

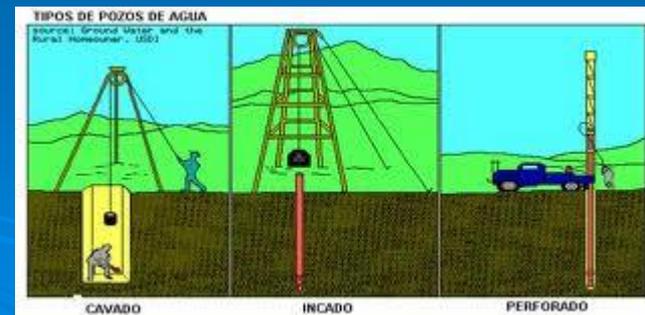
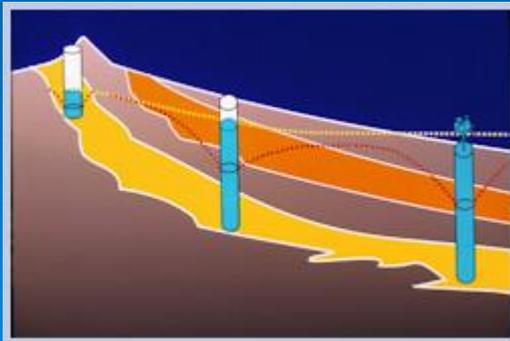
# EXPLORACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

UNIDAD 1

## MÉTODOS DE EXPLORACIÓN (parte 1)

**La exploración del agua subterránea** es el conjunto de operaciones o trabajos que permiten la localización de acuíferos o embalses subterráneos de los que se puede obtener agua en cantidad y calidad adecuada para el fin que se pretende.

Como norma general, las tareas de exploración de las aguas subterráneas suelen ser más complejas y costosas que las que exigen la realización de un proyecto de aguas superficiales, en cambio las inversiones necesarias para su explotación suelen ser mucho más reducidas.



## *Principios generales de la exploración de las aguas subterráneas*

1. Investigación completa.
2. Aproximaciones sucesivas
3. Igualdad en el grado de estudio, del yacimiento, (área seleccionada para la explotación)
4. Mínima pérdida de recursos y de tiempo
5. Protección del medio ambiente.

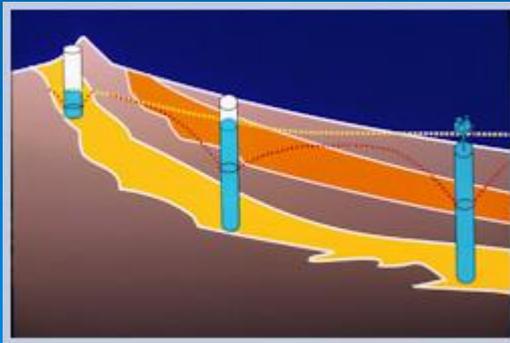


## TIPOS DE EXPLORACIÓN

No hay una clasificación universal de cómo se subdividen los estudios de exploración, pero es ampliamente reconocida la siguiente:

### ETAPAS

1. Estudios preliminares o de reconocimiento (Prospección en algunos países)
  2. Estudios generales
  3. Estudios de detalle
- } EXPLORACIÓN

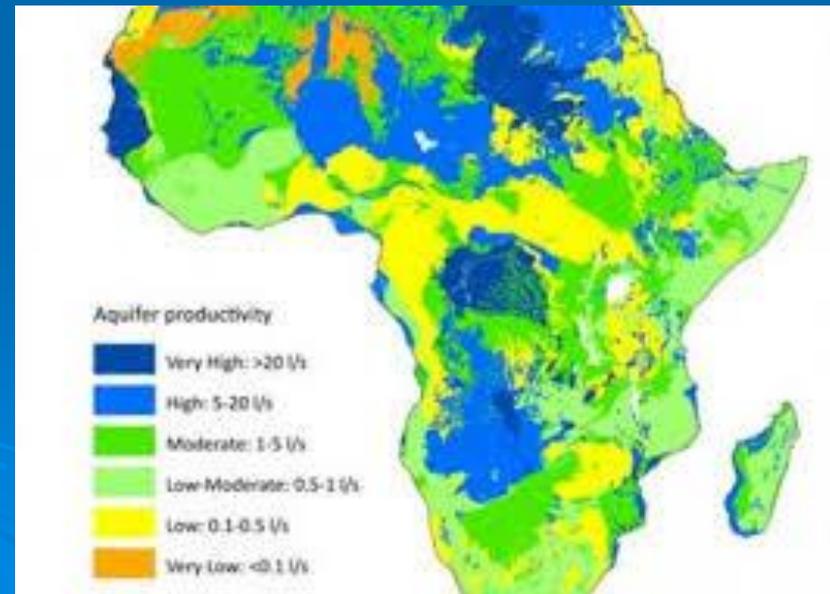


## METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### ETAPA 1. ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS DE RECONOCIMIENTO A ESCALAS IGUALES O MENORES DE 1:500.000

Son estudios preliminares de una extensa región natural, una unidad hidrogeológica o un país entero. En esta etapa se identifican las estructuras y unidades hidrogeológicas de mayor interés, lo que permite planificar adecuadamente la siguiente etapa de exploración.

La finalidad de esta etapa es presentar las condiciones hidrogeológicas generales del territorio mediante la compilación y síntesis de información secundaria, es de carácter orientativo y, por lo tanto, se debe realizar rápidamente.



## METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### ETAPA 2. ESTUDIOS DE EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA REGIONAL DE ESCALAS 1:250.000 A 1:50.000

Estos estudios son de evaluación y caracterización y permiten determinar las particularidades del origen, distribución y régimen de las aguas subterráneas en las estructuras hidrogeológicas definidas en la etapa anterior, incluyendo las aguas termales y minerales.

En esta etapa se identifican, delimitan y caracterizan las estructuras hidrogeológicas y se estiman, a nivel de pronóstico, los recursos y reservas de agua subterránea. Los resultados de estos estudios permiten definir las áreas con mayor potencial para el aprovechamiento del agua subterránea y establecer pautas para su conservación y protección.

Los estudios de exploración hidrogeológica regional son trabajos interdisciplinarios con metodologías bien definidas que deben tener un orden secuencial en su realización, ya que cada una de las fases aporta información fundamental e indispensable para las posteriores

# METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

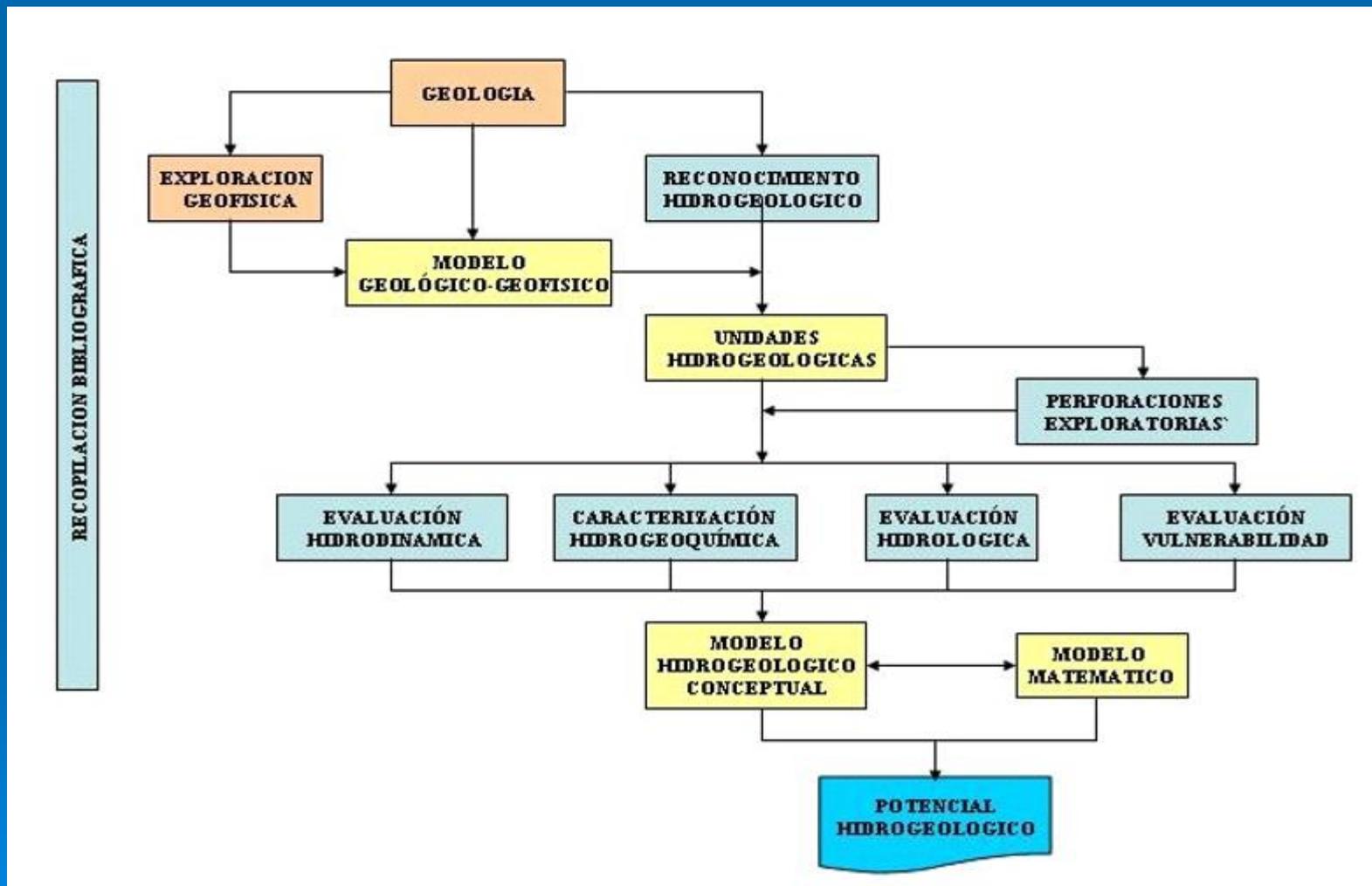


Diagrama de flujo metodológico de exploración hidrogeológica regional

# METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

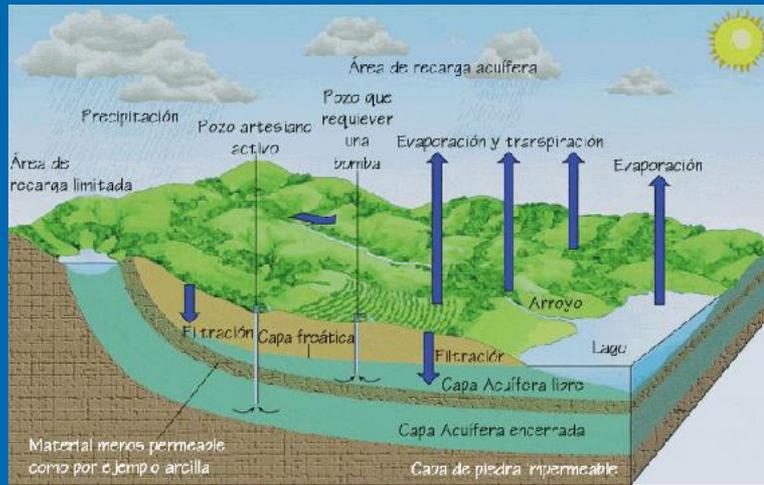
## 1. Geología

La geología es la información base para los estudios hidrogeológicos ya que define las propiedades de las rocas y las estructuras geológicas favorables para almacenar aguas subterráneas.

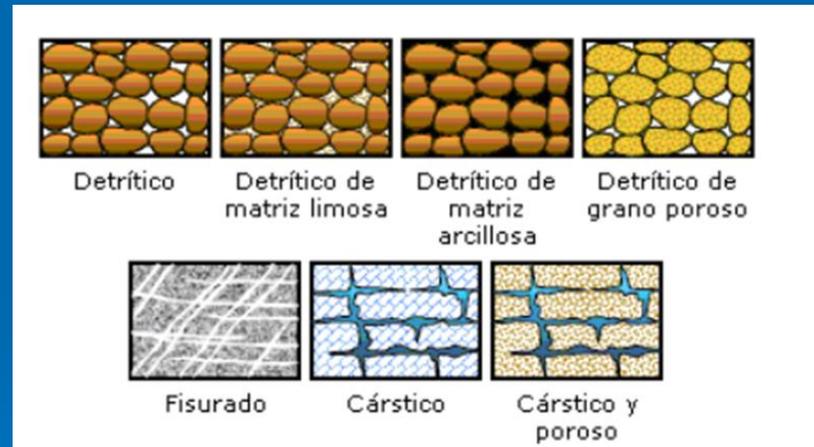
La cartografía geológica debe realizarse haciendo énfasis en la litología, textura, cambios de facies, tipo de porosidad, ambientes de deposición, estructuras tectónicas y geomorfológicas, así como composición mineralógica de los sedimentos y rocas. Se deben utilizar herramientas y disciplinas, tales como interpretación de fotografías aéreas, imágenes de radar y satélite, estratigrafía, sedimentología, vulcanología y geología estructural, principalmente.

# METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

## 1. Geología



TIPOS DE ACUÍFEROS (presión)



TIPOS DE ACUÍFEROS (poros)

## METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 2. Exploración geofísica

La geofísica estudia las propiedades físicas del subsuelo y permite correlacionarlas con la geología, lo cual en el caso de la exploración de aguas subterráneas contribuye a determinar la presencia y la geometría de los acuíferos o zonas acuíferas y la obtención de un modelo conceptual, que a su vez se valida con perforaciones exploratorias. **Se debe hacer uso de las metodologías convencionales tales como resistividad, gravimetría, sísmica, magnetometría, electromagnetismo, registros geofísicos de pozos y nuevas técnicas como la resonancia magnética de protones o nuclear.**

La exploración geofísica se utiliza también para:

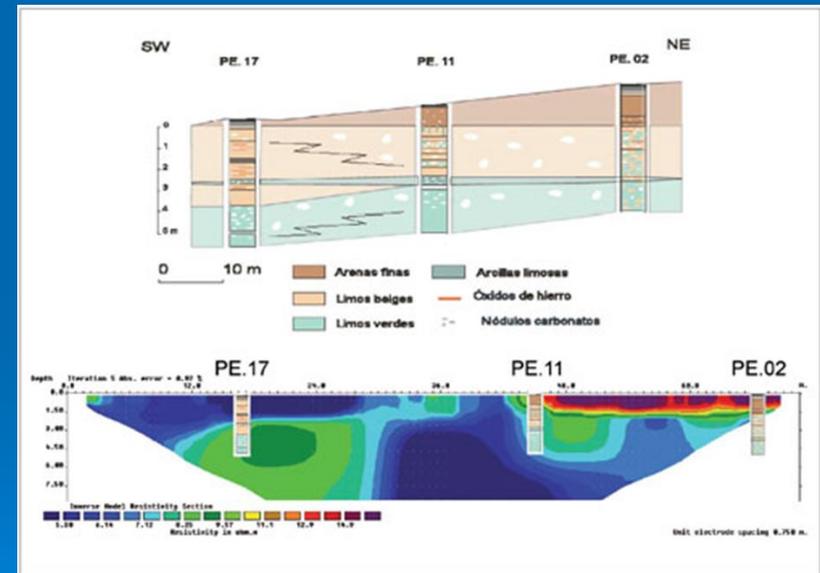
- Estimación del nivel de la profundidad del agua subterránea.
- Estimación del espesor de la zona no saturada.
- Estimación de la porosidad de la roca.
- Contribución a la identificación de los ambientes de deposición.
- Determinación del grado de mineralización de las aguas subterráneas.
- Localización de fracturas.
- Identificación de reservorios geotérmicos y aguas termales.

# METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

## 2. Exploración geofísica



### Métodos Eléctricos



# METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

## 2. Exploración geofísica



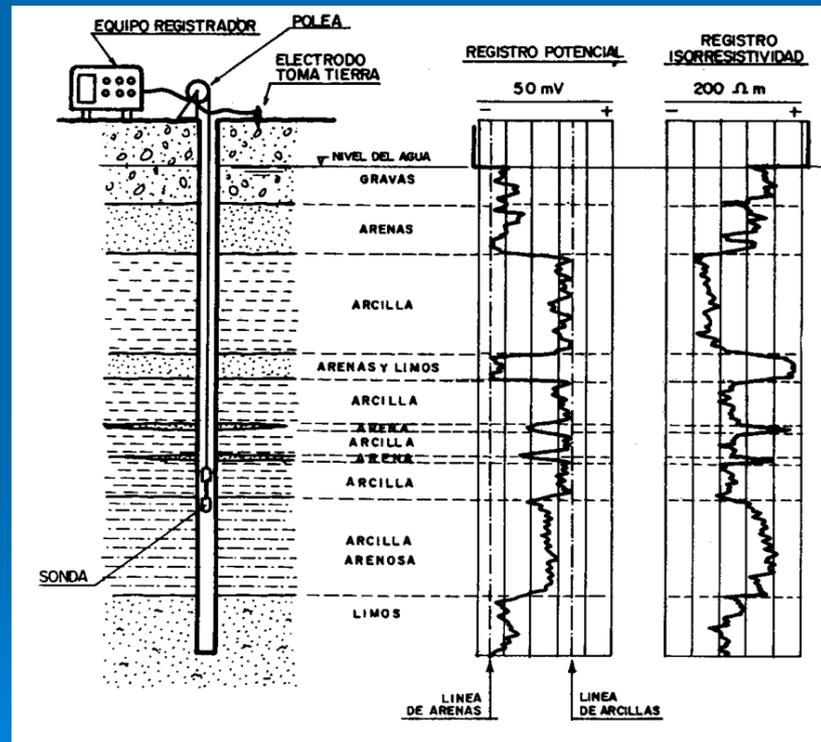
### Métodos Eléctricos



## METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 2. Exploración geofísica

#### Geofísica de pozos en Estudios Hidrológicos



## METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 3.Reconocimiento hidrogeológico

El reconocimiento hidrogeológico es la fase esencial e inicial en exploración de aguas subterráneas y comprende las siguientes etapas:

- Recolección de datos en el campo mediante el inventario de puntos de agua, discriminados en manantiales, aljibes, pozos y humedales.
- Diseño y desarrollo de la red de monitoreo para confirmar el modelo conceptual.

Los datos obtenidos en esta fase son la base para clasificar y caracterizar las unidades geológicas y así determinar las características hidrogeológicas preliminares del área.

## METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 4. Perforaciones exploratorias

Las perforaciones exploratorias son necesarias para validar los modelos geológico, geofísico e hidrogeológico obtenidos en las fases de trabajo anteriores y para la caracterización de los acuíferos desde el punto de vista hidráulico y químico.

La ubicación y diseño de estas perforaciones dependerá de las particularidades hidrogeológicas de cada área. Además, si en los modelos se identifica que la densidad de puntos existentes no cumple con los requerimientos de exploración, se deben realizar perforaciones adicionales

# METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

## 4. Perforaciones exploratorias



Pozo en acuífero confinado



Proceso de perforación de un pozo

## METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

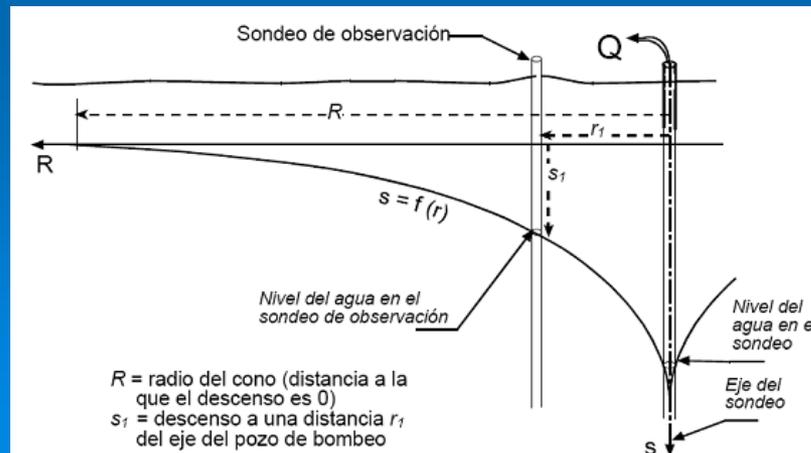
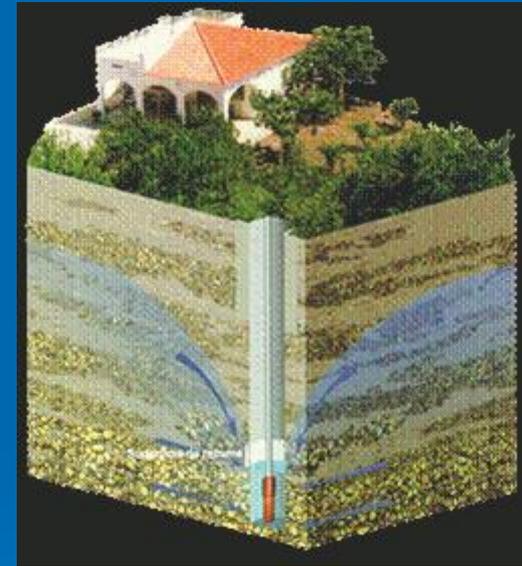
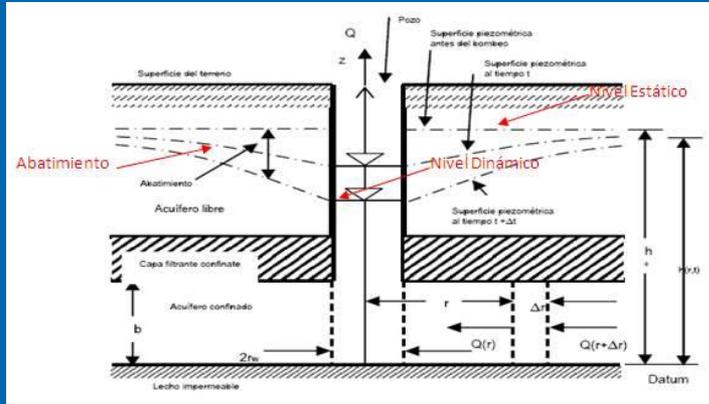
### 5. Evaluación hidrodinámica

La evaluación hidrodinámica de las aguas subterráneas se refiere al estudio de su movimiento en las rocas y sedimentos, desde las zonas de recarga hacia las de descarga (dirección del flujo subterráneo). Los principales elementos hidrodinámicos son: la presión piezométrica, el gradiente y los parámetros hidráulicos del acuífero (conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento) que caracterizan el flujo y almacenamiento de agua en los diferentes acuíferos. La protección y el manejo racional de los acuíferos requieren, igualmente, el conocimiento de estos parámetros.

Los parámetros hidráulicos se determinan a partir de ensayos de acuífero (pruebas de bombeo). Los sitios y duración de estas pruebas deben ser determinados a partir de las fases previas de este estudio.

# METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

## 5. Evaluación hidrodinámica



## METODOLOGÍA GENERAL PARA LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 6. Caracterización hidrogeoquímica

La hidrogeoquímica trata sobre el origen, los procesos y la evolución de la composición del agua almacenada en las unidades hidrogeológicas (acuíferos). Esta es una herramienta básica que, además de determinar la calidad natural del agua para diferentes usos, mediante análisis fisicoquímicos e isotópicos, aporta la siguiente información al modelo hidrogeológico conceptual:

- Identificación de zonas de recarga y descarga.
- Dirección del flujo subterráneo.
- Mezclas e interconexiones de agua de diferentes orígenes (aguas superficiales y subterráneas, entre acuíferos).
- Origen del agua subterránea.
- Tiempo de residencia de las aguas subterráneas.
- Identificación de ocurrencias de aguas termales y minerales.

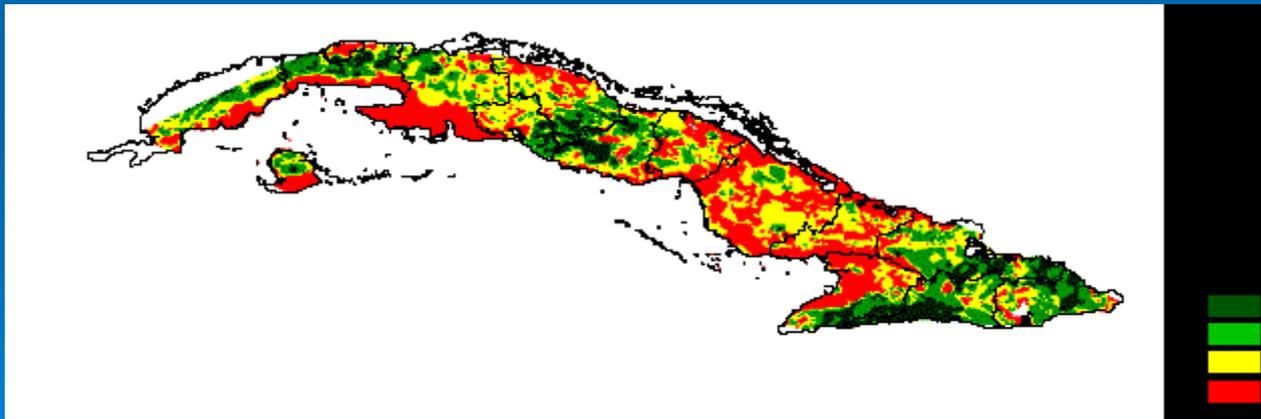
## 7. Evaluación hidrológica

Las aguas atmosféricas, superficiales y subterráneas hacen parte del mismo ciclo hidrológico y se encuentran constantemente en interacción. Además, la principal fuente de alimentación de las aguas subterráneas son las aguas meteóricas. Por lo anterior, es de gran importancia la evaluación de las condiciones meteorológicas e hidrológicas, para contribuir al modelo hidrogeológico con la siguiente información:

- Posibles fuentes y zonas de recarga y descarga de aguas subterráneas.
- Disponibilidad del agua para la recarga (balance hídrico superficial).

## 8. Evaluación de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación depende de las características litológicas de la zona no saturada, del tipo de acuífero, de la profundidad del nivel del agua para el acuífero libre o de la profundidad del techo del acuífero confinado. La vulnerabilidad debe ser revisada periódicamente ya que algunas de las variables involucradas son temporales



## 9. Modelo hidrogeológico conceptual

El conocimiento hidrogeológico del área se representa a través del modelo hidrogeológico conceptual, el cual es un esquema lógico, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, que describe las propiedades, condiciones, procesos y potencialidades de los acuíferos.

Este modelo permite entender el funcionamiento de los acuíferos, incluyendo aguas termales y minerales, para predecir su comportamiento y determinar sus recursos explotables; además es útil para prever posibles impactos ambientales sobre el sistema o por su aprovechamiento y para la gestión integral del recurso hídrico.

Como parte del modelo conceptual, además de todas las fases anteriores, es importante la realización de un modelo matemático

## 9. Modelo hidrogeológico conceptual

Ejemplo de un modelo hidrogeológico conceptual

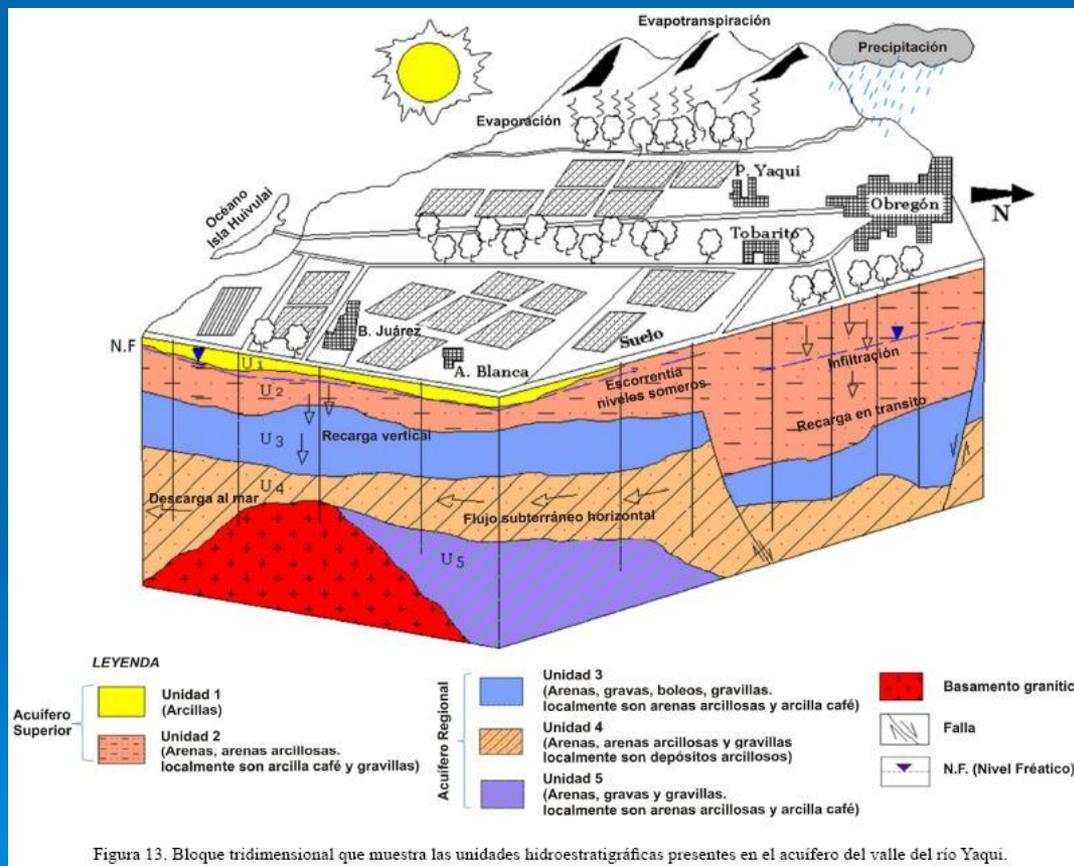
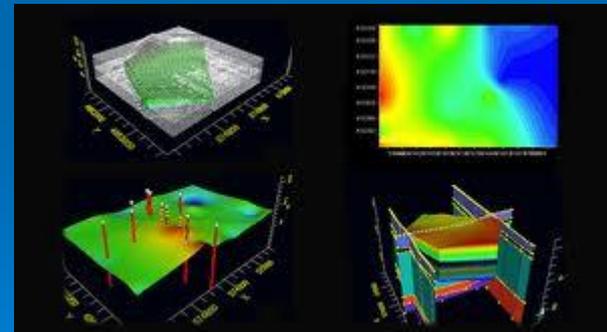
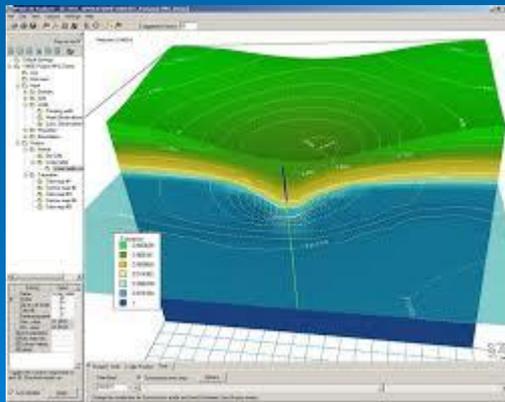


Figura 13. Bloque tridimensional que muestra las unidades hidroestratigráficas presentes en el acuífero del valle del río Yaqui.

## 10. Modelo matemático

El modelo matemático es una representación numérica de las condiciones hidrogeológicas y permite mejorar el conocimiento de funcionamiento del acuífero y evaluar la potencialidad de las aguas subterráneas (recursos), sobre todo en los casos donde otros métodos de cálculo no pueden asegurar su evaluación cuantitativa fiable.



## ETAPA 3. ESTUDIOS DE EXPLORACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE DETALLE A ESCALA IGUAL O MAYOR DE 1:25.000

Estos estudios permiten tener un conocimiento detallado de zonas específicas para el aprovechamiento de aguas subterráneas, termales y minerales, con el fin de localizar y diseñar obras de captación o resolver problemas específicos como contaminación, construcción de obras civiles, minería, etc. Este tipo de estudios generalmente son locales.

Tienen por objeto un conocimiento detallado del acuífero, que permite resolver una demanda de agua concreta, Ej.

1. Abastecimiento de un núcleo urbano
2. Abastecimiento de una fabrica
3. Abastecimiento de un regadío
4. Otros

Hay que obtener un caudal de explotación. En este tipo de estudios combina tanto la exploración como la explotación si fuese necesario.

## CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE OCURRENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La geología es uno de los factores que ejerce mayor influencia sobre la presencia y distribución del agua subterránea en la corteza terrestre.

El ambiente físico donde ocurren los procesos hidrogeológicos es netamente geológico; las aguas subterráneas se acumulan y se mueven en el interior de las formaciones geológicas (roca-sedimento).

El tipo de roca, las estructuras geológicas y los depósitos no consolidados, condicionan el funcionamiento de los acuíferos. Así mismo, las condiciones hidrodinámicas y las propiedades geológicas de las rocas y sedimentos determinan la composición química del agua que contienen

## CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE OCURRENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### CRITERIOS TECNICOS

#### 1 Génesis y edad de rocas y sedimentos

En el análisis conceptual de un sistema de agua subterránea (estructura hidrogeológica) es importante definir el medio por donde puede transitar el agua y saber acerca del origen de las rocas. Comúnmente, se diferencian medios porosos (porosidad primaria) y fracturados (porosidad secundaria), aunque existen ambientes que presentan ambos tipos de porosidad. La roca mas antigua es **generalmente** menos permeable, esta mas consolidada.

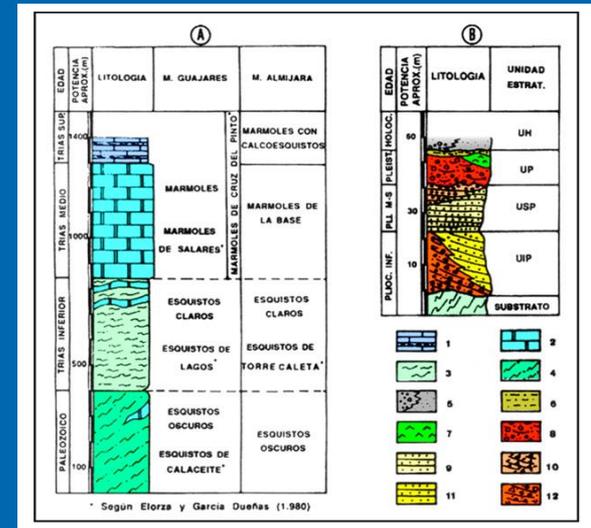
# CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE OCURRENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

## CRITERIOS TECNICOS

### 2. Litología

Debido a las propiedades geológicas de las rocas y sedimentos, no todas las formaciones litológicas poseen la misma permeabilidad o facilidad de transmitir el agua.

Generalmente, la porosidad de las rocas sedimentarias y de los depósitos recientes es uno de los principales factores que controla su permeabilidad y se relaciona con la textura y tamaño de los granos. No obstante, una roca puede ser porosa, pero relativamente impermeable porque los poros no están conectados o porque éstos son demasiado pequeños.



## CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE OCURRENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 3. Fracturamiento y alteración de rocas

La porosidad generada en el medio fracturado está sujeta a la densidad de la fractura y al grado de alteración de las rocas, lo que favorece también su permeabilidad y la capacidad de almacenamiento de agua; sin embargo, si las fracturas no están comunicadas entre si, la permeabilidad podría ser baja a nula.

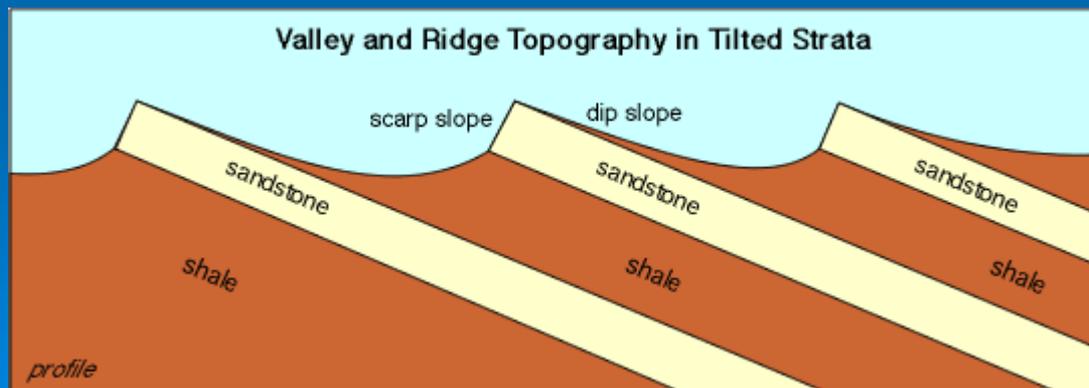
Así mismo, una roca que apenas tiene espacios por escasas fracturas, tendrá una porosidad baja y almacenará agua en cantidades limitadas, pero si el agua puede pasar fácilmente por las fracturas, su permeabilidad será alta.

En el medio fracturado, en general, el agua subterránea tiene poco espacio para almacenarse; se mueve a velocidades mayores que en el medio poroso y presenta baja salinidad.

## CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE OCURRENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

### 4. Tipo de estructura geológica

En las rocas sedimentarias son comunes las estructuras geológicas como pliegues y fallas, pero se consideran de mayor importancia hidrogeológica los sinclinales y homoclinales que favorecen la acumulación de aguas subterráneas, así como las trampas estratigráficas (discordancias) y estructurales.



## **CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE OCURRENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

### **5. Geometría de estructuras hidrogeológicas**

Las estructuras hidrogeológicas poseen distintas dimensiones y geometría que afectan su capacidad como embalses subterráneos. Por ejemplo, las cuencas artesianas están formadas por secuencias de formaciones sedimentarias, en las que alternan capas permeables y poco permeables (confinantes). La cantidad y distribución de las capas, así como su geometría, varían según el caso, por lo tanto la capacidad de almacenamiento de agua estará restringida por la continuidad y las dimensiones de las formaciones permeables.

En el caso de los macizos hidrogeológicos se valoran las dimensiones de las zonas meteorizadas y de fracturamiento, donde se acumula el agua con importantes diferencias en volumen, teniendo en cuenta que a medida que aumenta la profundidad, disminuyen la densidad de fracturamiento y la intensidad de meteorización y, por consiguiente, el espacio de acumulación de agua.

## CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE OCURRENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

CRITERIO	INDICADOR
1. Génesis y edad de rocas y sedimentos	Principales estructuras geológicas: macizos, artesianas y depósitos recientes. hidro-cuencas
2. Litología	Textura y porosidad
3. Fracturamiento y alteración de rocas	Densidad y tipos de fracturas y grado de meteorización
4. Tipo de estructura geológica	Zonas favorables para acumulación del agua
5. Geometría de estructuras hidrogeológicas	Espesores Profundidades Extensiones Cambios litológicos

## REFERENCIAS BÁSICAS

- Chow, V.T., Maidment, D., Mays, L., (1994). Hidrología aplicada, McGraw-Hill, Inc.
- Custodio, E. y Llamas, M.R., (1983). Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. España. 2 Tomos, 2ª Edición.
- Kovalevsky, V.S., Kruseman, G.P. y Rushton, K.R., (2004). Groundwater studies: an international guide for hydrogeological investigations, Paris; UNESCO.
- MacDonal, A. y Davies, J., (2005). Developing Groundwater “A guide for Rural Water Supply”. NERC. Great Britain.