

CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES.

Geohidrología.

CAPITULO 8. GEOHIDROLOGÍA

8.0. INTRODUCCIÓN.

Estos lineamientos tienen por objeto plantear los requisitos técnicos para el desarrollo de un Estudio Geohidrológico, tomando como punto de partida la Actualización del Estudio Geohidrológico de la Zona Metropolitana de Guadalajara, llevado a cabo por este Organismo en el año de 1996, en el cual se establece un diagnóstico de las condiciones geohidrológicas actuales.

Contiene la metodología para realizar un estudio Geohidrológico, inicia con la recopilación de información técnica incluyendo varias disciplinas, con énfasis en los aspectos geológicos, el censo de aprovechamientos hidráulicos superficiales y subterráneos en la zona, la medición de los niveles piezométricos en los pozos y el cálculo del volumen de extracción de agua subterránea. Se describe la metodología para realizar las pruebas de bombeo, para definir el comportamiento de los acuíferos. También se trata el tema de muestreo y análisis físico-químico del agua subterránea y los métodos de exploración geofísica, mediante sondeos eléctricos verticales.

Se considera que a partir del desarrollo de las actividades descritas en estos lineamientos se puede integrar, analizar y evaluar la información, para definir el comportamiento del agua subterránea, las políticas para su extracción, y el impacto ambiental que se puede causar en su entorno.

Anexo a los lineamientos se incluyen tres apéndices; el **Apéndice A** incluye los objetivos de un estudio Geohidrológico; el **Apéndice B** contiene un catálogo de conceptos, por actividad, con unidades y el **Apéndice C** incluye el contenido de un informe Geohidrológico elaborado a partir de las actividades que se indican en estos lineamientos.

Referente a los análisis Físico-Químicos, Especiales, Isotópicos y Bacteriológicos, indicados en estos lineamientos, se deben realizar conforme a los Métodos Estándar y normas oficiales vigentes con objeto de verificar el cumplimiento de la NOM-127-SSA1-1994, "**Salud Ambiental. Agua para Uso y Consumo Humano. Límites permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su Potabilización**", actualizada y publicada en el Diario Oficial de la Federación con fecha, 20 de octubre del 2000.

En la zona metropolitana, un importante porcentaje de áreas realizan su abastecimiento de agua proveniente de acuíferos subterráneos.

Por lo anterior, es de vital importancia realizar estudios geohidrológicos, con el fin de conocer las condiciones de explotación en que se encuentran los acuíferos, determinar si es posible extraer volúmenes adicionales de agua, definir fuentes alternas de abastecimiento y establecer políticas de explotación convenientes, que permitan un aprovechamiento racional del reuso.

8.1. OBJETIVOS DE UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO.

La realización de un estudio Geohidrológico tiene los objetivos siguientes:

- a) Determinar las estructuras geológicas principales que controlan el almacenamiento y flujo del agua subterránea, así como las zonas de recarga y descarga desde el punto de vista regional.
- b) Conocer la superficie piezométrica del acuífero.
- c) Determinar la recarga y descarga del acuífero.
- d) Definir las condiciones de explotación en que se encuentra dicho acuífero.
- e) Definir el volumen aprovechable de agua subterránea, sin inducir efectos perjudiciales al acuífero.
- f) Recomendar áreas favorables para la explotación de agua subterránea
- g) Determinar la calidad del agua subterránea desde el punto de vista bacteriológica, correlacionándolo físico-químico, con la geología de la zona.
- i) Evaluar riesgos potenciales de contaminación del acuífero y su impacto ambiental

8.2. DISPOSICIONES GENERALES.

Estos lineamientos tratan del conjunto de actividades encaminadas a determinar el marco Geohidrológico, la localización, distribución, calidad y disponibilidad del agua subterránea, en la modalidad de estudio preliminar ó cuantitativo. Contiene los aspectos técnicos que deben incorporarse a los proyectos de pozos, debiendo cumplir las Leyes, Reglamentos y disposiciones específicas de la CNA.

8.3. SÍMBOLOS Y GLOSARIO

8.3.1. SÍMBOLOS

- b espesor de acuífero
- cm centímetro
- k permeabilidad ó conductividad hidráulica
- km kilómetro
- m metro
- ml mililitro
- mm milímetro
- pH potencial hidrógeno
- v velocidad
- g gravedad
- hm-m ohms-metros
- Q gasto
- Qe gasto específico
- S coeficiente de almacenamiento
- s segundo
- T transmisividad
- " pulgada
- % por ciento

8.3.2. GLOSARIO.

8.3.2.1. Siglas.

SIAPA.	Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado.
ISRM.	Sociedad Internacional de Mecánicas de Rocas
CFE.	Comisión Federal de Electricidad.
CNA.	Comisión Nacional del Agua.
INEGI.	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
U. de G.	Universidad de Guadalajara.
ND.	Nivel Dinámico
NE.	Nivel Estático
RAS	Relación de absorción de sodio
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEV.	Sondeo Eléctrico Vertical (plural SEV's)
S.T.D.	Sólidos totales disueltos.
U.T.M.	Unidades Técnicas Mundiales

8.3.2.2. Nomenclatura.

- B basalto
- bx brecha volcánica
- And Andesita
- R Riolita
- Pm Pumicitas
- Ar Arcilla.
- Cgl Conglomerados
- T Tobas

8.4. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

Se debe recopilar la información climatológica, hidrológica, geológica, geofísica y topográfica, que sea de utilidad para el estudio Geohidrológico a realizar. Para el efecto, se deben consultar las fuentes de información disponibles. La información recopilada se debe ordenar, depurar y procesar para aplicarla al Estudio.

Se deben consultar los archivos de las estaciones climatológicas e hidrométricas de la, CNA, CFE, y U. de G.

Se debe elaborar un resumen de la información recopilada, así como una relación bibliográfica, que se incluya en el informe final del estudio.

El resumen debe incluir una síntesis y descripción que contemple los siguientes aspectos:

- a) La estratigrafía y geología regional.
- b) Unidades litoestratigráficas, desde el punto de vista hidrogeológico.
- c) La geología estructural, sedimentología, tectónica, historia geológica y su relación en la ocurrencia del agua subterránea.
- d) El plano geológico regional.
- e) El plano de localización de aprovechamientos hidráulicos, referenciado con coordenadas UTM.
- f) Una tabla con el resumen de las características principales de los pozos .
- g) Establecer un modelo conceptual del funcionamiento del acuífero, como hipótesis para la elaboración del estudio.
- h) Los principales parámetros geohidrológicos, indicando los valores obtenidos y la confiabilidad de los resultados. Se debe preparar una tabla que contenga los siguientes datos: nombre del estudio, año, si cuenta con estudio climatológico y geoquímico, fecha de mediciones piezométricas, número de sondeos eléctricos verticales realizados, resultado del balance y los siguientes parámetros geohidrológicos: T, S, k, b, N, E, y ND.
- i) Ubicación de los SEV's realizados con anterioridad en la zona y sus resultados, referenciados con coordenadas UTM.
- j) Perfiles geológico-geofísicos de integración.
- k) Secciones geológicas estructurales.
- l) Geometría del acuífero.
- m) Características hidráulicas de las rocas.

8.5. ESTUDIOS DE GEOLOGÍA.

El estudio geológico se debe realizar mediante el análisis estereoscópico de fotografías aéreas verticales, escala 1:25,000 (ó a la escala más próxima que exista en el mercado.)

Se deberá recopilar información geológica existente, en las Dependencias como SIAPA, CNA, CFE, etc. donde dicha información es confiable y actualizada.

Si se tiene información geológica de las Dependencias antes mencionadas confiable sobre el área, el estudio se debe limitar a la verificación de la información de los levantamientos existentes

El SIAPA indicará si se realiza la fotointerpretación ó se limita a la verificación de la geología, de acuerdo a la cantidad y calidad de información que exista sobre la zona.

En cualquiera de los casos, la geología se debe vaciar en planos topográficos, escala 1:50,000, basados en las cartas editadas por el INEGI.

El estudio geológico debe cubrir los siguientes aspectos:

- a.- Definir las unidades litológicas y estratigráficas, de acuerdo a la Referencia 1, (8.18.)
- b.- Definir las estructuras geológicas (pliegues, fallas, discordancias, fracturas y estratificación)
- c.- Precisar las características del drenaje de las unidades litológicas ó formaciones.

8.5.1. VERIFICACIÓN DEL MARCO GEOLÓGICO SUPERFICIAL.

Se deben efectuar recorridos de campo para cubrir uniformemente el área, a fin de verificar la información geológica, ya sea generada por medio de fotointerpretación ó de cartografía existente, con énfasis en las características que influyen en la ocurrencia del agua en el subsuelo.

Se deben verificar en el campo las unidades litológicas identificadas y efectuar las correcciones u observaciones sobre las fotografías aéreas ó cartografía existente y en registros de campo. Se deben comprobar los rasgos estructurales mayores que se interpretaron de las fotografías:

- fallamiento.
- plegamiento.
- ejes principales.
- estratificación.
- discordancias.

Y levantar el mayor número de datos estructurales menores:

- fracturas.
- juntas.
- diaclasas.
- foliación.

Para describir las estructuras se debe incluir la siguiente información:

- rumbo (azimut).
- inclinación (echado).
- relleno.
- abertura.
- espaciamiento.
- continuidad.

Se deben levantar un número suficiente de estructuras para que estadísticamente sean representativos de las formaciones y sean utilizados en representaciones estructurales (Referencia No. 2, 8.18).

Se deben levantar datos con espaciamiento adecuado, para definir los cambios estructurales y litológicos.

Se debe medir el espesor de las unidades litoestratigráficas presentes en la zona y este espesor debe representarse en las secciones geológicas.

Concluido el mapa geológico, se deben elaborar secciones geológicas perpendiculares a la orientación de las estructuras regionales, apoyadas en los cortes litológicos de pozos profundos y en la exploración geofísica. La escala horizontal debe ser de 1:50,000 y la vertical de 1:25,000 (las escalas propuestas en estos lineamientos pueden cambiar, de acuerdo a la extensión del área de estudio).

8.5.2. SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

Se debe realizar un estudio de geofísica por medio de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's). La localización se propone una vez que se realice la recopilación y análisis de la información existente.

Los sondeos se deben realizar utilizando el arreglo de cuatro electrodos de Schlumberger. El empleo de cualquier otro arreglo es factible, únicamente, cuando por razones específicas se requiera su utilización. Para realizar el conjunto de operaciones de medición que constituyen un sondeo eléctrico vertical, es necesario contar con equipo adecuado. Este equipo debe tener las especificaciones técnicas en sus componentes, como su circuito de emisión ó transmisor, que sea capaz de introducir y hacer circular por el terreno una corriente eléctrica de intensidad constante, hasta de 10 amperes, con una diferencia de potencial de salida entre 100 y 1200 volts y con capacidad de lectura hasta de un miliamper. El equipo debe ser previamente calibrado en el laboratorio.

En el circuito de recepción ó de potencial se debe emplear un instrumento de gran impedancia de entrada, mínimo de un megohms, capaz de medir tensiones comprendidas desde fracciones de milivolt, hasta 10 ó más volts

Para el proceso de ejecución de un SEV, el equipo debe estar provisto del cable suficiente para cubrir distancias con AB final de hasta 2000 m; y contar con todos los accesorios y herramientas complementarias.

Las mediciones deben hacerse a las aberturas interelectrónicas (AB/2) siguientes:

1-2-3-4-6-8-10-12-16-20-25-30-40-50-60-70-80-100-120-140-160-180-200-250-300-350-400-500-600-800 y 1000 metros.

Es necesario que conforme progresa la medición, se dibuje la curva de campo del sondeo, de modo que pueda advertirse la existencia de errores y/o perturbaciones y hacer las correcciones pertinentes

Se deben realizar sondeos de calibración donde exista información litológica de pozos perforados, así como en sitios donde se hayan realizado SEV's, con el fin de comparar los valores de las resistividades de la exploración geofísica, con respecto a la previa y la correlación de las unidades de roca del subsuelo.

La ubicación de los sondeos eléctricos verticales debe fijarse con base en la información geofísica y geológica recopilada y analizada, y referenciados con coordenadas UTM.

8.6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS.

Se deben realizar los recorridos de campo que sean necesarios para localizar los aprovechamientos de agua subterránea: manantiales, pozos, norias, galerías y tajos, ubicándolos en un mosaico fotográfico a escala conveniente ó en un plano seleccionado previamente para tal efecto. Asimismo, se deben recabar datos respecto a las características constructivas y de operación de los aprovechamientos:

Se deberá recopilar la información en las dependencias Federales, Estatales y Municipales, etc. respecto a los datos de:

- a.- Profundidad del pozo.
- b.- Diámetro de perforación.
- c.- Diámetro del ademe.
- d.- Diámetro de la columna de succión.
- e.- Diámetro de la descarga.
- f.- Longitud y ubicación del cedazo.
- g.- Régimen de operación.
- h.- Tipo de motor.
- i.- Tipo de bomba.
- g.- Caudal de operación.
- k.- Nivel estático.
- l.- Nivel dinámico.
- m.- Fecha de puesta en servicio.
- n.- Rehabilitaciones.
- ñ.- Gastos.
- o.- Dimensiones y profundidades.
- p.- Usos y destino.

El censo debe describir todos los aprovechamientos e incluir los afloramientos de agua subterránea (manantiales), independientemente de que se aprovechen ó no, extendiéndose a los recursos de agua superficial. Dicho censo se elaborará consultando a SIAPA y CNA y con una área que será determinada en su momento, por el SIAPA

Todos los aprovechamientos censados se deben identificar en el campo con un número, marcado claramente en un lugar visible.

En el caso de que exista un censo, los recorridos de campo deben enfocarse a realizar la verificación y actualización del mismo.

8.7. OBSERVACIONES PIEZOMÉTRICAS.

Una vez concluido el censo, ó conforme este se realice, se deben seleccionar los pozos que, por su ubicación y características constructivas, sean adecuados para la observación periódica de los niveles piezométricos del (los) acuífero(s).

Como parte del programa de trabajo, los recorridos de observación de niveles deben incluir uno al final de la época de estiaje y otro al final de la época de lluvias.

Los resultados obtenidos se deben consignar en tablas. Cuando existan datos históricos de niveles en los pozos, se debe elaborar una base de datos y trazar los hidrogramas respectivos.

8.8. CÁLCULO DE VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.

Con base en el censo de pozos se deben seleccionar los aprovechamientos que, por las características de su equipo de bombeo y/o su régimen de operación (pozos equipados con bomba de 10 cm (4") ó más de diámetro) tengan una influencia significativa en el volumen total de extracción. Se debe elegir la forma más conveniente de estimar su volumen de extracción, según el uso al que se destinen los pozos seleccionados.

En el caso de que los pozos cuenten con medidor en la descarga del equipo de bombeo, se deben recopilar las lecturas periódicas que toma el responsable de operar los pozos. Si se juzga necesario, se deben efectuar lecturas intermedias.

Para el conocimiento del tiempo de operación de los pozos, se deben realizar recorridos periódicos, para recabar la información necesaria proporcionada por los operadores. En el caso de equipos con motor eléctrico, el tiempo de operación se puede inferir de los registros de consumo de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad.

El volumen de extracción de los aprovechamientos cuyo caudal de explotación sea poco significativo (pozos no equipados ó equipados con bombas de diámetros menores a 10 cm (4")) se puede estimar globalmente.

8.9. TRABAJOS DE NIVELACIÓN.

Se deben nivelar los pozos de observación que no cuenten con la nivelación de sus brocales. La realización de esta actividad se debe apoyar en los bancos de nivel que el S.I.A.P.A. tenga instalados en la zona de estudio ó en sus proximidades, y referirlas a coordenadas UTM:

Los trabajos de nivelación se deben realizar de acuerdo al **capítulo 6** (Topografía). En los pozos de observación nivelados, se debe marcar claramente el punto acotado, a fin de que se pueda utilizar como referencia en las observaciones piezométricas. Las libretas de campo con la memoria de la nivelación se deben entregar para cualquier aclaración ó verificación posterior.

8.10. PRUEBAS DE BOMBEO.

Durante la realización del censo de aprovechamientos se debe tomar nota de aquellos pozos que presenten condiciones favorables para la ejecución de pruebas de bombeo, se seleccionan alumbramientos para realizar pruebas donde se cuente con pozos de observación (Referencia 4, subíndice 8.18). La selección de pozos para llevar a cabo las pruebas de bombeo se basa en la configuración piezométrica y se da preferencia a captaciones ubicadas en secciones donde sea importante cuantificar el caudal del flujo subterráneo.

*** Previa autorización del SIAPA se deberán realizar las obras necesarias para desalojar el agua producto de las pruebas bombeo y evitar a toda costa perjuicios a terceros ó a las vías públicas.**

Antes de iniciar la prueba de bombeo, se debe revisar el equipo a utilizar: (cronómetro, sonda, cinta métrica y escuadra para aforo, tubo de orificio calibrado, piezómetro, etc.). Además, previo al inicio del bombeo, se debe medir la profundidad del N. E. en el pozo de bombeo y en el (los) de observación. Se debe anotar la hora de inicio de la prueba y las lecturas iniciales, con el nombre de los pozos que correspondan.

Se debe realizar el bombeo procurando mantener un caudal constante y se procede a medir la profundidad del nivel del agua en el pozo de bombeo y en el (los) de observación, con la secuencia de tiempos que se indican a continuación:

TABLA 8.1. LECTURAS Y TIEMPOS PARA PRUEBAS DE BOMBEO.

LECTURA	TIEMPO A PARTIR DEL INICIO DEL BOMBEO
1	Antes de iniciar el bombeo
2	2 minutos
3	3 minutos
4	4 minutos
5	5 minutos
6	6 minutos
7	8 minutos
8	10 minutos
9	12 minutos
10	15 minutos
11	20 minutos
12	25 minutos
13	30 minutos
14	40 minutos
15	50 minutos
16	1 hora
17	1:20 horas
18	1:40 horas
19	2 horas
20	2:30 horas
21	3 horas
22	4 horas
23	5 horas
24	7 horas
25	9 horas
26	13 horas
27	19 horas
28	25 horas
29	31 horas
30	39 horas

Una vez concluida la etapa de bombeo, se debe iniciar la recuperación, cuyas observaciones se deben efectuar en los tiempos indicados en la etapa anterior. La duración de la prueba de bombeo queda sujeta a las condiciones hidrodinámicas del acuífero. La prueba se puede suspender cuando se observe una estabilización del nivel del agua por un tiempo mínimo de 3 horas, en el caso de una prueba de corta duración. Si se dispone de pozo(s) de observación, se deben realizar pruebas de larga duración (72 horas ó más, en cada una de las etapas).

Con las lecturas obtenidas, se debe dibujar, en el sitio, la gráfica de abatimiento vs. tiempo, a fin de juzgar el correcto desarrollo de la prueba. Los tiempos indicados previamente son una guía de la frecuencia con que se deben realizar las observaciones, si por cualquier causa no se puede obtener la lectura del nivel del agua en los tiempos señalados, se debe tomar la medida e indicar el tiempo al que corresponda.

8.11. MUESTREO Y ANÁLISIS.

8.11.1. PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICOS.

El SIAPA determinara los parámetros a partir de la información obtenida durante el censo y con la localización de pozos, se deben seleccionar las captaciones en las que se tomen las muestras de agua subterránea. Si se considera de utilidad para el estudio hidrogeoquímico, también se puede muestrear el agua superficial en presas, ríos, canales y drenes (Referencia 5, subíndice 8.18).

Los análisis Físico-Químicos de agua, se deben realizar de acuerdo a lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994 (actualizada al 2000) de la Secretaría de Salud. Las muestras deberán realizarse conforme a la normatividad respectiva y se deben conservar en recipientes de doble tapa, previamente lavados y enjuagados con agua de la misma fuente por muestrear; el volumen mínimo de muestra requerido para el análisis químico completo es de dos litros, el recipiente debe quedar totalmente lleno y herméticamente cerrado, rodeando el tapón con algún elemento sellante, como cera, cinta de teflón u otra semejante. La muestra se debe tomar después de un tiempo mínimo de operación de una hora, tiempo necesario para que la muestra sea realmente representativa del agua que fluye por el acuífero. En el momento de obtener la muestra se debe medir:

- a.- Temperatura, con °C
- b.- Conductividad eléctrica
- c.- Oxígeno disuelto (OD)
- d.- pH (con potenciómetro)

y anotar estos datos en el recipiente, junto con la fecha y la información necesaria para su identificación.

El análisis físico- químico debe incluir las siguientes determinaciones (Referencia 7):

Análisis Físico:

- a.- Olor
- b.- Turbiedad
- c.-- Color real
- d.-- Color aparente

Análisis Químico:

- a.- Sólidos totales
- b.- Alcalinidad
- c.- Dureza total
- d.- Dureza de calcio
- e.- Dureza de magnesio
- f.- Acidez
- g.- Sodio
- h.- Potasio
- i.- Calcio
- j.- Magnesio
- k.- Hidróxidos
- l.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- m.- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- n.- Cloruros
- o.- Sulfatos
- p.- Carbonatos
- q.- Bicarbonatos
- r.- Nitratos
- s.- Nitrógeno amoniacal
- t.- Nitrógeno de nitritos
- u.- Nitrógeno de nitratos
- v.- Nitrógeno orgánico

8.11.2.- ANÁLISIS DE PARÁMETROS ESPECIALES.

De las muestras de agua subterránea recolectadas en el rea de estudio, se debe seleccionar el 15% para realizar análisis químicos de los siguientes parámetros especiales:

- a.- Aluminio
- b.- Cromo
- c.- Zinc
- d.- Cobre
- e.- Plomo
- f.- Sílice
- g.- Flúor
- h.- Manganeso
- i.- Boro
- j.- Cadmio
- k.- Mercurio
- l.- Arsénico
- m.- Hierro
- n.- Detergentes
- o.- Bario

En el caso que en las muestras analizadas se detecte la presencia de estos elementos (Referencia 6, subíndice 8.18), debe ser necesario programar más análisis químicos al respecto.

8.11.3. ANÁLISIS ISOTÓPICOS.

El deuterio, tritio, oxígeno 18 y carbono 14 son los isótopos que se usan en estudios geohidrológicos para determinar el tiempo y altura de la descarga, para estimar el tiempo de permanencia del agua en el acuífero y para sugerir el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero.

Las muestras se deben tomar, de preferencia, en pozos que se conozca su diseño de terminación, con el fin de tener la certeza de que el agua pertenece al acuífero en estudio.

8.11.4. ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS

Se requiere un frasco de 125 ml de capacidad, de boca ancha, puede ser de vidrio ó plástico resistente al calor y que sea bacteriológicamente inerte. Se le debe añadir 0.1 ml de solución de tiosulfato de sodio al 10%, con el fin de contrarrestar la acción del cloro que pueda contener el agua y realizar el análisis antes de 6 horas (Referencia 5, subíndice 8.18).

8.12. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

8.12.1. PLANO BASE.

Con la cartografía existente del área estudiada se forma el plano base escala 1:50,000, en el que deben señalarse vías de comunicación elementos topográficos importantes, ríos, y arroyos principales, así como todas aquellas referencias que se consideren de utilidad. Todo lo anterior, referenciado a coordenadas UTM.

8.12.2. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA.

Con base en la recopilación de información, se debe elaborar un resumen de los resultados relevantes del análisis climatológico efectuado. Se deben incluir los registros de datos climatológicos de cuando menos los últimos diez años.

Estos datos se deben ilustrar mediante planos de isoyetas e isotermas, y gráficas de precipitación, temperatura y evaporación potencial de las estaciones que se encuentran en el área de estudio.

8.12.3. CENSO DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.

El mapa de localización de aprovechamientos de agua subterránea debe contener todos los aprovechamientos de agua, tanto superficial como subterránea, utilizando diferente simbología, para diferenciar los tipos de aprovechamientos y asignarles una numeración progresiva. En el caso que se haya realizado solamente la actualización del censo, el mapa se basa en la información existente, con las adiciones ó modificaciones generadas durante la realización de los trabajos de campo.

En caso de reportar la existencia de pozos recientemente perforados, se deben consignar sus principales características constructivas, régimen de operación y características del equipo, (Subíndice 8.6) y se les asigna una numeración progresiva de acuerdo al censo anterior.

8.12.4. RECURSOS HIDRÁULICOS SUPERFICIALES.

Se debe describir la red hidrográfica del área estudiada y consignar la información hidrométrica disponible de los últimos 10 años, se deben incluir datos de las estaciones hidrométricas existentes, con sus respectivos tiempos de operación, escurrimiento medio anual, máximo y mínimo.

Por lo que toca a los aprovechamientos de agua superficial, se deben consignar las obras de almacenamiento, conducción y distribución, describir las presas, canales y drenes y mencionar los volúmenes de agua utilizados y su distribución por usos. Se deben asentar las fechas de construcción y de inicio de operación.

En el caso de zonas irrigadas con agua superficial, se debe prestar especial atención a la información que permita inferir los volúmenes infiltrados a lo largo de cauces y canales, a los retornos de riego y a los volúmenes descargados por los drenes.

En un mapa se debe mostrar la red hidrográfica, las principales obras de aprovechamiento de agua superficial y las áreas beneficiadas.

8.12.5. GEOLOGÍA.

Con base en la fotointerpretación geológica y/o los levantamientos existentes, se debe preparar el mapa geológico y el hidrogeológico, escala 1:50,000. El mapa hidrogeológico debe mostrar las principales unidades hidrogeológicas que afloran en el área estudiada, diferenciadas mediante símbolos y/o colores. En el mismo mapa se debe incluir una descripción de la litología de cada formación que comprende lo siguiente:

- a.- Textura
- b.- Estructura
- c.- Porosidad
- d.- Grado de compactación ó cementación
- e.- Fracturamiento
- f.- Disolución
- g.- Petrogénesis
- h.- Comportamiento hidrogeológico respecto a fronteras, acuíferos, formación confinante ó semiconfinante

En el mapa geológico se debe representar la columna estratigráfica del área y efectuar la descripción de las unidades litoestratigráficas que afloran, indicando sus límites geomorfológicos y estructurales (Referencia 1, 8.18), también aquellas características que resulten de interés Geohidrológico.

Las fallas, pliegues, ejes y estructuras se deben ilustrar mediante símbolos, de acuerdo como lo establece la ISRM (Referencia 2, 8.18); asimismo, se debe destacar la red hidrográfica.

En el texto del informe se deben incluir los aspectos geológicos siguientes:

- a.- Geología histórica
- b.- Hidrogeomorfología
- c.- Estratigrafía
- d.- Sedimentología
- e.- Drenaje superficial
- f.- Hidrogeología
- g.- Técnica
- h.- Sismicidad

Se deben preparar secciones geológicas estructurales, apoyadas en cortes litológicos de pozos y/o en sondeos geofísicos.

Lo anterior tiene por objeto definir el marco geológico donde se mueve el agua subterránea y proponer el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero.

8.12.6. INTERPRETACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

Como parte del procesamiento de los datos geofísicos, se debe presentar la siguiente información:

- a.- Plano de localización a escala 1:50,000, con la ubicación precisa de cada sondeo y perfil geofísico.
- b.- Un expediente que contenga las hojas originales de las mediciones de campo, con sus respectivas curvas logarítmicas de resistividades aparentes .
- c.- Curvas logarítmicas de campo suavizadas, para su interpretación manual, mediante el empleo de las curvas maestras y sus gráficos auxiliares.
- d.- Cálculo de espesores y resistividades obtenidas mediante el empleo de programas de computadora. En cada sondeo se debe presentar la gráfica con la curva logarítmica de campo y la ajustada mediante el proceso computarizado. El procesamiento electrónico de las curvas de campo se debe realizar a razón de 6 ó 12 puntos de muestreo por ciclo logarítmico.
- e.- Se deben incluir tablas con información de los sondeos ejecutados, como la profundidad teórica de penetración alcanzada, según el espaciamiento en la abertura de los electrodos de corriente (AB/2), así como las respectivas resistividades aparentes obtenidas.
- f.- Mostrar resultados gráficos de los sondeos eléctricos verticales a través de:
 - Perfiles de resistividades aparentes.
 - Secciones de isoresistividades aparentes.
 - Configuraciones de resistividades aparentes, con diferentes intervalos de aberturas electródicas.
 - Perfiles geoelectrónicos con espesores y resistividades reales calculadas.
 - Secciones geológicas integradas de cada perfil geofísico realizado.
 - Configuraciones diagramáticas del basamento, cima ó estructuras geológicas específicas, comprendidas dentro de la zona de estudio.
- g.- Incluir un análisis amplio y detallado que indique las características principales de los perfiles geofísicos y de los sondeos realizados, mediante una interpretación descriptiva de los resultados obtenidos en cada perfil.
- h.- Con base en los resultados geofísicos obtenidos y a la información geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica de la zona, se debe efectuar una integración y correlación de resultados, con el objeto de presentar las conclusiones y recomendaciones del trabajo efectuado.
- i.- Reinterpretar la información geofísica previa. Independientemente de las actividades generadas por la ejecución del presente estudio, se debe recopilar, analizar, reinterpretar, describir, integrar y correlacionar los resultados obtenidos por estudios geofísicos que se hayan realizado en la zona de estudio.

Estos sondeos deben quedar debidamente señalados en el plano donde se muestran los sondeos nuevos.

8.12.7. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

8.12.7.1. Hidrogeoquímica.

Los resultados de los análisis químicos se deben ordenar, procesar e interpretar. El ordenamiento incluye la elaboración de una tabla que incluya el resumen de resultados. El procesamiento consiste en la elaboración de mapas con las configuraciones de curvas de isovalores, tales como:

- a.- Contenidos iónicos
- b.- Relaciones iónicas
- c.- S.T.D.
- d.- R.A.S.

Y gráficas y diagramas (Schoeller y Piper). El análisis y la interpretación de este material gráfico, tiene por objeto inferir la probable influencia de las formaciones geológicas en la calidad del agua, zonas de recarga potencial, direcciones predominantes del flujo subterráneo y variación de la calidad del agua, con la profundidad y con respecto al tiempo.

En zonas con agua superficial, se debe estudiar la interrelación agua superficial - agua subterránea, mediante la comparación de sus características químicas.

En caso de que el agua subterránea contenga iones ó elementos inconvenientes (Referencia 8, 8.18), como:

- a.- Nitratos
- b.- Sulfatos
- c.- Metales pesados (Pb, Cr, Cd, Hg, Fe)
- d.- Flúor
- e.- Boro
- f.- Arsénico

Se deben comentar los problemas que estos elementos pueden ocasionar en usos municipales.

8.12.7.2. Bacteriología.

Se debe evaluar el grado de contaminación del acuífero por efecto de la infiltración de las aguas negras, el riesgo que implica en el uso urbano (Referencia 6) y determinar el tipo y cantidad de contaminantes orgánicos como:

- a.- Coliformes fecales
- b.- E. coli
- c.- Coliformes totales
- d.- Estreptococos fecales
- e.- Cl. perfringens

8.12.8. PIEZOMETRÍA.

Para el procesamiento e interpretación de los datos piezométricos se debe utilizar un plano donde se indiquen los límites del acuífero estudiado.

Se debe presentar una relación con los números de pozos nivelados y sus respectivas elevaciones de brocal, e indicar en un mapa, a escala 1:50,000, ó a menor escala según el Área a estudiar; la ubicación de estos pozos y la de aquellos que se utilicen para medir periódicamente los niveles piezométricos del acuífero.

En el texto se debe mencionar la información piezométrica disponible:

- a.- Tiempo cubierto por las observaciones
- b.- Número y frecuencia de las observaciones
- c.- Número de pozos observados

Cuando se disponga de lecturas piezométricas en varias fechas, se deben graficar los hidrogramas de los pozos.

8.12.8.1. Red de Flujo subterráneo.

Se debe presentar un mapa con la configuración de los niveles estáticos, correspondientes a una fecha seleccionada y con base en el, incluir una descripción de la red de flujo subterráneo, mencionando:

- a.- Direcciones predominantes del flujo
- b.- Zonas de recarga y descarga
- c.- Gradientes hidráulicos
- d.- Comportamiento probable de las fronteras
- e.- Influencia de ríos, lagunas y canales

8.12.8.2. Evolución piezométrica.

Según el tiempo cubierto por la medición de niveles piezométricos efectuados con anterioridad, se deben seleccionar intervalos de tiempo para elaborar mapas con curvas de igual evolución del nivel estático, de un período amplio y de un año. Para el trazo e interpretación de estas curvas, se deben tomar en cuenta todos los factores que influyen en la evolución tales como distribución y magnitud del bombeo, características hidráulicas del acuífero, zonas de recarga, descarga y fronteras.

8.12.8.3.- Profundidad del nivel estático

Se debe ilustrar la profundidad al nivel estático del acuífero, mediante un mapa de curvas de igual profundidad, e indicar intervalos de profundidades, distribución espacial en el área, influencia de la topografía y zonas probables de descarga por evapotranspiración.

8.13. PRUEBAS DE BOMBEO.

Se debe indicar el número de pruebas de bombeo realizadas, ya sea del presente estudio ó anteriores, duración media, número de etapas y disponibilidad de pozos de observación.

8.13.1. MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN.

Los métodos de interpretación que se utilicen en cada una de las pruebas depende de las condiciones geológicas en el entorno del pozo, las características constructivas del mismo y del conocimiento conceptual del comportamiento hidrológico del área. Se debe señalar el método utilizado, justificando su aplicación.

Los resultados de la interpretación de las pruebas se deben resumir en una tabla que contenga:

- a.- Número de los pozos de bombeo y observación utilizados
- b.- Duración de la prueba
- c.- Caudal, caudal específico
- d.- Transmisividad
- e.- Coeficiente de almacenamiento y método de interpretación

Se deben anexar gráficas, mostrando los datos observados y el ajuste hecho para su interpretación.

8.13.2.- DISTRIBUCIÓN DE LA TRANSMISIVIDAD.

En un mapa se debe indicar la localización de los pozos utilizados para realizar las pruebas, anotando los valores respectivos de la transmisividad. Si la distribución de los valores muestran alguna tendencia, se deben trazar curvas de iso-transmisividad, tomando en cuenta la geología del área estudiada.

En el mismo mapa se debe presentar la distribución de los caudales específicos, a fin de compararlos con la transmisividad.

8.14. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Se debe realizar un balance de aguas subterráneas de la zona, indicando claramente las consideraciones hechas para plantear su ecuación, así como el término ó términos que se pretenden deducir de la misma.

Se debe ilustrar en un mapa el área de balance y las secciones utilizadas para calcular alimentaciones ó descargas subterráneas; asimismo, especificar el intervalo ó intervalos de tiempo considerados en el planteo del balance. Los cálculos efectuados para evaluar cada uno de los términos de la ecuación, se deben presentar en forma condensada.

8.14.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL BALANCE.

Con base en los resultados del balance, se debe calcular la recarga total de los acuíferos y analizar si se considera representativa de una condición media anual, ó si por el contrario, es probable que esté sobrestimada ó subestimada, según haya sido la precipitación pluvial ocurrida en el lapso considerado en el balance.

De acuerdo con la calidad de la información y de la historia piezométrica e hidrométrica disponible, se debe indicar la confiabilidad de los resultados del balance.

En los acuíferos se debe calcular el volumen saturado, la cantidad de agua almacenada y su relación con los volúmenes de precipitación, con el fin de evaluar la cantidad de agua disponible.

8.14.2. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.

Se debe evaluar el impacto ambiental causado por la realización de obras ó actividades que tengan por objeto el aprovechamiento del recurso (como puede ser la sobre-explotación del acuífero y conflictos en el uso del agua) y describir los posibles efectos de dichas obras ó actividades en el ecosistema, considerando el conjunto de elementos que lo conforman y no únicamente el recurso aprovechado (Referencia 3, subíndice 8.18).

8.14.3. RECOMENDACIONES PARA EXPLOTACIÓN FUTURA.

Se deben plantear recomendaciones generales para la explotación futura de los acuíferos, señalando en forma cualitativa (ó cuantitativa), los efectos probables que se inducirán con las recomendaciones propuestas, tomando en cuenta la relación recarga-descarga y las características particulares de la zona estudiada. Se deben incluir los siguientes puntos:

- a.- Mecanismos de recarga-descarga
- b.- litología y geometría del acuífero
- c.- Profundidad y evolución de los niveles estáticos
- d.- Distribución de la calidad del agua
- e.- Distribución de las captaciones existentes
- f.- Distribución de las captaciones propuestas.
- g.- Riesgos potenciales de contaminación
- h.- Impacto ambiental

8.15. INFORMES DE TRABAJO.

8.15.1. INFORMES PARCIALES.

Se deben presentar informes parciales por escrito y grabados en discos de 3.5" para computadora compatible al sistema IBM PC, al término de las siguientes etapas:

- a) **Recopilación y Análisis de Información Existente.**
Se debe entregar un informe que incluya lo especificado en el subíndice 8.4
- b) **Actividades de Campo.**
Se debe entregar un informe de los resultados obtenidos al finalizar los trabajos de campo, que incluya las curvas de campo y bitácora de actividades realizadas.
- c) **Procesamiento e Integración de Resultados.**
Al término del procesamiento e integración de resultados se debe entregar el proyecto del informe final, en el que se incluyan las actividades realizadas, la metodología, técnicas y razonamientos empleados para la realización de los trabajos, así como las características del equipo utilizado. Este informe se debe ilustrar con figuras, gráficas, mapas y tablas, de acuerdo al contenido que se indica en el Apéndice C.

8.16. INFORME FINAL

Una vez aprobado el Proyecto de Informe Final, se debe imprimir y encuadernar, para hacer la entrega del Informe Final, de acuerdo a lo expresado en el punto c del inciso anterior y al subíndice 8.16.2, y en donde también se incluirá un Catálogo de Conceptos especificado en el Apéndice.

APÉNDICE A. CONCEPTOS QUE DEBERÁN REALIZARSE EN UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA LOS FINES QUE SE MENCIONAN.,

TIPO A: ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO REGIONAL DE GRAN VISIÓN.

TIPO B: ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA LOCALIZACIÓN DE UNO A CUATRO POZOS MÁXIMO, CON FINES DE DESARROLLO HABITACIONALES, INDUSTRIALES, CREATIVOS, ETC.

		TIPO A	TIPO B.
8.-	GEOHIDROLOGIA.		
8.1.-	OBJETIVOS DE UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO	•	•
8.2.-	DISPOSICIONES GENERALES.	•	
8.3	SÍMBOLOS Y GLOSARIO.	•	•
8.3.1.	SÍMBOLOS.	•	•
8.3.2.	GLOSARIOS	•	•
8.3.2.1.	SIGLAS	•	•
8.3.2.2.	NOMENCLATURA.	•	•
8.4.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.	•	•
8.5.	ESTUDIOS DE GEOLOGÍA.	•	•
8.5.1.	VERIFICACIÓN DEL MARCO GEOLÓGICO SUPERFICIAL.	•	•
8.5.2.	SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.	•	•
8.6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS.	•	•
8.7	OBSERVACIONES PIEZOMETRICAS.	•	•
8.8.	CÁLCULO DE VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	•	
8.9.	TRABAJOS DE NIVELACIÓN.	•	•
8.10.	PRUEBAS DE BOMBEO.	•	
8.11.	MUESTREO Y ANÁLISIS.	•	•
8.11.1.	PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICOS.	•	•
8.11.2.	ANÁLISIS DE PARÁMETROS ESPECIALES.	•	•
8.11.3.	ANÁLISIS ISOTÓPICOS.	•	
8.11.4.	ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS.	•	•
8.12.	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	•	•
8.12.1.	PLANO BASE.	•	•
8.12.2.	INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA.	•	
8.12.3.	CENSO DE APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA.	•	•
8.12.4.	RECURSOS HIDRÁULICOS SUPERFICIALES.	•	•
8.12.5.	GEOLOGÍA.	•	•
8.12.6.	INTERPRETACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.	•	•
8.12.7.	CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	•	•
8.12.7.1.	HIDROGEOQUÍMICA.	•	
8.12.7.2.	BACTERIOLOGÍA.	•	•
8.12.8.	PIEZOMETRÍA.	•	•
8.12.8.1.	RED DE FLUJO SUBTERRÁNEA.	•	•
8.12.8.2.	EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA.	•	•
8.12.8.3.	PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO.	•	
8.13.	PRUEBAS DE BOMBEO.	•	
8.13.1.	MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN.	•	
8.13.2.	DISTRIBUCIÓN DE LA TRANSMISIVIDAD.	•	
8.14.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	•	
8.14.1.	ANÁLISIS DEL RESULTADO DEL BALANCE.	•	•
8.14.2.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL..	•	
8.14.3.	RECOMENDACIONES PARA EXPLOTACIÓN FUTURA.	•	
8.15.	INFORMES DE TRABAJO.	•	
8.15.1.	INFORMES PARCIALES.	•	•
8.16.	INFORME FINAL.	•	
8.16.1.	CATALOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y UNIDADES DE MEDIDA EN UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO	•	•
8.16.2.	CONTENIDO DEL INFORME DE ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS, RESUMEN EJECUTIVO.	•	•
8.17.	BIBLIOGRAFÍA.	•	•
8.18.	REFERENCIAS.	•	•
	OTROS.	•	•

APENDICE B. CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE TRABAJO Y UNIDADES DE MEDIDA EN UN ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO.

NUMERO	CONCEPTO	UNIDAD.
1	Recopilación y análisis de la información.	Lote
2	Fotogeología y verificación de campo.	Km2
3	Muestreo y análisis petrográfico.	Muestra
4	Censo de aprovechamientos de agua.	Lote
5	Nivelación de brocales.	Km.
6	Hidrometría de captaciones de agua subterránea.	Lote
7	Hidrometría de manantiales y corrientes superficiales.	Lote
8	Pruebas de bombeo de corta duración.	Prueba
9	Prueba de bombeo de larga duración.	Prueba
10	Muestreo y análisis físico-químico.	Muestra
11	Muestreo y análisis bacteriológico.	Muestra
12	Muestreo y análisis de parámetros especiales.	Muestra
13	Muestreo y análisis isótopo.	Muestra
14	Sondeos eléctricos verticales A-B = 1200 A-B = 1600 A-B = 2000	Sondeo Sondeo Sondeo
15	Gravimetría.	Km.
16	Magnetometría.	Km.
17	Procesamiento e interpretación de la información.	Lote
18	Integración de resultados y análisis de la información.	Lote
19	Edición de informe	Lote

APENDICE C. CONTENIDO DEL INFORME DE ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS.

RESUMEN EJECUTIVO.

1 GENERALIDADES

- 1.1 Antecedentes.
- 1.2 Objetivos.
- 1.3 Localización y descripción del área de estudio.

2 MÉTODO DE TRABAJO.

- 2.1 Actividades de campo.
- 2.2 Actividades de gabinete.

3 CLIMATOLOGÍA.

4 GEOLOGÍA.

- 4.1 Marco Geológico regional.
- 4.2 Estratigrafía y Tectónica.
- 4.3 Hidrogeomorfología.
- 4.4 Hidrogeología.
- 4.5 Modelo hidrogeológica conceptual.

5 GEOFÍSICA.

- 5.1 Fundamentos físicos.
- 5.2 Interpretación.
- 5.3 Características y descripción de perfiles geofísicos.
- 5.4 Reinterpretación, integración y correlación de estudios geofísicos previos.

6 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

7 HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.

- 7.1 Censo de aprovechamientos.
- 7.2 Piezometría.
- 7.3 Pruebas de bombeo.

8 HIDROGEOQUIMICA.

9 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

10 RECOMENDACIONES PARA EXPLOTACIÓN FUTURA.

11 IMPACTO AMBIENTAL

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

13 PLANOS, GRÁFICAS, TABLAS, FIGURAS. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

8.17. BIBLIOGRAFÍA.

- 1 AWWA Standard for Water Wells
AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION
AWWA. 1984
- 2 Groundwater
Manual of Water supply Practices
AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION
AWWAM21, 1989
- 3 Groundwater
Freeze and J.A. Cherry.
Prentice-Hall, Inc.
- 4 Hidráulica Subterránea
Loh man
Editorial Ariel, 1977
- 5 Hidrología Subterránea, Tomos I Y II
Emilio Custodio/Manuel Ramón Llamas
Ediciones Omega, S.A., 1976
- 6 Normas y Especificaciones de la Obra Publica, Libro II, SARH, 1988.
- 7 "Improving Well and Pump Efficiency".AWWA, 1984.

8.18. REFERENCIAS.

Para la correcta aplicación de estos lineamientos se deben consultar los siguientes documentos:

- 1 **International Stratigraphic Guide**, International Subcomission on Stratigraphic Classification of Comission on Stratigraphy, 1976.
- 2 **Descripción Cuantitativa De Discontinuidades**, ISRM, (International Society for Rock Mechanics), 1974.
- 3 **Manual Técnico de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Pozos en las Cuencas de México y del Alto Lerma. Departamento del Distrito Federal**, 1986
- 4 **Normas Internacionales para el Agua Potable**, Organización Mundial de la Salud, 1971.
- 5 **Ley de Aguas Nacionales y su reglamento. CNA. 2000.**
- 6 **Ley Federal de Derechos en Materia de Agua. 2003.**
- 7 **NOM – 003 – CNA – 1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.**
- 8 **MANUALES DE DISEÑO DE AGUA POTABLE ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO, DE LA CNA (año 2000):**
 - 9.1. "Perforación de pozos".
 - 9.2. "Prospección Geoeléctrica y Registros Geofísicos de Pozos".
 - 9.3. "Rehabilitación de Pozos".