

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE BOYACA

CORPOBOYACA

**MAPA HIDROGEOLOGICO
DE BOYACA**

CARTILLA TECNICA

César O. Rodríguez N.
Hidrogeólogo M.Sc. Ph. D.
Consultor

Diciembre - 1999

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE BOYACA

CORPOBOYACA

**MAPA HIDROGEOLOGICO
DE BOYACA**

CARTILLA TECNICA

César O. Rodríguez N.
Hidrogeólogo M.Sc. Ph. D.
Consultor

AGUAS SUBTERRANEAS

CARTILLA

Aspectos Generales

1. IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRANEA

La importancia que reviste el agua subterránea está en la necesidad de suministrar agua a las poblaciones que, o bien se encuentran lejos de cualquier otra fuente posible o carecen de fuentes superficiales perennes para su abastecimiento, o que teniendo posibilidad de una u otra se requiera estudiar la forma más económica de suministro tomando en cuenta factores diversos y realizando que ambas fuentes presentan problemas, desventajas y ventajas en su operación y mantenimiento ; así mismo la necesidad de extender cada vez mas las zonas para riego y suplir la deficiencia de agua derivada de la escasez de lluvia o de su no conveniente distribución para los cultivos obliga a pensar en una adecuada e intensiva explotación del agua subterránea siéndolo imperioso en aquellas zonas carentes de aguas superficiales.

VENTAJAS

- El agua subterránea es un agua no poluida y segura de polución.
- El agua subterránea es un poco mas dura y más mineralizada que el agua superficial de una misma localidad.
- No es necesario pensar en remoción de sedimentos cuando el suministro es por medio de aguas subterráneas.
- Presenta mayor economía con relación a las aguas superficiales.

DISTRIBUCIÓN

Cantidad Aproximada de agua libre presente sobre la tierra $1370 \times 10^6 \text{ Km}^3$

Distribuida así :

97.2% Agua salada y por lo tanto no puede ser utilizada para agricultura ni para el uso doméstico.

2.1% Se encuentra en Estado Sólido (nieve - hielo).

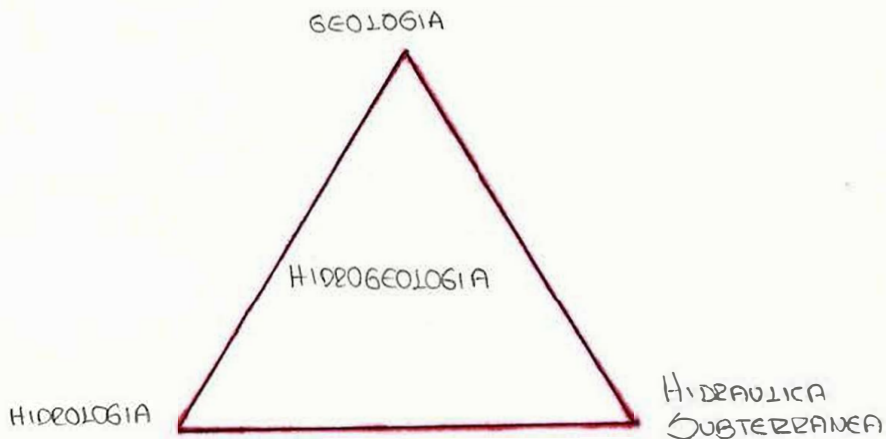
0.001% Se encuentra formando parte de la atmósfera como vapor de agua.

Quedan por lo tanto 0.6% para ser utilizado por la humanidad, el cual corresponde a $8.2 \times 10^6 \text{ Km}^3$ de la cual se encuentra en los ríos, corrientes y lagos de agua dulce.

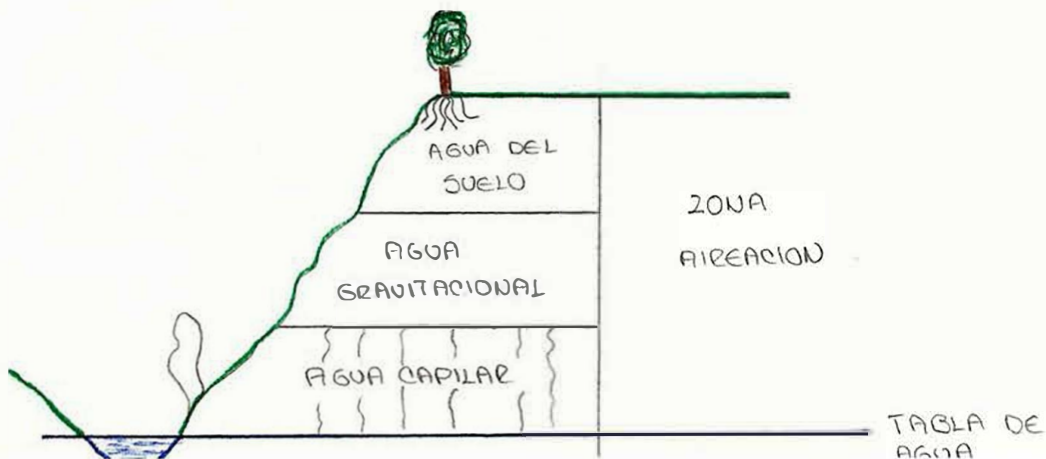
La cantidad de 101.000 Km^3 , es decir el 99% de toda el agua disponible se encuentra en el subsuelo como Aguas Subterráneas.

2. OCURRENCIA DEL AGUA SUBTERRANEA

El agua Subterránea se encuentra donde la lluvia pueda penetrar a través del suelo y donde pueda moverse por los poros por acción de la fuerza de gravedad.



La geología controla la distribución del agua subterránea, la hidrología determina el abastecimiento de agua, la hidráulica de aguas proporciona las leyes y ecuaciones que rigen el movimiento. Estas ramas, estudian el agua en sus etapas de exploración, evaluación, prospección, aprovechamiento y optimización.



ZONA DE AIREACIÓN

Los poros se encuentran llenos de aire y parcialmente de agua

ZONA DE SATURACION

Los espacios intergranulares se encuentran saturados

AGUA GRAVITACIONAL

Adherida a la superficie de los materiales que conforman el suelo o roca

AGUA CAPILAR

se encuentra agua que asciende desde la Zona Saturada por el fenómeno de capilaridad.

Procedencia del Agua Subterránea. El origen del agua que se encuentra en el subsuelo, puede ser de los siguientes tipos :

- La fuente principal de alimentación del agua al subsuelo son las aguas meteóricas, procedentes de las precipitaciones atmosféricas.
- Las aguas metamórficas, son aquellas que se forman en los procesos fisicoquímicos de meteorización de las rocas en profundidad.
- Las aguas juveniles, son las que se forman en los procesos de diferenciación magmática, en el ascenso de las rocas ígneas hacia la superficie de la tierra.

Los depósitos de agua subterránea están controlados por los procesos de recarga y descarga. La recarga se produce mayoritariamente por la infiltración de aguas lluvias a través de materiales permeables. La descarga se produce por la evapotranspiración de las plantas y manantiales que drenan hacia los cursos de agua principales ó que son aprovechados en los sitios de manifestación. Otra posibilidad de drenaje es la constituida por obras artificiales como pozos, apiques o sondeos, o como llegan a convertirse las estructuras subterráneas artificiales, como los túneles o las labores mineras.

3. MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA

Teoría General del Agua Subterránea

En hidráulica se reconocen dos regímenes de flujo ; el laminar que es aquel en el cual las partículas del fluido siguen trayectorias paralelas, y el turbulento en donde las partículas se mueven en una forma desordenada imposible de seguir, ocurriendo choques intermoleculares que producen mayores pérdidas de energía ; estos regímenes se reconocen en el flujo de un fluido por entre una tubería con un parámetro adimensional denominado Número de Reynolds, y el cual está dado por :

$$R v.d/V$$

v , es la velocidad del flujo en m/seg
 d , es el diámetro de la tubería en m
 V , es la viscosidad cinemática en m^2/seg
 R , es el Número de Reynolds

Se dice que cuando el Número es mayor de 2000, el régimen es turbulento.

En aguas subterráneas el movimiento es tan lento que generalmente tenemos siempre un régimen laminar, aunque puede presentarse situaciones locales o particulares como en las inmediaciones de un pozo por ejemplo, o en el movimiento del agua a través de las rocas cársticas, en donde debido a una mayor velocidad del agua el Número de Reynolds alcance valores por encima de los límites que aseguren el comportamiento laminar; el valor de d que generalmente se toma para el cálculo del No de Reynolds para definir el régimen del movimiento del agua por entre un medio poroso es el diámetro promedio de los granos sólidos; tomemos como velocidad del movimiento del agua subterránea como 0.0005 m; en estas condiciones el valor del Reynolds es de 0.15; a la entrada del agua por entre las rejillas de un pozo en donde la velocidad puede aumentarse hasta 3 cm/seg, el valor del Número de Reynolds podrá pasar de 10y por lo tanto posiblemente se tenga régimen turbulento pero al alejarnos unos metros del pozo ya la velocidad se reduce a un décimo o centésimo, quizás del valor existente en las paredes del pozo y por lo tanto se obtiene con seguridad un valor del Reynolds que asegure el régimen laminar.

La diferencia entre los regímenes laminar y turbulento consiste en que para el primero las pérdidas de energía son proporcionales a la velocidad, mientras que para el turbulento, al cuadrado de la velocidad; además el análisis matemático es más sencillo de efectuar para el laminar.

El agua subterránea se mueve por acción de la fuerza de gravedad a través de los materiales permeables que lo permiten, este movimiento esta controlado por la geología, hidrología y su interrelación con la topografía.

La dirección y velocidad del agua subterránea es un parámetro que hay que establecer en cualquier estudio que se haga, para ello se pueden aplicar conceptos geológicos ya que el agua se mueve siguiendo el buzamiento de los estratos o bien acudir al uso de trazadores, o por medio de las redes de flujo.

La velocidad del agua subterránea varía con la permeabilidad de la roca y del gradiente hidráulico.

En términos generales, por ejemplo en arena la velocidad es del orden cm/día, en gravas m/día, en las arcillas o suelos arcillosos donde el agua se mueve con facilidad menor cm/año.

El agua de escorrentía de origen meteórico, se infiltra en los terrenos, cuanto mayor sea la permeabilidad de estos. Una vez que penetra en el terreno se forman dos zonas en sentido vertical, la zona de aireación y la de saturación. En la zona de aireación el agua va percolando y va rellenando los huecos en los que coexiste con el aire arriba. En su descenso, llega a la zona de saturación, a la que alimenta, y en la que el agua llena todos los poros del material.

El límite superior de esta zona es una superficie de equilibrio, en la cual, la presión del agua es igual a la presión atmosférica, si se trata de un acuífero libre. Si se trata de un acuífero confinado, la presión en el límite superior de la zona de saturación, será superior a la atmosférica y estará determinada por el contacto con la formación impermeable suprayacente.

Mientras que en las zonas de aireación el agua fluye en sentido vertical, en la zona de saturación el movimiento tiende a ser horizontal, estando controlado por el potencial hidráulico y por las características de los intersticios, si estos son grandes o pequeños (influencia de los factores peliculares y de fricción), si están interconectados entre sí o si hay zonas preferentes de circulación como fracturas o contactos entre estratos.

INFILTRACION

La infiltración es el volumen de agua que procedente de las precipitaciones (a veces también de los ríos o de la recarga artificial) en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes. No toda la infiltración alcanza la zona saturada, pues en mayor o menor proporción, una parte queda en la zona superior (agua edáfica) y vuelve a la atmósfera por los fenómenos de evapotranspiración.

El volumen de agua que alcanza la zona saturada, a veces se denomina lluvia eficaz, infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda.

FLUJO O BALANCE HIDRICO GLOBAL

La ecuación del balance hidráulico es la misma ecuación de la continuidad, basada en el Axioma de Lavoisier de que "nada se crea, ni se destruye" y se expresa :

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \pm \text{Variación de Almacenamiento}$$

Esta ecuación es aplicable a una región o acuífero y en un tiempo cualquiera. Cuando la unidad de tiempo es grande, se considera que las variaciones en

volumen almacenado son despreciables y en este caso, las entradas son iguales a las salidas.

El balance puede ser analizado con mas detalle, recordando que el aporte o volumen de los ríos se compone de una escorrentía superficial y de una subterránea ; y que, el volumen de agua que alcanza la superficie del suelo y no circula directamente sobre ella, se descompone en una parte que se evapora o es transpirada por la vegetación y otra que alcanza la zona saturada y va a alimentar los ríos.

RECARGA Y DESCARGA

Recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua.

La descarga natural es el volumen de agua que en un periodo de tiempo sale del embalse subterráneo a través de los manantiales terrestres, subfluviales o submarinos, y también por evapotranspiración, si la zona saturada queda próxima a la superficie en amplias áreas. La descarga natural es equivalente a la escorrentía subterránea cuando los manantiales submarinos o subfluviales y la descarga por evapotranspiración son inexistentes o muy pequeños.

4. ¿ COMO SE BUSCA EL AGUA SUBTERRANEA ?

METODOS DE EXPLORACION DEL AGUA SUBTERRANEA

La exploración es el conjunto de operaciones o trabajos que permiten la localización de acuíferos de los que se puede obtener agua en cantidad y de calidad adecuada para un determinado fin.

TIPOS DE ESTUDIOS

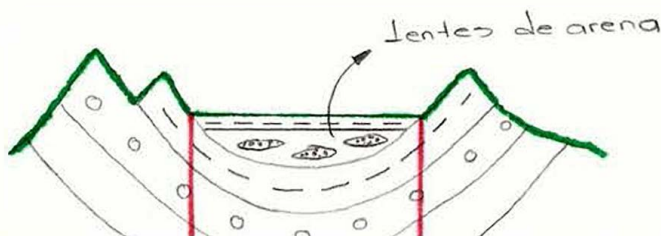
- 1. ESTUDIOS DE RECONOCIMIENTO.** Su objeto es la localización de los embalses subterráneos, estimación de las dimensiones, parámetros hidrológicos de las de recarga y descarga y la calidad del agua. La geología analizada con criterio hidrogeológico, juega el papel decisivo.
- 2. ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS GENERALES.** Conducen a una cuantificación más aproximada de los acuíferos. Figuran mapas litológicos y estructurales, de isopiezas, isotransmisibilidades, oscilaciones de niveles piezométricos, isopacas, profundidad de la zona saturada, concentraciones

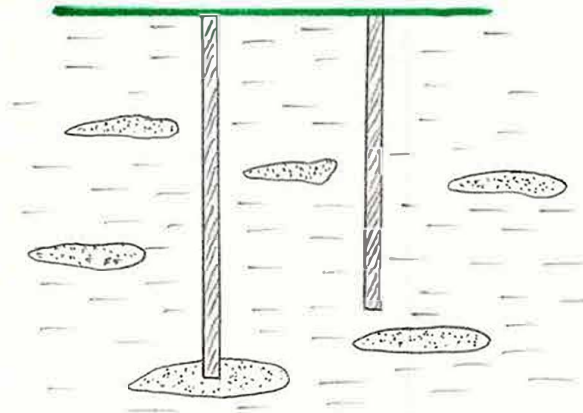
iónicas , etc. Se realizan inventarios de puntos de agua, prospección geofísica, sondeos mecánicos, ensayos de bombeo y análisis químicos.

- 3. ESTUDIOS DE DETALLE.** Conocimiento pormenorizado del acuífero, que permita resolver una demanda de agua concreta ; son estudios de exploración y explotación donde los datos hidrológicos y técnicos de las captaciones son importantes. Por lo general se instalan piezómetros y la realización de algunos pozos experimentales.

TECNICAS AUXILIARES EN LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

- **Recopilación de la información.** Se obtienen datos históricos sobre la región en general.
- **Estudio de la demanda de agua.** La causa determinante de los estudios hidrogeológicos, es la necesidad de atender la demanda actual o futura del agua.
- **Métodos Geológicos.** El Mapa Geológico con la ayuda de las fotografías aéreas, son instrumentos básicos para el estudio de aguas subterráneas por la naturaleza litológica y las características estructurales de los afloramientos de las rocas. Estos datos en conjunto con los sondeos mecánicos y la prospección geofísica, deducen la profundidad y la historia geológica de los materiales. La interpretación hidrogeológica se basa en la identificación de las formaciones permeables y de las poco o muy poco permeables. La geología determina también límites y unidades como llanuras, fosas tectónicas, zonas de subsidencia, etc. Los perfiles geológicos y los diagramas tridimensionales son útiles para la visión geométrica de los acuíferos. Se elabora así un Modelo Hidrogeológico Conceptual: rocas permeables, rocas impermeables, comportamiento del agua subterránea, zonas de recarga, dirección, movimiento, etc. Con el Modelo Hidrogeológico se llega a inferir cuales son los acuíferos, espesor, como se alimentan, etc.
- **Métodos Geofísicos.** El reconocimiento geológico debe acompañar los trabajos geofísicos, ya que ayudan a despejar las dudas si hay o no acuíferos o sobre la profundidad y espesor de los mismos, se comprueba la geología en superficie y que se supone que hay en el subsuelo.





Los lentos de arena darán incidencia, los métodos Geofísicos suprimen cualquier dato

- **Estudios Climatológicos.** Estudios de la precipitación y la evapotranspiración de la zona ya que son los factores cuantitativamente más importantes en el balance hidráulico de la región.
- **Métodos Hidrológicos.** La información que concierne a la ubicación y caudal de los manantiales ya que resume aspectos de las condiciones hidrogeológicas del área. Establecer el balance hídrico que permite inferir infiltración, magnitud, inventario de puntos de agua (manantiales, aljibes, pozos, etc.)
- **Métodos Hidroquímicos.** La calidad del agua suele ser tan importante como la cantidad, por ello al inicio de los trabajos debe programarse la toma y análisis sistemático de muestras de agua, que permitan conocer su variación en el espacio y en el tiempo.
- **Métodos Hidrogeológicos propiamente dichos:**

Obtención de datos básicos

- ◆ **Instalación de la Red de Observación.** Los datos sobre hidrología y geometría de un embalse subterráneo y su funcionamiento se obtienen mediante una red de pozos de observación y/o piezómetros, que otorgan datos como espesor de los acuíferos, oscilaciones de nivel, permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y la obtención de muestras de agua.
- ◆ **Operación de la Red de Observación.** Toma de datos de las medidas de niveles piezométricos y las observaciones de calidad física y química (toma de muestras o registros de conductividad y temperatura).

Síntesis Hidrogeológica

Constituye los instrumentos que sirven para poder definir los acuíferos de la zona y sus posibilidades de explotación para atender la demanda considerada.

- ◆ **Estimación o evaluación de las características geométricas e hidrológicas de los embalses subterráneos.** Se basará en los mapas litológico-estructurales, definidos por la geología, la geofísica y en los datos de permeabilidad. La mejor forma de expresar la síntesis es por medio de mapas de líneas isopiezas, de igual profundidad de la zona saturada, igual capacidad específica, transmisividad, permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, porosidad, etc.
- ◆ **Estimación de la Dinámica o funcionamiento del embalse subterráneo.** Su funcionamiento natural y luego, las variaciones que va a introducir la acción humana.
- **Técnicas Especiales.** Las técnicas especiales que están más en boga son las radioisotópicas de isótopos ambientales y la teledetección (remote sensing). Las fotografías en color, resultan eficaces para estudiar la geología, la termografía o fotografías con rayos infrarrojos. A partir de la temperatura del subsuelo a 0.5 o 1 m de profundidad variaciones verticales o de la propia agua subterránea. La Radioestesia o Rábdomancia, aunque no es un área de investigación merece la pena su mención.

5. EVALUACION DEL AGUA SUBTERRANEA

Cálculo de Reservas

Se llaman reservas, en sentido amplio, a la totalidad de agua movilizable existente en un acuífero o sistema acuífero. Sin embargo existen imprecisiones :

- Definición de los límites del acuífero, especialmente en cuanto a la profundidad en rocas consolidadas masivas, como granitos fisurados o las grandes acumulaciones de calizas o basaltos. Por ello conviene definir la profundidad del cálculo de reservas, basándose en criterios estratigráficos, permeabilidad, porosidad (por debajo de cierta profundidad en que la roca es impermeable y/o compacta) y técnico-económicos, etc.
- Tratar de definir el límite superior, este puede tomarse como la superficie del terreno, en cuyo caso en las reservas se incluye el agua contenida en la zona no saturada. Usualmente, el límite superior se toma coincidente con el nivel freático o límite superior de la zona de saturación. En el primer caso el contenido de agua es variable de una época a otra y en el segundo caso ese límite de saturación cambia según varíen las condiciones de recarga y

descarga. Al definir reservas hay que especificar las condiciones del límite superior, o dar valores máximos y mínimos.

La cantidad de agua contenida es el producto del volumen considerado por la porosidad media (poros y/o fisuras) o mejor la suma de productos de los diferentes volúmenes de características mas o menos homogéneas en que se puede descomponer el volumen total, por la porosidad media que caracterizan cada uno, teniendo en cuenta el factor tiempo de drenaje.

Al variara las presiones, se produce la aparición o desaparición de agua de acuerdo con el coeficiente de almacenamiento elástico (depende de la compresibilidad del agua y de la elasticidad del medio acuífero).

Si las reservas se miden en volumen, habría que considerar ese hecho, pero con correcciones pequeñas. Más importantes son las variaciones del coeficiente de almacenamiento por reacciones no elásticas que reducen la porosidad, tales como la consolidación, las cuales modifican con el tiempo el volumen de reservas contabilizantes para un mismo volumen de referencia.

En el momento de evaluar reservas deben tenerse en cuenta las características hidrogeológicas de los diferentes materiales que conforman el sistema y el factor tiempo.

Las formaciones acuíferas son susceptibles de un vaciado relativamente rápido y sus reservas son movilizables en un tiempo breve. No sucede lo mismo con los acuitardos, que pueden representar un volumen de agua muy importante en el sistema, pero que solo se moviliza muy lentamente ; no se pueden considerar como reservas si se pretende su movilización en poco tiempo, pero sí son reservas cuando se trata de hacerlo en un tiempo largo de muchos años.

Para saber cuanta agua se mueve ene el subsuelo, se utilizan los conceptos de Transmisividad y permeabilidad, teniendo en cuenta la Ley de Darcy.

$$Q = K I A$$

$$T = K b \quad (b : \text{espesor del acuífero})$$

$$Q = T I W \quad (W : \text{espesor del acuífero})$$

6. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

HIDROGEOQUIMICA

El agua superficial y subterránea lleva iones disueltos que va adquiriendo desde que precipita en forma de lluvia en donde disuelve el CO₂ presente en la

atmósfera cuando cae en la superficie del suelo comienza a disolver otros iones proceso que continua en su movimiento a través de la roca. Mas del 94% de los iones que posee el agua en solución tanto superficial como subterránea. Son :

CATIONES	ANIONES
Ca	CO ₂
Mg	HCO ₃
Na	Cl
K	NO ₃
Fe	SO ₄

Algunos pueden contener trazas muy difíciles de medir en laboratorios convencionales. En base con los análisis químicos se pueden llegar a determinar hacia donde fluye el agua, su dirección y movimiento.

Todo estudio de recursos hidráulicos debe incluir un capitulo que trate de las características del agua con vistas a su utilización, y aparece así el concepto de calidad.

El agua es el solvente más abundante, y es capaz de incorporar gran cantidad de sustancias al estar en contacto con los terrenos por los cuales circula.

Las aguas subterráneas tienen una mayor oportunidad de disolver materiales por las mayores superficies de contacto, lentas velocidades de circulación y mayores presión y temperatura a las que están sometidas y facilidad de disolver CO₂ del suelo no saturado. Por ello, sus concentraciones salinas son superiores a las de las aguas superficiales, en general.

Estas mismas condiciones físicas a que se hallan sometidas las aguas subterráneas suponen así mismo una reducción de las materias en suspensión y de la materia orgánica, debido ésta última a la acción de los propios microorganismos del terreno.

La calidad del agua que da definida por su composición, y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contiene o el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización, clasificando así, de acuerdo con límites estudiados, su destino para bebida, usos agrícolas, industriales, etc. Dentro de cada uno de estos grupos existen usos específicos, lo que supone otras clasificaciones y nuevos campos de aplicación, como por ejemplo la utilización de aguas salobres clasificadas como no potables, para aquellas aplicaciones domésticas que, con una adecuada instalación independiente en las viviendas, no se usan para la bebida.

Cabe considerar la calidad natural de un agua y la calidad afectada por actividades humanas (factores antropogénicos o antrópicos), que en general lleva a una degradación (polución y contaminación). Agua natural y buena calidad no son sinónimos, y en muchos casos las aguas naturales pueden ser de muy baja calidad, e incluso tóxicas.

El agua potable es aquella agua, que puede ser consumida por el hombre sin peligro alguno para su salud. Ello supone tener en cuenta las distintas características del agua, ya sean físicas, químicas, bacteriológicas, etc., definiendo criterios de calidad para cada una de ellas.

La aparición y evolución de reglamentaciones que limitan la utilización del agua para la bebida, han seguido los pasos que la investigación han ido desarrollando y que se extiende no sólo a los efectos que los distintos elementos puedan tener en el organismo humano, sino también a los sistemas de análisis que permiten su determinación precisa e inequívoca.

Los criterios usuales para dictaminar acerca de la potabilidad del agua son el Químico y el bacteriológico. Así se puede afirmar la potabilidad química cuando las concentraciones de sus elementos satisfagan las condiciones fijadas para ello y la potabilidad bacteriológica cuando, estando el agua exenta de bacterias patógenas, los resultados de los diversos análisis de este tipo a que se le someta sean satisfactorios.

La Organización Mundial de la Salud (O.M.S) en sus "International Standards for Drinking Water", adopta el criterio de dividir en cuatro grupos las características a tener en cuenta y que afectan a la potabilidad del agua. Son :

1. Químicas y Físicas

- 1a. Sustancias químicas que afectan a la potabilidad del agua
- 1b. Sustancias químicas que pueden afectar a la salud
- 1c. Sustancias tóxicas
- 1d. Indicadores químicos de Polución

2. Bacteriológicas

3. Biológicas

4. Radioactivas

7. MAPAS HIDROGEOLOGICOS

Son una herramienta útil a la hora de representar las diversas características geológicas e hidrogeológicas de una zona dada.

Constituyen una idea bastante difundida en los estudios de Hidrología Subterránea, ya que incluye datos e informaciones de una manera de representación gráfica, mientras que su texto atiende a los comentarios y resultados de la investigación llevada a cabo, conclusiones, recomendaciones, planificación de futuros trabajos que se considere realizar.

COMPONENTES DE LOS MAPAS HIDROGEOLOGICOS

ESCALA. La Escala condiciona aspectos tan importantes como la cantidad de datos a representar, así como facilitar la clasificación de estos mapas.

Generalmente y prescindiendo de la clasificación, suelen usarse como más grandes la escala 1: 25.000 y 1 : 50.000 hasta llegar a las 1 : 1'000.000 o aún más pequeñas.

Se comprende que las primeras se utilizan para estudios detallados de ámbito local o regional, mientras que las últimas son útiles para reconocimientos generales, divulgación nacional o internacional, planificación y gestión territorial.

Además, la importancia de un determinado tipo de información hidrogeológica respecto a los demás puede sufrir variaciones nada despreciables según la escala que se adopte, como por ejemplo los detalles geológicos que se incluyan en el mismo.

DATOS GEOGRAFICOS. Se incluye la topografía de la zona a la cual pertenece el mapa. Ilustra la distribución de zonas montañosas y llanuras, extensión de cuencas de recepción de los cursos de aguas superficiales, pendientes, etc.

DATOS CLIMATICOS. Se refiere al hecho de los mapas de distribución de precipitación con los datos de medias anuales, en un ámbito regional (escalas superiores a 1 : 100.000)

DATOS GEOLOGICOS. Se deben incluir los siguientes datos :

- Naturaleza de las formaciones geológicas que afloran
- Disposición estructural
- Detalles de tipo tectónico, dimensiones
- Toda la información geológica interpretada desde el punto de vista hidrogeológico que sea compatible con la escala.

La litología o naturaleza de las rocas forman el conjunto de la zona con su trama y símbolo utilizado, con el color propio de la edad estratigráfica de la formación. Fallas, discordancias, pliegues, contactos, buzamientos, son representados en la medida que la escala lo permita y finalmente la representación de los cortes geológicos.

Se incluyen también datos de permeabilidad, ya sea en forma cualitativa (fisuras, poros, fracturas, diaclasas, etc.), o cuantitativa, con valores o por las denominaciones alta, media, baja.

DATOS DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL. Deben figurar las estaciones de aforo de que se disponga información de datos numéricos pertenecientes a las mismas que den una rápida idea de las características del régimen de los cursos de aguas superficiales, acumulaciones naturales de agua (lago, laguna, grandes pantanos), su calidad perennes o temporales. Embalses de regulación, canales, etc.

DATOS DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA. Se refieren a los acuíferos de la zona (puntos de agua, extensión, profundidad, forma, pendiente de la superficie piezométrica, potencia, espesor, dirección de la escorrentía subterránea, etc.). Ubicación de los puntos de agua (pozos, sondeos, drenes y manantiales) con características de nivel de agua, caudal, profundidad, dependiendo del punto de agua.

DATOS DE HIDROQUIMICA. Dureza, residuo seco, concentraciones de iones, temperatura, resistividad, etc., y todos los que se puedan anexar para ver las condiciones de potabilidad del agua.

PRESENTACION DE LOS MAPAS HIDROGEOLOGICOS. Estas representaciones deben permitir una fácil lectura e interpretación, sea cual sea la escala adoptada, incluyendo la mayoría de los datos anteriormente mencionados, sin llegar a saturarlo.

CLASIFICACION DE LOS MAPAS HIDROGEOLOGICOS

No está suficientemente definida una clasificación de los mapas hidrogeológicos, su dificultad estriba en aunar, en la medida de lo posible, los diversos propósitos o fines, temas tratados, escalas, etc. Sin embargo, es muy útil intentar establecer como guía una clasificación que incluya contenido, objetivos, escala.

ESCALA : UNESCO (1969)

- **Mapas a pequeña escala.** Menores de 1 : 500.000, llamados Mapas de Síntesis (Margat, 1966). Para el conjunto de un país o región extensa, provincias grandes y cuencas hidrogeológicas.

- **Mapas a escala media o de síntesis a pequeña escala.** Escalas entre 1 : 500.000 y 1 : 100.000. Permiten la síntesis hidrogeológica y la organización de los reconocimientos.
- **Mapas detallados a gran escala.** Escalas Mayores a 1 : 100.000 o 1 : 50.000. son mapas de detalle que suelen ser el resultado de investigaciones con la ventaja de transmitir y conservar datos analíticos sobre el agua subterránea.

OBJETIVOS O FINES (UNESCO, 1969)

- **Mapas Hidrogeológicos realizados con fines generales.** Incluyen condiciones hidrogeológicas, como el carácter, distribución, condiciones del acuífero, dinámica, calidad y cantidad de agua subterránea.
- **Mapas Hidrogeológicos con fines especiales.** Son mapas con elementos hidrogeológicos escogidos como profundidad del nivel de agua, calidad del agua, temperatura, contenido de elementos, espesor, profundidad de los acuíferos, uso del agua subterránea, etc.

CONTENIDO

• MAPAS DE FENÓMENOS HIDROLÓGICOS Y SUS PARÁMETROS

1. Mapas que ilustran sobre el movimiento del agua
2. Mapas que informan caracteres físicos o químicos del agua
3. Mapas que informan las posibilidades de explotación de agua subterránea

• MAPAS QUE MUESTRAN EL CARÁCTER Y DISTRIBUCION DE LOS MATERIALES, CON REFERENCIA AL ALMACENAMIENTO Y FLUJO DEL AGUA

1. Mapas que ilustran acuíferos, acuícludos, transmisividad de los acuíferos y que dan la base para interpretar recarga, movimiento, descarga del agua subterránea, como por ejemplo mapas de la geología superficial, geomorfología, espesor de los depósitos no consolidados, estratigrafía, distribución y magnitud de la permeabilidad y/o transmisividad.

EL MAPA HIDROGEOLOGICO DE BOYACA

GEOLOGIA

En el sector Centro-Sur del departamento de Boyacá afloran rocas de edades Cambro-Ordovícico, Devónico, Carbonífero, Jurásico, Cretácico, Terciario y Cuaternario. Siendo las más frecuentes y las que cubren una mayor área las rocas sedimentarias cretáceas, además se presentan cuerpos ígneos y rocas metamórficas, en algunos sitios.

CUATERNARIO

DEPOSITOS POST-GLACIALES	CONVENCION
Depósitos Aluviales	Qal
Conos Aluviales	Qcn
Depósitos Fluvio-Lacustres	Qpl
Depósitos de Terraza	Qt
Depósitos Post-Glaciales (sin diferenciar)	Q

TERCIARIO

FORMACION	CONVENCION
Tilatá	Tst
Bogotá	Tb
Areniscas de El Cacho	Tpc
Concentración	Tco
Picacho	Tp
Socha Superior	Tss
Socha Inferior	Tsi
La Corneta	Qtlc
Caja	Tc
Diablo	Td
San Fernando	Tsf
Areniscas del Limbo	Tarl
Arcillas del Limbo	Tal
Grupo Palmichal	TKp

CRETACICO

FORMACION	CONVENCION
Guaduas	KTg
Arenisca Tierna	Ksgt
Areniscas de Labor	Ksgi
Plaeners	Ksgpl
Arenisca Dura	Ksgd
Ermitaño	Kse
Conejo	Kscn
Chipaque	Ksc
Churuvita	Ksch
San Gil Superior	Kmsgs
San Gil Inferior	Kmsgi
Paja	Kip
Ritoque	Kiri
Une	Kiu
Tibasosa	Kit
Fómeque	Kif
Areniscas de Las Juntas	Kialj
Lutitas de Macanal	Kilm
Apófisis de Lamprófiros de Pajarito	Kiip
Calizas del Guavio	Kicg

JURASICO

FORMACION	CONVENCION
Arcabuco	Jar
Batá	Jb

PALEOZOICO

FORMACION	CONVENCION
Grupo Farallones	CDf
Grupo Quetame	EOq

HIDROGEOLOGIA

La Hidrogeología de una zona se encuentra determinada por los siguientes factores :

- **En primer lugar está condicionada por las características geológicas del área.** El comportamiento de las distintas litologías con respecto al agua, es muy diferente en cuanto a la capacidad de almacenarla y transmitirla. La geología estructural determina la existencia de fallas, contactos discordantes o concordantes, estructuras sinclinales o anticlinales, cabalgamientos, bloques hundidos, etc.
- **La precipitación,** al constituir la principal fuente de agua, condiciona la recarga de los acuíferos. Los regímenes de pluviosidad, la escorrentía, la evapotranspiración, la infiltración, etc., son factores importantes en la determinación de las características hidrológicas e hidrogeológicas.
- **La geomorfología,** en estrecha relación con los dos factores anteriores, condiciona a su vez, el comportamiento hidrogeológico de un área. Cuando la escorrentía superficial se da con velocidades altas, la posibilidad de infiltración disminuye. Por ello, en un área de fuertes pendientes orográficamente complicada, con una cuenca hidrográfica de configuración intrincada y poco jerarquizada, las recargas del acuífero serán pequeñas frente a la escorrentía superficial.

Tipos de Acuíferos. Las formaciones geológicas se clasifican en función de su capacidad de almacenar y transmitir el agua en los siguientes tipos :

- **Acuíferos :** Es la formación que posee la facultad de absorber, contener y transmitir el agua, como pueden ser las arenas y las gravas.
- **Acuitardos :** Puede absorber y contener agua, pero la transmite muy lentamente. Un ejemplo serían las arcillas arenosas o limosas.
- **Acuicludos o Acuicierres :** Es aquella formación capaz de contener agua pero sin poder transmitirla, como las arcillas.
- **Acuifugas :** Son formaciones que no pueden contener, absorber, ni transmitir el agua. Un ejemplo de este caso lo constituye un macizo granítico sin fisurar.

MAPA HIDROGEOLOGICO DEL SECTOR CENTRO SUR DEL DEPARTAMENTO DE BOYACA

De acuerdo con la división por Provincias propuestas por la UNESCO para el Mapa Hidrogeológico de Sur América, el territorio colombiano fue dividido en seis (6) provincias hidrogeológicas que en orden de importancia son: Andina - Vertiente Atlántica, Costera - Vertiente atlántica, Costera - Vertiente Pacífica, Amazonas, Orinoco y Escudo Septentrional.

El sector centro sur del departamento de Boyacá está ubicado dentro de la Provincia Hidrogeológica Andina - Vertiente Atlántica y comprende el sistema montañoso centro occidental del País conformado por las Cordilleras Occidental, Central y Oriental y ocupa la región entre los límites con el Ecuador en el sur hasta las estribaciones meridionales de la Serranía del Perijá en el norte, con área aproximada de 297802 Km².

En esta provincia se presenta una gran variedad litológica consistente en sedimentos y rocas que van desde el Precámbrico hasta el Reciente. Estos sedimentos y rocas se presentan desde impermeables hasta de permeabilidad alta, siendo los valles y las mesetas los grandes centros de almacenamiento de agua tanto superficial como subterránea.

La provincia hidrogeológica Andina - Vertiente Atlántica está constituida hacia su extremo occidental fundamentalmente por rocas ígneas ácidas y metamórficas del Precámbrico y Paleozoico y por rocas volcánicas básicas del Cretáceo. Hacia la parte central y oriental existen rocas sedimentarias marinas, Cretáceas y Terciarias. En menor proporción aparecen sedimentos del Cuaternario.

Sedimentos con permeabilidad alta a moderada se encuentran en el valle del Río Cauca, constituido por un relleno aluvial, de material grueso conformando acuíferos de extensión regional, de tipo libre y confinado con agua de buena calidad química, proveniente principalmente de la fuerte precipitación y de la conexión hidráulica con la escorrentía superficial.

El valle del Río Magdalena y la Sabana de Bogotá están conformados por sedimentos limo-arenosos con permeabilidad baja, donde se desarrollan acuíferos locales de extensión variable con agua de buena a regular calidad química utilizada principalmente para irrigación y el consumo humano.

Hacia la parte montañosa, las rocas aptas para la acumulación de agua subterránea son aquellas de edad Terciaria y Cretácea constituidas por las formaciones sedimentarias de las cordilleras Central y Oriental. Los acuíferos en general son de tipo confinado.

En la zona del Valle Medio del Magdalena, las rocas Terciarias de ambiente continental compuestas por conglomerados, areniscas, arcillolitas y tobas con permeabilidad alta a moderada y porosidad primaria, constituyen buenos acuíferos de extensión regional, con agua de calidad química generalmente buena utilizada en su mayor parte para el consumo humano.

Hacia el núcleo de la Cordillera Oriental se encuentran formaciones Cretáceas de origen transicional y continental conformadas por rocas cementadas y poco cementadas (areniscas, limolitas, conglomerados) con porosidad primaria y secundaria por fracturamiento, que origina acuíferos de buena calidad química.

Hacia el norte de la Sabana de Bogotá, en los departamentos de Boyacá y Santander los acuíferos en las formaciones Cretáceas producen caudales hasta de 40 L/seg y la transmisividad promedio es de 50 m²/día.

Hacia los bordes del núcleo de la Cordillera Oriental también se presentan formaciones calcáreas, predominantemente shales negros, calizas y areniscas donde la porosidad es secundaria por fracturamiento o disolución, desarrollándose acuíferos locales con permeabilidad moderada a baja con agua de regular calidad química, generalmente dura. El conocimiento de estos acuíferos está restringido al carácter litológico y al tectonismo.

Rocas Terciarias de tipo arenoso y origen continental y transicional, porosidad primaria y permeabilidad alta a moderada, se encuentran en la Cordillera Oriental hacia el Piedemonte Llanero y hacia el Río Magdalena.

Con el fin de sintetizar los conocimientos sobre la distribución de agua subterránea que existe en el Sector Centro Sur del Departamento de Boyacá, se elaboró el Mapa Hidrogeológico a escala 1 : 200.000 dividiéndose la zona en seis (6) Provincias Hidrogeológicas, así :

- ♣ Provincia de Ricaurte
- ♣ Provincia de Oriente
- ♣ Provincia de Márquez y Neira
- ♣ Provincia de Centro
- ♣ Provincia de Sugamuxi
- ♣ Provincia de Lengupá

La definición se hizo agrupando áreas con características geológicas e hidrogeológicas semejantes. De estas provincias hacen parte una o varias cuencas hidrográficas y sus límites son en general límites hidrogeológicos ; sin embargo, algunos de ellos obedecen a líneas inferidas para el propósito del presente estudio.

Con base en las diferentes características litológicas de las diversas formaciones geológicas del sector centro sur del Departamento de Boyacá, su tipo de porosidad y grado de permeabilidad, se ha dividido la leyenda del mapa en cuatro (4) categorías que a continuación se describen :

1. SEDIMENTOS Y ROCAS CON POROSIDAD PRIMARIA DE INTERES HIDROGEOLOGICO

Dentro de esta categoría se encuentran los Depósitos Cuaternarios y rocas sedimentarias de ambiente continental y transicional depositadas durante el Cretáceo Inferior y diversas épocas del Terciario.

- ♣ Acuíferos de extensión regional con flujo intergranular, altamente productivos (1a). Esta categoría está representada por sedimentos no consolidados entre los que se cuentan : Depósitos Aluviales, Conos de Deyección, Depósitos Coluviales, de gradación regular a uniforme, por debajo de los 2800 m.s.n.m., con un alto grado de permeabilidad y por rocas sedimentarias poco cementadas depositadas durante el Terciario Superior, constituidas esencialmente por areniscas de grano grueso a conglomerático. Se identifican en el Mapa con el color azul de tonalidad más oscura y abarcan tan solo el 9% del área total del estudio.

- ♣ Acuíferos de extensión regional con flujo intergranular, moderadamente productivos y Acuíferos locales o discontinuos con flujo intergranular de baja productividad (1b) ; a esta categoría pertenecen sedimentos no consolidados entre los que se cuentan Depósitos Post-Glaciales, Depósitos de Terraza y Depósitos Aluviales por encima de los 2800 m.s.n.m. y rocas sedimentarias depositadas durante el Cretáceo Inferior al Terciario Inferior, con la presencia de potentes bancos de arenisca de grano medio a grueso con moderada permeabilidad y bancos de arenisca de variabilidad granulométrica de baja permeabilidad, como Acuíferos de Baja Productividad. Se identifican en el Mapa con el color azul claro y abarcan el 25% del área total del sector.

Las zonas de recarga, presentes en las formaciones potencialmente acuíferas, se encuentran ubicadas sobre las crestas de los anticlinales, cerros, cuchillas, serranías, planos de falla, etc. que ocupan considerables zonas dentro del área de estudio, que dan vía hacia zonas de almacenamiento, pero que por sus características morfológicas no se prestan para contener el recurso.

2. ROCAS CON POROSIDAD PRIMARIA Y SECUNDARIA (FRACTURAMIENTO Y/O POR DISOLUCION) DE INTERES HIDROGEOLOGICO.

En esta categoría se incluyen las rocas sedimentarias bien cementadas de ambiente marino y continental, depositadas desde finales del Jurásico hasta principios del Terciario.

- ♣ Acuíferos de extensión regional, altamente productivos (2a). Pertenecen las rocas sedimentarias depositadas a finales del Jurásico y en diferentes épocas del Cretácico con presencia de areniscas susceptibles al fracturamiento y rocas sedimentarias constituidas esencialmente por potentes bancos calcáreos susceptibles a disolución, creando cavernas kársticas propicias para el almacenamiento de agua. Se identifican en el Mapa con el color verde profundo y abarcan tan solo el 7% del área total del proyecto.
- ♣ Acuíferos locales de producción discontinua o acuíferos de extensión regional pero de moderada a baja productividad (2b). En este grupo se representan rocas sedimentarias depositadas en diferentes épocas del Cretáceo y Terciario Inferior. Con presencia de areniscas y arcillas arenosas de permeabilidad media a baja, susceptibles a fracturamiento. Se identifican en el Mapa con el color verde claro y ocupan el 17% del área total del sector en estudio.

3. ACUITARDOS

Dentro de esta categoría se han agrupado los sedimentos y rocas consideradas como unidad por su litología: semipermeables, pero que pueden llegar a constituir acuíferos de extensión limitada (Acuíferos Locales, 3a); o con capas acuíferas poco representativas que fluyen a velocidades muy bajas debido al confinamiento de sus estratos.

Está representada por rocas sedimentarias depositadas a finales del Jurásico, Mezo-Cretácicas y Terciarias, compuestas esencialmente por arcillolitas y lutitas con presencia de algunos estratos de arenisca de moderado espesor y pequeños niveles calcáreos. Se identifican en el Mapa con el color amarillo y ocupan la mayor parte del mapa, abarcando el 37% del área total del estudio.

4. ACUIFUGAS

Aquí se agrupan rocas sedimentarias depositadas en diferentes ambientes, a finales del Proterozoico y durante el Paleozoico con presencia de areniscas cuarzosas y ortocuarcitas, altamente cementadas; Cuerpos Igneos, como el Apófisis de Lamprófiros de Pajarito; Rocas Metamórficas y flujos basálticos, que no pueden contener, absorber, ni transmitir el agua, (Impermeables, 4a). Se identifican en el Mapa con el color rojo y ocupan la menor proporción del área total, 5%.

GLOSARIO

- **Acuíferos** : Es la formación que posee la facultad de absorber, contener y transmitir el agua, como pueden ser las arenas y las gravas.
- **Acuitardos** : Puede absorber y contener agua, pero la transmite muy lentamente. Un ejemplo serían las arcillas arenosas o limosas.
- **Acuicludos o Acuicierres** : Es aquella formación capaz de contener agua pero sin poder transmitirla, como las arcillas.
- **Acuífugas** : Son formaciones que no pueden contener, absorber, ni transmitir el agua. Un ejemplo de este caso lo constituye un macizo granítico sin fisurar.
- **Acuífero Confinado**: Son acuíferos en los cuales el agua se encuentra saturando los poros de la roca encerrada en medio de rocas impermeables bajo presión.
- **Acuífero Libre**: La superficie superior del agua subterránea, se encuentra en contacto con la atmósfera a través de la zona de aireación.
- **Acuífero Semiconfinado**: Está completamente saturado de agua y limitado en la parte superior por una roca semipermeable.
- **Capacidad Específica**. Es la relación que existe entre el caudal que se obtiene de un pozo y el abatimiento producido, y se expresa en L/seg/m. Representa el grado de eficiencia de un pozo, ya que de dos pozos perforados en una misma formación acuífera, el de menor capacidad específica tendrá menos eficiencia. Este parámetro se determina en base a la transmisividad de la formación acuífera.
- **Capilaridad**: Es una consecuencia de los fenómenos de tensión superficial y de la atracción de las paredes del sólido que agua y aire en sus proximidades.
- **Embalse Subterráneo**: Es un medio poroso natural (formación geológica) de dimensiones muy variables, capaz de almacenar en sus poros un fluido y de permitir su movimiento bajo la acción de fuerzas gravitatorias, cuando está saturado es sinónimo de acuífero.
- **Evaporación**: Resultado del proceso físico, por el cual el agua cambia de estado líquido a estado gaseoso, retornando, directamente, a la atmósfera en forma de vapor.

- **Evapotranspiración:** Son los dos elementos (evaporación – transpiración) más importantes del balance hídrico y se traduce en las pérdidas por transformación del agua en vapor en un área de drenaje.
- **Géiser:** Son fuentes termales de las cuales, se eleva a intervalos una columna de vapor y agua caliente que en algunos casos llega a una altura de más de un centenar de metros.
- **Gradiente Hidráulico.** Es la diferencia de carga hidráulica entre dos puntos de la zona saturada de un acuífero, en relación con la distancia que los separa. Estas diferencias de presión son las causantes del movimiento del agua en el subsuelo saturado.
- **Hidrograma:** Es una gráfica que nos muestra la variación del caudal de un río con el tiempo.
- **Humedad:** Uno de los gases que compone la mezcla llamada aire, es el vapor de agua. Su presencia se denomina humedad.
- **Manantial:** Es un afloramiento en superficie del nivel freático local que puede obedecer a diversas causas.
- **Permeabilidad o Conductividad Hidráulica.** Se define como la propiedad del material, que permite la filtración y circulación del agua, a través de poros conectados entre sí.
- **Piezómetro:** Perforación que penetra en una capa acuífera y permite obtener información sobre el nivel piezométrico de acuerdo con la posición del nivel del agua que existe en su interior.
- **Porosidad.** La porosidad total viene dada por la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del material. El índice de poros está directamente relacionado con el anterior, y es la relación entre el volumen de poros y el de partículas sólidas. Estos dos parámetros dan una idea de la capacidad que tiene la formación para almacenar el agua. La porosidad efectiva, es la relación entre el volumen de poros conectados entre sí y el volumen total. Ya que para que se de movimiento del agua, es necesario que los poros que ocupa, estén conectados entre sí, la porosidad efectiva está relacionada con el material. La porosidad intergranular primaria, debida a la petrogénesis de la formación geológica y la porosidad secundaria, formada por el fenómeno de fracturamiento o disolución, posterior a la formación de la roca.
- **Potabilidad:** Se denomina potable a aquella agua que puede ser consumida por el hombre sin peligro alguno para su salud.

- **Punto de Agua:** Lugar, obra civil, perforaciones, sondeos, fuentes, o circunstancias que permite un acceso directo o indirecto al acuífero que se considere.
- **Precipitación:** Componente primario del ciclo hidrológico. Cuando el agua, en estado líquido o sólido, llega a la superficie de la tierra se dice que ha precipitado.
- **Presión:** El peso de la columna de aire que gravita sobre un determinado elemento unitario de superficie.
- **Radioestesia:** Procedimiento que consiste en la utilización de un péndulo, que experimenta un movimiento cuando las personas “que poseen ese don” pasan sobre una “corriente de agua subterránea”. Data de varios siglos y está todavía difundido en países subdesarrollados.
- **Redes de Flujo:** Son gráficas que sirven para determinar el movimiento, profundidad y otras características del agua subterránea.
- **Tabla de Agua:** Es la superficie superior a la zona de saturación que sigue suavemente la topografía.
- **Tensión Superficial:** Es la energía de las moléculas de fluido por unidad de superficie, es decir la energía que hay que gastar para llevar las moléculas desde el interior del fluido hasta su posición superficial.
- **Transmisividad.** Este parámetro cuantifica la capacidad que tiene un acuífero para ceder agua. Una formación saturada muy permeable pero de muy poco espesor puede ser muy poco transmisiva.
- **Transpiración:** Resultado del proceso físico – biológico, por el cual, el agua cambia de líquido – gaseoso, a través del metabolismo de las plantas, y pasa a la atmósfera.
- **Trazadores:** Sirven para medir la velocidad del agua subterránea In Situ. Este dispositivo se utiliza para averiguar la dirección, movimiento, origen, zonas de recarga, fuentes de contaminación, transmisividad, conductividad hidráulica, porosidad, edad de las aguas subterráneas.
- **Yetograma:** Figura que representa la cantidad de lluvia recogida en intervalos regulares de tiempo.