Guanipa, la Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cemento ferruginoso cementadas y muy duras; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita, cambiando de facies en distancias cortas.

Espesor: El espesor de la Formación Mesa es muy variable, pero en condiciones frecuentes disminuye de norte a sur, como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvio-deltaica y aumenta de Oeste a Este, por el avance de los sedimentos deltaicos.

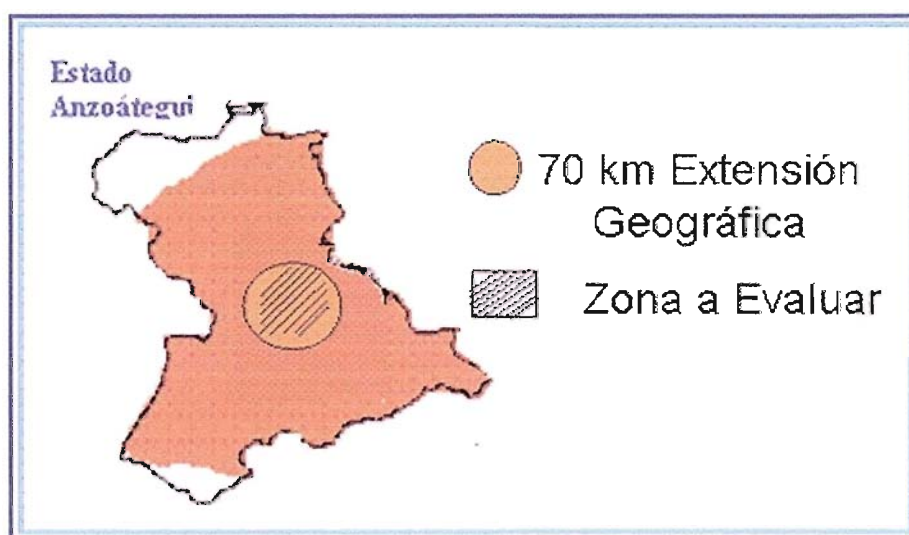


Figura 2.11. Área que cubre la Formación Mesa Estado Anzoátegui

(Tomada y modificado del código estratigráfico, PDVSA 1997)

2.5.4.- Sedimentos Aluvionales (Qal)

No se encuentran características más detalladas de los depósitos aluvionales, solo que se localizan en las pendientes que constituyen los primordiales ríos que drenan la región. El material que los compone esencialmente es la arena y grava, cuyo grosor no pasa los 10 m.

Se presenta la Columna Estratigráfica generalizada de la zona El Tigre con las formaciones características. Figura 2.12 y figura 2.13 Columna Local área estudio.



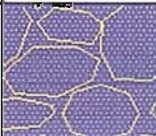
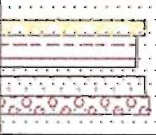
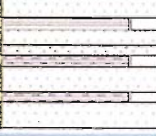
COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA REGION DEL TIGRE							
ERA	PERIODO	EDAD	FORMACIONES	CARACTERISTICAS LITOLOGICAS	DESCRIPCIONES LITOLOGICAS	ESPESORES (m)	CALIDAD DE AGUA
CENOZOICO	NEOGENO	RECIENTE	ALUVIÓN		GRAVAS DE RÍOS Y ARENA PREDOMINANTE		AGUA DULCE BUENA
		PLEISTOCENO	MESA		ARENAS Y GRAVAS AMARILLENAS, ARCILLA, CONGLOMERADOS DE COLOR ROJIZO Y LIMOLITA.	0 - 200	AGUA MUY DULCE O AGUA DULCE, BUENA Y MUY BUENA
	PLIOCENO	LAS PIEDRAS		ARCILLITAS, LIMOLITAS Y ARENISCAS DE GRANOS FINOS GRIS CLARO Y VERDOSOS CON LIGHTITOS DE POCO ESPESOR	200 - 450	AGUA MUY DULCE AGUA DULCE	

Figura 2.12 Columna Estratigráfica generaliza área El Tigre

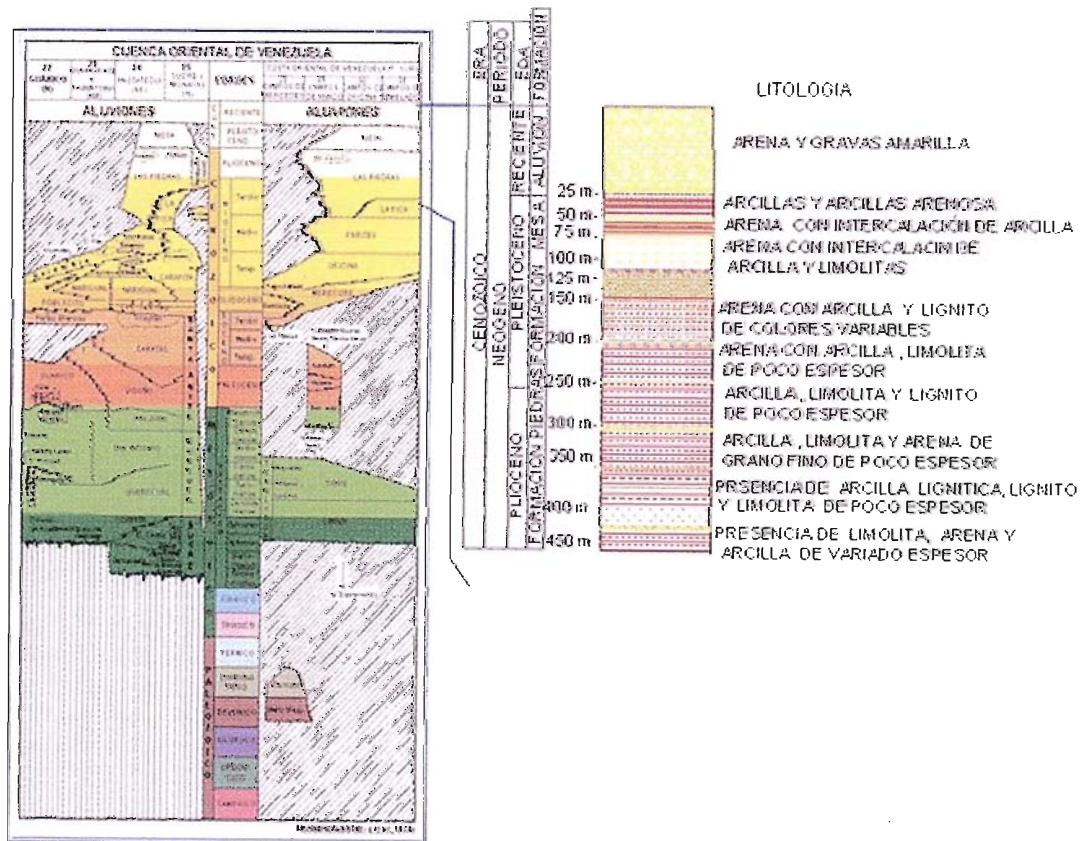
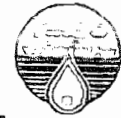


Figura 2.13 Columna estratigráfica local



2.6.- CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Esta depende de la naturaleza original y pura de la misma ya que el medio físico y base inicial del conocimiento donde se realizan todos los fenómenos Hidrológicos subterráneos son en ambientes netamente Geológicos. Ello indica que las aguas subterráneas de diferentes zonas circulan dentro de formaciones litológicas, o rocas, donde el estudio geológico preliminar es primordialmente para dar entendimiento de las dificultades que se plantean en la Hidrología subterránea.

También las sustancias disueltas en el agua natural subterránea, iones fundamentales y menores, así como los aspectos químicos e hidrogeoquímicos tendrán influencia en la determinación de la calidad del agua subterránea. Siendo los iones fundamentales:

ANIONES

Cloruro.....Cl⁻
Sulfato.....SO₄⁼
Bicarbonato.....CO₃H⁻

CATIONES

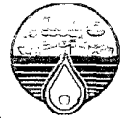
Sodio.....Na⁺
Calcio.....Ca⁺⁺
Magnesio.....Mg⁺⁺

El agua de la lluvia, el clima, la temperatura, recarga de los acuíferos, etc., cumplen un papel fundamental del mismo modo en la calidad del agua.

❖ Agua Potable

El agua potable es agua dulce que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. Para asegurar esta calidad se han establecidos valores máximos y mínimos para el contenido en minerales, diferentes iones como cloruros, nitratos, nitritos, amonio, calcio, magnesio, fosfato, arsénico etc. además de los gérmenes patógenos. El pH del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5. Estos valores se recogen en la normativa ambiental vigente 883 del artículo 14 de nuestro país. Los controles sobre el agua potable suelen ser más severos que los controles aplicados sobre las aguas minerales embotelladas. En la actualidad, se denomina agua potable a la tratada para su consumo humano según unos estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales.

En zonas con intensivo uso agrícola es cada vez más difícil encontrar pozos cuya agua se ajusta a las exigencias de las normativas, especialmente los valores de nitratos y nitritos además de las concentraciones de los compuestos fitosanitarios que superan a menudo el umbral de lo permitido. La razón suele ser el uso masivo de abonos minerales o la filtración de purines. El nitrógeno aplicado de esta manera que no es



asimilado por las plantas es transformado por los microorganismos del suelo en nitrato y luego arrastrado por la agua de lluvia al nivel freático.

También ponen en peligro el suministro de agua potable otros contaminantes medioambientales como el derrame de derivados del petróleo, lixiviados de minas, etc.

❖ **Las causas de la no potabilidad del agua son:**

- * Bacterias, virus;
- * Minerales (en formas de partículas o disueltos), productos tóxicos;
- * Depósitos o partículas en suspensión.

Al proceso de conversión de agua común en agua potable se le denomina potabilización. Suele consistir en una cantidad de compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono.

En zonas con pocas precipitaciones y disponibilidad de aguas marinas se puede producir agua potable por desalinación. Este se lleva a cabo a menudo por ósmosis inversa o destilación.

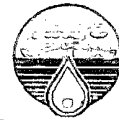
En algunos países se añaden pequeñas cantidades de fluoruro al agua potable para mejorar la salud dental.

❖ **Suministro, Acceso y Uso**

El suministro de agua potable al consumidor es un problema que ha ocupado desde hace mucho tiempo al ser humano. En algunas zonas se constrúan y construyen cisternas o aljibes que recogen las aguas pluviales. Estos depósitos suelen ser subterráneos para que el agua se mantenga fresca y a salvo de la luz del sol.

En muchos países el agua potable es un bien cada vez más escaso y se teme que se pueden desenlazar conflictos bélicos por la posesión de las fuentes.

De acuerdo al Banco Mundial, 25% de la población mundial carece de un acceso directo a los servicios de agua potable. En otras fuentes se habla de mil millones de personas sin acceso al servicio, en tanto 2 mil y medio millones no cuentan con servicio de purificación. En los países desarrollados los niños consumen de 30 a 50 veces más agua que en los países llamados en vías de desarrollo.



2.6.1.- Características físicas y químicas del agua

Estas comprenden propiedades que influyen en la producción del agua subterránea junto con las formaciones geológicas, métodos hidrogeológicos, geohidráulicos y geofísicos, de estas va depender la naturaleza del líquido cuando se ejecute el proceso de bombeo para su extracción y evaluación en cuanto a: temperatura, conductividad y resistividad, densidad, color, turbiedad, materia en suspensión, sabor y olor del agua, alcalinidad, pH, dureza, etc.

2.6.1.1 Temperatura. El agua profunda se suele mover muy lentamente, en comparación con las aguas superficiales que se escurren mucho más rápidas., es por eso que la temperatura juega un valor importante tanto para su utilidad como para la calidad hidrogeológica e hidrogeoquímica ya que varía estacionalmente en pozos pocos profundos mientras que en los acuíferos más profundos esta se mantiene constante.

Su grado invariable es de suma importancia tanto para las causas industriales, especialmente las de refrigeración y en riego para la agricultura. Ejemplo de ello es Alaska; si no fuera por las aguas subterráneas y la constancia de su temperatura se requeriría de mucho calor para transformar el hielo en agua ya que la ciudad es muy fría durante todo el año.

2.6.1.2 Conductividad y resistividad eléctrica. La conductividad es de suma importancia en la química del agua la cual dependerá de la cantidad de minerales que contenga el fluido, cuanto mayor sea la conductividad, la corriente eléctrica podrá filtrarse más libremente por el agua y será más rápido la celeridad de corrosión dependiendo del beneficio de las otras condiciones. La resistividad viene a ser lo contrario de la conductividad correlativamente, ya que la conductividad asciende análogamente a la salinidad y es más aconsejable.

En aguas naturales, las variaciones de composición permiten que no halle una concordancia precisa entre conductividad y residuo seco o contenido iónico, siendo muy favorable la reciprocidad para aguas químicamente similares con contenido aniónicos y cationicos.

Cuanto mayor sea la conductividad, menor será la ionización de los minerales que contiene el agua este crece con el contenido de iones disueltos y con la temperatura. Se debe tomar un rango de temperatura; siendo 18°C o 25°C, crece 2%/°C al variar la temperatura, la carga eléctrica, el estado de disociación, movilidad, etc, también influyen al igual que el grupo iónico al conducir electricidad en el agua.



2.6.1.3 Turbidez y Sabor. La turbidez se presenta en el agua subterránea cuando esta es explotada a la superficie de los pozos y presenta dificultad de transmisión de luz, tiene la propiedad de calcular el contenido de material coloidal y material que se encuentra en suspensión muy fina y difícil de sedimentar. El sabor que caracteriza al agua establece variedad en el líquido ya que si se presenta en el agua potable cantidades excesivas de sustancias como el cloro Cl^- más de 300 ppm genera un gusto salado, si sobrepasa los 400 o 450 ppm de SO_4^- el agua sabría salada y amarga, con gran cantidad de CO_2 libre su sabor sería picante, y se generaría contaminación en los pozos productores al exceder los límites preestablecidos.

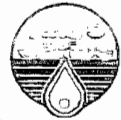
2.6.1.4 Alcalinidad. Los recursos acuíferos naturales en su mayoría presentan alcalinidad la cual es generada por las sales de bicarbonato (HCO_3^-) disueltas. Es la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos.

Tiene dos propiedades de medir el volumen del agua con respecto al pH, dependiendo del color que se genere en el análisis, se tiene el naranja de metilo con un pH de 4.2-4.5, se representa con la letra M o TAC; Alcalinidad "M", el naranja significa el lugar alcalino y el color salmón la acidez, asimismo se tiene el indicador fenolftaleína con un rango de 8.2-8.4 con color entre rojo a rosado alcalinidad "P" o "TA". El límite de pH entre el punto final "M" y el punto final "P" define la misma en donde existe la alcalinidad del bicarbonato y pueden estar presentes los ácidos débiles, siendo los más importantes el ácido carbónico, y dióxido de carbono en solución.

2.6.1.5 pH. Es la manera de expresar la concentración de ion hidrógeno con términos potencias de 10; el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno. pH; es alterado por el equilibrio de disociación del agua en sustancias disueltas, cuando la modificación de las concentraciones son muy altas se genera un cambio de equilibrio en el pH pudiendo crear un agua tanto ácida como básica. Si el pH tiene una buena ponderación en el agua subterránea de acuerdo a las formaciones geológicas de las zonas, serían óptimas para la producción, de otra manera si la estabilidad del pH es variable y no cumple con el límite establecido en el agua pura para su consumo sería perjudicial ya que suelen ser agresivas y crean dificultad en el medio ambiente y el entorno. Valores deseables menor a 6.5- 8.5. Valor máximo aceptable 9.0 para su calidad.

$$\text{pH} = \log 1/[\text{H}^+] = -\log [\text{H}^+]$$

2.6.1.6 Dureza. Concentración de sales de calcio y magnesio en forma de cationes en el agua. Es el denominador común de la mayor dificultad del agua, por el poder consumidor del jabón en el agua como tal, también se toma abecés para incluir el hierro y manganeso. Se expresa por lo general en función del bicarbonato de calcio CaCO_3 , se generan diferentes durezas como: dureza permanente; es el exceso de dureza en la



alcalinidad, dureza temporal; dureza menor o igual que la alcalinidad. Estas se designan como dureza “no-carbonato” o “carbonato”, respectivamente.

2.6.1.7.- Contaminantes que afectan la calida del agua

Uno de los factores de contaminación que se presentan en las fuentes acuíferas es el ocasionado por el escurrimiento del agua de lluvia, así como la naturaleza geológica de la cuenca receptora o del manto acuífero y las actividades del medio ambiente y de la población humana. Los contaminantes del agua que se van a analizar con más detalles se presentan en dos clases: materia disuelta y componentes insolubles, gases disueltos en los análisis de los ciclos biológicos que afectan la calidad del agua. Muchos de los materiales son transitorios debido a la actividad biológica, existen procesos de largo alcance mediante los cuales la naturaleza recicla la materia a través de los organismos vivos, los que a su vez modifican el ambiente y dejan registros en las rocas. En las tablas 2.2 y 2.3 se presentan los contaminantes con los rangos establecidos.

Como se muestra en la tabla 2.2, los materiales solubles en agua están distribuidos arbitrariamente en cinco categorías, siendo las cuatro primeras las que se basan en los niveles de concentración, mientras que la clase cinco representa a los materiales que por lo general son transitorios debido a las reacciones continuas en el medio acuático que cambian sus concentraciones.

❖ Organismos y Características Bacteriológicas

En la química y los criterios de calidad bacteriológica del agua es importante determinar los organismos microbianos que de una manera pueden afectar directamente las condiciones de salud del ser humano al producir su ingesta, por lo que se hace necesario la realización de análisis como lo son practicado en las plantas de tratamiento para agua potable en los municipios, asegurando que esta este libre de organismo patógenos.

Para este tipo de estudio se utilizan bacterias coliformes como organismos indicadores, apreciación tabla 2.3 clase 2. Las aguas del subsuelo están generalmente libres de organismos como los microbios que causan enfermedades y que están normalmente presentes en las aguas superficiales. Este es otro beneficio que resulta de la acción de filtración lenta al circular el agua a través del subsuelo. Además, la falta de oxígeno y sustento en el agua del terreno la vuelve un medio inapropiado para que los organismos patógenos se desarrollen y multipliquen.

Las anomalías a este criterio son, causados por las fisuras y conductos de disolución localizados en ciertas rocas consolidadas y en capas acuíferas de arena y grava poco profundas de donde se extrae el agua colindante de las fuentes de contaminación tales como escusados y fosas suelta.

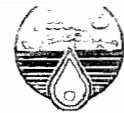


TABLA 2.2: Materiales solubles en los suministros acuíferos.

Clase 1:	Componentes primarios-generalmente en más de 5 mg/l.		
	Bicarbonato(HCO_3^-)	Magnesio(Mg^{++})	Sodio(Na^+)
	Calcio(Ca^{++})	Materia organica	Sulfato(SO_4^{--})
	Cloruro (Cl^-)	Sílice (Si)	Sólidos Disueltos Totales (TSD)
Clase 2:	Componentes secundarios-generalmente en más de 0.1 mg/l		
	Amoniaco(NH_3)	Hierro(Fe^{++} ; Fe^{+++})	Potasio(K^+)
	Borato($\text{B}(\text{OH})_4$)	Nitrato(NO_3^+)	Estroncio(Sr^{++})
	Fluoruro(F^+)		
Clase 3:	Componentes terciarios-generalmente en más de 0.01 mg/l		
	Aluminio(Al^{+3})	Cobre(Cu^{+2})	Fosfato(PO_4^{-3})
	Arsénico ((As)	Plomo (Pb^{+2})	Zinc (Zn^{+2})
	Bario (Ba^{+2})	Litio (Li^+)	
	Bromuro(Br^-)	Manganeso(Mn^{+2} ; Mn^{+4})	
Clase 4:	Componentes a nivel de trazas-generalmente en menos de 0.01 mg/l		
	Antimonio (Sb)	Cobalto (Cb)	Estaño (Sn)
	Cadmio (Cd)	Mercurio (Hg)	Titanio(Ti)
	Cromo (cr)	Níquel (Ni)	
Clase 5:	Componentes transitorios		
	Acidez-Alcalinidad		
	Ciclos biológicos		
	Componentes del ciclo del carbono orgánicos/tejidos		
	Ciclo del oxígeno		
	Componentes del ciclo del nitrógeno aminoácidos orgánicos		
	Componentes del ciclo del azufre orgánicos		
	Reacción redox		
	Materiales oxidantes		
	Del ambiente natural		
	Residuos del tratamiento		
	Materiales reductores		
	Del ambiente natural-sustancias orgánicas, residuos del Tratamiento-sustancias orgánicas, Radionúclidos		

Fuente: Kemmer, F, 1989. Nalco Manual del Agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones

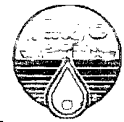


TABLA 2.3: Componentes insolubles en los suministros acuíferos

Clase 1:	Sólidos
	Flotando
	Sedimentables
	Suspendidos
Clase 2:	Organismos Microbianos
	Algas
	Bacterias
	Hongos
	Virus

Fuente: Kemmer, F, 1989 Nalco Manual del Agua

La clase 1 de la tabla 2.3 representa las características biológicas cuyos análisis microscópicos suponen un valor cualitativo de los tipos de organismos y una apreciación cuantitativa de su número.

Se puede decir que de las sustancias expuestas en la tabla 2.2 las de la clase 1 contenidos por los componentes primarios de los cuales algunos representan a los aniones y cationes son los que se encuentran casi siempre presentes en su totalidad en las aguas subterráneas naturales para su calidad, se generan como contaminantes si superan los límites establecidos, para el agua de consumo, industrias y regadío.

❖ El nitrato en el agua subterránea

El nitrato es el contaminante inorgánico más conocido y quizás uno de los que genera mayor preocupación. El nitrato se origina de diferentes fuentes: aplicación de fertilizantes, pozos sépticos que no estén funcionando bien, lagunas de retención de desperdicios sólidos no cubiertas por debajo y la infiltración de aguas residuales o tratadas. El envenenamiento con nitrato es peligroso en los infantes. Altos niveles de nitrato en el cuerpo pueden limitar la habilidad de la sangre de transportar oxígeno, causando asfixia en bebés. Esta condición podría ser fatal si no se trata a tiempo. Figura 2-14.



Figura 2.14: Contaminación del agua subterránea por desechos
Fuente: www.atsdr.cdc.gov/es/general/es_groundwater_fs.html

Bicarbonato (HCO_3^-). El ión bicarbonato es el componente alcalino principal de casi todas las fuentes de agua generalmente se halla en el rango de 5-500 mg/l, como CaCO_3 . Es introducido por la acción disolvente del CO_2 en el agua por medio de la labor bacteriana sobre los minerales que contienen carbonato, también se relaciona con el CO_2 gas, CO_2 disuelto, CO_3H^- , $\text{CO}_3^{=}$ y pH.

Estos iones comunican alcalinidad al agua subterránea dando capacidad de consumo de ácido al producir una solución útil. Su concentración varía entre 50 y 350 ppm (partes por millón) en aguas dulces pudiendo en algunos casos de llegar hasta 800 ppm. No presenta problemas de toxicidad las aguas bicarbonatadas sódicas son perjudiciales para riego, debido al Na presente en el terreno y de un medio alcalino.

❖ **Calcio (Ca^{++}).** Este componente es el principal de la dureza en el agua y habitualmente se encuentra en el rango de 5-500 mg/l, como CaCO_3 , y como Ca desde 2-200 mg/l. Se presenta en muchos minerales, sobre todo en las piedras calizas y en yeso. El calcio eliminado del agua durante las operaciones de ablandamiento regresa después al medio ambiente, con frecuencia a la cuenca colectora, por medio de un precipitado o una salina que es el subproducto de la reacción del ablandamiento. En las formaciones el calcio que se encuentra en el agua dulce debe comprender límites entre 10-200 ppm.

❖ **Cloruro (Cl).** Las aguas dulces en su totalidad constan de cantidades deseables de cloruro ya que este es muy soluble en dicha fuente, en cantidades de 10 a 100 mg/l.



El agua de mar su contenido es de más de 30000 mg/l en su aspecto de cloruro de sodio (NaCl). El agua potable presenta sabor salado si sobre pasa los 300 ppm y genera contaminación en pozos productores de dicho liquido, en pocas cantidades se permite consumo al ser humano ya que no es perjudicial, muchas partes por millón miles generan daño a la parte vegetal así como corrosividad al agua subterránea. Geológicamente se dice que formaciones pasadas, que en algún tiempo fueron fragmentos de depósitos rocosos marinos de cloruro, presenten filtraciones duraderas en las fuentes de aguas dulces. La concentración establecida para consumo humano es de 10-250 mg/l o ppm (parte por millón).

❖ **Magnesio (Mg^{++})**. La originalidad del magnesio se genera por medio del hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$ mediante el agua del mar. Es un componente fundamental de numerosos minerales, como dolomita, magnesita y muchas variedades de arcilla. El magnesio varia en forma típica desde 10-50 mg/l, aproximadamente 40-200 mg/l como $CaCO_3$, la concentración del magnesio en el mar es 5 veces aproximadamente la del calcio en base equivalente. Actúa como laxante y genera sabor amargo al agua de consumo si se produce en gran cantidad, además favorece a la dureza del agua. Su valor promedio en consumo es en el orden de 1-120 ppm.

❖ **Sulfato (SO_4^-)**. Se muestra como una sal moderadamente soluble a muy soluble, de la oxidación de los minerales sulfurosos y de minerales especialmente como el yeso. El limite superior sugerido en agua potable es 250mg/l basado en el sabor amargo y en su efecto catártico (laxante) en concentraciones de Magnesio (Mg) o sodio (Na), también puede ser nocivo a las plantas en grandes cantidades, siendo su rango característico 5-200 mg/l.

❖ **Silice (SiO_2)**. Esta presente en casi todos los minerales que contiene el agua del subsuelo en un rango de concentración generalmente entre 1-100 mg/l en aguas naturales y bicarbonatadas sódicas, en aguas muy básicas se puede llegar hasta un total de 1000 ppm. Es indeseable en el agua de reposición para calderas y calentadores por las incrustaciones que se forman.

❖ **Sólidos disueltos totales (TSD)**. Es la suma de todos los materiales disueltos en el agua subterránea consta de muchas fuentes minerales en las formaciones. En las industrias su efecto es limitar el grado de concentración en el agua antes de que sea desechada. Cantidades excesivas dan un mal sabor al agua de bebida. Su rango usual es 25-5000 mg/l, el limite sugerido en los suministros de agua casera, basadas en la potabilidad, es de 600 mg/l. Los sólidos disueltos se pueden reducir en el agua de



subsuelo por medio de una reducción en los componentes residuales. El proceso de corrosión que genera en el agua se debe a la conductividad eléctrica.

2.7.- NORMATIVAS AMBIENTALES

Las normas permiten describir los procedimientos pertinentes que rigen la calidad del ambiente y del agua, así como también para la salud y seguridad, la protección de áreas frágiles, las especies en extinción, ubicación y el control del uso de la tierra, a nivel internacional, nacional y local.

Es por esto que de acuerdo al estudio que se esta realizando, es necesario la revisión de una serie de artículos los cuales determinan las normas a seguir para la prevención y conservación del medio ambiente, por consiguiente de la calidad del agua subterránea en el campo de pozo y su entorno.

Se menciona a continuación una de las reglas a seguir del:

2.7.1.- Decreto N° 883 de la República de Venezuela N° 5.021 (1995)

Considerando

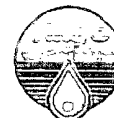
Que es deber del Estado la protección de las cuencas hidrográficas, la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y el control de los vertidos o efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente

2.7.2.- Reglas Hidroven

Estas normativas tratan de nivelar y ajustar los distintos discernimientos que se han venido instituyendo y siguiendo, concerniente a los propósitos de suministro de agua potable.

Estas normas constituyen la manera de aplicación de la materia y de las correcciones que deben seguir en cuanto a los proyectos de construcción, operación y mantenimiento de las obras sanitarias en general y de los abastecimientos de agua potable en particular.

Los artículos siguientes indican referencia sobre la otorgación del agua a la ciudadanía.



Artículo 1° Todo núcleo o conglomerado humano, constituido o por constituirse, cualesquiera que sea la índole de su utilización o funcionamiento, deberá ser dotado de agua potable en las cantidades suficientes, que permitan la realización de las actividades humanas que les son inherentes.

Artículo 2° Las fuentes de abastecimiento que se seleccionen para dotar de agua potable a todo centro poblado, según el artículo anterior, podrán ser superficiales o subterráneas y en cualquiera de los casos, deberán ser protegidas sanitariamente, de acuerdo con las normas que al respecto dicte la Autoridad Sanitaria Competente.

Artículo 3° El agua que se suministre para el uso y consumo de todo centro poblado, de acuerdo con lo dispuesto en el **Artículo 1°**, deberá ser potable y a tal fin debe cumplir con los requisitos exigidos por las “Normas de Calidad de Aguas de Consumo” vigentes, promulgadas por la Autoridad Sanitaria Competente. Ver tabla 2.4.

Tabla 2.4.- Componentes relativos a la calidad organolépticos del agua potable

Componentes o características	Unidad	Valor Deseable menor a	Valor Máximo Aceptable (a)
color	UCV	5	15 (25)
Turbiedad	UNT	1	5 (10)
Olor o Sabor	---	Aceptable para la mayoría de los consumidores	
Sólidos disueltos totales	mg/l	600	1000
Dureza total	mg/l CaCO ₃	250	500
pH	---	6,5 – 8,5	9
Aluminio	mg/l	0,1	0,2
Cloruro	mg/l	250	300
Cobre	mg/l	1,0	(2,0)
Hierro	mg/l	0,1	0,3 (1,0)
Manganeso	mg/l	0,1	0,5
Sodio	mg/l	200	200
Sulfato	mg/l	250	500
Cinc	mg/l	3,0	5,0

Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la Autoridad Sanitaria

UCV: Unidades de color verdadero

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad



2.8.- ANTECEDENTES DE ESTUDIOS PREVIOS

Las exploraciones hidrogeológicas preliminares llevadas a cabo en la región de El Tigre Municipio Simón Rodríguez, datan a partir de las realizadas en la Mesa de Guanipa en los años setenta 70 ya que dicha zona comprende los predios de la Mesa y sus condiciones geológicas son muy similares y se refiere al mismo acuífero. La mayor cuantía de estudios realizados para dicha época fue ejecuta por la División de Hidrogeología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR).

❖ En el año de 1970 se realizó el primer estudio del medio poroso de algunas regiones del país, efectuadas por la DIVISION DE HIDROGEOLOGIA del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (MMH); actualmente perteneciente al (MARNR), generada por medio de la interpretación cualitativa de registros eléctricos de pozos estructurales y exploratorios, perforados por las petroleras; en escala de 1:250.000, donde se incluía la Mesa de Guanipa. Este estudio permitió determinar los sitios de mejor acumulación de agua.

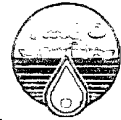
❖ Para 1971 la empresa GEOSCA efectuó las primeras exploraciones geofísicas de aguas subterráneas en la región oriental de la Mesa de Guanipa, por medio del Método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). De esta manera se trató de comprobar el entorno existencial del suelo para la acumulación del agua subterránea.

❖ La DIVISIÓN DE HIDROGEOLOGIA con la colaboración de la empresa GEOCIN a partir de ese mismo año 1971 incremento las exploraciones hidrogeológicas en la zona de la Mesa de Guanipa iniciando con la perforación de 16 pozos de observación profunda, 11 pozos de observación somera y 4 pozos de prueba de bombeo.

❖ En base a la interpretación de registros eléctricos, para el año 1973 la DIVISIÓN DE HIDROGEOLOGIA realizó el estudio del medio poroso de la hoja cartográfica El Tigre número 7342, en escala 1: 100.000. Así se pudo evidenciar las diferentes litologías, porosidad de las capas permeables y la calidad del agua subterránea.

❖ Las exploraciones hidrogeológicas preliminares llevadas a cabo comprendidas entre los años 1971-1973 indicaron un volumen considerable de recursos de agua subterránea en la región de la Mesa de Guanipa. Arrojanando un agua de excelente calidad y en ese tiempo se estimó que era posible explotar unos 20 m³/sg del recurso en la parte central de la región. Mediante un modelo matemático realizado en el mismo período 1973 del sistema hidrogeológico, se creó el pronóstico del potencial de aprovechamiento de las aguas subterráneas en un área alrededor de 2600 km².

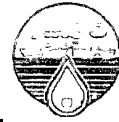
❖ SANTOS A. ya para 1974 realizó un estudio hidrogeológico general de la parte central del área mayor de oficina, el cual cubre una superficie de 2240 km², en forma somera en donde se describen los acuíferos, asimismo se realiza un estimado preliminar del volumen del medio poroso y de la capacidad máxima de aprovechamiento de las aguas, hasta una profundidad de 450 m.



- ❖ El año 1976 se elaboro por medio de la DIVISION DE HIDROGEOLOGIA, el proyecto de exploraciones hidrogeológicas detalladas, que consistió en una mayor densificación de pozos de observación, para así verificar y completar los datos de las exploraciones preliminares, permitiendo los resultados recaudados determinar el volumen de las reservas renovables de aguas subterráneas, así como la posible situación de explotación de este recurso.
- ❖ En 1978, Bueno E. efectuó dos estudios regionales donde incluyo la zona de la Mesa de Guanipa. En primer lugar se realizo la evaluación mediante el análisis de las curvas de receso en los hidrógramas de estaciones hidrométricas, realizándose una estimación del orden de magnitud de los recursos renovables de las aguas subterráneas de la región Nor-Oriental de Venezuela. En segundo lugar geomorfológicamente estableció por medio del análisis estadístico de la longitud de todos los cursos de agua superficiales en relación al lugar que ocupan, los caracteres permeables e impermeables de los sedimentos superficiales en los llanos venezolanos. De acuerdo a la investigación estadística de la longitud del recorrido de agua, se logro un enfoque aproximado de las estructuras neotectónicas presentes en la región.
- ❖ Entre 1977 y 1978 se realizaron exploraciones hidrogeológicas donde se perforaron seis pozos exploratorios de observación iniciándose el proyecto con exploraciones detalladas y ampliación del sitio de investigación hacia la parte norte y oeste de la Mesa de Guanipa. Los sondeos en el área ampliada comprendieron la perforación de nueve pozos exploratorios con profundidades que van desde 146 m mínimo y 200 m máximo, con un total de 1613 m de perforación. Se tomaron muestra del material durante la perforación realizada para análisis granulométrico, en todos los pozos perforados se corrieron registros eléctricos de potencial espontáneo, resistividad y conductividad. De 12 muestras de aguas tomadas de los pozos perforados se realizaron reconocimientos químicos, 4 de las muestras escogidas son de capas acuíferas someras, el resto pertenecen a las capas profundas.
- ❖ En 1980, se realizó una versión mejorada donde se tomó en cuenta la reducción del espesor saturado del acuífero, es decir, la reducción de la transmisividad en función del descenso de la mesa de agua, titulada “Modelo Matemático Avanzado de Aguas Subterráneas – Región Mesa de Guanipa”. Por tanto en este modelo se calculó el abatimiento adicional y se sumo al valor determinado en los caudales de bombeo.
- ❖ La “Evaluación y Prospección de Recursos Hidráulicos en Anzoátegui Central” fue realizada para el año de 1990, su objetivo principal es el de determinar el régimen de las aguas subterráneas en dicha zona, o sea las variaciones en el espacio y en función del tiempo de los recursos, además los niveles, la producción, las direcciones y gradientes subterráneas y la clasificación química de los acuíferos, conjuntamente con la relación entre descarga y recarga, con la finalidad de que se realice a partir de este estudio un Modelo Matemático, que instaure las estrategias de explotación y adiestramiento más racional de los recursos de aguas subterráneas.



CAPITULO 2 MARCO REFERENCIAL



❖ En la actualidad para el 2005 se realizo una valoración la cual lleva por titulo” Evaluación de la Disponibilidad del Recurso Agua Subterránea en el Acuífero De la Mesa de Guanipa, Estado Anzoátegui”. La cual fue realizada por MOSQUERA L y PARRAVANO V, En este sentido surge la necesidad de hacer esta investigación, ya que la falta de agua dulce frena el desarrollo de la región, la cual tiene un gran potencial agrícola, así como también disminuye la calidad de vida de sus habitantes. Las aguas subterráneas representan en esta zona una fuente de agua suplementaria, es por esta razón que la búsqueda e investigación de los recursos de aguas subterráneas para la evaluación de su explotación y su conservación, es de vital importancia para el desarrollo económico reservas de la región.