



**Resultados del Balance Hidrogeológico,
Acuífero de Cuernavaca, Cuenca del Agua
Dulce, Estado de Morelos**

Febrero 2010



México, D.F., a 5 de febrero de 2010

Ing. Hugo Parra
Director Técnico Región Balsas
CONAGUA
Presente

Ref. Resultados del Balance Hidrogeológico
Realizado en el Acuífero de Cuernavaca,
Cuenca del Agua Dulce, Estado de Morelos

Estimado Ing. Parra,

Grupo Ha' Marín Stillman S. C. (Grupo Ha') tiene el agrado de presentar a usted los resultado del Balance Hidrogeológico de la Cuenca del Agua Dulce en el Acuífero de Cuernavaca, misma que abarca los municipios de Huitzilac, Tepoztlán, Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec. La poligonal que delimita la cuenca se trazo conforme a los modelos digitales de elevación escala 1:50,000 de INEGI y el área del acuífero se tomo a partir de los datos publicados en el Diario Oficial de la Federación del 31 de julio de 2003.

Con base en los resultado obtenidos y aplicando la ecuación general de balance conforme a la NOM011-CONAGUA-2000, la cuenca del Agua Dulce del acuífero Cuernavaca presenta un volumen de agua subterránea disponible de 3.1 Mm³.

El presente estudio contiene una descripción del modelo conceptual hidrogeológico, la metodología empleada y los resultados obtenidos.

Grupo Ha' agradece la oportunidad de participar en este interesante proyecto. Para cualquier duda o aclaración respecto al contenido de esta propuesta, por favor no dude en comunicarse con nosotros.

Atentamente

Dr. Luis E. Marín Stillman
Director General

Cc. Arq. Cristina Padilla, Inmobiliaria de la Riba y Asoc.
Cc. Archivo del proyecto

Moctezuma 97-A, Col. Toriello Guerra, Tlalpan, CP 14050
(55) 5606 5167 www.hagrupo.com



Resultado del Balance Hidrogeológico, Acuífero de Cuernavaca, Cuenca del Agua Dulce, Estado de Morelos

ÍNDICE

1.0	Introducción.....	1
2.0	Descripción del área de estudio.....	1
3.0	Metodología.....	3
4.0	Resultados obtenidos	5
5.0	Recomendaciones	12
6.0	Referencias	13

1.0 Introducción

En años recientes, el creciente desarrollo urbano e industrial y la progresiva demanda de servicios que estos sectores requieren, se ha observado un consecuente incremento en la demanda de agua como resultado del aumento de producción, abastecimiento o la diversificación de servicios. Este aumento en la demanda de agua ha generado un desequilibrio en el sistema natural en general y particularmente el sistema hídrico se ha visto afectado considerablemente (CNA, 2002).

Un fenómeno cada vez más extendido que provoca un deterioro de los recursos de agua dulce es el estrés hídrico, en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, lagos contaminados) y de calidad (eutrofización, contaminación, intrusión salina); sucede cuando la demanda de agua es mayor a la cantidad disponible durante un periodo determinado de tiempo o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad.

Hoy en día es de vital importancia conocer la situación de los recursos hídricos para poder hacer una gestión responsable de los mismos y garantizar la sustentabilidad. Una de las herramientas técnicas que se tienen para poder estimar la cantidad de agua disponible es mediante el desarrollo de balances hídricos.

El concepto de balance está fundamentado en el equilibrio y establece una relación entre las distintas variables que componen los recursos hídricos determinando los volúmenes de agua que ingresan y salen del sistema en un intervalo de tiempo determinado. La elaboración de balances hídricos es imprescindible en los estudios de regulación de embalses y en proyectos de riego, generación hidroeléctrica y suministro de agua.

2.0 Descripción del área de estudio

Localización

El área de interés para el estudio es la cuenca del Agua Dulce dentro del acuífero Cuernavaca (clave 1701). La poligonal que delimita el área del acuífero se tomó a partir de los datos publicados en el Diario Oficial de la Federación (tabla 1) del 31 de julio de 2003. La cuenca del Agua Dulce fue delimitada a partir de la información topográfica de INEGI escala 1:50,000 e información hidrográfica de CONAGUA. La ubicación del acuífero de Cuernavaca y la cuenca de interés se muestran en la figura 1. El acuífero comprende una extensión total de 896 km², mientras la cuenca tiene un área de 410 km² y abarca los municipios de Huitzilac, Tepoztlán, Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec.

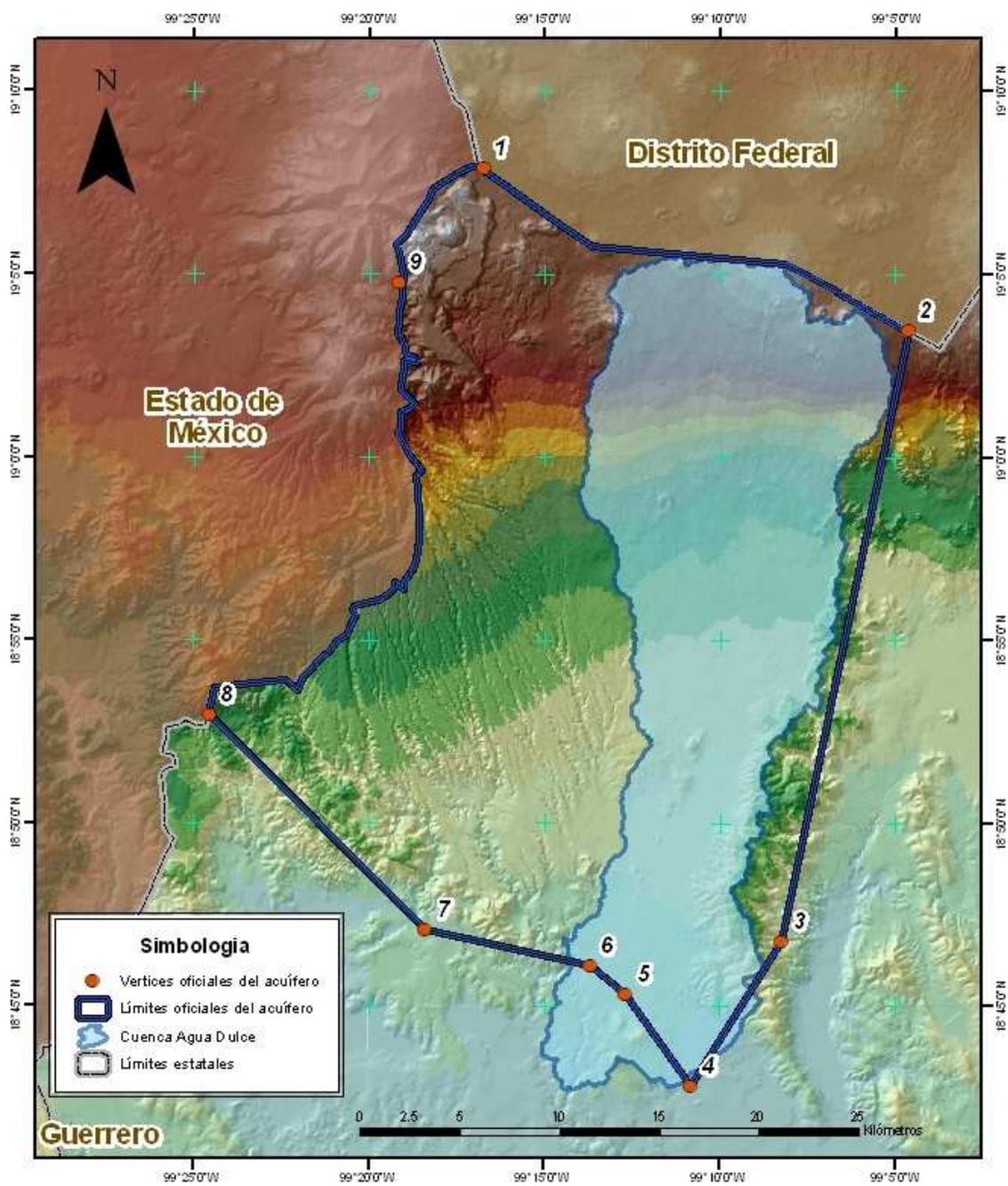


Figura 1. Localización del acuífero de Cuernavaca y cuenca del Agua Dulce.

Tabla 1. Vértices que delimitan el acuífero de Cuernavaca

Vértice	Longitud Oeste			Latitud Norte			Observaciones
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	
1	99	16	44.4	19	7	51.6	Del 1 al 2 por el límite estatal
2	99	4	37.2	19	3	25.2	
3	99	8	13.2	18	46	44.4	
4	99	10	48.0	18	42	46.8	
5	99	12	39.6	18	45	18.0	
6	99	13	40.8	18	46	4.8	
7	99	18	21.6	18	47	2.4	
8	99	24	32.4	18	52	55.2	Del 8 al 9 por el límite estatal
9	99	19	8.4	19	4	44.4	Del 9 al 1 por el límite estatal
1	99	16	44.4	19	7	51.6	

Modelo conceptual hidrogeológico

Este acuífero se encuentra alojado en dos diferentes unidades de roca: la primera unidad consiste de rocas ígneas basálticas fracturadas de la Formación Chichinautzin que presentan una alta permeabilidad y distribución irregular; la segunda unidad la constituyen rocas de la Formación Cuernavaca que presenta una permeabilidad media y una distribución irregular.

La zona conurbada de Cuernavaca, Jiutepec, Temixco y Emiliano Zapata concentra la mayor densidad de pozos del acuífero y del estado. En el caso particular de la zona ubicada entre Cuernavaca y Jiutepec, se presenta permanentemente un cono de abatimiento local, con niveles de 40 metros por debajo del nivel estático, que ha dado como resultado que en los últimos tiempos algunos usuarios de la zona han solicitado la reposición de pozos profundos por el abatimiento y niveles piezométricos que se presentan. (CNA, 2002).

3.0 Metodología

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga y extracciones), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en un periodo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de AlmacenamientoEcuación 1.}$$

Partiendo de esta ecuación podemos conocer la disponibilidad sustituyendo términos en los que las entradas quedan representadas por la recarga total (incluidas en este término el flujo horizontal desde la zona de recarga, la infiltración vertical en el propio acuífero, los retornos por riego, infiltración incidental por fugas en la red de abastecimiento y drenaje,

recarga inducida por obras de ingeniería, y descargas de corrientes superficiales al acuífero), las salidas por la descarga total (incluidas en este término las descargas naturales y las extracciones por bombeo) y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de modo que tenemos la ecuación de disponibilidad tal como se expresa en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000:

$$\text{Disponibilidad Media Anual} = \text{Recarga Total} - \text{Descarga Natural} - \text{Volumen Concesionado} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

De acuerdo con la topografía se determinó que existe una zona de recarga al acuífero en la frontera oeste del mismo.

Para determinar la Recarga Total se requiere conocer la precipitación la cual se estimó a partir de la información de estaciones climatológicas en el acuífero y sus alrededores. Conocido el valor puntual en las estaciones se interpola esta información para conocer el valor en todo el acuífero.

El volumen escurrido medio anual se determinó a partir del uso de suelo y tipo de suelo de acuerdo al apéndice normativo A.1.2.1.2 de la NOM-011-CONAGUA-2000 debido a la falta de información de estaciones hidrométricas.

Se estima que la evapotranspiración es del orden de 70% del total precipitado (CNA, 2000).

En la tabla 2 se muestran los valores del parámetro *K* a partir del cual puede ser estimado el coeficiente de escurrimiento (*Ce*) en función del tipo de suelo y uso de suelo.

Tabla 2. Valores de K para determinar el coeficiente de escurrimiento de acuerdo al uso y tipo de suelo.

Uso de suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Áreas sin vegetación / Suelo desnudo	0.26	0.28	0.30
Zona agrícola (Riego)	0.24	0.27	0.30
Zona agrícola (Temporal)	0.25	0.28	0.30
Pastizal	0.20	0.24	0.30
Bosques y selva	0.12	0.22	0.26
Zonas urbanas	0.27	0.30	0.33
Pradera	0.18	0.24	0.30

Para poder estimar el *Ce* se utilizan las siguientes ecuaciones, *P* representa el valor de la precipitación:

Si *K* resulta menor o igual que 0.15 $Ce = K (P-250) / 2000$

Si *K* es mayor que 0.15 $Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5$

4.0 Resultados obtenidos

La precipitación se estimó a partir de la información de 26 estaciones climatológicas ubicadas en el Estado de México, Distrito Federal y Morelos (Figura 2).

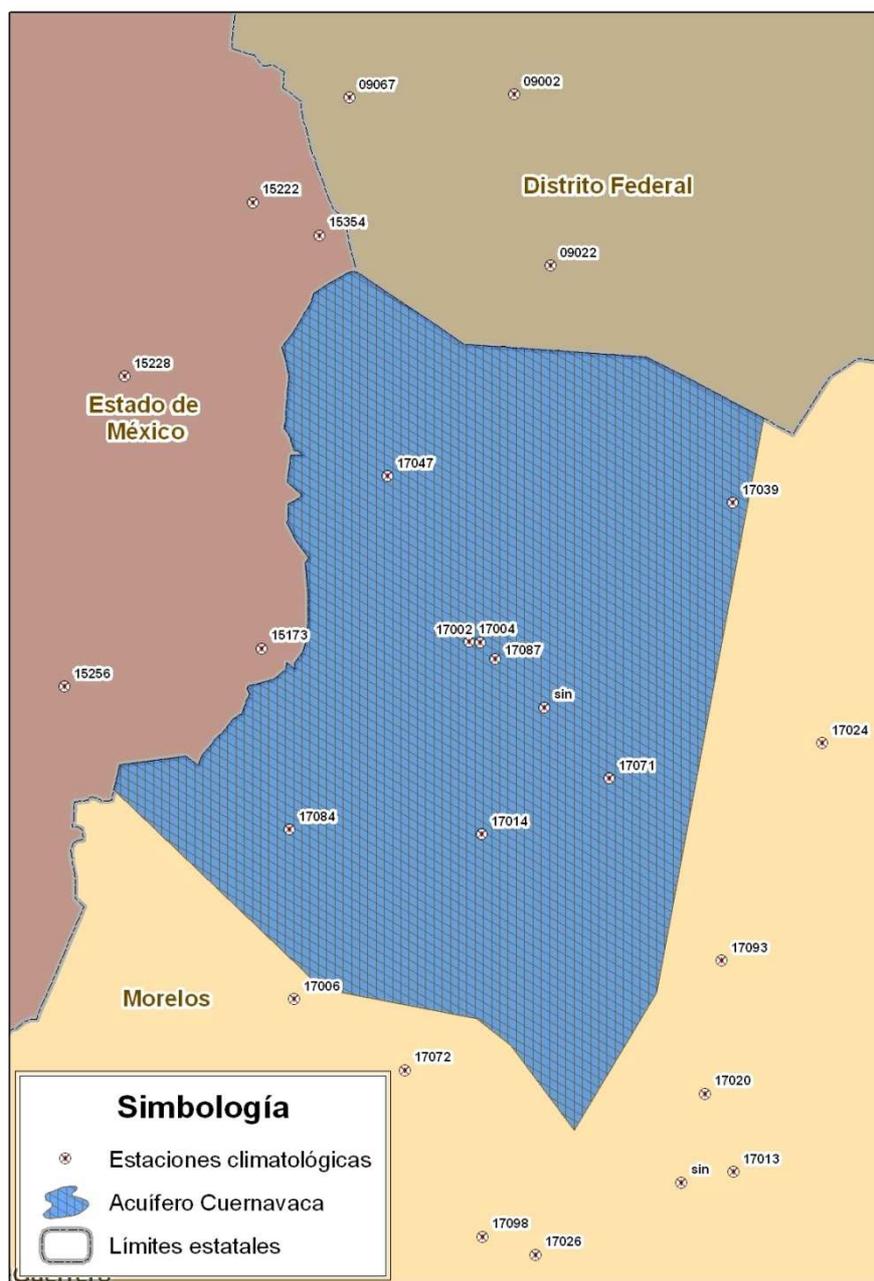


Figura 2. Ubicación de estaciones climatológicas

En la tabla 3 se muestran los valores de precipitación acumulada y temperatura media de acuerdo con el análisis histórico de sus registros.

Tabla 3. Datos climatológicos por estación

Clave	Nombre	PAA	TMA
sin	ALAMEDA	1218.8	21.9
17016	ALPUYECA	776.2	24.1
17084	CUENTEPEC	1030.6	21.9
17004	CUERNAVACA CNA	1221.8	20.9
17002	CUERNAVACA EMP	1227.5	21.4
17006	EL RODEO	958.2	23.6
17087	OBSERVATORIO	1307.3	21.2
17071	PROGRESO	1021.4	21.9
17013	TEMILPA	897.0	24.0
17014	TEMIXCO	943.7	23.0
17093	TICUMAN	889.3	24.2
17020	TLACOTEPEC	1020.5	20.0
17098	XOXOCOTLA	790.2	23.8
17024	YAUTEPEC	925.7	21.5
17026	ZACATEPEC	848.8	23.8
17039	SAN JUAN TLACOTENCO	1564.7	15.8
17047	HUITZILAC	1561.5	12.2
sin	TLALTIZAPAN	835.2	22.3
09002	AJUSCO	1129.8	9.2
09067	MONTE ALEGRE	1306.2	6.6
09022	KM. 39.5	1226.2	8.5
15222	COAXAPA	851.7	12.7
15354	EL CAPULIN	1284.9	12.4
15228	LA LAGUNILLA	930.9	8.6
15173	AHUATENCO	1266.4	15.7
15256	OCUILAN E-23	1259.8	8.6

PAA = Precipitación Acumulada Anual

TMA = Temperatura Media Anual

Fuente: Servicio Meteorológico del Estado de Morelos, ERIC III

La distribución espacial de la precipitación se muestra en la figura 3, en la que se observa una marcada tendencia en la que la precipitación está influenciada por la topografía observándose que a mayor elevación se presenta una mayor precipitación.

Una vez realizada la interpolación de los datos de precipitación se tiene que la lámina promedio de precipitación en la cuenca es de 1,216 mm/año con una desviación estándar de ± 239 mm/año con valores extremos mínimos y máximos de 802 y 1,588 mm/año respectivamente lo que representa un volumen total de 472.3 Mm³. A este volumen se le resta el volumen escurrido y la evapotranspiración con lo cual es posible determinar el volumen de agua que se infiltra de manera vertical.

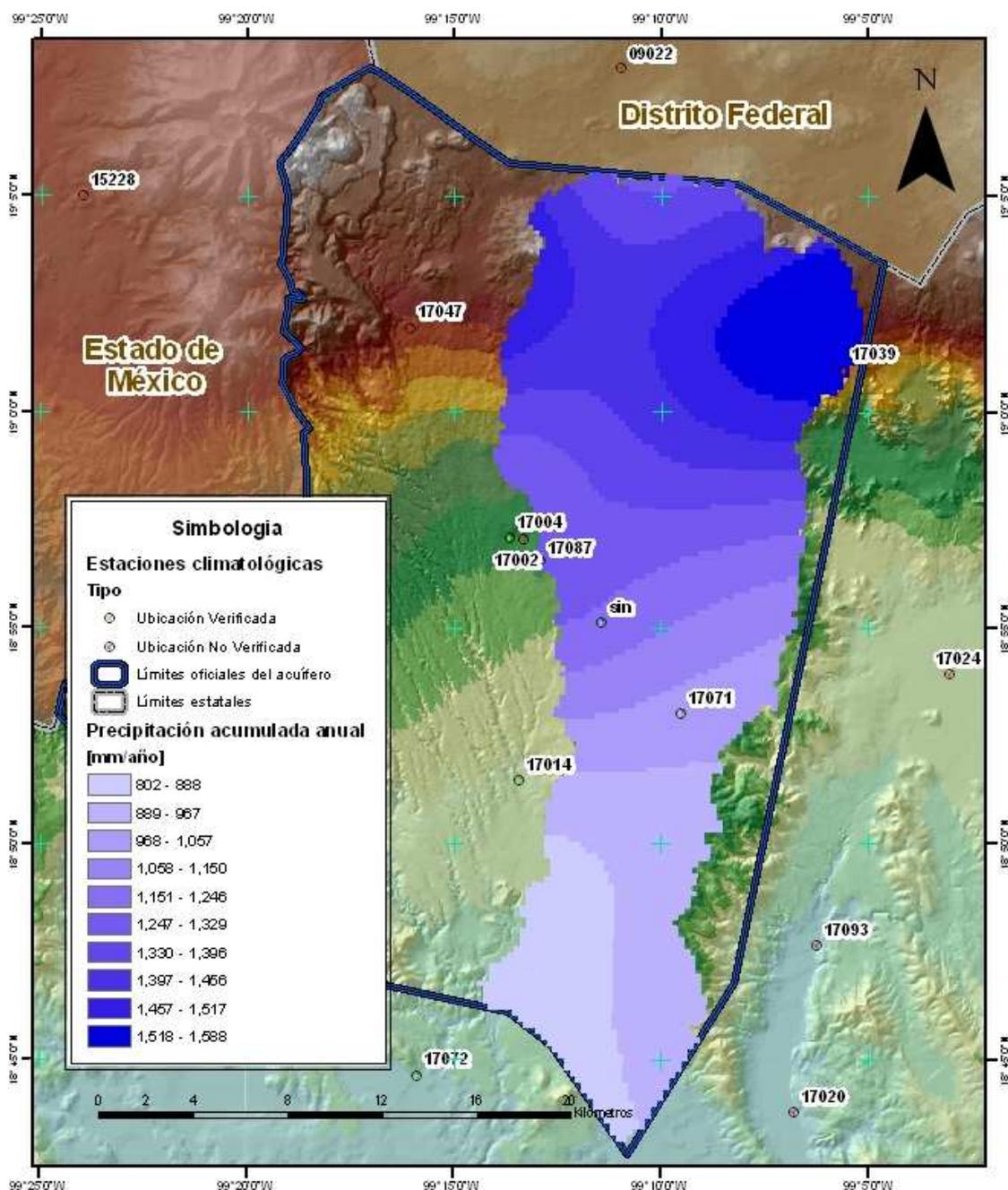


Figura 3. Distribución espacial de la precipitación

Para estimar el coeficiente de escurrimiento se requiere conocer el uso y tipo de suelo para asignarle a la zona un valor de K de acuerdo a la tabla 2. A partir de la cartografía de INEGI se identificaron 13 tipos de suelo, los cuales se describen en la tabla 4 con los usos correspondientes. Con dicha información se estimaron coeficientes de escurrimiento que varían de 3.7 a 28.8 % con un coeficiente en promedio de 13 % en la cuenca (Figura 4), que aplicados a la precipitación en el acuífero representan un volumen escurrido de 58.7 Mm^3 .

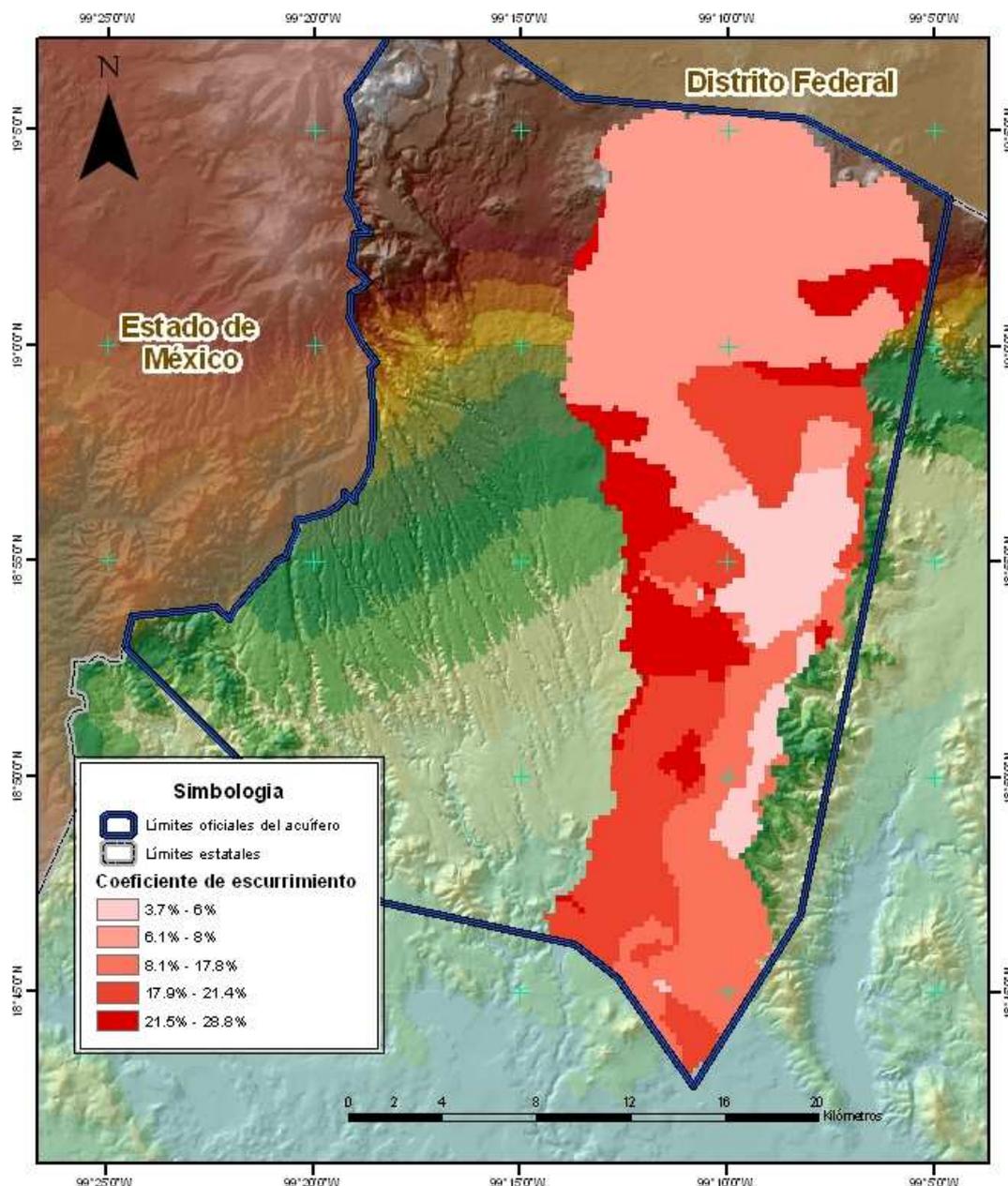


Figura 4. Distribución espacial del coeficiente de escurrimiento.

Tabla 4. Descripción de las unidades de suelo y reclasificación según criterio de NOM-011-CONAGUA-2000

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Clasificación</i>
Acrisol húmico	Suelos con mayor contenido de arcilla en el subsuelo, con un horizonte de carbono orgánico en la fracción tierra fina como promedio ponderado.	C
Andosol húmico	Se desarrollan en eyecciones y vidrios volcánicos (ceniza, tufa, pómez y otros), con un horizonte de carbono orgánico en la fracción tierra fina como promedio ponderado.	A
Andosol mólico	Se desarrollan en eyecciones y vidrios volcánicos (ceniza, tufa, pómez y otros), es un horizonte superficial grueso, bien estructurado, oscuro, con alta saturación con bases y moderado a alto contenido de materia orgánica.	A
Andosol ocrítico	Se desarrollan en eyecciones y vidrios volcánicos (ceniza, tufa, pómez y otros).	A
Cambisol cálcico (calcárico)	Presentan la transformación del material parental y un incremento en el porcentaje de arcillas, con un horizonte <i>cálcico</i> o concentraciones de carbonatos secundarios que comienzan dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.	C
Cambisol vertico	Presentan la transformación del material parental y un incremento en el porcentaje de arcillas, es un horizonte subsuperficial arcilloso que, como resultado de expansión y contracción, presenta superficies pulidas (<i>slickensides</i>) y agregados estructurales en forma de cuña.	C
Castañosem háplico	Contienen un rango amplio de materiales no consolidados, consolidados sobre loess, tiene una expresión típica de ciertos rasgos.	B
Castañosem cálcico (calcárico)	Contienen un rango amplio de materiales no consolidados, consolidados sobre loess, con un horizonte <i>cálcico</i> o concentraciones de carbonatos secundarios que comienzan dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.	B
Chernozem cálcico (calcárico)	Principalmente sedimentos eólicos y eólicos retrabajados, con un horizonte <i>cálcico</i> o concentraciones de carbonatos secundarios que comienzan dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.	B
Feozem calcárico	Ricos en materia orgánica, de textura media y con buen drenaje y ventilación. Por lo general son poco profundos, pedregosos y con baja estabilidad, contiene material de 2 por ciento o más de carbonato de calcio equivalente.	A
Feozem háplico	Ricos en materia orgánica, de textura media y con buen drenaje y ventilación. Por lo general son poco profundos, pedregosos y con baja estabilidad, tiene una expresión típica de ciertos rasgos.	A
Feozem lúvico	Ricos en materia orgánica, de textura media y con buen drenaje y ventilación. Por lo general son poco profundos, pedregosos y con baja estabilidad, que tiene un <i>horizonte árgico</i> que tiene una CIC (por NH ₄ OAc 1 M) de 24 cmolc kg ⁻¹ arcilla o más en todo su espesor o hasta una profundidad de 50 cm debajo de su límite superior.	A
Litosol	Están formados sobre roca continua y son suelos extremadamente graviliosos y/o pedregosos.	A

Cont. Tabla 4. Descripción de las unidades de suelo y reclasificación según criterio de NOM-011-CONAGUA-2000

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Clasificación</i>
Luvisol crómico	Se presenta lavado de arcilla de los horizontes superiores para acomodarse en uno más profundo, formando un horizonte árgico, tiene dentro de 150 cm de la superficie del suelo una capa subsuperficial, de 30 cm o más de espesor color rojo.	C
Regosol calcárico	Suelos minerales débilmente desarrollados en materiales no consolidados, arenosos o con materiales flúvicos, contiene material de 2 por ciento o más de carbonato de calcio equivalente.	B
Regosol dístrico	Suelos minerales débilmente desarrollados en materiales no consolidados, arenosos o con materiales flúvicos, tiene una saturación con bases menor de 50 por ciento en la mayor parte entre 20 y 100 cm de la superficie del suelo o entre 20 cm y <i>roca continua</i> o una capa cementada o endurecida.	B
Regosol eútrico	Suelos minerales débilmente desarrollados en materiales no consolidados, arenosos o con materiales flúvicos, tiene una saturación con bases (por NH ₄ OAc 1 M) de 50 por ciento o más en la mayor parte entre 20 y 100 cm de la superficie del suelo o entre 20 cm y <i>roca continua</i> o una capa cementada o endurecida.	B
Rendzina	Suelos poco evolucionados que se forman sobre una roca madre carbonatada.	C
Vertisol pélico	Suelos arcillosos con un alto porcentaje de arcillas expansibles, tiene en los primeros 30 cm del suelo un valor Munsell, húmedo, de 3.5 o menos y un croma, húmedo, de 1.5 o menos.	C
No suelo	Poblados, cuerpo de agua.	C

Aplicando el factor de 70% de evapotranspiración sobre el volumen disponible después del escurrimiento se tiene que el volumen evapotranspirado es de 289.5 Mm³.

Una vez calculados los volúmenes precipitados, escurridos y evapotranspirados se calculó la recarga vertical como la resta del escurrimiento y la evapotranspiración a la precipitación teniendo un total de 122.1 Mm³ por recarga vertical.

Es necesario considerar los volúmenes de agua que ingresan y salen de la cuenca para poder estimar la recarga total.

Para la cuenca de estudio se considera que no existen entradas horizontales y de acuerdo con el documento de disponibilidad del acuífero Cuernavaca (CONAGUA, 2002), existen salidas horizontales de este acuífero hacia el de Zacatepec estimadas en 39.3 Mm³ para todo el acuífero, de este volumen total sólo el 27 % sale por la cuenca de estudio, lo que representa en volumen 10.6 Mm³.

En total en la cuenca se tiene estimada una recarga natural de 111.5 Mm³ a la cual hay que agregar los retornos por riego estimados y la recarga inducida.

La CONAGUA (2002) estimó una lamina de riego promedio de 1.5 m promedio en la zona agrícola. Tomando en cuenta un factor de infiltración del 30 % y una superficie de 62 km² de uso agrícola de riego de acuerdo a la cartografía de INEGI, se tiene que los retornos por riego son del orden de 28.3 Mm³.

La recarga inducida únicamente se puede generar a través de las perdidas por fuga en las redes de agua potable y alcantarillado, dado que no existe ninguna obra que específicamente se utilice para infiltrar agua al subsuelo (CONAGUA, 2002).

Del documento de disponibilidad para el acuífero Cuernavaca se tienen estimados 12 Mm³ por recarga inducida para todo el acuífero, considerando únicamente las zonas urbanas dentro de la cuenca que representan el 37.5 % del total de áreas urbanas, dentro del acuífero se tiene que el volumen recargado incidentalmente es de 4.5 Mm³.

Finalmente la recarga total para la cuenca, considerando la recarga natural más los retornos por riego y la recarga inducida, se estima en 144.3 Mm³.

La descarga natural para todo el acuífero es de 175.2 Mm³, considerando únicamente el área de la cuenca que representa un 42.7 % del total del acuífero, resulta que la recarga natural es de 74.8 Mm³.

Tomando los datos reportados por la CONAGUA del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) con fecha de 31 de julio de 2009, se tiene que en el acuífero de Cuernavaca existe un volumen concesionado de 184.7 Mm³ en un total de 329 aprovechamientos siendo el uso público urbano el mayor usuario del recurso en el acuífero.

En el caso particular de la cuenca, existen un total de 201 aprovechamientos con un volumen concesionado de 66.4 Mm³. La distribución por usos se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Volúmenes concesionados en la cuenca por tipo de uso.

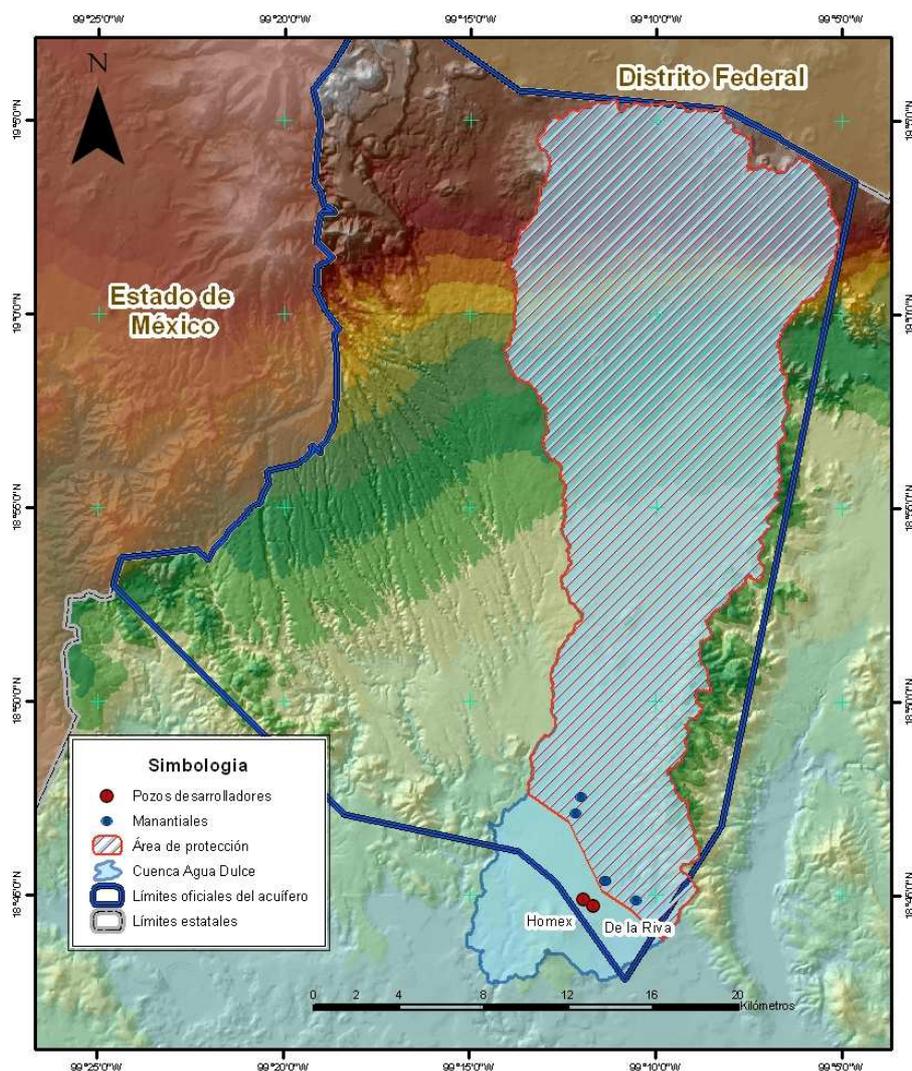
<i>Tipo de uso</i>	<i>No. de pozos</i>	<i>Vol. Total de extracción (Mm³/año)</i>
Agrícola	29	5.08
Doméstico	5	0.019
Industrial	43	10.66
Pecuario	3	0.022
Público Urbano	97	48.98
Servicios	24	1.6
Total	201	66.361

Finalmente aplicando la ecuación (2) de disponibilidad se tiene que:

$$\text{Disponibilidad} = 144.3 - 74.8 - 66.4 = \mathbf{3.1 \text{ Mm}^3}$$

5.0 Recomendaciones

La figura 5 muestra el área para la cual se calculó el volumen de agua disponible. En vista de que todos los aprovechamientos que se puedan perforar aguas arriba de los manantiales pueden reducir el caudal de los mismos, se propone una zona donde no se deben de perforar nuevos pozos hasta que se cuente con una piezometría de la cuenca realizada en época de estiaje y época de lluvias. Esta piezometría servirá como punto de referencia para confirmar los resultados del balance hidrogeológico que se llevo a cabo.



*Figura 5. Cuenca para la cual se realizó el balance y disponibilidad. La zona **ashurada** con líneas rojas muestra la zona en la cual no se deben de perforar más pozos hasta que no se cuente con un estudio que muestre la evolución del nivel estático a través del tiempo.*

6.0 Referencias

- CNA. 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Cuernavaca, Estado de Morelos. Gerencia de Aguas Subterráneas Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México. 52 p.
- TACSA, 1981, Estudio geohidrológico preliminar del valle de Cuernavaca, en el estado de Morelos, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Servicios Geológicos S.A., 1970, Estudio geológico y geohidrológico del valle de Cuernavaca, Mor., Gobierno del estado de Morelos.
- DOF. 2003. Diario Oficial de la Federación, Norma Oficial Mexicana. NOM-011-CNA-2000.