

SEGUNDA SECCION
PODER EJECUTIVO
SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

PROYECTO de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

JUAN JOSÉ GUERRA ABUD, Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en los artículos 32 Bis fracción IV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 8 fracción V de la Ley de Aguas Nacionales; 38 fracción II, 40 fracción X, 46, 47 fracción I y 51 segundo párrafo de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y 5 fracción I del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y

CONSIDERANDO

Que la Ley de Aguas Nacionales establece en el artículo 7 fracción I que la gestión integrada de los recursos hídricos, superficiales y del subsuelo, a partir de las cuencas hidrológicas en el territorio nacional, son prioridad y asunto de seguridad nacional.

Que la protección, el mejoramiento, la conservación y restauración de las cuencas hidrológicas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de agua de propiedad nacional, así como zonas de captación de fuentes de abastecimiento, así como la infiltración natural o artificial de aguas para reabastecer mantos acuíferos acorde con las Normas Oficiales Mexicanas y la derivación de las aguas de una cuenca o región hidrológica hacia otras, es una prioridad del gobierno federal.

Que el restablecimiento del equilibrio hidrológico de las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, incluidas las limitaciones de extracción en zonas reglamentadas, las vedas, las reservas y el cambio en el uso del agua para destinarlo al uso doméstico y al público urbano, acorde con la normatividad vigente, es una labor constante de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través de la emisión y actualización de los estudios de disponibilidad de aguas nacionales de la Comisión Nacional del Agua, de acuerdo al artículo 22 último párrafo, de la Ley de Aguas Nacionales.

Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, establece en su artículo 40 fracción X, que una de las finalidades de las Normas Oficiales Mexicanas, es establecer las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

Que la Ley de Aguas Nacionales establece las facultades de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de expedir Normas Oficiales Mexicanas que promuevan el uso y aprovechamiento sustentable del agua a propuesta de la Comisión Nacional del Agua.

Que con fecha 17 de abril de 2002 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, "Conservación del recurso agua - que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales."

Con el fin de cumplir con lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales en su artículo 9, segundo párrafo.

Que de acuerdo, al artículo 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el 14 de mayo de 2007, se sometió a consideración del pleno del Subcomité de Normalización de Obras Hidráulicas en Cauces y Zonas sujetas a Riesgos de Inundación del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, donde se acordó aprobar su ratificación.

Que con fecha 14 de enero de 2009 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el "Acuerdo por el se modifica la nomenclatura de las Normas Oficiales Mexicanas derivadas del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua", el cual incluye la citada Norma Oficial Mexicana.

Que la citada norma fue inscrita en el Programa Nacional de Normalización 2009, publicado el 24 de abril de 2009 en el Diario Oficial de la Federación, con objeto de modificarla y establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y del subsuelo para su explotación, uso y aprovechamiento, además de lo especificado por los artículos 7, fracción IV y 96 BIS 2, Fracciones I, II y VII, de la Ley de Aguas Nacionales.

Que el presente Proyecto fue aprobado por el Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua el día 23 de noviembre de 2009 y se publica para consulta pública de conformidad con el artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, a efecto de que los interesados dentro de los 60 días naturales contados a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial de la Federación, presenten sus comentarios ante el citado Comité, sito en Av. Insurgentes Sur 2416, 3o. Piso, Col. Copilco El Bajo, Del. Coyoacán, en México, Distrito Federal, o al correo electrónico jose.camacho@conagua.gob.mx

Que durante el plazo de consulta pública, los documentos que sirvieron de base para la elaboración del citado Proyecto de Norma Oficial Mexicana, así como la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estarán a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité antes señalado.

Que habiéndose cumplido los requisitos que establece la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de los proyectos de modificación de las normas oficiales mexicanas, la Comisión Nacional del Agua ha sometido a la firma del suscrito del presente documento, por lo que he tenido a bien expedir el siguiente:

**PROYECTO DE MODIFICACIÓN A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-CONAGUA-2000,
CONSERVACIÓN DEL RECURSO AGUA-QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES Y EL MÉTODO
PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE LAS AGUAS NACIONALES**

CONTENIDO

0. Introducción
1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
6. Bibliografía
7. Observancia de esta Norma
8. Vigencia

APÉNDICE NORMATIVO A

MÉTODOS PARA DETERMINAR EL VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL

APÉNDICE NORMATIVO B

MÉTODOS PARA DETERMINAR LA RECARGA TOTAL DE UN ACUÍFERO

APÉNDICE INFORMATIVO C

EJEMPLO PARA DETERMINAR MEDIANTE EL MÉTODO DIRECTO EL VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL

APÉNDICE INFORMATIVO D

EJEMPLO PARA DETERMINAR MEDIANTE EL MÉTODO INDIRECTO EL VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL

APÉNDICE INFORMATIVO E

EJEMPLO DE MÉTODO PARA EXTRAER AGUA DE MAR, PROCEDENTE DEL SUBSUELO DE LOS ACUÍFEROS COSTEROS.

0. Introducción

Los recursos hídricos accesibles para su aprovechamiento por el hombre tienen su origen en la precipitación pluvial^(*), que al ocurrir sobre "tierra firme", se divide en dos fracciones:

- La primera fracción escurre superficialmente por las redes de drenaje natural como arroyos y ríos, hasta desembocar al mar o a cuerpos interiores de agua.
- La fracción complementaria se infiltra y circula a través de acuíferos, que a su vez descargan a cuerpos y cursos superficiales, a través de manantiales o subterráneamente al mar.

^(*) Excepciones: 1. Obtención de agua dulce por desalación del agua de mar, y
2. Enfriamiento con agua de mar de unidades generadoras de electricidad ubicadas en las costas.

Donde el agua no es desviada de manera artificial desde las fuentes hasta sus salidas al mar, a la parte baja de una cuenca interna o a la frontera interior de un acuífero, se desarrolla un sistema natural o “virgen”.

Antes de que el hombre alterara el equilibrio hidrológico para satisfacer sus necesidades, el escurrimiento virgen sustentaba a ecosistemas. Por ello, la naturaleza puede ser visualizada como el primer y natural usuario del agua.

El equilibrio natural fue gradualmente afectado conforme el hombre fue aumentando la derivación artificial de agua para satisfacer sus necesidades personales (uso doméstico), para la producción de alimentos (uso agropecuario) y para el desarrollo de procesos económicos (uso industrial).

Hasta el siglo XIX el aprovechamiento creciente del agua por el hombre con la consecuente reducción gradual de los escurrimientos naturales, en general, no causó daños graves al ambiente. Sin embargo, en el transcurso del siglo XX la derivación del agua para diversos usos creció de modo acelerado, especialmente durante su segunda mitad, al grado que ahora existen porciones importantes de la superficie continental del planeta, en las cuales el ambiente ha sufrido daños graves; en casos extremos, irreparables.

En vista de lo anterior, es de suma importancia tomar conciencia de que sólo una fracción de los escurrimientos naturales, superficiales o subterráneos, debe ser aprovechada por el hombre. Además de los requerimientos del ambiente, existen limitaciones de índole técnica que reducen aún más la proporción de los escurrimientos naturales aprovechables.

La porción accesible de los escurrimientos naturales de una cuenca, cuya infraestructura de regulación ha sido plenamente desarrollada, en la mayoría de los casos no supera el 70%, a la que hay que deducir los requerimientos del ambiente para determinar la cantidad de agua que puede destinarse a los diversos usos humanos.

Por otra parte, con base en los estudios que ha realizado la Comisión Nacional del Agua se ha detectado que en diversas regiones, entidades federativas y localidades del país, los volúmenes de agua concesionados superan el escurrimiento y la recarga de los acuíferos, situación que genera escasez del recurso, conflictos entre los usuarios y diversos efectos perjudiciales.

Considerando todo lo anterior y que la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento dispone que para el otorgamiento de asignaciones y concesiones se tomará en cuenta la disponibilidad media anual de agua, es necesario establecer en la presente Norma Oficial Mexicana las especificaciones para determinar con una metodología consistente, a nivel nacional, la disponibilidad media anual de aguas nacionales superficiales y del subsuelo, como base técnica para regular su uso, de manera racional y equitativa.

1. Objetivo

La presente Norma Oficial Mexicana tiene como objetivo establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y del subsuelo, para su explotación, uso o aprovechamiento.

2. Campo de aplicación

Las especificaciones establecidas en la presente Norma Oficial Mexicana son de observancia obligatoria para la Comisión Nacional del Agua y para los usuarios que realicen estudios para determinar la disponibilidad media anual de aguas nacionales.

3. Definiciones

Para los efectos de esta Norma, además de las definiciones contenidas en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, se entenderá por:

3.1. Aforo: mediciones realizadas en un cauce con el objetivo de obtener datos básicos para calcular el caudal que pasa por una sección transversal del mismo.

3.2. Cambio de almacenamiento: incremento o decremento del volumen de agua almacenada en el acuífero en un intervalo de tiempo cualquiera.

3.3. Cauce principal: el canal principal que capta y conduce el agua hasta la descarga de una cuenca.

3.4. Caudal base: gasto o caudal que proviene del agua subterránea.

3.5. Comisión: Comisión Nacional del Agua, órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

3.6. Creciente máxima ordinaria: es la que ocurre dentro de un cauce sin que en éste se produzca desbordamiento, en un periodo de retorno de cinco años.

3.7. Cuencas homogéneas: son las cuencas hidrológicas en que, por tener características geomorfológicas, climatológicas, geológicas e hidrológicas similares, es válido transferir información hidrológica de una a otra.

3.8. Derrame de un embalse: es aquél que descarga a través de una obra de excedencias.

3.9. Descarga natural: volumen de agua que descarga un acuífero a través de manantiales, vegetación, ríos y humedales, o subterráneamente a cuerpos de agua.

3.10. Descarga natural comprometida: fracción de la descarga natural de un acuífero, que está comprometida como agua superficial para diversos usos o que debe conservarse para prevenir un impacto ambiental negativo a los ecosistemas o la migración de agua de mala calidad a un acuífero.

3.11. Diversos usos: se refiere a todos los usos definidos en la Ley de Aguas Nacionales, como doméstico, agrícola, acuícola, servicios, industrial, gasto ecológico, pecuario, público urbano, recreativo y otros.

3.12. Disponibilidad media anual de agua del subsuelo: volumen medio anual de agua subterránea que puede ser extraído de un acuífero para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas.

3.13. Ecurrimiento desde aguas arriba: es el volumen medio anual de agua que en forma natural proviene de una cuenca hidrológica ubicada aguas arriba de la cuenca o subcuenca en análisis.

3.14. Ecurrimiento natural: es el volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica.

3.15. Evaporación: es el proceso por el cual el agua, en la superficie de un cuerpo de agua natural o artificial o en la tierra húmeda, adquiere la suficiente energía cinética de la radiación solar, y pasa del estado líquido al gaseoso.

3.16. Evapotranspiración: es la cantidad total de agua que retorna a la atmósfera en una determinada zona por evaporación del agua superficial y del suelo, y por transpiración de la vegetación.

3.17. Extracción de aguas subterráneas: volumen de agua que se extrae artificialmente de un acuífero para los diversos usos.

3.18. Extracción de aguas superficiales: volumen de agua que se extrae artificialmente de los cauces y embalses superficiales para los diversos usos.

3.19. Exportación: es el volumen de agua superficial o subterránea que se transfiere de una cuenca hidrológica o acuífero a otra u otras, hacia las que no drena en forma natural.

3.20. Hidrograma: representación gráfica de la variación del gasto o caudal con respecto al tiempo.

3.21. Importación: es el volumen de agua que se recibe en una cuenca hidrológica o acuífero desde otra u otras, hacia las que no drena en forma natural.

3.22. Parteaguas: límite físico de una cuenca o subcuenca hidrológica, representado por la línea imaginaria formada por los puntos de mayor elevación topográfica, que las separa de las vecinas.

3.23. Programación hidráulica: conjunto de programas y estrategias, mediante los cuales se precisan los objetivos nacionales, regionales, estatales y locales de la política en la materia; las prioridades para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales; la conservación de su cantidad y calidad; los instrumentos para la implantación de acciones programadas; los responsables de su ejecución, y el origen y destino de los recursos requeridos.

3.24. Recarga total: volumen de agua que recibe un acuífero, en un intervalo de tiempo específico.

3.25. Retornos: son los volúmenes que se reincorporan a la red de drenaje de la cuenca hidrológica, como remanentes de los volúmenes aprovechados en los diferentes usos del agua.

3.26. Subcuenca: fracción de una cuenca hidrológica, que corresponde a la superficie tributaria de un afluente o de un sitio seleccionado.

3.27. Transpiración: es el proceso por el cual la vegetación extrae humedad del suelo y la libera al aire circundante como vapor.

3.28. Unidad de gestión: territorio de la cuenca o subcuenca hidrológica superficial, o del acuífero, que se definen como una unidad para la evaluación, manejo y administración de los recursos hídricos.

3.29. Variación de almacenamiento en embalses: es el cambio de volumen que se presenta en los embalses, sean naturales o artificiales, debido al régimen de escurrimiento, salidas por evaporación en el vaso y políticas de operación, en un intervalo de tiempo.

4. Especificaciones

4.1 Generales

4.1.1 Las especificaciones establecidas en la presente Norma Oficial Mexicana se deben aplicar en los estudios para determinar la disponibilidad media anual de aguas nacionales en cuencas hidrológicas y en acuíferos. El método se considerará como el requerimiento técnico mínimo obligatorio y no excluye la aplicación adicional de métodos complementarios o alternos más complicados y precisos, cuando la información disponible así lo permita, en cuyo caso la Comisión revisará conjuntamente con los usuarios y determinará cuáles son los resultados que prevalecen.

4.1.2 La disponibilidad media anual de aguas nacionales superficiales en cuencas hidrológicas clasificadas como grandes (área mayor de 3000 km²), deberán subdividirse en función de la problemática regional que enfrente el uso del recurso, de la importancia de sus afluentes, localización de los diferentes usuarios e información hidroclimatológica disponible.

4.1.3 Los elementos considerados en el balance se deben de ajustar a un periodo común y actual.

4.2 Disponibilidad media anual de agua superficial en una cuenca hidrológica

4.2.1 Se determina en el cauce principal en la salida de la cuenca hidrológica, mediante la siguiente expresión:

$$\text{DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA HIDROLÓGICA} = \text{VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA HACIA AGUAS ABAJO} - \text{VOLUMEN ANUAL ACTUAL COMPROMETIDO AGUAS ABAJO}$$

4.2.2 El volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo del sitio de interés, se determina al aplicar la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA HACIA AGUAS ABAJO} &= \text{VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO DESDE LA CUENCA AGUAS ARRIBA} + \text{VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL} + \text{VOLUMEN ANUAL DE RETORNOS} \\ &+ \text{VOLUMEN ANUAL DE IMPORTACIONES} - \text{VOLUMEN ANUAL DE EXPORTACIONES} - \text{VOLUMEN ANUAL DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUPERFICIAL} \\ &- \text{VOLUMEN MEDIO ANUAL DE EVAPORACIÓN EN EMBALSES} - \text{VOLUMEN MEDIO ANUAL DE VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO EN EMBALSES} \end{aligned}$$

4.2.3 El volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba, se determina con la expresión utilizada para calcular el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo que corresponde al de la subcuenca en estudio ubicada aguas arriba.

4.2.4 El volumen medio anual de escurrimiento natural, se determina aplicando alguno de los métodos descritos en el Apéndice Normativo "A" de esta Norma Oficial Mexicana.

4.2.5 El volumen anual de retornos, se determina mediante aforo o estimación de las salidas de los volúmenes que se reincorporan a la red de drenaje de una cuenca, para los diferentes usos donde no se cuenta con aforos, se pueden estimar con el cuadro siguiente:

CUADRO 1

PORCENTAJES RECOMENDADOS DE RETORNOS CON RELACIÓN AL RANGO DE DIFERENTES USOS		
USOS	% RANGO	% RETORNO
Agrícola	10-30	20
Público Urbano	70-80	75
Industrial	50-60	55
Doméstico	70-80	75
Pecuario	10-30	15
Acuacultura	95-100	100
Generación de energía eléctrica	95-100	100

4.2.6 El volumen anual de importaciones, se determina sumando los volúmenes de agua superficial que se reciben en la cuenca hidrológica en estudio, de otra u otras cuencas hidrológicas o acuíferos.

4.2.7 El volumen anual de exportaciones, se determina sumando los volúmenes de agua superficial que se transfieren de la cuenca hidrológica en estudio, a otra u otras a las que no drena en forma natural.

4.2.8 El volumen anual de extracción de agua superficial debe incluir, en su caso, algunos o todos los volúmenes anuales siguientes:

a) Los volúmenes anuales asignados y concesionados por la Comisión, mediante títulos inscritos actualmente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) para la explotación, uso o aprovechamiento de agua en la cuenca hidrológica,

b) Los volúmenes anuales correspondientes a los expedientes de solicitud de concesión o asignación con los volúmenes correspondientes a aquellas solicitudes aprobadas y que esté en proceso de emisión del título de concesión o asignación correspondiente; y los volúmenes consignados en los títulos de concesión o asignación expedidos por la Comisión pero que aun no se hayan registrado ante el REPGA,

c) Los volúmenes anuales necesarios para cumplir con las limitaciones establecidas en las vedas,

d) Los volúmenes anuales correspondientes a las reservas, el gasto ecológico y los necesarios para cumplir con los reglamentos conforme a la Programación Hidráulica, y

e) Los volúmenes anuales de agua actualmente extraídos que no son reconocidos o no comprendidos en los apartados a y b.

Los volúmenes anuales considerados en los apartados a y b deberán incluir los volúmenes anuales de usos no consuntivos (generación de energía, acuacultura, entre otros) que aunque se consideran no reducen significativamente el volumen con su aprovechamiento, se deben considerar su existencia en el punto de extracción. Una vez realizado el aprovechamiento o uso, deberá considerarse el retorno apropiado conforme a la tabla de porcentajes de retorno cuadro 1, el cual formará parte de los volúmenes de retornos considerados en el inciso 4.2.5.

4.2.9 El volumen anual de evapotranspiración, está considerado de manera implícita, en el volumen medio anual de escurrimiento natural, al restarle a los volúmenes aforados en la estación aguas abajo los volúmenes aforados en la estación aguas arriba.

4.2.10 El volumen anual actual comprometido aguas abajo se determina como la parte de los escurrimientos de la cuenca hacia aguas abajo, necesaria para cumplir con los volúmenes asignados y concesionados por la Comisión, limitaciones que se establezcan en las vedas y, si es el caso, los volúmenes correspondientes a reservas, gasto ecológico, reglamentos y programación hidráulica.

4.2.11 Las salidas naturales que se tengan en el cauce del tramo analizado por: evaporación de la superficie libre del agua expuesta a la atmósfera; la evapotranspiración por la vegetación ribereña; y, la infiltración en el propio cauce, ya están consideradas en el término del volumen anual de escurrimiento aforado de la cuenca hacia aguas abajo.

4.2.12 El volumen medio anual de evaporación en embalses se determina a partir de la lámina de evaporación medida, aplicada a la superficie libre del agua expuesta, en los embalses naturales o artificiales.

4.2.13 El volumen medio anual de variación del almacenamiento en embalses, se determina mediante la diferencia del volumen final menos el volumen inicial ($V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}}$).

Para propósitos de cálculo del Escurrimiento natural por cuenca propia (C_p), se considerarán los valores históricos; y para el cálculo del escurrimiento hacia aguas abajo, deberá ser igual a cero.

4.2.14 La disponibilidad media anual de agua superficial en una subcuenca o en un punto específico de la red de drenaje de la cuenca hidrológica, se determina aplicando las expresiones y términos que aparecen en los puntos 4.2.1 a 4.2.13 de este inciso.

4.2.15 Las salidas naturales que se tengan en el cauce del tramo analizado por: evaporación de la superficie libre del agua expuesta a la atmósfera; la evapotranspiración por la vegetación ribereña y, la infiltración en el propio cauce, ya están consideradas en el término del volumen anual de escurrimiento aforado de la cuenca hacia aguas abajo.

4.3 Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero.

4.3.1 Se determina por medio de la siguiente expresión:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL} & & & & \text{DESCARGA} & & \\ \text{DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN} & = & \text{RECARGA TOTAL} & - & \text{NATURAL} & - & \text{EXTRACCIÓN DE AGUAS} \\ \text{ACUÍFERO} & & \text{MEDIA ANUAL} & & \text{COMPROMETIDA} & & \text{SUBTERRÁNEAS} \end{array}$$

4.3.2 La recarga total media anual se determina mediante la metodología descrita en el Apéndice Normativo "B" de esta Norma Oficial Mexicana.

4.3.3 La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos como agua superficial, alimentados por un acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar la alimentación de acuíferos adyacentes, sostener el gasto ecológico y prevenir la inmigración de agua de mala calidad al acuífero considerado.

4.3.4 La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hidráulica, determinados para el acuífero de que se trate, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua extraídos estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero. Los volúmenes de agua inscritos en el Registro Nacional Permanente no serán contabilizados en la extracción para fines de la determinación de la disponibilidad de agua, a menos que las verificaciones de campo demuestren que son extraídos físicamente.

4.4 Disponibilidad media anual de aguas nacionales.

4.4.1 El otorgamiento de nuevas concesiones de aguas superficiales o del subsuelo estará supeditado a que haya disponibilidad de ellas, tal como lo prevé la Ley de Aguas Nacionales en su artículo 22.

4.4.2 Los volúmenes de agua accesibles en un lugar y tiempo determinado, dependen regional y localmente, de la climatología, de la variación de la precipitación atmosférica y de la estación del año, de las características geomorfológicas, topográficas, hidrográficas y geológicas, así como de la infraestructura hidráulica existente, por lo cual no siempre son suficientes para que los concesionarios puedan captar la totalidad de los volúmenes medios anuales asignados y concesionados por la Comisión.

4.4.3 En el caso de que la disponibilidad media anual de agua en las cuencas hidrológicas o en los acuíferos, resulte negativa, su valor será representativo de un déficit.

4.4.4 En el caso de que en la cuenca hidrológica en estudio existan presas de almacenamiento y regulación, los volúmenes aprovechables de aguas superficiales, su distribución y usos por cada sistema o subsistema de usuarios de la cuenca, serán establecidos en los reglamentos y disposiciones de la Comisión y, serán determinados con base en los volúmenes de agua almacenados en los embalses naturales y artificiales al inicio del ciclo de interés y considerando, con base en datos históricos, el escurrimiento probable del mismo ciclo, así como el estudio hidrológico y de funcionamiento de embalses correspondiente.

4.4.5 En el caso de cuencas y acuíferos compartidas por dos o más entidades federativas y de cuencas o acuíferos transfronterizas internacionales, la disponibilidad de aguas superficiales y del subsuelo se fijará considerando, además de lo consignado en los incisos anteriores, las disposiciones establecidas en los respectivos reglamentos, tratados internacionales o en otros ordenamientos análogos.

4.4.6 Para el caso de los acuíferos en estudio, los volúmenes máximos autorizables para cada sistema o subsistema de usuarios de las aguas del subsuelo, serán establecidos en los reglamentos y disposiciones particulares de la Comisión.

4.4.7 La Disponibilidad de Agua Superficial aguas abajo de un embalse natural o artificial, se determina sumando los derrames del mismo y el volumen medio anual de escurrimiento natural generado entre el embalse y el sitio de interés, y restando al resultado el volumen anual actual comprometido aguas abajo del mismo sitio.

4.4.8 En el caso de los acuíferos costeros, la disponibilidad de agua, tomará en cuenta la factibilidad de captar agua salobre o salada mediante pozos cercanos al litoral, factibilidad que será determinada en cada caso con base, en los resultados de estudios regionales realizados por la Comisión para conocer el avance del fenómeno de intrusión salina, las condiciones hidrodinámicas en la faja costera, la conexión del acuífero con el mar y la distribución de la salinidad del agua en el subsuelo, así mismo, la Comisión podrá considerar los estudios locales realizados por los interesados, con el fin de prevenir el riesgo por la captación de agua salubre mediante pozos, o por la descarga al mar de agua de rechazo de plantas de desalinación, que generen impactos ambientales negativos o daños a terceros.

Por lo que se refiere a su disponibilidad, la concesión de agua del subsuelo dulce en las inmediaciones de la costa estará sujeta a las disposiciones establecidas en la Ley de Aguas Nacionales, en los decretos de veda respectivos y en la normativa correspondiente que al respecto haya emitido o emita la Comisión.

Como alternativa para obtener agua dulce de agua salubre, en el Apéndice E (informativo), se presenta una metodología con una serie de recomendaciones, para poder extraer agua de mar procedente del subsuelo de los acuíferos costeros, con fines de desalación. El volumen concesionado de agua salobre o salada, lo definirá la Comisión tomando en cuenta lo indicado en el inciso 4.4.1 del presente documento.

4.4.9 La información requerida para aplicar los métodos descritos en los apéndices A, B, C, D y E de esta Norma Oficial Mexicana, que obre en poder de la Comisión, podrá ser consultada por los interesados en las oficinas de las Organismos de Cuenca y Direcciones Locales de la entidad de que se trate.

5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales

No se encontró norma internacional similar a la presente Norma Oficial Mexicana.

6. Bibliografía

- ASCE, Groundwater Management, Third Edition, Manuals and Reports on Engineering Practice No. 40, American Society of Civil Engineers, New York, 1987.
- Aparicio Mijares, F.J., Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa, México, 1994.
- Balek, J., Groundwater Resources Assessment, Developments in Water Sciences, No. 38, Elsevier, Amsterdam, 1989.
- Boletines Hidrológicos publicados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión Federal de Electricidad y Comisión Internacional de Límites y Aguas.
- Bouwer, H., Groundwater Hydrology, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokio, 1978.
- Bureau of Reclamation, U.S. Department of Interior, Design of Small Dams, 1987.
- Campos Aranda, Daniel, Procesos del Ciclo Hidrológico, Universidad de San Luis Potosí, México, 1992.
- Comisión Nacional del Agua e Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Manual de Ingeniería de Ríos, Capítulos 1 al 25, México 1990.
- Custodio, E. y Llamas, M. Hidrología Subterránea, Tomo 1. Omega, Barcelona, 1983.
- Fetter, C.W., Applied Hydrogeology, Third Edition. Prentice-Hall Inc. New Jersey, 1994.
- Freeze, R.A., Cherry, J. A., Groundwater, Prentice Hall. USA, 1979.
- Gutiérrez-Ojeda, C., Metodologías para Estimar la Recarga de Acuíferos (1a. Etapa), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- Lerner, D.N., Issar, A.S. and Simmers, I. Groundwater Recharge. A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge. International Contributions to Hydrogeology. International Association of Hydrogeologists. Volume 8. Verlag Heinz Heise. Hannover, 1990.
- Linsley Ray K. Kohler Max A. Hydrology for Engineers, McGraw Hill, 1986.
- Luna N.H., y Rentería, G.S., Balances Hidráulicos del Programa Nacional Hidráulico, XIII Congreso Nacional de Hidráulica, Puebla, Pue., 1994.
- Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1975.
- Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1981.
- Planos de Isoyetas Normales Anuales editados por la Comisión Nacional del Agua.
- Pequeños Almacenamientos, del Plan Nacional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1965.
- Walton, W.C., Groundwater Resources Evaluation. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokio, 1970.

7. Observancia de esta Norma

La Comisión Nacional del Agua es la responsable de coordinar la participación de los gobiernos estatales y municipales y de las demás entidades e instituciones involucradas en la aplicación de la presente Norma Oficial Mexicana.

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Comisión Nacional del Agua. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, su Reglamento, la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento y demás disposiciones legales aplicables.

8. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 60 días naturales posteriores a su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- Provéase la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO.- Para efectos de la entrada en vigor de la presente Norma Oficial Mexicana, el gasto ecológico se determinará de acuerdo a la Norma Mexicana correspondiente, o el valor que se determine en un estudio particular.

México, D.F., a los 11 días del mes de julio de 2014.- El Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Juan José Guerra Abud**.- Rúbrica.

Apéndice Normativo "A"**Métodos para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural**

En este Apéndice se describen los métodos para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural.

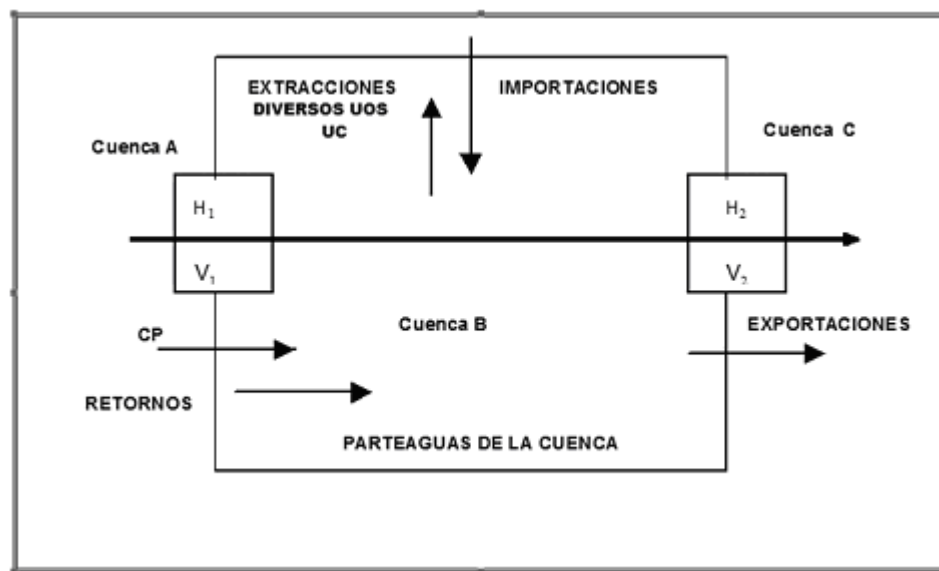
La descripción de los métodos se limita a los conceptos y expresiones básicas.

Las expresiones permiten determinar el escurrimiento natural en los métodos aquí descritos, para cada año del periodo analizado, hidrométrico o climatológico, según sea el caso, y posteriormente se obtiene su promedio.

A.1 El volumen medio anual de escurrimiento natural se determina aplicando alguno de los siguientes métodos:

A.1.1 Método Directo**A.1.1.1 Registros hidrométricos**

Este se aplica si en la cuenca en estudio existe un registro mínimo de 20 años consecutivos o no consecutivos; en caso de que falten datos en un máximo de cinco años para completar el periodo, el usuario calculará dichos años faltantes mediante algún método que le apruebe la Comisión Nacional del Agua. En el caso común de tener un sistema de cuencas interconectadas se debe elaborar un esquema de interconexión de la cuenca hidrológica en estudio con las cuencas vecinas, indicando los nombres de los cauces, dirección del flujo y, en su caso, la ubicación de los embalses naturales y artificiales.

ESQUEMA DE INTERCONEXIÓN DE LA CUENCA "B" EN ESTUDIO

Donde:

H_1 Estación hidrométrica ubicada aguas arriba en el cauce principal.

H_2 Estación hidrométrica ubicada aguas abajo en el cauce principal.

UC Extracciones para los diferentes usos en la cuenca B.

V_1, V_2 Volúmenes aforados en las estaciones hidrométricas H_1 y H_2 , respectivamente.

CP Escurrimiento natural por cuenca propia.

El volumen anual de escurrimiento natural de la cuenca se determina con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 \text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA (CP)} &= \text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO AFORADO DE LA CUENCA HACIA AGUAS ABAJO (V}_2\text{)} + \text{VOLUMEN ANUAL DE EXTRACCIONES DE AGUA SUPERFICIAL (UC)} - \text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO AFORADO DESDE LA CUENCA AGUAS ARRIBA (V}_1\text{)} \\
 &+ \text{VOLUMEN ANUAL DE EXPORTACIONES} - \text{VOLUMEN ANUAL DE IMPORTACIONES} - \text{VOLUMEN ANUAL DE RETORNOS}
 \end{aligned}$$

Información requerida:

- Nombre y área de la cuenca hidrológica o subcuenca en estudio.
- Ubicación de la cuenca hidrológica en cartas hidrográficas, indicando su localización con respecto a la región o subregión hidrológica y entidad(es) federativa(s) a la(s) que pertenece.
- Nombre de las estaciones hidrométricas y su ubicación sobre el cauce principal.
- Volúmenes de extracción de la cuenca hidrológica en estudio y sus diversos usos.
- Notas aclaratorias necesarias.
- Anexo con la información utilizada.

En el apéndice informativo "C" se muestra cómo determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural, con el método directo.

A.1.2 Métodos Indirectos

En caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información de registros hidrométricos o ésta sea escasa, para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural se aplica el método indirecto denominado: precipitación-escurrimiento.

A.1.2.1 Precipitación-escurrimiento

El volumen medio anual de escurrimiento natural se determina indirectamente, mediante la siguiente expresión:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{VOLUMEN ANUAL DE} & & \text{PRECIPITACIÓN ANUAL} & & \text{ÁREA DE LA} & & \text{COEFICIENTE DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO NATURAL DE} & = & \text{DE LA CUENCA} & * & \text{CUENCA} & * & \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{LA CUENCA} & & & & & & \end{array}$$

A.1.2.1.1 Precipitación anual en la cuenca

A) La información pluviométrica de la cuenca deberá abarcar un periodo mínimo de 20 años. En caso de que falten datos de un máximo de 5 años para completar el periodo, el usuario calculará dichos años faltantes mediante algún método que apruebe la Comisión Nacional del Agua. La precipitación anual deberá determinarse a partir del análisis de los registros de las estaciones ubicadas dentro y vecinas a la cuenca, mediante el método de Polígonos de Thiessen o Isoyetas.

B) Cuando en la cuenca en estudio no se cuenta con información pluviométrica o ésta sea escasa, la precipitación anual se podrá obtener con apoyo de los planos de Isoyetas Normales Anuales editados por la Comisión.

A.1.2.1.2 Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento se determina a partir de los siguientes procedimientos:

A) Transferencia de información hidrométrica y climatológica de cuencas vecinas, hidrológicamente homogéneas.

- En la cuenca vecina se determinan los coeficientes anuales de escurrimiento (C_e), mediante la relación del volumen de escurrimiento anual (V_e), entre el volumen de precipitación anual (V_p) correspondiente.

$$C_e = V_e / V_p$$

- Con los valores del volumen de precipitación anual y el coeficiente de escurrimiento anual obtenidos en la cuenca vecina, se establece una correlación gráfica o su ecuación matemática.
- Con apoyo de la ecuación matemática o en la gráfica; y al utilizar los valores del volumen de precipitación anual de la cuenca en estudio, se estiman los correspondientes coeficientes anuales de escurrimiento.

B) En función del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual, de la cuenca en estudio.

- A falta de información específica, con apoyo en los servicios del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables), y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 1 y al tomar en cuenta el uso actual del suelo, se obtiene el valor del parámetro K (véase Plan Nacional de Obras de Riego para el Desarrollo Rural "Pequeños Almacenamientos". Secretaría de Recursos Hidráulicos, adaptación del Libro: Small Dams).

TABLA 1 VALORES DE K, EN FUNCIÓN DEL TIPO Y USO DE SUELO

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:			
En Hilera	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75% - Regular -	0,20	0,24	0,30
Menos del 50% - Excesivo -	0,24	0,28	0,30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,30
Zonas urbanas	0,26	0,29	0,32
Caminos	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente	0,18	0,24	0,30

- Si en la cuenca en estudio existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.
- Una vez obtenido el valor de K, el coeficiente de escurrimiento anual (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes:

K: PARÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DE SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (Ce)
Si K resulta menor o igual que 0,15	$Ce = K (P-250) / 2000$
Si K es mayor que 0,15	$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0,15) / 1.5$

P= Precipitación anual, en mm.

Rango de validez.- Las fórmulas se considerarán válidas para valores de precipitación anual entre 350 y 2150 mm.

La evapotranspiración está incluida en el coeficiente de escurrimiento.

- C) En aquellos casos en que se cuente con estudios hidrológicos y se conozcan los coeficientes de escurrimiento, éstos se podrán usar para el cálculo del escurrimiento.

Información requerida:

- Procedimiento de cálculo y metodología utilizados para determinar la precipitación media anual en la cuenca.
- Procedimiento de estimación y consideraciones para determinar el coeficiente de escurrimiento.
- Relación de las estaciones climatológicas utilizadas para determinar los escurrimientos, indicando sus coordenadas geográficas, así como las entidades federativas a las que pertenecen, poblaciones próximas importantes y cualquier otra información de utilidad que permita hacer más claro el cálculo del volumen anual de escurrimiento natural.

En el caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información hidrométrica ni pluviométrica o ambas sean escasas, el volumen medio anual de escurrimiento natural se determina indirectamente transfiriendo la información de otras cuencas vecinas de la región, mismas que se consideran homogéneas y que cuentan con suficiente información hidrométrica o pluviométrica.

Además de la información requerida en los puntos A.1.1.1 y A.1.2.1 es necesaria, la siguiente:

- Descripción del método aplicado, así como la justificación de su empleo en esa cuenca, subcuenca o punto específico.
- Relación de las variables significativas de la cuenca, empleadas en el cálculo del coeficiente de escurrimiento.
- Resultados de las pruebas de homogeneidad hidrológica, climatológica y fisiográfica de las cuencas vecinas y/o registros empleados en la transferencia de información.

Apéndice normativo “B”

Método para determinar la recarga total media anual de un acuífero

En este Apéndice se describen los métodos que deberán aplicarse para determinar la recarga total media anual de un acuífero. La descripción de los métodos se limita a los conceptos y expresiones básicas; su detalle puede consultarse en las referencias bibliográficas de esta Norma Oficial Mexicana.

B.1 Balance de aguas del subsuelo

La recarga total que recibe un acuífero en un intervalo de tiempo dado, se determina por medio del balance de aguas del subsuelo, que en su forma más simple está representado por la siguiente expresión:

$$\text{RECARGA TOTAL (SUMA DE ENTRADAS)} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO} + \text{DESCARGA TOTAL (SUMA DE SALIDAS)}$$

Para deducir una recarga media representativa, se planteará el balance a un intervalo de tiempo de varios años en que se disponga de los datos básicos para cuantificar sus términos y que incluya tanto años secos como años lluviosos. En su defecto, el balance se planteará para un intervalo mínimo de un año.

B.2 Cambio de almacenamiento de un acuífero

El cambio de almacenamiento en el intervalo de tiempo considerado en el balance, se determina a partir de la evolución de los niveles del agua subterránea correspondientes al mismo intervalo y de valores representativos del coeficiente de almacenamiento del acuífero. El valor de este coeficiente se determina a partir de pruebas de bombeo y/o con base en consideraciones relativas al tipo y litología del acuífero en estudio.

B.3 Descarga total

La descarga total de un acuífero en el intervalo de tiempo considerado en el balance, se calcula como la suma de los volúmenes descargados en forma natural y de los extraídos del mismo por medio de captaciones, durante el mismo intervalo.

B.3.1 Descarga natural

Para determinar la descarga natural a través de las salidas más comunes de un acuífero, se utilizará dependiendo del caso, alguno de los métodos indicados a continuación:

B.3.1.1 Caudal base

La descarga de un acuífero a una corriente superficial, por convención denominada “Caudal Base”, se determina a partir de los datos registrados en estaciones hidrométricas instaladas sobre el cauce de la corriente, mediante el análisis de hidrogramas para diferenciar el caudal base. Si se dispone de varias estaciones hidrométricas, el método mencionado se aplicará a los tramos comprendidos entre ellas, para conocer la distribución de esta descarga a lo largo del cauce. Las mediciones para determinar el caudal deberán realizarse a lo largo de los periodos de estiaje.

B.3.1.2 Manantiales

La descarga de un acuífero a través de un manantial se determina integrando el área bajo el hidrograma, esto es, multiplicando el intervalo de balance por el gasto medio correspondiente.

El hidrograma se trazará con base en aforos realizados con frecuencia suficiente para conocer las variaciones estacionales y anuales del gasto. En todo caso, mediante consideraciones topográficas, hidrogeológicas, hidrodinámicas e hidrogeoquímicas, deberá verificarse que el manantial en cuestión es alimentado por un acuífero que se está evaluando.

B.3.1.3 Evapotranspiración

La descarga de un acuífero a la atmósfera puede tener lugar por evaporación directa de agua freática somera y por la transpiración de la flora.

La descarga de agua subterránea por evaporación directa se estima multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial medida en las estaciones climatológicas. El valor de esa fracción varía entre un máximo de uno, cuando el nivel freático aflora, y cero cuando éste se halla a profundidades mayores que la altura de la faja capilar de los materiales predominantes entre la superficie del terreno y el nivel freático; a falta de información, se supondrá que el valor de la fracción varía entre valores extremos linealmente según la profundidad de dicho nivel.

La descarga de agua subterránea por evapotranspiración depende de varios factores climáticos, hidrogeológicos y fisiológicos (tipo y densidad de vegetación), que por su amplia variación en el espacio y en el tiempo no son controlables a la escala de una cuenca o de un acuífero. Ante esta dificultad, la magnitud de este componente de descarga no se estimará por separado y su valor quedará implícito en el resultado del balance, lo cual se traducirá en una estimación conservadora de la recarga y de la disponibilidad de agua subterránea.

Sin embargo, en los casos en que la evapotranspiración sea la principal o la única componente de la descarga del acuífero, se podrán aplicar las técnicas de la percepción remota (interpretación de imágenes de satélite) para estimar la evapotranspiración real procedente del acuífero.

B.3.1.4 Flujo subterráneo

La descarga subterránea del acuífero se determina aplicando la Ley de Darcy a las secciones de salida definidas en la configuración de los niveles del agua subterránea, considerando las variaciones de ésta a lo largo del intervalo de tiempo usado en el balance.

B.3.2 Extracción

La extracción de agua subterránea en los intervalos de tiempo considerados en el balance se determina a partir de las lecturas registradas en los medidores instalados en las descargas de los pozos o, a falta de ellos, con base en los métodos indirectos -caudal y tiempo de bombeo, consumo de energía eléctrica, población servida y dotación, índices de consumo, superficies y láminas de riego- que sean aplicables según el uso del agua.

B.4 Recarga total media anual

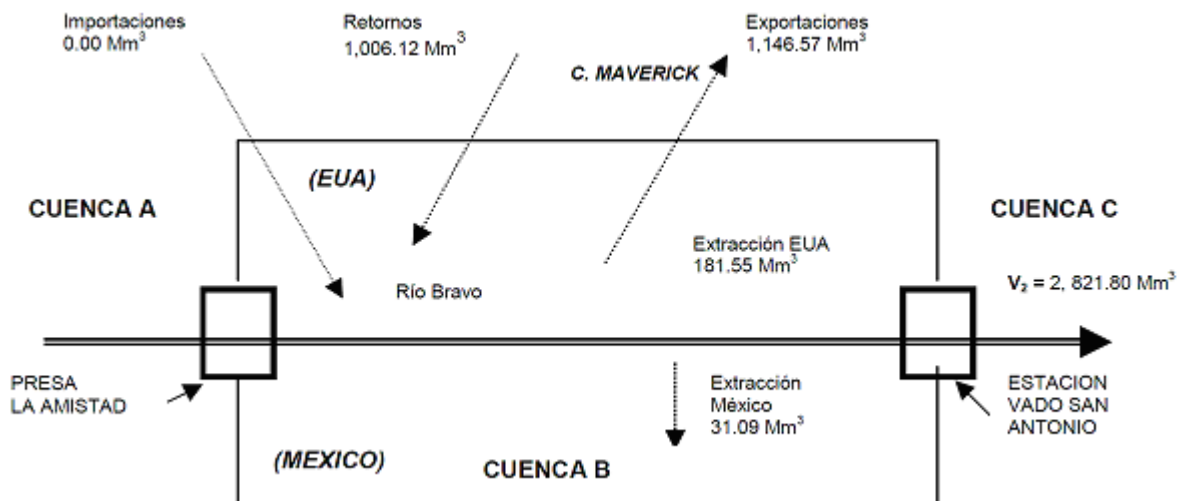
La recarga total media anual se obtendrá dividiendo la recarga total deducida del balance, entre el número de años del intervalo de tiempo utilizado para plantearlo.

B.5 Información requerida:

- Mapa base del acuífero (planta y cortes)
- Descripción geológica, hidrológica e hidrogeológica
- Datos climatológicos
- Censo de captaciones de agua subterránea
- Cortes litológicos de pozos
- Investigación geofísica
- Cotas de brocal de los pozos de observación
- Datos del comportamiento de los niveles del agua subterránea a través del tiempo
- Características hidráulicas de los acuíferos
- Registro hidrométrico de extracciones y descargas naturales de agua subterránea
- Información de la infraestructura hidráulica urbana, agrícola o industrial y datos de los volúmenes de agua manejados por medio de ella
- Cálculo de redes de flujo subterráneo (entradas y salidas para diferentes periodos)

APÉNDICE INFORMATIVO "C"**EJEMPLO PARA DETERMINAR MEDIANTE EL MÉTODO DIRECTO EL VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL (PRUEBA DEL MÉTODO)**

Utilizando la información hidrométrica, correspondiente al periodo 1960-1992, se calcula el volumen anual de escurrimiento natural en la cuenca del Río Bravo, en el tramo comprendido entre la presa La Amistad y la estación Vado San Antonio.

ESQUEMA DE LA CUENCA DEL RÍO BRAVO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA PRESA LA AMISTAD Y LA ESTACIÓN VADO SAN ANTONIO

Donde:

H_1 ; V_1 Estación y Volumen aforado aguas abajo de la presa La Amistad, en millones de metros cúbicos (Mm^3).

H_2 ; V_2 Estación y Volumen aforado en el Vado San Antonio, en Mm^3 .

CP Volumen medio anual de escurrimiento natural, en Mm^3 .

INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA (PERIODO 1960-1992)

AÑO	V_2	V_1	EXTRACCIÓN		EXPORTACIÓN C. MAVERICK	IMPORTA- CIONES	RETORNOS C. MAVERICK	ESC. NATURAL
			MÉXICO	USA				
1960	2765,38	2506,23	24,59	154,62	1173,31	0,00	1068,79	542,88
1961	3054,15	2217,59	13,62	154,97	1267,30	0,00	1146,71	1125,73
1962	1813,35	1748,80	20,92	156,89	1203,12	0,00	1041,24	404,23
1963	1572,84	1543,65	16,87	157,24	1189,53	0,00	1036,34	356,49
1964	4025,36	2894,45	18,90	154,36	1131,22	0,00	966,42	1468,99
1965	2156,13	1886,88	16,59	178,40	1210,05	0,00	1081,32	592,96
1966	3023,69	2863,42	10,88	174,53	1200,41	0,00	1090,57	455,53
1967	1939,86	1822,68	23,57	173,69	1178,53	0,00	1012,30	480,68
1968	1451,09	1280,21	17,87	203,06	1170,45	0,00	1054,28	507,98
1969	1282,94	901,44	19,31	203,03	992,38	0,00	839,64	756,57
1970	1591,99	1317,28	9,62	178,07	871,64	0,00	715,88	618,16
1971	2487,15	1478,35	15,98	189,09	851,17	0,00	657,34	1407,71
1972	1105,73	514,10	17,62	190,18	565,72	0,00	405,83	959,32
1973	1990,41	1359,44	15,18	188,16	936,54	0,00	791,06	979,78

1974	4731,40	4390,92	24,62	188,89	1136,24	0,00	953,26	736,97
1975	3459,80	2315,25	23,61	188,87	1185,91	0,00	1021,45	1522,49
1976	4259,15	2345,97	27,55	188,19	1099,54	0,00	972,38	2256,08
1977	2671,32	2019,21	19,95	186,77	974,69	0,00	795,66	1037,86
1978	3291,25	2744,79	22,55	183,00	1251,67	0,00	1076,78	926,90
1979	3317,79	2631,83	19,27	189,89	1251,61	0,00	1081,31	1065,42
1980	3032,83	2435,96	24,28	184,01	1337,17	0,00	1135,74	1006,59
1981	3275,51	2303,47	42,04	191,59	1328,62	0,00	1180,89	1353,40
1982	2704,21	2399,79	36,31	193,92	1308,36	0,00	1120,30	722,71
1983	2027,33	1659,84	34,51	185,71	1240,86	0,00	1073,03	755,54
1984	2294,23	2086,91	44,92	188,61	1075,50	0,00	940,13	576,21
1985	1885,62	1505,49	59,83	183,83	1205,78	0,00	1109,10	720,48
1986	3659,09	2944,38	37,52	183,98	1156,80	0,00	1093,51	999,50
1987	4015,22	2383,62	37,37	175,67	1238,92	0,00	1120,47	1963,08
1988	2779,26	2236,36	37,37	175,67	1207,68	0,00	1043,08	920,54
1989	2425,77	2225,95	57,83	186,24	1237,40	0,00	1055,86	625,45
1990	4435,22	3579,38	56,17	186,82	1316,49	0,00	1219,70	1195,63
1991	4235,55	3759,04	58,07	187,24	1133,28	0,00	1202,88	652,23
1992	4358,91	3248,82	120,73	185,95	1208,88	0,00	1098,66	1526,99
MEDIA	2821,80	2228,83	31,09	181,55	1146,57	0,00	1006,12	946,09

Nota.- Volúmenes en millones de metros cúbicos

Cálculo del volumen anual de escurrimiento natural para el año de 1960:

Sustituyendo los volúmenes en la fórmula:

$$CP = V_2 + \text{Extracciones (UC)} - V_1 + \text{Exportaciones} - \text{Importaciones} - \text{Retornos}$$

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{VOLUMEN ANUAL DE} & & \text{VOLUMEN ANUAL DE} & & \text{EXTRACCIÓN DE AGUA} & & \text{VOLUMEN ANUAL DE} \\
 \text{ESCURRIMIENTO} & = & \text{ESCURRIMIENTO AFORADO} & + & \text{SUPERFICIAL (UC)} & - & \text{ESCURRIMIENTO AFORADO} \\
 \text{NATURAL DE LA} & & \text{DE LA CUENCA HACIA} & & & & \text{DESDE LA CUENCA AGUAS} \\
 \text{CUENCA (Cp)} & & \text{AGUAS ABAJO (V}_2\text{)} & & & & \text{ARRIBA (V}_1\text{)} \\
 & & & + & \text{VOLUMEN ANUAL DE} & - & \text{VOLUMEN ANUAL DE} \\
 & & & & \text{EXPORTACIONES} & & \text{IMPORTACIONES} \\
 & & & & & & \text{VOLUMEN ANUAL DE} \\
 & & & & & & \text{RETORNOS}
 \end{array}$$

$$CP = 2\,765,38 + 179,21 - 2\,506,23 + 1\,173,31 - 0 - 1\,068,79 = 542,88 \text{ Mm}^3$$

VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL:

El cálculo del Volumen Medio Anual de Escurrimiento Natural se obtiene con el promedio de los Volúmenes Anuales de Escurrimiento Natural:

$$CP = (542,88 + 1\,125,73 + 404,23 + \dots + 1\,195,63 + 652,23 + 1\,526,99) / 33 = 31\,221,08 / 33 =$$

$$\text{Volumen Medio Anual de Escurrimiento Natural (CP)} = 946,09 \text{ Mm}^3$$

APÉNDICE INFORMATIVO “D”**EJEMPLO PARA DETERMINAR EL ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL NATURAL POR EL MÉTODO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO****Estaciones con influencia en la cuenca del río Tequisistlán, Oax. (mm)**

Año	San Carlos Yautepec	Ecatepec	Boquilla No. 1	Tequisistlán
1971	924,1	1155,7	452,3	697,9
1972	329,2	890,5	161,2	615,0
1973	726,7	1447,5	486,6	772,7
1974	425,6	978,5	500,0	746,9
1975	590,5	988,3	374,4	463,8
1976	243,7	833,0	242,3	334,7
1977	343,4	565,5	348,6	368,5
1978	728,5	995,2	592,3	643,0
1979	504,3	1400,4	717,6	735,4
1980	467,5	818,5	538,8	365,5
1981	820,7	1380,5	836,2	923,6
1982	466,0	873,0	499,2	361,4
1983	526,3	872,0	472,3	540,7
1984	621,0	1325,5	588,0	678,2
1985	533,9	792,1	662,3	376,0
1986	425,7	1192,7	665,4	440,7
1987	421,5	798,3	441,8	373,6
1988	570,5	1150,5	816,7	679,2
1989	817,5	1094,5	615,5	616,8
1990	471,9	350,0	650,1	407,7
1991	321,0	1121,5	506,0	630,0
1992	584,5	1022,5	709,2	492,9
Promedio	539,3	1002,1	539,9	557,5

Cálculo de la precipitación anual (P) en la cuenca del río Tequisistlán, Oax. (mm)

Año	San Carlos Yautepec PA 10,3%	Ecatepec PA 61%	Boquilla No. 1 PA 5.7%	Tequisistlán PA 23%	Precipitación anual en la cuenca (P)
1971	95,2	705,0	25,8	160,5	986,5
1972	33,9	543,2	9,2	141,5	727,8
1973	74,9	883,0	27,7	177,7	1163,3
1974	43,8	596,9	28,5	171,8	841,0
1975	60,8	602,9	21,3	106,7	791,7
1976	25,1	508,1	13,8	77,0	624,0
1977	35,4	345,0	19,9	84,8	485,0
1978	75,0	607,1	33,8	147,9	863,8
1979	51,9	854,2	40,9	169,1	1116,2
1980	48,2	499,3	30,7	84,1	662,2
1981	84,5	842,1	47,7	212,4	1186,7
1982	48,0	532,5	28,5	83,1	692,1

1983	54,2	531,9	26,9	124,4	737,4
1984	64,0	808,6	33,5	156,0	1062,0
1985	55,0	483,2	37,8	86,5	662,4
1986	43,8	727,5	37,9	101,4	910,7
1987	43,4	487,0	25,2	85,9	641,5
1988	58,8	701,8	46,6	156,2	963,3
1989	84,2	667,6	35,1	141,9	928,8
1990	48,6	213,5	37,1	93,8	392,9
1991	33,1	684,1	28,8	144,9	890,9
1992	60,2	623,7	40,4	113,4	837,7
Promedio	55,5	611,3	30,8	128,2	825,8

PA = Porcentaje de área de influencia (THIESSEN)

**MÉTODO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO VOLÚMENES ANUALES CUENCA RIO
TEQUISISTLÁN, OAX.**

Año	P (mm)	Ce anual	Volumen Anual de Esgurrimiento Natural (Mm³)
1971	986,5	0,159	346,53
1972	727,8	0,126	203,57
1973	1163,3	0,181	465,52
1974	841,0	0,141	261,57
1975	791,7	0,134	235,44
1976	624,0	0,113	156,62
1977	485,0	0,096	103,08
1978	863,8	0,143	274,11
1979	1116,2	0,175	432,13
1980	662,2	0,118	173,20
1981	1186,7	0,184	482,57
1982	692,1	0,122	186,75
1983	737,4	0,128	208,21
1984	1062,0	0,168	395,23
1985	662,4	0,118	173,29
1986	910,7	0,149	300,80
1987	641,5	0,116	164,12
1988	963,3	0,156	332,19
1989	928,8	0,152	311,43
1990	392,9	0,085	73,50
1991	890,9	0,147	289,38
1992	837,7	0,140	259,78
PROM	825,8	0,139	264,96

.....

$K = 0,25$

Como $K > 0,15$, se emplea la ecuación:

$$Ce = K \frac{(P - 250)}{2000} + \frac{(K - 0,15)}{1,5}$$

Volumen Medio Anual de Esgurrimiento Natural = $P * At * Ce = 0,8258 \times 2213 \times 0,139$

Por lo tanto el volumen medio anual natural = $264,96 \text{ Mm}^3$

P = Precipitación anual en metros = $0,8258 \text{ m}$.

Ce = Coeficiente de esgurrimiento anual adimensional = $0,139$

At = Área total de la subcuenca = 2213 km^2

K = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo

Apéndice "E"

Informativo

EJEMPLO DE MÉTODO PARA EXTRAER AGUA DE MAR, PROCEDENTE DEL SUBSUELO DE LOS ACUÍFEROS COSTEROS.

La factibilidad técnica para extraer agua salobre o salada de acuíferos costeros, mediante pozos cercanos al litoral, puede ser determinada, en base a los resultados de estudios regionales realizados o supervisados por la Comisión. Sin embargo, este anexo describe como se podría realizar un análisis privado, que permita conocer la factibilidad de obtener agua del subsuelo, salobre o salada, de los acuíferos costeros con fines de desalación antes de solicitar una concesión.

El objetivo fundamental de este anexo es determinar la posición de la interfase marina y garantizar que el agua extraída, para fines de desalación, sea la que se induce desde el mar para frenar la migración de agua salada tierra adentro, o que dicha extracción se realice por debajo de dicha interfase marina, sin causar intrusión vertical.

En ambos casos, el volumen de agua que se podría obtener como concesión, sería sin cargo a la disponibilidad de agua dulce del acuífero en cuestión, debido a que el agua extraída procede, en estas condiciones, de acuíferos que presentan conexión hidráulica con el mar, de la fuente ilimitada que éste representa (figura 1).

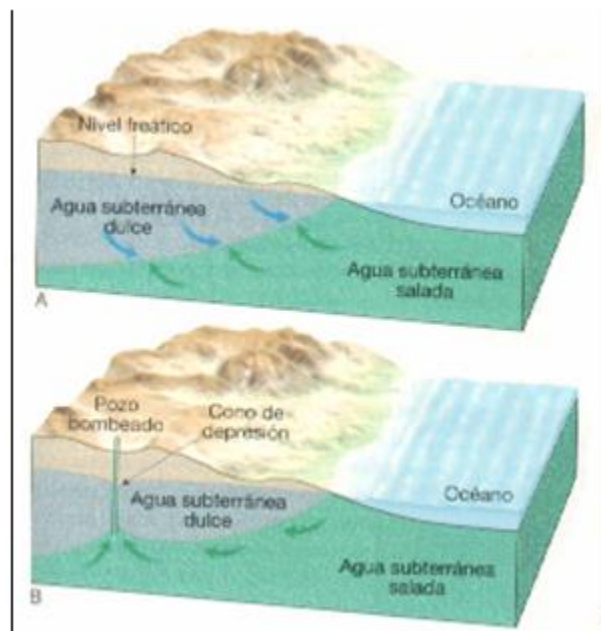


Figura 1. Posición de la interfase marina en condiciones naturales (A) e intrusión provocada por sobreexplotación (B).

Para establecer la conexión hidráulica del acuífero con el mar, será necesario definir la dirección y los gradientes de flujo en condiciones estáticas y dinámicas, la posición de la interfase agua dulce/agua marina y la conductividad eléctrica (o concentración de sólidos totales disueltos) del agua obtenida de los pozos exploratorios.

El estudio podrá contener, además de una breve descripción de las generalidades de la zona de estudio, geología e hidrología en general, las siguientes actividades:

1. Censo general de aprovechamientos de agua subterránea, piezometría e hidrometría.

Esta actividad, permitirá contar con un censo actualizado de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona costera del acuífero para proporcionar mayor confiabilidad a los cálculos del balance, en lo que se refiere al número de pozos y por lo tanto a la estimación del volumen de extracción.

Se llevará a cabo el inventario de aprovechamientos de agua subterránea a través de recorridos de campo para la identificación de las captaciones. En estas visitas, se recabará la mayor cantidad de información posible: nombre y datos específicos del concesionario, localización y datos generales del aprovechamiento, características constructivas de las captaciones, piezometría, régimen de operación, superficie regada, y cultivos principales si existiera uso agrícola, habitantes servidos, etc. En caso de que se cuente con registro eléctrico y el corte litológico del pozo, se recabará esta información que servirá para la interpretación de la pruebas de bombeo. De igual manera, se obtendrá la información referente a la profundidad al nivel del agua subterránea en los aprovechamientos censados.

2. Nivelación de brocales.

Para la nivelación de los brocales de los pozos se seleccionará la distribución espacial y el número de aprovechamientos tal que permita una buena configuración de la elevación del nivel estático. El método de mayor precisión utiliza el sistema de geoposicionamiento (GPS), de tipo diferencial, en modo estático, con una estación base y otra móvil.

Recopilará información satelital para garantizar que durante las tomas de lecturas se tenga una constelación adecuada que permita una resolución de mm en los datos obtenidos. Para ello se emplearán tiempos de observación suficientes (mínimos de 120 minutos), para obtener la precisión deseada en la determinación de las elevaciones.

El procesamiento de los datos y las elevaciones de los brocales de los aprovechamientos nivelados, quedarán referidos al nivel del mar, corroborando las altitudes con algunos bancos de elevaciones conocidas, establecidas por el INEGI, para lo cual se ligarán las bases de GPS a los bancos de referencia, así como entre ellas mismas.

3. Perforación de pozos exploratorios.

Esta es una de las actividades más importantes ya que a partir de la perforación de los pozos exploratorios será posible la obtención de información de la geología del subsuelo, obtener muestras de agua para análisis físico químico y la realización de pruebas de bombeo para la determinación de los parámetros hidrodinámicos del acuífero.

De preferencia, las perforaciones se realizarán en el sitio propuesto para la extracción de agua salobre, de tal manera que si los resultados son favorables puedan ser considerados posteriormente para la extracción de agua salobre. El diámetro de las perforaciones no deberá ser mayor a 6", en tanto que la profundidad, será determinada por los resultados de los perfiles de conductividad y los estudios geofísicos que se realicen para definir la posición de la interfase marina.

La posición de la interfase marina está dada por la relación Gyben-Herzberg, la cual señala que la posición de la interfase en el subsuelo está en proporción a la relación de densidad del agua dulce/salada, lo que se traduce en que por cada metro por encima del nivel medio del mar que se encuentre el nivel de saturación del agua dulce del acuífero, se esperan 40 metros a la profundidad de dicha interfase.

4. Pruebas de bombeo.

Con la finalidad de obtener los parámetros físicos e hidráulicos que rigen el movimiento del agua en el subsuelo: conductividad hidráulica, espesor del acuífero, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, se realizarán pruebas de bombeo, tanto en los pozos exploratorios como en otros en los que sea posible su ejecución. La duración de las pruebas será la máxima posible de acuerdo con las características de construcción y terminación de los pozos, así como la logística que es necesario considerar para su realización.

Las pruebas se realizarán tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, midiendo los abatimientos tanto en el pozo de extracción, como en otro de observación que deberá estar ubicado a una distancia no mayor a los 50 m, con el propósito de poder obtener el valor del coeficiente de almacenamiento o rendimiento específico.

En el caso de no convenir con las pruebas de larga duración, se realizarán de corta duración, con un mínimo de 6 horas en cada una de las etapas de prueba, cuidando que el agua extraída no se infiltre en el entorno del sitio de la prueba.

La etapa de recuperación tendrá, en un principio, la misma duración que la etapa de bombeo, pero podrá modificarse de acuerdo con la forma y rapidez de la recuperación del nivel del agua; siendo posible aplicar el criterio de abatimientos residuales para el cálculo de los parámetros geohidrológicos.

Las metodologías convencionales recomendadas para la interpretación de las pruebas de bombeo son las desarrolladas por Theis, Jacob, Hantush, etc., de acuerdo con el tipo de acuífero y respuesta hidráulica; los resultados deberán ser corroborados aplicando el método numérico de flujo radial de dos capas de K. S. Rathod y K. R. Rushton (1991).

5. Balance hidrometeorológico y de aguas subterráneas.

Esta actividad consiste en el planteamiento de los balances hidrometeorológico y de aguas subterráneas, para cuantificar cada uno de sus componentes. El balance hidrometeorológico específicamente, para determinar la magnitud de la infiltración procedente de la lluvia como fuente de recarga al acuífero.

Para plantear las componentes de entrada y salida del acuífero, de acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero, se utilizará la información de las pruebas de bombeo realizadas, la información recopilada de fechas previas y las configuraciones de nivel estático elaboradas. Para esta actividad se debe definir tanto el área como el periodo del balance.

La cuantificación de cada uno de los componentes, deberá estar bien sustentado en la información analizada y se presentará la memoria de cálculo en forma detallada, así como en tablas resumen. Se seleccionarán como mínimo, dos periodos para cuantificar los componentes del balance y para cada uno de ellos se elaborarán las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático, describiendo las causas de su comportamiento espacial y temporal.

Generalmente en la ecuación de balance de aguas subterráneas, se considera como incógnita la recarga vertical (que involucra tanto la recarga natural como inducida), sin embargo se deberá determinar cuantitativamente cada una de ellas mediante métodos indirectos, con el fin de acotar los valores obtenidos del balance.

Para el caso de la recarga natural se recopilará, analizará y procesará la información de estaciones climatológicas e hidrométricas, para plantear un balance de aguas superficiales y determinar la variación espacial y temporal de la precipitación, temperatura, evapotranspiración, volúmenes escurridos así como la relación lluvia-recarga y la lluvia infiltrada. Adicionalmente, con los datos de escurrimientos superficiales y área de la cuenca, se planteará la estimación de la infiltración que se presenta en los cauces.

Otra componente de recarga natural está definida por las entradas horizontales, por lo que para su estimación se utilizarán redes de flujo, calculando caudales de entrada.

La principal componente de recarga inducida en las zonas agrícolas se debe a los retornos de riego y las pérdidas en los canales de conducción, por lo que, para la estimación de los volúmenes que regresan al acuífero será necesario recabar información referente al tipo de cultivo, láminas aplicadas, uso consuntivo, sistema de riego, volumen aplicado, superficies cultivadas, tipo de canales, etc.

En lo referente a las salidas naturales, en caso de que éstas estén presentes, se determinarán los caudales de salidas por flujo subterráneo calculados, al igual que las entradas, a partir de las redes de flujo respectivas.

Para el caso de manantiales, se realizarán aforos para conocer las descargas que el acuífero presenta por esta vía. De igual manera, para las zonas de niveles freáticos someros se calculará el volumen de evapotranspiración real, mediante el método que mejor se aplique a las condiciones físicas imperantes en la zona de estudio.

Para el caso del bombeo, su valor se obtendrá de la hidrometría de las extracciones, descrita previamente.

Para el cálculo del cambio de almacenamiento para cada uno de los diferentes periodos de balance seleccionados, será necesario elaborar los planos de evolución respectivos. A partir de ellos se calcularán las diferentes áreas de evolución (de acuerdo a la escala del plano), las que al ser multiplicadas por la evolución media (abatimiento o recuperación) para esa superficie, proporcionan el volumen drenado (o ingresado al acuífero, según sea el signo). La sumatoria de estos volúmenes multiplicados por el coeficiente de

almacenamiento (S) o rendimiento específico (Sy) (según se trate de acuífero confinado o libre) proporcionará el cambio de almacenamiento (ΔV).

Una vez obtenida la recarga vertical por lluvia, se procederá al cálculo de la recarga total media anual que recibe el acuífero (en la porción considerada para el balance), cuya magnitud resulta de la suma de todas las componentes de recarga, tanto natural como inducida.

6. Obtención de perfiles de conductancia específica (salinidad).

Para la realización de esta actividad se seleccionarán aquellos pozos o norias que tengan la mayor profundidad de perforación. En cada uno de ellos se deberá tomar y registrar el valor de la conductancia específica del agua, su pH y su temperatura a cada 0,5 m de profundidad, hasta alcanzar la profundidad total de cada aprovechamiento. El conductímetro deberá ser de tipo digital, con capacidad de lecturas de 1 hasta 60 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los sensores y electrodos de la sonda deberán ser previamente calibrados con soluciones estándares de cloruro de potasio (por ejemplo: 0,01, 0,02, 0,1, 0,2 y 0,5 M KCl) y soluciones tampón (pH 4, 7 y 10).

Para cada sitio se deberá elaborar una tabla y gráfica comparativa de valores de conductancia específica, pH y temperatura vs. profundidad del pozo o noria utilizada y se deberá elaborar un mapa de valores de isoconductividad y de espesores de agua dulce inferidos a partir de los valores de conductividad eléctrica.

7. Ejecución de sondeos electromagnéticos transitorios (TEM'S).

Con el objeto de investigar el espesor del relleno, determinar la variación vertical y lateral de la resistividad eléctrica del subsuelo y la posición de la interfase marina, se ejecutarán sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TEM's), cuya ubicación, distribución y número debe ser adecuada para lograr este propósito y cubrir el área estudiada. La distancia de separación entre sondeos debe ser tal, que garantice una profundidad mínima de investigación de 300 metros.

Para la realización de los sondeos podrá emplearse un equipo en el dominio del tiempo (o de la frecuencia, previa justificación), debe de estar calibrado y contar con trazabilidad a patrones nacionales.

Para la adquisición de datos, el loop o bobina emisora deberá tener la suficiente capacidad y potencia (≈ 3 KW) y el receptor deberá poder registrar el voltaje inducido por el loop primario, los loops empleados podrán ser de 50x50 en los TEM para que las bobinas emisora y receptora puedan generar e inducir respectivamente datos confiables de los sondeos; o en su defecto deberán realizarse pruebas para definir el tamaño y número de vueltas en los loops, que permitan mejorar la calidad de la información obtenida.

Se deberá contar con una fuente de energía externa que emita una intensidad de corriente mayor a 6 Amperes, con periodos de emisión entre 10^{-4} y 1 s, un equipo receptor con rangos de muestreo de 10^{-5} y 10^{-1} s en versiones portátiles. Si se opta por equipo que trabaje en el dominio de la frecuencia, el sistema emisor-loop deberán tener la suficiente versatilidad para poder generar diferentes frecuencias, la más adecuada para realizar el estudio se seleccionará en las pruebas de campo, generalmente los rangos normales de variación de la frecuencia oscilan entre 1 y 60 000 Hz. El sistema receptor-loop también deberá ser el adecuado para poder registrar los datos.

Para el procesamiento e interpretación de los sondeos electromagnéticos se contará con el equipo de cómputo y programas apropiados (WINGLINK, Geolink, Surfer, etc.).

La localización de cada sondeo deberá realizarse con GPS de precisión y marcarse en un plano 1:50 000, así como los rasgos con respecto al tendido del dispositivo. El sitio deberá quedar bien marcado y las coordenadas referidas con respecto al centro del loop.

Dependiendo del método seleccionado, la transmisión podrá efectuarse en tres frecuencias o periodos diferentes entre 0,1 y 10 Hz; la respuesta del terreno podrá muestrearse con ventanas muy estrechas preferentemente con intervalos de registro entre 47 y 53, empleando ganancias de 0,1, 1, 10 y 100, cuidando que la relación señal/ruido sea mayor o igual a 3, que el equipo apile automáticamente la señal y además cuente con eliminador de niveles de ruido ambiental y esféricos. Se deberá tener cuidado con los objetos que causen interferencia.

El trabajo de modelación deberá iniciarse con el cálculo por inversión detallada y los modelos de semiespacio estratificado (espesor-resistividad), de cada sondeo a partir de las curvas de resistividad aparente contra tiempo o frecuencia según sea el caso. El error de ajuste entre las curvas de campo y las del modelo electroestratigráfico no deberá rebasar un $\text{ecm} = 10$, además de que, el modelo electroestratigráfico deberá estar acompañado por modelos equivalentes.

En la elaboración del modelo conceptual del área de estudio, se deberán incluir las representaciones de las resistividades aparentes medidas y las reales calculadas de los sondeos, gráficas, mapas y secciones que lo sustenten.

8. Muestreo de agua para análisis físicos y químicos e interpretación hidrogeoquímica.

Para determinar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas se obtendrán muestras de agua tanto de los pozos exploratorios como de otros aprovechamientos ubicados en la región.

En el momento de la recolección de las muestras se medirán en campo: temperatura de descarga, pH, conductancia eléctrica, alcalinidad total (no colorimétrica, sino por titulación de Gran). Las determinaciones de laboratorio deberán incluir sólidos totales disueltos (STD), dureza cálcica, dureza total, calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, nitratos, hierro, manganeso, sílice, coliformes totales, coliformes fecales y grasas y aceites.

La técnica de muestreo, la conservación, el tiempo y condiciones de almacenamiento, así como los métodos de determinación analítica, deberán ser los aprobados por la CONAGUA. El laboratorio que analizará las muestras deberá estar acreditado en los análisis de agua de los parámetros que se solicitan.

Adicionalmente, se coleccionarán 1 muestra de agua del mar y otra más para el caso de lagunas, si es que existen en la franja costera considerada, para las que se realizarán las mismas determinaciones de campo y de laboratorio que las procedentes de aguas subterráneas, con la excepción de las determinaciones microbiológicas para el caso del agua del mar.

Los resultados de los análisis físicos y químicos serán incorporados a la información hidrogeoquímica existente, la cual será interpretada para proponer origen u orígenes del agua subterránea, identificación de los procesos geoquímicos dominantes, interacción agua-roca y evidencias de contaminación. Deberán utilizarse los diagramas de Stiff y Piper para la totalidad de las muestras y Wilcox para el caso de aguas utilizadas en la agricultura. Esta actividad permitirá, para el caso de los aprovechamientos existentes, apoyar el modelo de funcionamiento hidrodinámico propuesto.

Para el caso de los pozos exploratorios, si éstos fueron perforados una vez que la posición de la interfase marina fue definida, permitirán el muestreo del agua salobre localizada bajo la interfase agua dulce-agua marina, y el monitoreo de la salinidad. A este respecto, para que el agua extraída se considere que procede de la zona localizada por debajo de esta interfase, deberá tener una concentración de STD de al menos 10 000 ppm.

9. Integración de la información.

La información recabada y generada se integrará para elaborar perfiles y secciones tanto geoelectricas como geológicas, con distintas orientaciones, que permitan definir el gradiente hidráulico y la posición de la interfase marina a lo largo y ancho de la zona costera estudiada.

Las actividades mencionadas anteriormente se consideran indispensables y básicas para determinar la conexión hidráulica del acuífero con el mar y posición de la interfase marina. Sin embargo, su ejecución no excluye la posibilidad de poder realizar otros estudios e investigaciones más específicas, detalladas y sofisticadas, como puede ser el caso de otras técnicas de exploración geofísica para investigar las estructuras geológicas y la estratigrafía del subsuelo, o la utilización de modelos hidrogeoquímicos y de simulación hidrodinámica para establecer, por ejemplo, la geometría, localización, caudal óptimo y calidad del agua de los pozos que formarán parte de la batería para la extracción del agua salobre. De igual manera, la presentación de los resultados podrá utilizar software que permita el despliegue en tres dimensiones y animaciones que simulen el efecto de la extracción.

El objetivo final de estos estudios es que los pozos de extracción sean adecuadamente ubicados, diseñados, construidos, equipados y operados para minimizar el riesgo de contaminación de la porción del acuífero que contiene agua dulce y se garantice que extraerán agua salobre por debajo de la posición de la interfase marina para evitar que se ocasione intrusión vertical (figura 2).

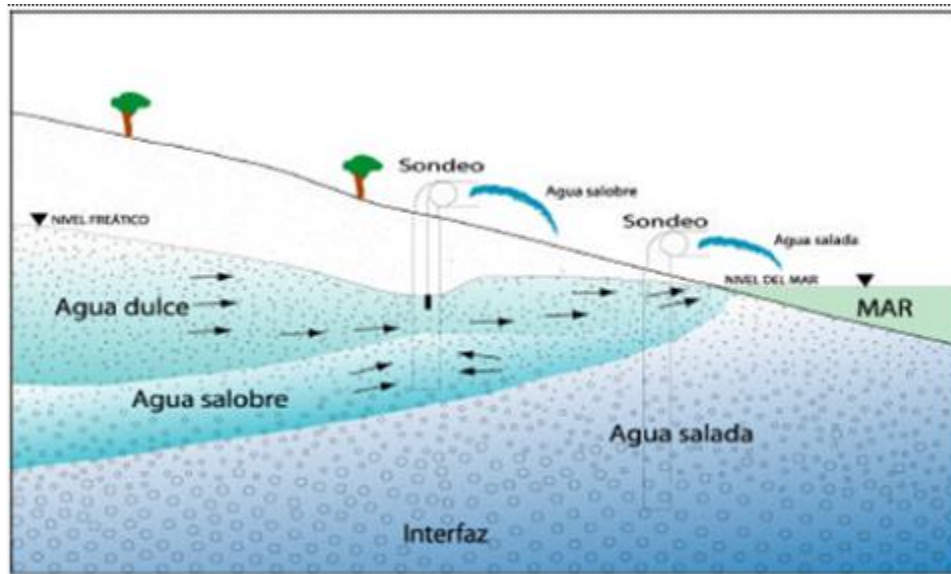


Figura 2. Esquema simplificado de la situación que se presenta durante la explotación de un acuífero costero que presenta conexión hidráulica con el mar, en el que se observa la modificación de la interfase y un mayor espesor de la zona ocupada por el agua del mar.