

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Yahualica (1447),
Estado de Jalisco***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

DI REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE JALISCO							
1447	YAHUALICA	26.0	9.0	13.059286	5.7	3.940715	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE
AGUA EN EL ACUÍFERO YAHUALICA (1447),
ESTADO DE JALISCO.**

México, D.F., abril de 2009

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	7
3.1. Provincia Fisiográfica.....	7
3.2. Clima	8
3.3. Hidrografía.....	8
3.4. Geomorfología.....	9
4. GEOLOGÍA	9
4.1. Estratigrafía	10
4.2. Geología Estructural	13
4.3. Geología del Subsuelo	13
5. HIDROGEOLOGÍA	14
5.1. Tipo de Acuífero	14
5.2. Parámetros Hidráulicos	14
5.3. Piezometría	15
5.4. Comportamiento Hidráulico	15
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3. Evolución de nivel estático.	17
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1. Entradas.....	20
7.1.1. Recarga vertical	21
7.1.2. Recarga por flujo subterráneo horizontal	21
7.1.3. Recarga inducida	23
7.2. Salidas.....	24
7.2.1. Evapotranspiración.....	24
7.2.2. Bombeo.....	25
7.2.3. Salida por flujo subterráneo horizontal	25
7.2.4. Caudal base	26
7.3. Cambio de almacenamiento	27
8. DISPONIBILIDAD	28
8.1. Recarga total media anual	29
8.2. Descarga natural comprometida	29
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas	29
8.4. Disponibilidad de agua subterránea.....	29
9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	30

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa).

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1. Localización

El acuífero Yahualica, definido con la clave 1447 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza al Noreste del estado de Jalisco, entre los paralelos 20° 49' y 21° 21' de latitud norte y los meridianos 102° 39' y 103° 04' de longitud oeste. Colinda al norte con el acuífero Nochistlán del estado de Zacatecas; al poniente con los acuíferos Cuquío y los Puentes al sur con Altos de Jalisco y Tepatitlán y al oriente con los acuíferos Valle de Guadalupe, Jalostotitlán y Encarnación, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco. Figura 1, cubre una superficie aproximada de 944 km² conforme a la poligonal que lo delimita.

El acuífero abarca gran parte del territorio de los municipios Mexxicacán y Yahualica de González Gallo, una porción inferior de los municipios de Cuquío, Tepatitlán de Morelos y Cañadas de Obregón.

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 1.

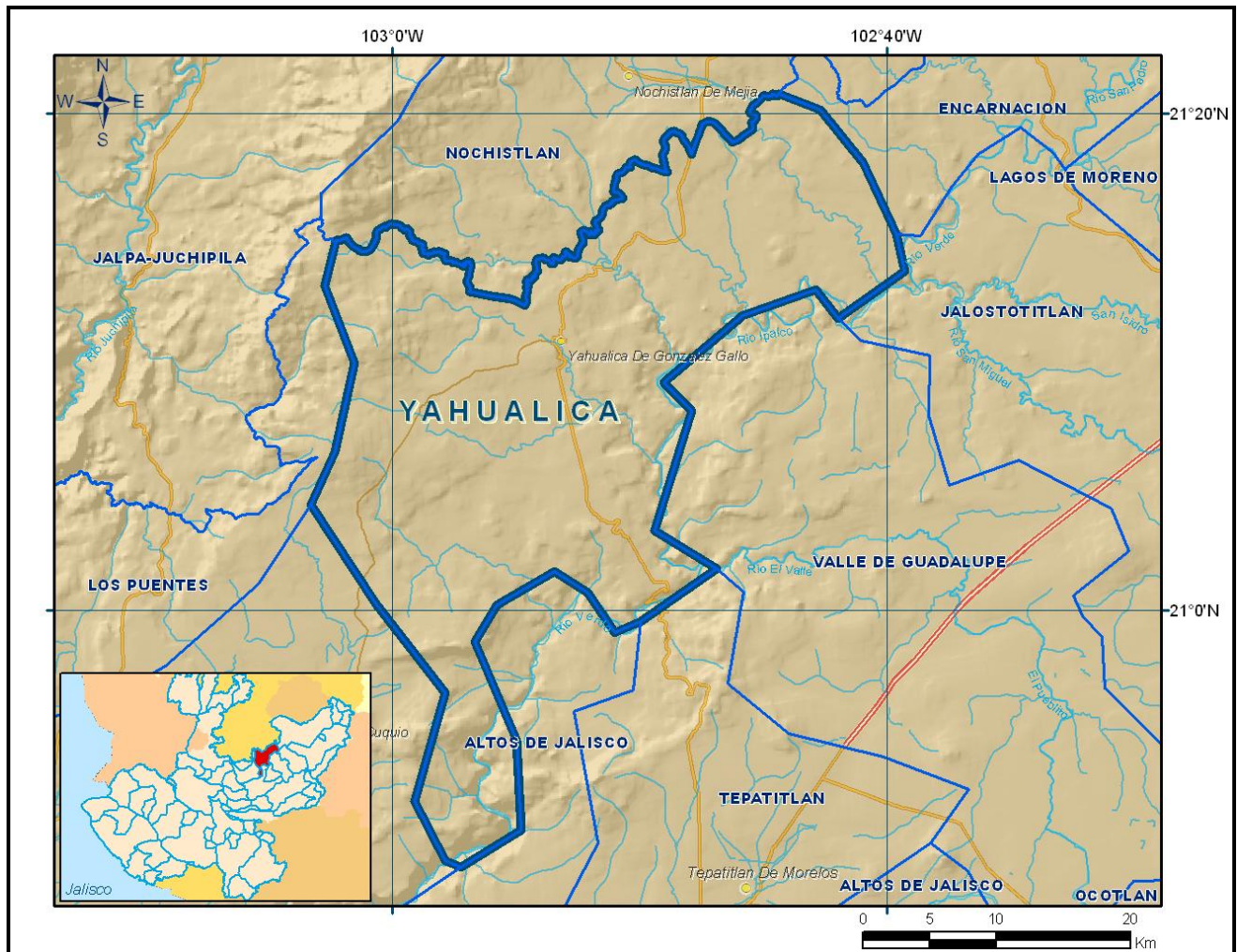


Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan el acuífero

ACUIFERO 1447 YAHUALICA

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	2	16.5	21	14	52.6	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	102	44	22.2	21	20	48.6	
3	102	42	43.7	21	20	9.8	
4	102	40	59.7	21	18	2.7	
5	102	39	38.8	21	15	9.4	
6	102	39	19.6	21	13	40.8	
7	102	42	1.4	21	11	45.2	
8	102	42	55.3	21	12	54.6	
9	102	45	52.5	21	11	52.9	
10	102	49	1.2	21	9	11.2	
11	102	47	55.7	21	8	1.8	
12	102	49	24.3	21	3	12.9	
13	102	46	54.1	21	1	40.5	
14	102	49	57.9	20	59	33.1	
15	102	51	0.0	20	59	6.4	
16	102	52	6.1	21	0	42.7	
17	102	53	27.0	21	1	32.8	
18	102	55	45.7	21	0	11.9	
19	102	56	39.6	20	58	43.3	
20	102	54	59.4	20	54	44.5	
21	102	54	47.9	20	51	8.8	
22	102	57	11.9	20	49	37.5	
23	102	57	51.7	20	49	52.8	
24	102	59	5.0	20	52	16.5	
25	102	57	51.7	20	56	39.4	
26	103	0	36.7	21	0	13.4	
27	103	3	15.7	21	4	14.9	
28	103	2	17.6	21	6	23.3	
29	103	1	31.8	21	9	57.3	
30	103	2	42.1	21	13	3.8	
1	103	2	16.5	21	14	52.6	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo III “*Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas en diversos municipios del estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del estado de Jalisco*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 1987.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2009, los principales municipios Yahualica de Gonzalez Gallo, Cuquío, Tepatitlán, y Cañadas de Obregón se ubica en la zona de disponibilidad 8 y Mexxicacan en zona de disponibilidad 9.

El usuario principal del agua es el público-urbano. En el acuífero no se localiza Distrito de Riego alguno, ni tampoco se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas

(COTAS). El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca (16) Río Santiago, instalado el 14 de julio de 1999.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Existen sólo dos estudios que abarcan el área del acuífero, a continuación se mencionan sus principales conclusiones.

Estudio hidrogeológico preliminar de carácter regional que cubre entre otros municipios a Yahualica y Mexxicacán. 1980. Comisión Nacional del Agua.

En general la zona acuífera Yahualica es poco conocida en cuanto a información básica, su modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico, aspectos hidrogeoquímicos y sus mecanismos cuantitativos de recarga y descarga de agua subterránea.

El análisis de la lluvia revela que su lámina promedio anual es 695.21 mm, representando 1,740.9 Mm³/año de volumen de precipitación para 2,504.1 km² de área.

El escurrimiento directo resultó de 151.4 Mm³ anuales.

El estudio preliminar de la Hidrología Subterránea, dada la escasez de datos, permitió estimar que los flujos subsuperficiales o subálveos son independientes de los profundos y del orden de 60.8 Mm³/año, que 423.9 Mm³ anuales corresponden a la lluvia efectiva, 1317 a la evapotranspiración y 211.6 a infiltración profunda, el estudio no aclara si ésta es numéricamente equivalente a la recarga de los acuíferos.

La investigación geológica permitió establecer las siguientes unidades hidrogeológicas: Aluvión, funciona como acuífero freático subsuperficial.

Basalto y andesita, no obstante pertenecer al Paleógeno-Neógeno, se le atribuyen propiedades acuíferas a profundidad, o actúan como zonas de recarga de drenaje rápido.

Riolitas y rocas clástico volcánicas asociadas, imprimen confinamiento a las rocas permeables, o podrían tener cierta capacidad de filtración dependiente de sus facies litológicas recargando las rocas de la formación lacustre evaporítica.

En general se trata de una unidad impermeable, que podrían llegar a formar acuíferos de modesto potencial, restringido a condiciones locales de fracturamiento.

Formación lacustre evaporítica, del Paleógeno-Neógeno, las rocas de esta formación tienen buena permeabilidad, están constituidas por areniscas, definen el acuífero principal con niveles piezométricos profundos dada la ubicación estratigráfica en que se encuentran.

Basaltos Paleógeno-Neógenos, de muy baja permeabilidad, actúan como acuífugos, o con propiedades acuíferas limitadas a condiciones locales de entrapamiento estructural.

La unidad cretácica, formada por calizas, constituye el basamento regional y posible piso de los acuíferos volcánicos.

Desde el punto de vista químico las aguas del subsuelo de pozos pertenecen a la familia sódica carbonatada y cálcica carbonatadas, es probable que por intercambio iónico catalizado por el bombeo y los flujos naturales se pase de la primer a la segunda familia de agua.

Los Sólidos Disueltos Totales no rebasan 1000 ppm. El agua subterránea se considera apta para fines potables, de riego e industriales.

La investigación geofísica que se dispuso de un pozo de calibración revela la existencia de paleocuevas con buenas posibilidades acuíferas, así como evidencia de sistemas de lineamientos, fallas y fracturas en las rocas riolíticas y basálticas, con características regionales, que recomiendan la prospección de las fuentes subterráneas, especialmente en los municipios de Mexicacán y Yahualica.

Por otra parte, se registran niveles de agua distintos entre 0 y 10 m de profundidad y entre 70 y 85 m, en materiales aluviales y del Paleógeno-Neógeno lacustre evaporítico respectivamente.

En resumen se detecta la falta de información básica para lograr un mejor nivel de detalle de los estudios, pero también se infiere la virtual existencia de buenos acuíferos potenciales con distribución errática, agua de buena calidad y niveles relativamente profundos.

Elaboración de los documentos de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos (1413) Altos de Jalisco, (1436) Arenal, (1428) Chapala, (1429) Tizapán y (1447) Yahualica, en el estado de Jalisco. 2007. Realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para la CNA.

El objetivo fue contar con los documentos técnicos de respaldo que sirvan de consulta rápida para conocer la disponibilidad media anual de agua del Acuífero (1447) Yahualica, del Estado de Jalisco, ajustándose a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

El acuífero Yahualica según el INEGI (1991) se localiza en el Eje Neovolcánico e influenciado por las subprovincias Altos de Jalisco y Sierras y Valles Zacatecanos.

El Eje Neovolcánico se caracteriza por la abundancia de rocas basálticas, riolíticas y lacustres, formando escarpes, planicies y mesetas con profundas y estrechas cañadas. Esas rocas se originan principalmente en el Paleógeno-Neógeno, afloran sobre amplias extensiones alternando con derrames, brechas, tobas y piroclastos, poseen cientos de metros de espesor, estructura densa o vesicular, textura afanítica y color gris oscuro. Su fracturamiento es incipiente o desarrollado, con intemperismo avanzado y relieves escarpados en los límites del acuífero.

El aluvión está constituido por intercalaciones de limos, arcillas, arenas y gravas, tiene poco grosor, sus afloramientos se limitan a valles y planicies.

La subprovincia Altos de Jalisco define vastas mesetas volcánicas y topoformas degradativas creadas por disección hídrica con valles profundos y laderas escarpadas, escudo-volcanes, altiplanicies con lomeríos o colinas redondeadas de arenisca y conglomerado, cañones y depresiones; tiene suelos de diversa composición.

La subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos, abarca los municipios Yahualica y Mexxicacán; determinada por sierras alargadas rematadas por mesetas y valles de perfil suave o tipo terraza y por lomeríos producto de la erosión de antiguos pisos de valles elevados, con drenaje superficial al noreste y sur.

Sus geoformas sobresalen 2300 a 2850 msnm, eventualmente con laderas de contorno abrupto labrado por profundas cañadas, y transición igualmente cortante hacia los valles; las mesetas de los parteaguas están alargadas transversalmente al eje de la sierra y paralelas a los desfiladeros.

Los valles y lomeríos se encuentran en las partes bajas rodeados por sierras; los primeros están constituidos por aluviones finos y proceden de la erosión de rocas conglomeráticas o volcánicas los segundos.

La cañada río Verde-Santiago de esta subprovincia continúa al occidente donde afloran rocas carbonatadas que probablemente componen el basamento de la Sierra Madre Occidental.

Tienen predominancia las rocas ígneas extrusivas de origen básico y ácido. Su clima es templado e irregular su topografía, con suelos diversos.

3.2. Clima

De acuerdo con los datos de las cinco estaciones climatológicas seleccionadas (San Gaspar, Yahualica, Cuquio, La Cuña y Acatic), con registros de 1979 a 2006 El clima es templado, subhúmedo.

La precipitación varía de 700 a 870 con 748.2 mm/año de promedio. La época de lluvias dura de junio a septiembre con tormentas ocasionales en octubre, julio es el mes de precipitación más abundante con 206 mm, y marzo el de menor pluviometría con 3.1 mm.

La temperatura varía entre 13 y 20° C, la porción central, por el poblado Yahualica, es la menos cálida, hacia el límite sur del acuífero se incrementa. La temperatura anual promedio es 15.6° C; en junio es de 20.2° C y de 9.8° C en enero.

La evaporación potencial fluctúa entre 1800 y 2150 mm por año, de la parte central norte al extremo sur del acuífero.

3.3. Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica No. 12, Lerma-Chapala-Santiago, la más importante del estado; engloba 50% de la superficie de la entidad, 70% de su población y la mayor parte del desarrollo industrial.

La principal corriente superficial es el río Santiago. Se aprecian dos almacenamientos superficiales de poca capacidad, uno al poniente de Yahualica y otro en Mexxicacán; existen muchos abrevaderos diseminados en el acuífero.

El drenaje superficial es tipo sub-dendrítico o sub-paralelo, con densidad moderada o reducida que revela buena capacidad de infiltración de las rocas volcánicas y calcáreas.

El parteaguas hidrográfico sensiblemente coincide con el del acuífero de naturaleza hidrodinámica que no representa obligadamente el límite físico de la cuenca geohidrológica.

El coeficiente de infiltración se acerca al 19% de la lámina de lluvia anual, la evapotranspiración real es 70% de ésta, la diferencia corresponde a escurrimiento directo e interceptación superficial.

3.4. Geomorfología

En el área del acuífero se definen vastas mesetas volcánicas y topoformas degradativas creadas por disección hídrica con valles profundos y laderas escarpadas, escudo-volcanes, altiplanicies con lomeríos o colinas redondeadas de arenisca y conglomerado, cañones y depresiones.

También se encuentran sierras alargadas rematadas por mesetas y valles de perfil suave o tipo terraza y por lomeríos producto de la erosión de antiguos pisos de valles elevados.

El relieve alcanza altitudes de 2300 a 2850 msnm, eventualmente con laderas de contorno abrupto labrado por profundas cañadas, y transición igualmente cortante hacia los valles; las mesetas de los parteaguas están alargadas transversalmente al eje de la sierra y paralelas a los desfiladeros.

Los valles y lomeríos se encuentran en las partes bajas rodeados por sierras; los primeros están constituidos por aluviones finos y proceden de la erosión de rocas conglomeráticas o volcánicas los segundos.

4. GEOLOGÍA

El marco geológico del acuífero está caracterizado por intensa actividad volcánica con procesos de erosión, transporte y depositación en ambientes lacustres.

Durante el Cretácico se depositaron en la denominada cuenca central calizas de la formación Aurora, caliza y lutita de la formación Indidura y lutita y arenisca de la formación Caracol.

En el Paleógeno-Neógeno aparecen rocas ígneas intrusivas y extrusivas, de composición ácida y básica, y sedimentarias arcillo limosas y sílico calcáreas, así como de tipo transicional volcanoclásticas.

La orogenia Laramídica concibió esfuerzos compresionales en sentido este-oeste, fallas con dirección nor-noroeste, pilares y fosas tectónicas en rocas metamórficas y sedimentarias preexistentes del Triásico, Jurásico y Cretácico, así como geoformas de valles y sierras con disposición paralela.

El contexto físico descrito prevalece actualmente, no obstante en el pasado geológico influyeron más los procesos volcánicos, de sedimentación y erosión, que formaron las unidades litoestratigráficas Paleógenas-Neógenas vigentes. La Figura 2 ilustra la geología general del acuífero Yahualica.

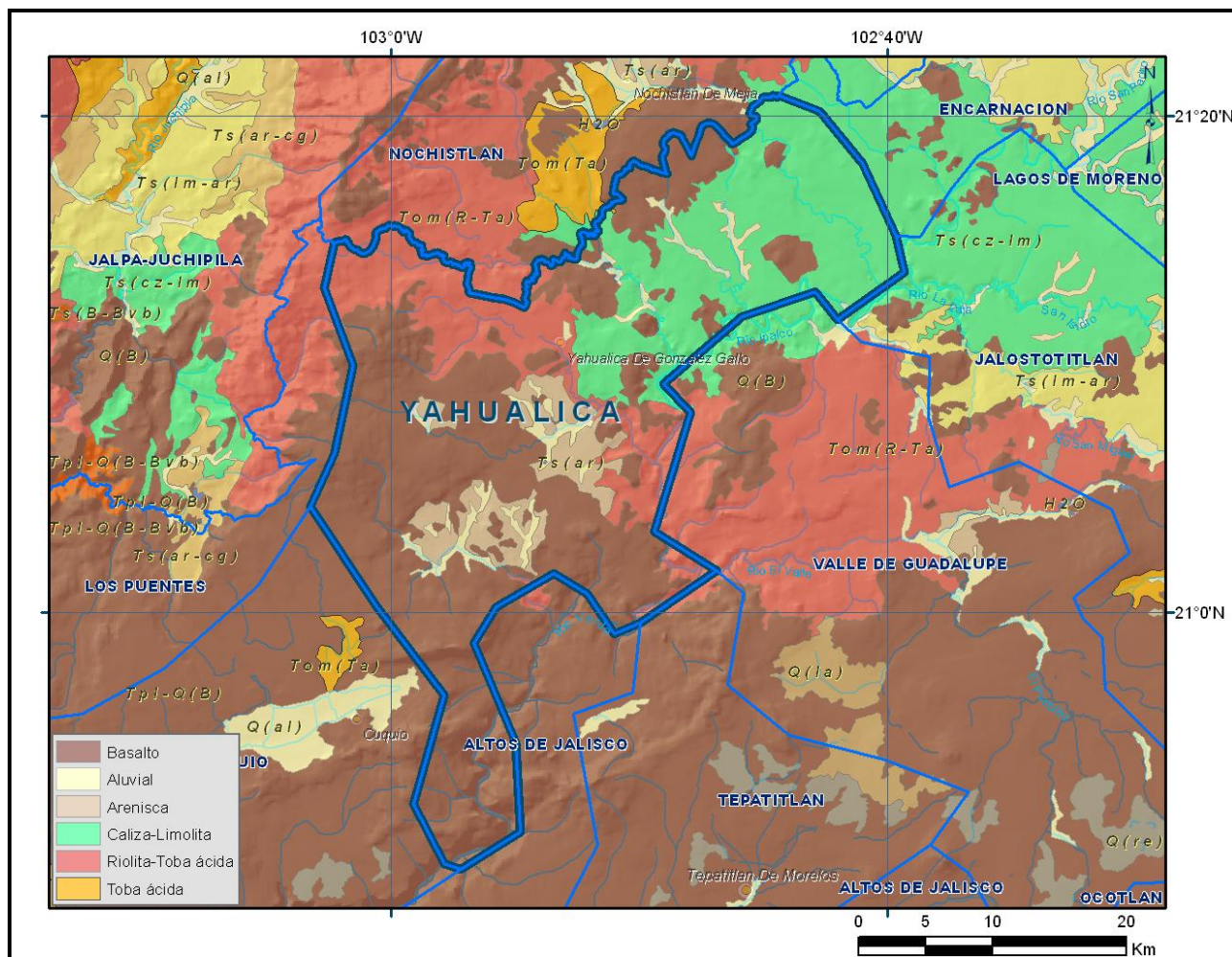


Figura 2. Mapa Geológico

4.1. Estratigrafía

Está constituida por rocas volcánicas y sedimentarias, del Cretácico al Reciente.

Unidad Ks

Consiste de una alternancia de lutitas físis y calizas arcillosas marinas de capas delgadas, probablemente de la formación Indidura, con estructura plegada que se diferencia de la horizontalidad de las rocas Paleógeno-Neógenas.

Tiene límite superior discordante con la base de los depósitos lacustres evaporíticos, y límite inferior no determinado, quizás en unión con la formación Aurora.

Se sitúan en el Cretácico Superior. Aflora al noreste del acuífero y otros sectores.

Unidad TRx1

Aflora en el cauce del río Verde y otras zonas. Se trata de riolitas brechoides, escoriáceas de textura fragmentaria fluidal, de espesor diverso.

El límite inferior de esta unidad no se identifica, se considera en contacto discordante con rocas metamórficas paleozoicas de la sierra Nochistlán, en el subsuelo del valle río Verde sobreyacen rocas marinas cretácicas.

El límite superior tiene forma irregular en colindancia con rocas vulcanoclásticas de transición al sur del acuífero y en el cauce de río Verde, con depósitos evaporíticos y basaltos Paleógeno-Neógenos.

Unidad formada en el Paleoceno-Eoceno.

Unidad TRx3

Constituida por una alternancia de riolitas, tobas e ignimbritas, es originada por derrames lávicos y extravasación de ceniza de aparatos de fisura que dieron lugar a extensos afloramientos; se clasifica como pórfidos riolíticos.

Se encuentra pseudoestratificada, posee notable espesor y carácter intrusivo de morfología contrastante.

Su límite superior está en contacto con basaltos del Paleógeno-Neógeno, el inferior no se detecta, tal vez colinde con el techo de riolitas brechoides.

Es del Mioceno-Oligoceno. Aflora en amplias zonas dentro y fuera del acuífero. Forma cuellos ó troncos hipoabisales de cuerpo irregular y composición ácida.

Unidad Tlev

Corresponde a depósitos lacustres evaporíticos del Paleógeno-Neógeno. Su parte media superior tiene 90 m de espesor, consiste de marga arenosa y travertino silicificado con nódulos de pedernal; la inferior de 35 m de grosor está constituida por horizontes medianos de lutitas, limolitas y diatomeas.

Aflora en la cuenca de río Verde. Se ubica en campo por sus características petrográficas diferentes de las unidades encajonantes. Sobreyace a la riolita basal y suprayace a rocas basálticas y vulcanoclásticas.

Unidad Ttcv

Unidad compuesta por rocas de transición clástica volcánico. De edad Paleógeno-Neógeno. Se encuentra en la cuenca de río Verde, cubre los depósitos lacustres, tiene entre 2 y 6 m de espesor en su parte central y 80 a 120 m en su límite norte y oriente.

Litológicamente está constituida por clastos, toba híbrida y conglomerados con intercalaciones de lava riolítica, areniscas, limo y toba lítica andesítica.

En campo se reconoce por su naturaleza clástica diferenciable de la de las unidades sobre e infrayacentes; tiene fondo disperejo por la erosión de las rocas lacustres en las que descansa, igualmente es su parte superior en disposición con rocas volcánicas.

Unidad TRx2

Presenta estructura caótica y textura porfídica, escoriácea o brechoide. Se formó por violentas efusiones de nubes ardientes.

Sobreyace a rocas clásticas volcánicas ó lacustres, llega a mostrarse como toba riolítica ó ignimbrita. Su piso pega con el techo de la roca clástica, como se aprecia en el arroyo Los Carrillos, y con los basaltos del Paleógeno-Neógeno. Su edad es asignada al Pleistoceno.

Unidad TBx1

Basaltos escoriáceos, vesiculares, masivos y columnares; por diferenciación magmática cambian de composición a andesita lajeada.

Aflora en el lado suroeste del acuífero, constituye la parte superior de la secuencia volcánica. Tiene derrames potentes bien localizados, morfología típicamente de meseta, erosión diferencial dando lugar a la formación de valles invertidos, y límites discordantes con las unidades que la contienen. Pertenece al Pleistoceno.

Unidad Q(al)

Se presenta como terrazas de inundación fluvial. Está constituida por conglomerados, gravas y gravillas empacadas en matriz areno-limosa. Su afloramiento más extenso se encuentra en la parte centro oriente.

4.2. Geología Estructural

Está caracterizada por plegamientos de rocas del Cretácico provocados por esfuerzos compresionales de la orogenia Laramide, así como por fallas de grandes masas rocosas que formaron pilares y fosas que posteriormente se rellenaron por acumulación de rocas sedimentarias y volcánicas.

Las primeras se encuentran en disposición horizontal y pseudoestratificada con distribución caótica brechoide, de estratovolcanes y domos cripto-volcánicos las segundas.

La actividad tectónica imprimió cambios a través del tiempo geológico plegando los sedimentos marinos y dando lugar a grandes sistemas de fallas de tipo inverso y normal.

Al término de la orogenia Laramide y liberación de esfuerzos en las estructuras cretácicas se producen fallas de gravedad creando fosas tectónicas con movimientos combinados verticales o basculantes.

Sistemas de fracturas secundarias tienen lugar por reacomodamiento de los bloques involucrados en el fallamiento principal.

4.3. Geología del Subsuelo

Se ha referido que las riolitas, ignimbritas y tobas se encuentran en la posición estratigráfica inferior, a profundidad diversa, sobre las que yacen discordantemente margas, limos, conglomerados, andesitas y la secuencia clástica volcánica.

Arriba de las riolitas o alternando con éstas se posicionan también rocas basálticas, areniscas y depósitos lacustres contemporáneos.

En la parte intermedia se detectan rocas volcánicas extrusivas pleistocénicas básicas y ácidas sobre las cuales descansan depósitos sedimentarios continentales recientes constituidos por gravilla, arena, arcilla, limo y conglomerado, con pocas decenas de metros de espesor y bajo grado de compacidad.

En la parte centro-sur del acuífero, a una profundidad intermedia, se revelan condiciones físicas similares, con depósitos lacustres evaporíticos empacados por rocas volcánicas, y capas arenosas de buena permeabilidad con saturación total en su base.

En otras zonas el basamento riolítico subyace a basaltos alterados por metamorfismo regional de espesor desconocido; debajo de las riolitas se intuye la unidad cretácico lutítica.

La estructura del subsuelo es irregular, heterogénea, compleja, está constituida por intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de Acuífero

El acuífero es libre o semi-libre con drenaje retrasado, o semiconfinado localmente, con 0.10 y 0.05 de coeficiente de almacenamiento, respectivamente; éste, aporta menos volumen de agua, es más sensible al bombeo y tiene menos oportunidad de recarga.

El acuífero volcánico posee características hidráulicas heterogéneas, dependen de la densidad e interconectividad de sus poros y fracturas, pozos perforados en este acuífero arrojan gastos diversos o pueden resultar fallidos, se requiere la prospección detallada en cada sitio de interés.

Las rocas clásticas volcánicas y lacustres conforman el acuífero más importante, con distribución irregular, fuertes espesores y agua de buena calidad.

5.2. Parámetros Hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2007 las características hidráulicas del acuífero se estimaron a partir de pruebas de bombeo a gasto constante y variable. Resultando lo siguiente: El coeficiente de transmisividad varía de 0.0017 a 0.0001 con 0.000583 m²/s de promedio, en la porción centro norte del acuífero, representa la cantidad de agua que fluye en el subsuelo saturado, prevalecen valores bajos asociados con materiales poco permeables.

El gasto de pozos de prueba varía entre 2.0 y 38.0 con 10.6 lps de promedio, para 120 a 280 con 200 m de profundidad media. El caudal específico fluctúa de 0.10 a 1.74 con 0.60 lps/m en promedio.

La conductividad hidráulica resultante es $6.13 \cdot 10^{-6}$ m/s para 95.0 m de espesor saturado, se correlaciona con rocas cársticas o volcánicas poco permeables.

5.3. Piezometría

El acuífero cuenta con algunos datos anteriores disponibles del nivel estático, eventualmente desde el inicio de la operación de algunos pozos, y con los niveles obtenidos durante el último censo, realizado en 2007.

5.4. Comportamiento Hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

En diciembre de 2007 el nivel estático en los pozos se encontraba entre 40 y 180 m de profundidad, la figura 3, muestra dichas configuraciones. Varía de 40 a 60 m por Agua Colorada, Ocotes de Moya y Labor de San Ignacio, que corresponde a la parte central norte del acuífero. El pozo Potrero El Zacate, ubicado en el límite noreste, tiene 180 m de profundidad al nivel del agua, la mayor registrada.

En los alrededores del poblado Yahualica el nivel estático está a 30 y 50 m, tiene 80 m en la porción sur, y varía entre 100 y 150 m por Mexicacán, en la mayor parte del acuífero se encuentra a 50 m de profundidad. Cerca de las corrientes superficiales el nivel fluctúa entre 20 y 30 m. Al sur por el poblado Manalisco el nivel se encuentra a 30 m. El nivel freático de norias varía entre 1 y 10 m, son obras someras ubicadas en los valles fluviales. La influencia topográfica es evidente, en cotas elevadas el nivel se profundiza y se levanta hacia los valles y planicies. La configuración sugiere un esquema natural, sin participación significativa del bombeo.

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración piezométrica revela que las montañas volcánicas circundantes actúan como zonas de recarga, que el flujo subterráneo tiene dirección poniente–oriente y norte–sur, similar a la del escurrimiento superficial, que las corrientes principales son de régimen perenne, efluentes de los acuíferos marginales, que el flujo subterráneo se bifurca bajo condiciones naturales hidrodinámicas al sur de Yahualica, y que el gradiente hidráulico varía de 0.020 a 0.040 en los bordes de las montañas, entre 0.005 y 0.019 en la porción central y es 0.006 por Yahualica. Figura 4.

La configuración muestra un esquema natural en condiciones estacionarias de flujo.

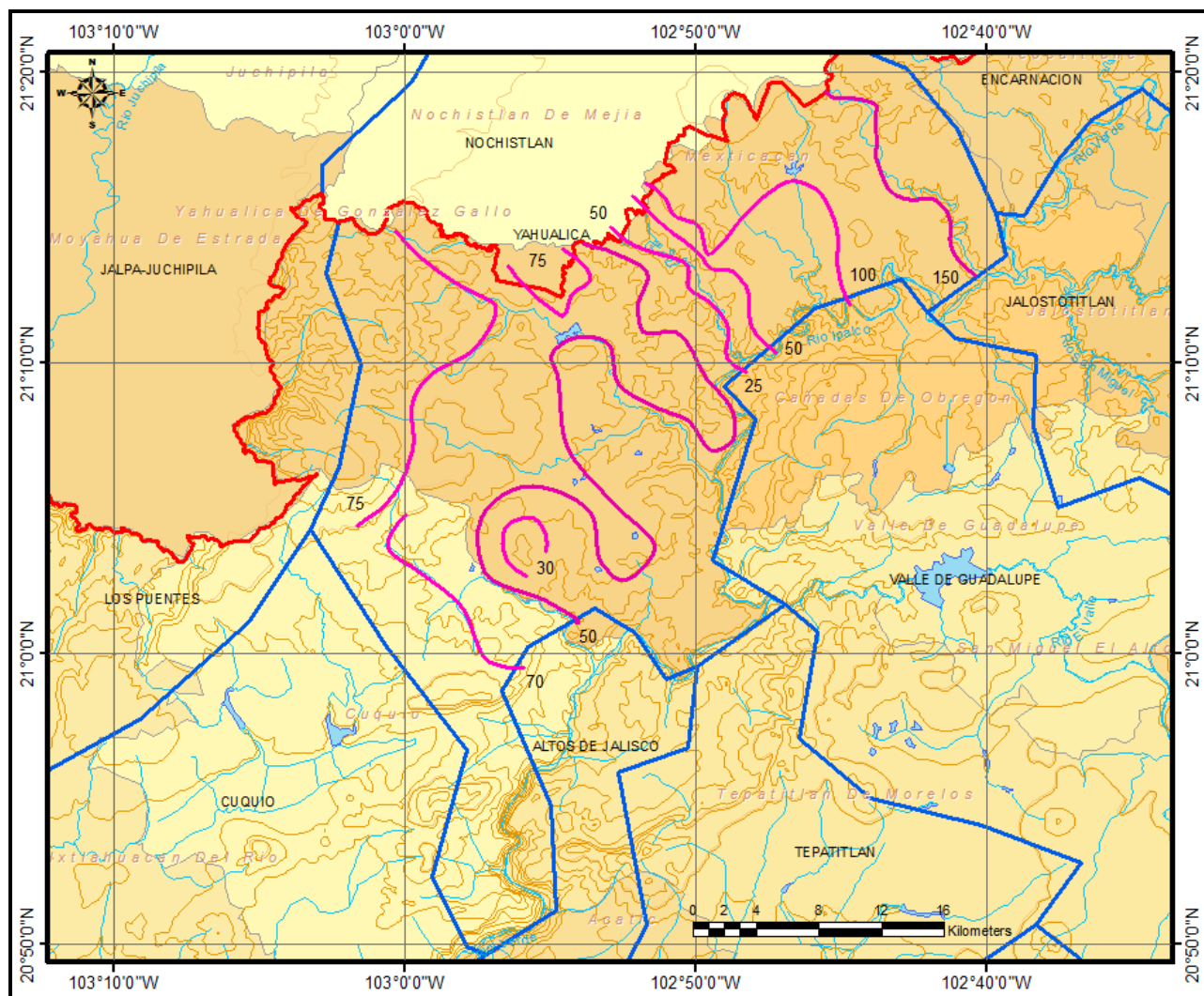


Figura 3. Profundidad al nivel estático (m), 2007

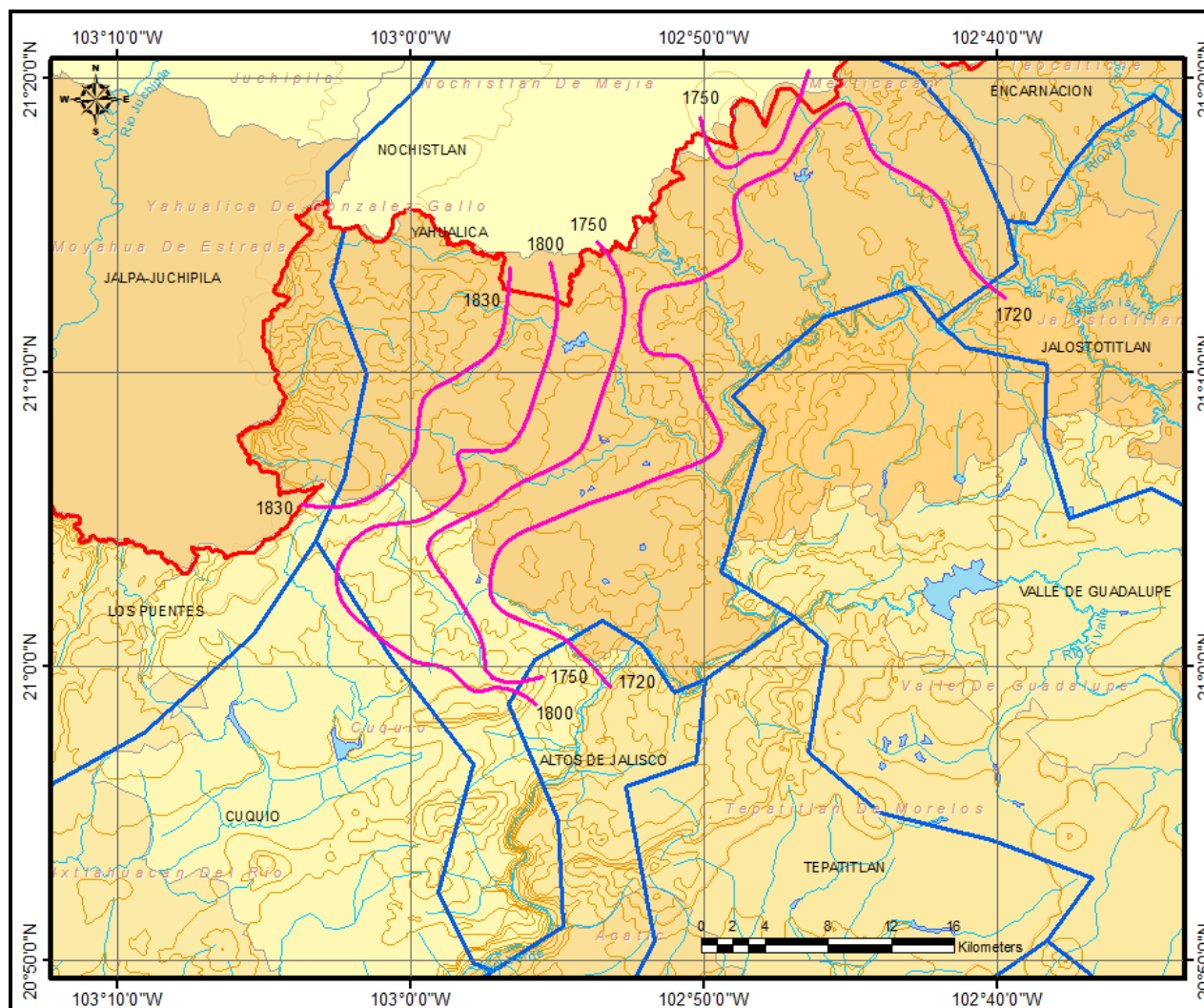


Figura 4. Elevación del nivel estático (msnm), 2007

5.4.3. Evolución de nivel estático.

La evolución piezométrica para octubre 2006–noviembre 2007 (Figura 5) muestra descensos locales de nivel entre 0.5 y 1.0 m en la parte central del acuífero, no representando en modo alguno la condición regional prevaleciente; por el contrario, los niveles permanecen estables, sin cambios significativos a lo largo de un ciclo descarga – recarga.

Tal condición especialmente se cumple en los bordes del acuífero donde no hay extracción.

Para fines de balance se asume evolución piezométrica cero, deducida como se ilustra en el corte de la Figura 6.

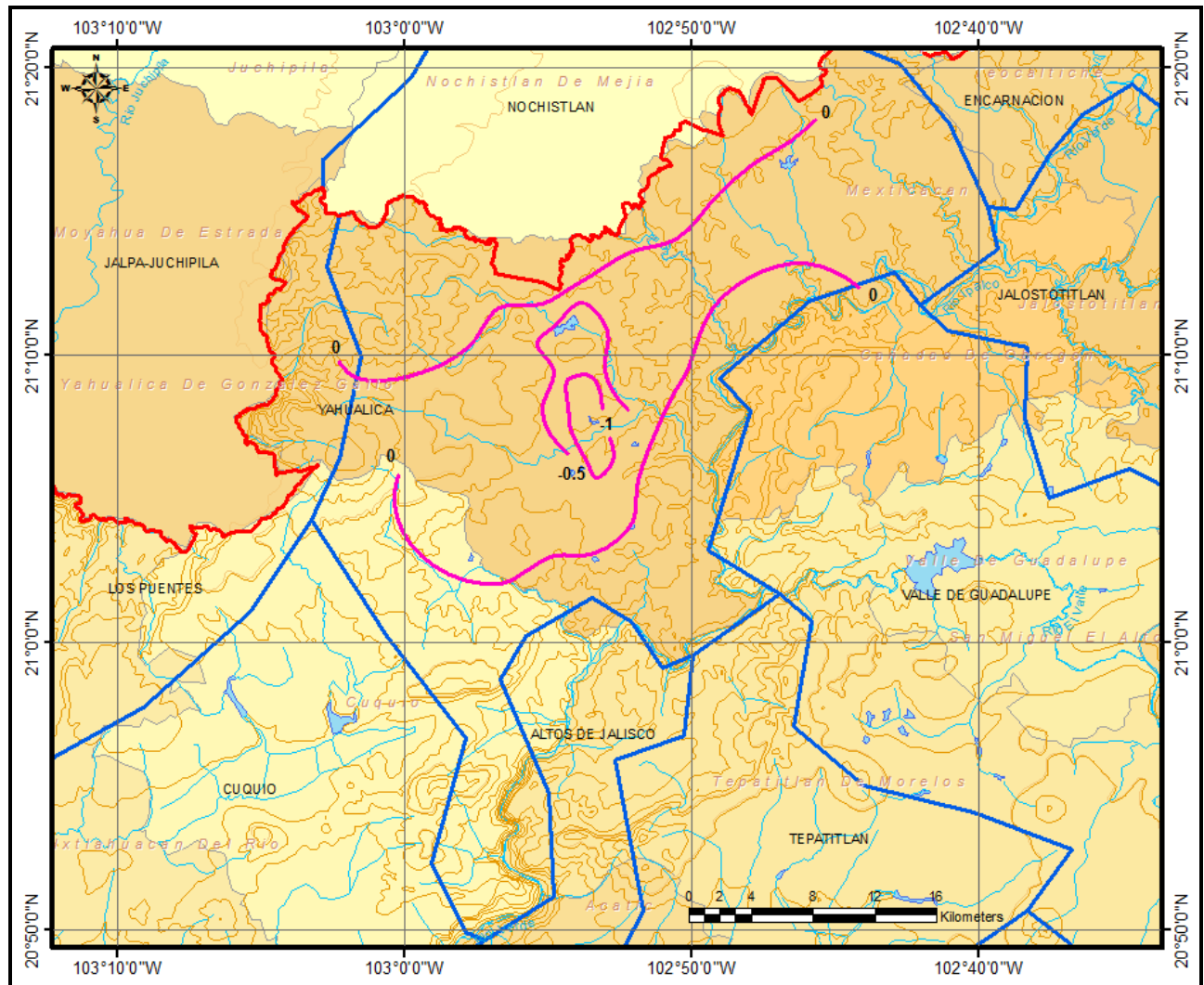


Figura 5. Evolución de nivel estático (m), 2006 – 2007

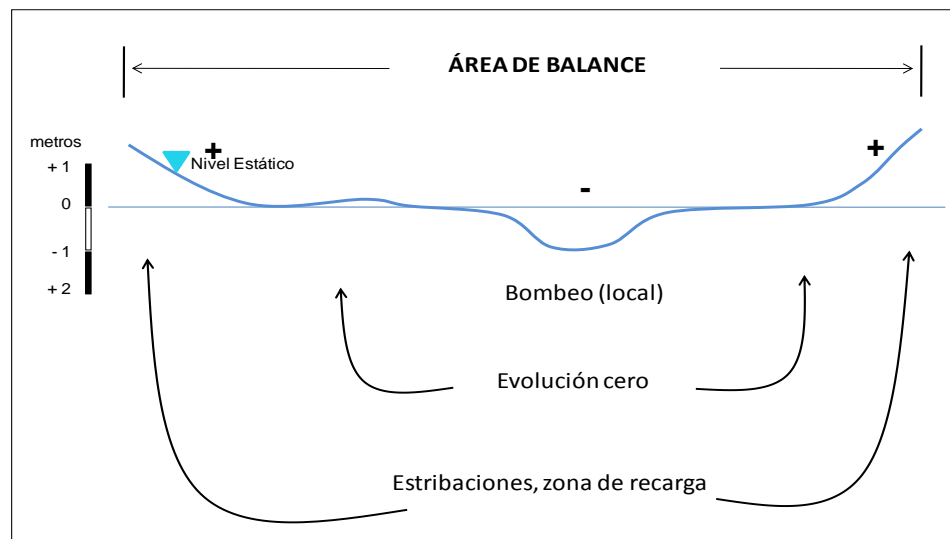


Figura 6. Evolución de nivel estático (octubre 2006 – noviembre 2007).

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de las actividades realizadas en el estudio del 2007, se obtuvieron muestras de agua que permitieron conocer algunos parámetros de la calidad, mismos que arrojaron los siguientes resultados:

En el límite noreste del acuífero, el agua es del tipo cálcica bicarbonatada ligeramente sódica. El contenido de calcio es 116 ppm; este catión es inmune a la salud, pero contribuye a la dureza del agua. El bicarbonato tiene 216 ppm, lo que hace que el agua sea poco alcalina. El sodio posee 101.5 ppm. Los demás aniones y cationes mayoritarios tienen baja concentración, no influyen en la composición química principal del agua subterránea.

Es agua del acuífero es del tipo C2S1, representa riesgo de salinidad medio con bajo índice de adsorción y peligrosidad de sodio, apropiada para cultivos tolerantes a las sales y todo tipo de suelo, sin necesidad de sobrelavados ni utilizar prácticas especiales de control de salinidad. El agua subterránea tiene 295 micromhos de conductividad eléctrica, menos de 400 ppm de SDT, sabor dulce, baja concentración de sólidos, tiempos reducidos de permanencia en el subsuelo y cortas distancias de recorrido.

Por lo anterior se concluye que el agua subterránea es relativamente de reciente infiltración.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo realizado en el año 2007, la mayoría de los equipos de bombeo son tipo sumergible, todos son eléctricos, 55% tiene 2" y 3", en general los pozos poseen bajo gasto.

Se censaron 117 aprovechamientos, 79% corresponde a pozos, 20% a norias y 1% a manantiales. 32% se destina a fines agrícolas, 19% a público urbano, 24% a uso doméstico, 4% están inactivas, 4% a servicios, 8% es de uso múltiple, 8% a abrevadero y 1% a la industria. Las norias son obras someras no mayores a unos cuantos metros de profundidad, los pozos tienen de 20 a 280 m de profundidad. La extracción global resultó **5.7 hm³/año**, 50.0% es para agua potable y uso doméstico (2.8 hm³/año), 38.0% para riego, abrevadero y agropecuario (2.2 hm³/año), 12% se emplea en fines múltiples (0.7 hm³/año).

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

Para este caso particular, dadas las pocas variaciones en niveles estáticos con respecto al tiempo, fue considerado un cambio de almacenamiento nulo, por lo cual se optó por calcular la recarga natural considerándola como incógnita de la ecuación de balance.

De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente:

$$R_v + E_h + R_i - B - S_h - ETR - Q_b = \pm \Delta V(s)$$

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Recarga por flujo subterráneo horizontal

Ri: Recarga inducida

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR: Evapotranspiración

Qb: Caudal base

$\Delta V(s)$: Cambio en el volumen almacenado

7.1. Entradas

La recarga total que recibe el acuífero está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, y a las fugas en las redes de abastecimiento de agua potable o del drenaje.

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero Yahualica, las entradas están integradas por la recarga vertical (Rv) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos, y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola constituye otra fuente de recarga al acuífero, así como las fugas en las redes de abastecimiento. Este volumen se integra en la componente de recarga inducida (Ri).

7.1.1. Recarga vertical

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$R_v + E_h + R_i - B - S_h - ETR - Q_b = \pm \Delta V(s)$$

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + ETR + S_h + Q_b - \Delta V(s) - E_h - R_i$$

7.1.2. Recarga por flujo subterráneo horizontal

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para 2007, la red y celdas de flujo (Figura 4) y de los valores de transmisividad obtenidos de la interpretación de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona, de acuerdo a la siguiente expresión: $Q = B i T$.

Donde:

B: Ancho (m) del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico ($i = (h_2 - h_1) / L$); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

T: Transmisividad (m^2/s) en el canal de flujo.

La Tabla 2 presenta los parámetros considerados, el gasto y volumen anual total y de cada canal.

Como resultado se obtuvo un valor de **9.5 hm³/año** que representa las entradas por flujo horizontal a la zona de balance de aguas subterráneas.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo horizontal.

Canal	Longitud B [m]	Ancho [m]	delta h m	Gradiente [m/m]	T [m ² /s]	caudal (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
1	2,756.99	2,007.97	30	0.0108	4.60E-04	0.010	0.32
2	2,925.32	6,356.01	30	0.0102	4.60E-04	0.030	0.95
3	4,403.59	4,064.52	30	0.0068	4.60E-04	0.013	0.40
4	5,317.57	2,688.42	30	0.0056	4.60E-04	0.007	0.22
5	4,178.68	4,619.90	30	0.0071	4.60E-04	0.015	0.48
6	3,748.79	3,056.86	30	0.0080	4.60E-04	0.011	0.35
7	5,894.68	2,891.72	50	0.0084	4.60E-04	0.011	0.36
8	2,105.74	2,824.07	50	0.0237	4.60E-04	0.031	0.97
9	1,372.75	3,769.29	50	0.0364	4.60E-04	0.063	1.99
10	3,716.13	3,980.99	30	0.0080	5.70E-04	0.018	0.58
11	3,373.52	4,400.04	30	0.0088	5.70E-04	0.022	0.70
12	1,920.49	3,298.02	30	0.0156	5.70E-04	0.029	0.93
13	1,194.28	2,923.78	30	0.0251	5.70E-04	0.042	1.32
Total							9.5

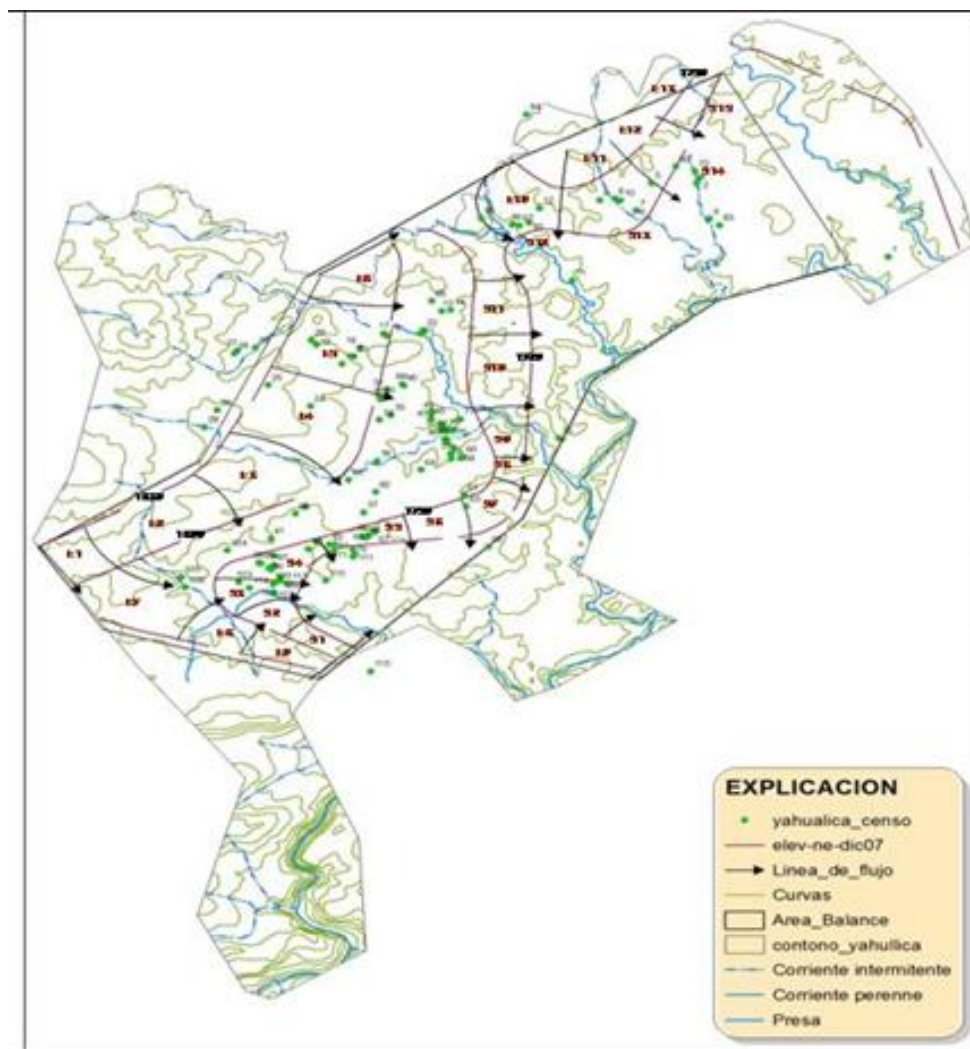


Figura 7. Red y celdas de flujo subterráneo (2007).

7.1.3. Recarga inducida

Aun en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen de agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego. Para este caso, se aplican a la agricultura de riego aproximadamente $2.2 \text{ hm}^3/\text{año}$ y considerando que el 10% de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, los que representa $0.22 \text{ hm}^3/\text{año}$ de recarga por retornos de riego.

El volumen destinado para el uso público-urbano es de $2.8 \text{ hm}^3/\text{año}$, considerando que un 30% del volumen total utilizado retorna al acuífero por fugas en las redes de abastecimiento, la recarga resulta de $0.84 \text{ hm}^3/\text{año}$.

El total de la Recarga inducida es de **$1.1 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

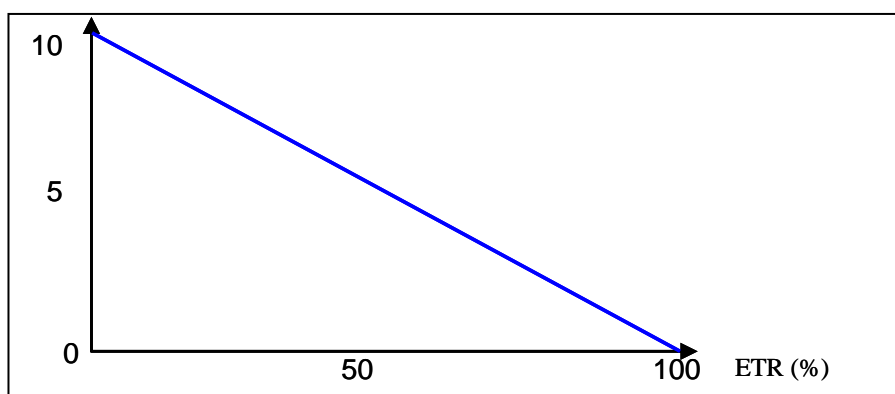
7.2. Salidas

7.2.1. Evapotranspiración

Se usa la lámina de evapotranspiración real obtenida de la ecuación de *Turc* que considera promedios anuales de temperatura y precipitación, de 15.6° C y 748.2 mm.

ETR = 587.3 mm/año; 78.49% de la lluvia regresa a la atmósfera por evapotranspiración.

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



Para la estimación del volumen evapotranspirado se consideran promedios de profundidad al nivel freático, el % de ETR y el área entre curvas que se correspondan.

La tabla 3 muestra el cálculo de ETR.

Tabla 3. Cálculo de la evapotranspiración real.

Intervalo, m	Prof. promedio, m	Area, km ²	%	ETR, m	ETR efectiva, Mm ³ /año
0 a 1	0.5	0	95%	0.587	0.00
1 a 2	1.5	0.0	85%	0.587	0.00
2 a 3	2.5	0.2	75%	0.587	0.09
3 a 4	3.5	0.5	65%	0.587	0.19
4 a 5	4.5	1.0	55%	0.587	0.32
5	5	2.0	50%	0.587	0.59
	Area Balance	3.7		ETR =	1.19

El valor de evapotranspiración resulta de **1.2 hm³ anuales**.

7.2.2. Bombeo

Con base en el censo e hidrometría realizados en el acuífero, se determinó que el volumen de extracción de agua subterránea es del orden de los **5.7 hm³/año**.

7.2.3. Salida por flujo subterráneo horizontal

De la misma red de flujo de la Figura 7, ahora en la sección aguas abajo, se determinan **11.2 hm³/año** que salen del área de balance. La Tabla 4, muestra los resultados del cálculo de la red de flujo en su sección de salida.

Tabla 4. Cálculo de Salidas por flujo horizontal.

Canal	Longitud B [m]	Ancho [m]	delta h m	Gradiente [m/m]	T [m ² /s]	caudal (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
1	1,070.33	2,670.53	30	0.0280	4.60E-04	0.034	1.09
2	1,858.26	2,017.40	30	0.0161	4.60E-04	0.015	0.47
3	3,713.02	1,448.08	30	0.0081	4.60E-04	0.005	0.17
4	2,200.17	3,291.47	30	0.0136	4.60E-04	0.021	0.65
5	1,129.20	3,881.92	30	0.0266	4.60E-04	0.047	1.50
6	1,878.81	2,730.74	30	0.0160	4.60E-04	0.020	0.63
suma						0.116	4.51
7	1,845.23	2,796.68	30	0.0163	4.60E-04	0.021	0.66
8	1,239.67	1,438.12	30	0.0242	4.60E-04	0.016	0.50
9	1,784.82	3,028.93	30	0.0168	4.60E-04	0.023	0.74
10	2,693.56	4,261.46	30	0.0111	4.60E-04	0.022	0.69
11	2,468.55	3,175.39	30	0.0122	4.60E-04	0.018	0.56
12	3,716.13	3,980.99	30	0.0081	5.70E-04	0.018	0.58
13	3,373.52	4,400.04	30	0.0089	5.70E-04	0.022	0.70
14	1,920.49	3,298.02	30	0.0156	5.70E-04	0.029	0.93
15	1,194.28	2,923.78	30	0.0251	5.70E-04	0.042	1.32
suma						0.075	6.68
Total							11.2

7.2.4. Caudal base

Las corrientes superficiales que se enlistan en la Tabla 5 tienen régimen perenne de flujo, gasto base y se suponen con características hidrogeológicas parecidas.

Tabla 5. Corrientes perennes.

CORRIENTE	DESARROLLO km
Verde, sector sur*	16.4
Atenguillo	12.0
Yahualica – La Cofradía	14.1
Verde, sector centro*	32.7
Ancho	21.1
Verde, sector norte	8.3
Ipalco*	23.9
Suma	128.5

* Corriente fuera del área de balance pero ubicada dentro del acuífero.

El desarrollo total es 128.5 km. La conductividad hidráulica equivalente considerada es $1.0 \cdot 10^{-4}$ m/s, congruente con arenas limpias uniformes de origen fluvial.

La ecuación de gasto base tiene forma exponencial $Q_b = Q_0 K^t$, t es un tiempo cualquiera del estiaje, $Q_0 \approx 0.1 m^3 / s$ el gasto inicial para $t = 0$, $K \approx 0.90$ es un coeficiente que depende de las características hidrogeológicas de la cuenca, el estiaje dura de noviembre a mayo o 210 días en promedio, considerándose 84 días para estimar el gasto base promedio.

Conservadoramente el flujo base resultante es **7.9 hm³/año** para 128.5 km de corrientes perennes.

Posiblemente represente un volumen más grande.

La Figura 8 muestra las corrientes perennes analizadas; son las más relevantes.



Figura 8. Corrientes perennes con flujo base.

7.3. Cambio de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento regional es 0.05 para acuíferos semiconfinados y 0.10 o quizás 0.15 de rendimiento específico para un acuífero libre.

La Tabla 6 muestra el cambio de almacenamiento anual obtenido a partir de la evolución de niveles estáticos.

La evolución se calcula de la expresión $\Delta VS = A_B \times h_N \times S$, el resultado neto es cero, corresponde al área de balance pero también representa la condición regional, es indistinto en este caso el tipo de coeficiente de almacenamiento adoptado.

Tabla 6. Cambio de almacenamiento (2006 – 2007).

Evolución (m)	Evol. Prom. (m)	Área (km ²)	S	$\Delta V(S)$ (hm ³ /año)
-1.000	-1.000	7.12	0.05	-0.356
-1.000 A -0.500	-0.750	21.42	0.05	-0.803
-0.500 A 0.000	-0.250	24.64	0.05	-0.308
0.000 A +0.126	0.0630	468.20	0.05	+1.467
	Tota	521.38		0.000
Promedio anual				0.000

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinas es la recarga vertical (Rv), por lo que despejando este término de la ecuación definida se tiene:

$$Rv = (B + Sh + ETR + Qb) - (Eh + Ri) \pm \Delta Vs$$

$$Rv = (5.7+11.2+1.2+7.9) - (9.5 +1.1) \pm 0$$

$$Rv = 26.0 - 10.6$$

$$Rv = 15.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto la recarga total es igual a $Rt = Rv + Eh + Ri = 15.4 + 9.5 + 1.1 = 26.0 \text{ hm}^3/\text{año}$.

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$DAS = Rt - DNCOM- VCAS$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.

R = Recarga total media anual.

DNCOM = Descarga natural comprometida.

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

8.1. Recarga total media anual

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R_t), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **26.0 hm³/año**, de los cuales 24.9 hm³ son recarga natural y los 1.1 hm³ restantes corresponden a la recarga inducida.

8.2. Descarga natural comprometida

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes.

Las salidas subterráneas son 11.2 hm³ anuales de los cuales es factible interceptar 60% o 6.7 hm³/año para su aprovechamiento, quedando 4.5 como volumen comprometido.

Igualmente, se propone utilizar 50% del flujo base y la evapotranspiración, siendo la otra mitad el volumen comprometido, o 3.95 y 0.6 hm³/año, respectivamente.

$$\text{DNCOM} = 4.5 + 3.95 + 0.6 = \mathbf{9.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPD), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2009**, es de **5'283,417 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de agua subterránea

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPD, resultó ser de **11.716584 hm³ /año**.

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCON}$$

$$11.716584 = 26.0 - 9.0 - 5.283417$$

La cifra indica que existe volumen adicional para otorgar nuevas concesiones de **11.716584 m³** anuales.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que actualmente existe información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación. Conforme se genere mayor y mejor información, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Comisión Nacional del Agua. 1980. Estudio hidrogeológico preliminar de carácter regional que cubre entre otros municipios a Yahualica y Mexxicacán.

Comisión Nacional del Agua. 2007. Elaboración de los documentos de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos (1413) Altos de Jalisco, (1436) Arenal, (1428) Chapala, (1429) Tizapán y (1447) Yahualica, Estado de Jalisco, acuífero Yahualica. Elaborados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Hidrología Subterránea, Coordinación de Hidrología.