

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAN ISIDRO (1450), ESTADO DE
JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	3
2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.	5
3 FISIOGRAFÍA.	12
3.1 Provincias Fisiografías.....	12
3.2 Clima.....	12
3.3 Hidrografía.....	14
3.4 Geomorfología.....	15
4 GEOLOGÍA.....	16
4.1 Estratigrafía.....	17
4.2 Geología Estructural.....	22
4.3 Geología del Subsuelo.....	22
5 HIDROGEOLOGÍA.....	24
5.1 Tipo de Acuífero.....	24
5.2 Parámetros hidráulicos del acuífero.....	25
5.3 Piezometría.....	26
5.4 Comportamiento hidráulico.....	26
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	26
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	26
5.5 Hidrogeoquímica.....	29
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS.....	30
7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	30
7.1 Entradas.....	31
7.2 Recarga Vertical.....	33
7.3 Salidas.....	34
7.4 Cambio de almacenamiento.....	35
8 DISPONIBILIDAD.....	37
8.1 Recarga total media anual (R).....	37
8.2 Descarga Natural Comprometida (DNC).....	38
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	38
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	38
9 BIBLIOGRAFÍA.....	40

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-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 provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA)

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDA.

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

1.1 Localización

El acuífero San Isidro, definido con la clave 1450 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza al suroeste de la Ciudad de Guadalajara, en la cuenca de los ríos Vega y Cocula. La zona del acuífero queda comprendida entre las latitudes norte $20^{\circ}22'$ y $20^{\circ}37'$ y entre las longitudes $103^{\circ}27'$ y $103^{\circ}40'$ al oeste del meridiano de Greenwich. Figura No. 1. Las poblaciones de mayor importancia emplazadas en la zona son Santa Cruz de las Flores y San Isidro. La zona comprende una cuenca hidrológica superficial, que abarca un área de 357.767 km^2 y pertenece políticamente a los municipios de Tlajomulco de Zúñiga, Tala, Acatlán de Juárez y Villa Corona.

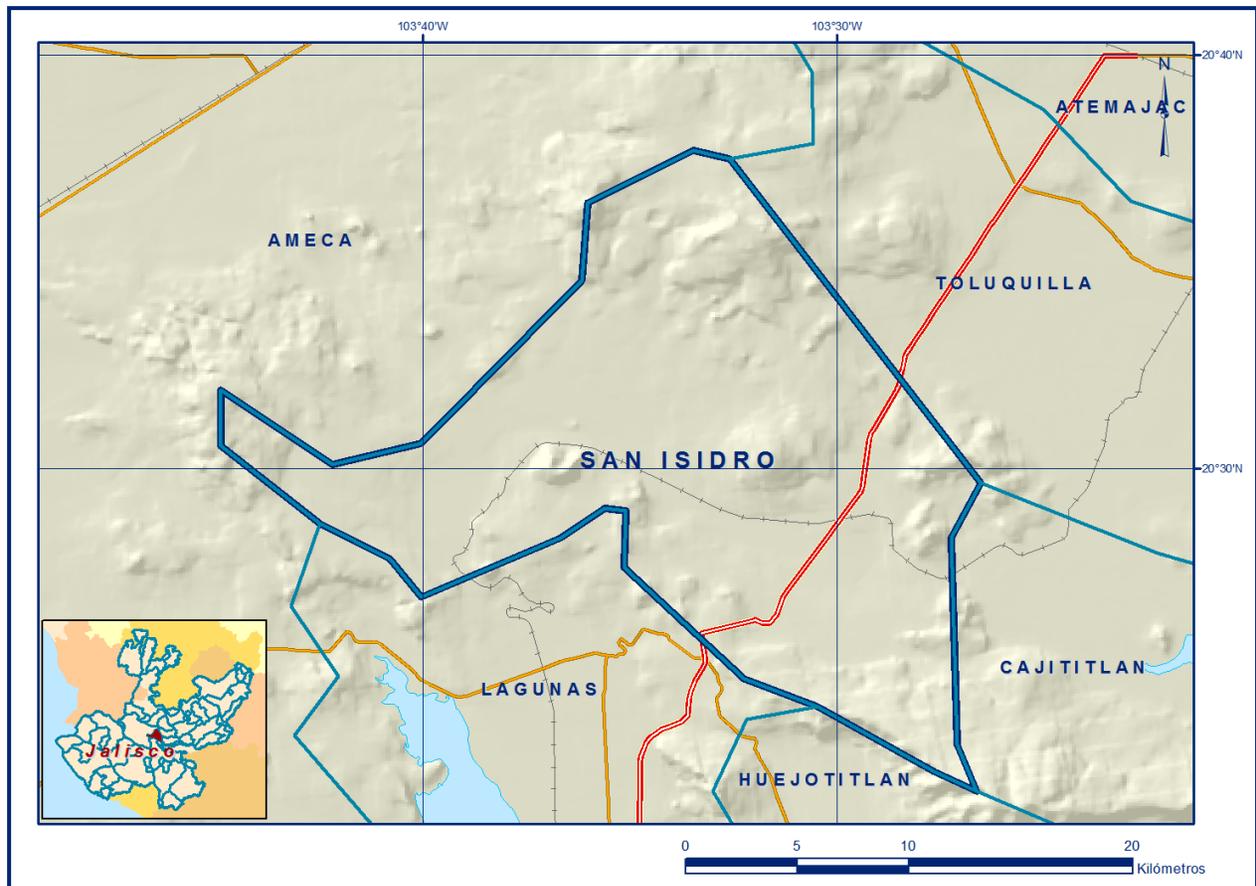


Figura 1. Localización del acuífero

Geográficamente, el área de acuífero se encuentra dentro de la poligonal cuyos vértices se presentan en la tabla 1.

ACUIFERO 1450 SAN ISIDRO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	26	38.9	20	22	12.8
2	103	27	40.0	20	22	40.3
3	103	30	28.2	20	24	15.1
4	103	32	15.2	20	24	54.9
5	103	35	9.4	20	27	36.9
6	103	35	6.4	20	28	59.4
7	103	35	36.9	20	29	2.5
8	103	36	41.1	20	28	19.7
9	103	40	2.9	20	26	54.1
10	103	40	48.8	20	27	49.1
11	103	42	29.6	20	28	41.1
12	103	44	53.4	20	30	33.6
13	103	44	53.3	20	31	53.7
14	103	42	11.3	20	30	6.7
15	103	40	2.9	20	30	37.2
16	103	36	10.6	20	34	32.6
17	103	36	0.0	20	36	25.7
18	103	33	28.5	20	37	42.2
19	103	32	36.6	20	37	29.9
20	103	26	32.8	20	29	39.2
21	103	27	15.6	20	28	19.7
22	103	27	6.4	20	23	20.1
1	103	26	38.9	20	22	12.8

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

La zona del acuífero comprende una cuenca hidrológica superficial, que abarca un área de 411 km². La zona pertenece políticamente a los municipios de Tlajomulco de Zúñiga, Tala, Acatlán de Juárez y Villa Corona.

Las principales vías de comunicación vinculan a la entidad con la Capital de la República y con otros centros industriales de gran importancia, puesto que en él convergen los principales troncales carreteros:

- Guadalajara – Aguascalientes
- México – Guadalajara – Nogales
- Guadalajara - Colima – Manzanillo
- Guadalajara - Saltillo

Estas vías de comunicación, convierten al Estado en un punto clave de conexión entre los principales mercados nacionales e internacionales.

Específicamente, la carretera más importante que comunica la zona del acuífero con la Ciudad de Guadalajara es la vía número 54D que va hacia Santa Cruz de las Flores.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.

A continuación se presentan resúmenes de los trabajos que se consideraron más trascendentes para cumplir con los objetivos del presente documento.

a) “Evaluación de la calidad del agua en la exploración del Domo Sur de La Primavera para abastecimiento público” Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Jalisco SIAPA. Informe No. DCA 01/90. 1990.

El objetivo de este estudio fue determinar la calidad del agua en pozos de exploración y extracción localizados en las cercanías del domo sur de La Primavera, para identificar sitios apropiados para nuevas perforaciones exploratorias, y para verificar que los aprovechamientos en explotación cumplan con las normas de calidad de agua para consumo humano.

Como parte de las actividades relevantes del estudio, se determinó: a) La calidad fisicoquímica y la concentración de arsénico a diferentes profundidades en el pozo exploratorio No. 1 del SIAPA, b) La calidad del agua subterránea en treinta pozos aledaños al pozo exploratorio No. 1 y c) La concentración de arsénico a la profundidad de 290 m en el pozo exploratorio No.4.

Los resultados indican que el agua subterránea en la zona estudiada presenta características de termalismo y es del tipo bicarbonato-sódico-cálcica.

Se concluye que el pozo exploratorio No. 1, por las concentraciones de arsénico que presenta, no reúne la calidad requerida para consumo humano (concentración de As = 0.75 mg/l).

Asimismo, se concluye que la zona crítica con concentraciones de arsénico por arriba de la norma (0.05 mg/l), corresponde a la parte norponiente del Domo Sur de La Primavera, en el área comprendida entre las comunidades de Las Hormigas, Atarjea del Chino, La Puerta de los Sauces y Tres Palos.

Las principales recomendaciones derivadas del estudio son: a) Realizar una evaluación completa de la calidad química del acuífero del Domo Sur de La Primavera, b) Comprobar la calidad del agua del pozo de exploración No. 4, para definir su posible aprovechamiento mediante la dilución de sus extracciones para abatir al máximo las concentraciones de arsénico, y c) Hacer un estudio Hidrogeoquímico del Domo Sur de La Primavera para prevenir que con la extracción de agua, no se induzca la migración de arsénico y se estime la vida útil de ese recurso de agua subterránea.

b) “Estudio geológico-geoquímico por arsénico del área del Domo Sur de La Primavera”. PERMEX, S.A. de C.V. (1990).

El objetivo de este estudio fue analizar e interpretar la presencia de arsénico en los recursos de agua subterránea de la subcuenca de San Isidro, Jalisco, en función del contexto geológico definido en estudios previos, y colaborar con el organismo estatal de abastecimiento de agua potable (SIAPA) en la definición de la ubicación adecuada de perforación de baterías de pozos profundos para asegurar la calidad del agua para el abastecimiento a Guadalajara, Jalisco.

Como parte de las actividades relevantes de este estudio, se revisó un informe geológico - geohidrológico desarrollado en junio de 1990 (No se dan las referencias bibliográficas ni la fuente de información correspondiente); en el cual, se definió el ambiente tectónico, estructural y litológico de la zona estudiada.

Así mismo, permitió identificar los tipos de acuíferos existentes y su capacidad de almacenamiento. Se efectuó un muestreo integral de los recursos de agua subterránea y superficial en un área de 395 km², obteniéndose 386 muestras. Se analizó la probabilidad de ocurrencia de concentraciones de arsénico para estimar la probabilidad de ocurrencia de concentraciones específicas en sitios determinados. Los resultados del estudio demostraron que las concentraciones de As medidas definen un porcentaje mínimo de valores por arriba de la norma de la OMS (0.05 mg/l), es decir que más del 91% de las muestras presentaron valores por abajo del límite de la norma.

Se encontró que las altas concentraciones de arsénico se correlacionan con patrones de fracturamiento regional y local profundos, que permiten el ascenso de fluidos hidrotermales y, finalmente, se concluye que en la zona estudiada, existe suficiente cantidad de agua subterránea explotable y capacidad de selección de ubicación espacial de baterías de pozos para asegurar niveles no dañinos en concentración de arsénico.

c) “Balance preliminar de la Subcuenca San Isidro Mazatepec. Domo Sur de la Primavera. Gerencia Regional Lerma Santiago Pacífico”. C.N.A. – 1991. Clave de clasificación R12.07.2/66.

El objetivo del estudio fue el determinar los balances hidrogeológicos de las Subcuencas Sayula y San Isidro.

El carácter del estudio fue primordialmente de gabinete. Se realizó un análisis de la información climatológica e hidrogeológica. También se indica la realización de planos del nivel estático para el año de 1991, aunque no se incluye copia del mismo.

El estudio contiene la mayoría de los datos utilizados en el cálculo de cada uno de los componentes del balance, con sus respectivas hojas de cálculo. A pesar de que se presentan secciones hidrogeofísicas, no es claro cómo se determinaron los espesores y sus correspondientes propiedades hidráulicas de los canales de entrada y salida del agua subterránea.

Como lo describe el título mismo del trabajo, se trata de un estudio preliminar en el cuál se incluyen una serie de documentos de estudios previos, informes de cortes de pozos, registros hidrometeorológicos. También se indica la realización de planos del nivel estático para el año de 1991, aunque no se incluye copia del mismo.

Así, una de las principales limitaciones del estudio es la carencia de estas configuraciones, por lo que es imposible verificar el procedimiento de cálculo de los volúmenes de flujo horizontal tanto en entradas como salidas a la zona de balance.

d) “Actualización del estudio geohidrológico Zona Conurbada de Guadalajara Cuencas: Toluquilla, Atemajac, Cajititlán”. Estudio para el SIAPA, elaborado por Geoex, S.A. de C.V. 1996.

Los objetivos del estudio fueron: a) establecer el modelo conceptual de los acuíferos en las cuencas de estudio; b) determinar las condiciones Geohidrológicas iniciales y actuales de los acuíferos; c) realizar una zonificación geohidrológica; d) elaborar un balance para determinar la disponibilidad.

Para cumplir con estos objetivos se llevaron a cabo varios recorridos de campo para cubrir los diferentes objetivos del estudio. Estas actividades consistieron principalmente en el reconocimiento geológico, piezometría, nivelación de brocales, toma de 92 muestras de agua para su análisis físico y químico.

Se cumplieron la mayoría de los objetivos señalados en el estudio. Una aportación del estudio es que se integró bastante información sobre los aprovechamientos emplazadas en los acuíferos de la Zona Conurbada de Guadalajara. Asimismo, se estimaron los componentes del balance de aguas subterráneas de los mismos.

El estudio es muy ambicioso, como lo muestran los objetivos del mismo. Sin embargo, algunos apartados se cumplieron de manera parcial o nula.

El modelo conceptual de los acuíferos se desarrolló de manera parcial porque sólo se presenta una sección Hidrogeológica donde se simplifica demasiado el funcionamiento de los acuíferos, no se incluye la información Hidrogeológica compilada e interpretada en el trabajo; además se presenta antes de la hidrología subterránea, siendo que el modelo conceptual es el resultado de la interpretación geológica, geofísica, hidrogeológica e hidrogeoquímica.

En la interpretación geológica se llevaron a cabo una serie de secciones transversales que son de gran valía en la determinación de la geometría de los acuíferos, atinadamente se describe el uso de cortes litológicos de pozos en su construcción. Cabe mencionar, que no se especifica si se utilizó información de sondeos geofísicos realizados con anterioridad, ya que en el estudio no se realizaron este tipo de actividades.

Los datos presentados no incluyen el nivel estático inicial de los acuíferos. Sólo se indica que se determinaron las configuraciones del nivel estático para algunos años, sin indicar cuál sería la probable distribución de los mismos antes de su explotación.

Debido a que no se llevaron a cabo pruebas de bombeo ni tampoco se hizo una reinterpretación de las pruebas de bombeo disponibles, por lo que los parámetros hidráulicos utilizados para el cálculo de los balances tienen cierta incertidumbre, que pudiera influir en las magnitudes de entradas y salidas subterráneas calculadas.

El modelo numérico de flujo de los acuíferos en MODFLOW no se desarrolló.

e) “Estudio hidrogeológico regional de la Zona Geotérmica la Primavera-San Marcos-Hervores de la Vega, Jalisco”. Comisión Federal de Electricidad. 1982.

Este trabajo se realizó con la finalidad de establecer la presencia de un acuífero o acuíferos regionales, que tuvieran una relación directa con el agua asociada a los sistemas geotérmicos de la zona.

Se estimó que el acuífero relacionado con el sistema geotérmico de la Primavera está contenido en rocas andesítico-basálticas y está limitado por estructuras NW-SE, lo cual permitiría un flujo de SE a NW procedente de Juanacatlán.

La zona de recarga para este acuífero se localizaría al Sureste de la Primavera entre los poblados de Juanacatlán y Cajititlán, pues ahí afloran andesitas del Mioceno, además están cubiertas por las tobas de caída aérea que permiten la infiltración hacia niveles más bajos; por otro lado la presencia del Río Grande de Santiago, en este sector, debe estar también relacionada con la recarga del acuífero en cuestión.

En la zona de Villa Corona-San Marcos, la presencia del acuífero relacionado con las manifestaciones termales, puede estar contenido en rocas andesítico-basálticas, su área de recarga quedaría en los cerros que se ubican al Noroeste de Villa Corona, así como en la Sierra de Tapalpa, de tal forma que el flujo principal descendería de Noroeste a Sureste.

El estudio cuenta con un Plano Hidrogeológico que muestra con mucha claridad los niveles piezométricos de la zona, dirección del flujo en el acuífero, parteaguas geohidrológicos y barreras impermeables.

f) “Estudio hidrológico del Estado de Jalisco”. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mayo de 2001.

Los objetivos del estudio fueron describir las condiciones hidráulicas en el subsuelo respecto a la dirección de flujos, detección de áreas con mayores posibilidades de extracción de agua y caracterización del comportamiento natural e inducido de sus acuíferos.

Se llevaron a cabo trabajos de campo tales como el censo de aprovechamientos y la medición de los niveles dinámicos y estáticos obtenidos de los pozos de observación. Posteriormente se estableció la evolución del balance hidráulico con la finalidad de conocer el grado de explotación de los acuíferos, sus congruencias y tendencia general.

En la zona geohidrológica Ameca, en la cual se encuentra el acuífero San Isidro, se reporta una recarga estimada de 290 Mm³ y una extracción de 230 Mm³ por lo cual se reporta una subexplotación.

El total de aprovechamientos registrados es de 390, entre pozos y norias; la profundidad de los niveles estáticos varía de 1 a 60 m con evolución de -0.40 m/año; los caudales oscilan entre 5 y 35 l/s.

La configuración de las curvas de igual elevación del nivel estático muestra una trayectoria preferencial del flujo subterráneo de noreste-suroeste. La recarga se efectúa primordialmente en el volcán de Tequila y las sierras La Primavera y La Laja.

Sin embargo, por la magnitud de los alcances del estudio se carece de perfiles litológicos en la zona geohidrológica de Ameca. Los perfiles más cercanos que presenta son los de la zona de Toluquilla y Atemajac-Tesistán.

g) “Informe climatológico de la Zona Geotérmica La Primavera San Marcos – Hervores de la Vega, Edo. de Jalisco”. Informe 16 – 81. Comisión Federal de Electricidad. Oficina de Exploraciones Geotérmicas. Junio de 1981. El objetivo principal de este estudio fue llevar a cabo el balance hídrico inicial.

Se obtuvo el balance hídrico por cuenca, determinando los siguientes parámetros: precipitación media anual, temperatura media anual, tipo de clima, evapotranspiración potencial y evapotranspiración real, volumen excedente, con el método de los cloruros se obtuvo el coeficiente de infiltración y con éste se obtiene el volumen de infiltración y finalmente el volumen que escurre.

h) “Geohidrología de los Valles de Atemajac, Tesistán, Ameca, Ahualulco y San Marcos, Jalisco”. Ariel Construcciones S. A. 1973.

Este estudio tuvo el objetivo principal de evaluar la potencialidad de los acuíferos con la información disponible, así como la elaboración de un modelo preliminar en Atemajac y Tesistán que simule el comportamiento de los acuíferos.

La geología superficial y su interpretación geohidrológica permitieron agrupar a los valles que funcionan como una sola unidad geohidrológica, quedando definidas de esta manera como el valle de Atemajac-Tesistán-Ocotlán, Ahualulco-Ameca, San Marcos y Lago de Chapala, debido a las interdependencias que se apreciaron entre los materiales de relleno de sus planicies.

Con los datos obtenidos en campo, la información recabada y los gradientes piezométricos regionales derivados de las configuraciones de las redes de flujo, se llegó a la cuantificación de los posibles excedentes de agua subterránea en los diferentes valles. Se llegó a la conclusión que con los valores obtenidos se podrían aumentar las extracciones actuales de algunos de los valles. El estudio es muy completo, sin embargo, tiene una antigüedad de cerca de 30 años.

i) “Estudio Hidrogeoquímico e Isotópico de la Zona de Toluquilla - Ocotlán La Barca en el Estado de Jalisco”. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Tecnología de Sistemas Hidráulicos. Subcoordinación de Hidrología y Aprovechamientos Hidráulicos. Diciembre de 1993.

Los objetivos del estudio fueron la determinación de dar la posible interconexión hidrológica del lago de Chapala con los acuíferos existentes en la zona de Toluquilla-Ocotlán- La Barca y establecer la posible interacción geohidrológica entre el lago de Chapala y las lagunas de Atotonilco, San Marcos y Zacoalco.

Las actividades de gabinete permitieron establecer una red de muestreo piloto que permitiera caracterizar isotópica e hidroquímicamente el sistema hídrico de la región de estudio, mediante la recopilación y el análisis de la información existente. Las actividades incluyeron la selección de 105 sitios de monitoreo con 21 parámetros químicos para una primera etapa, mientras que para una segunda etapa y considerando los resultados de la primera, se muestrearon 47 sitios. Los parámetros medidos in situ fueron el pH, temperatura y conductividad eléctrica.

Los parámetros químicos analizados en el laboratorio fueron el calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, sílice, fosfatos, boro, arsénico, cadmio, flúor, sólidos totales disueltos, alcalinidad y dureza. Se realizaron además los análisis isotópicos de los contenidos de deuterio, oxígeno 18, tritio ambiental, carbono 13 y carbono 14.

Las conclusiones obtenidas en el estudio fueron que el lago de Chapala no recarga a los acuíferos localizados en las zonas de Toluquilla-Guadalajara, Mezcala-Jocotepec y Ocotlán. Los acuíferos emplazados en estas zonas se recargan con agua de precipitación local.

Por influencia del bombeo, algunos pozos localizados cerca del perímetro oriental del lago manifiestan hidroquímicamente una similitud con las aguas del citado lago. No existen evidencias sobre la interacción del lago de Chapala con las lagunas de San Marcos, Atotonilco y Zacoalco. Algunos de los pozos del SIAPA que alimentan al sistema Toluquilla y suministran agua potable a la zona metropolitana de Guadalajara, pueden estar influenciados por fluidos geotermales de la Caldera de la Primavera.

3 FISIOGRAFÍA.

3.1 Provincias Fisiografías

Desde el punto de vista fisiográfico, la zona de estudio se ubica en la Provincia de la Faja Volcánica Transmexicana. El Acuífero San Isidro queda emplazado en el rasgo tectónico denominado Graben de Chapala-Tepic.

Esta provincia fisiográfica está caracterizada por la gran cantidad de rocas volcánicas de todos tipos, acumuladas en diferentes episodios volcánicos.

La integran grandes sierras volcánicas, derrames lávicos, conos cineríticos y depósitos de tobas, dispersos entre las llanuras. Otro rasgo característico es la presencia de cuencas cerradas ocupadas por lagos.

3.2 Clima

El clima en el estado de Jalisco presenta grandes contrastes debido a la conformación variada del relieve y las influencias de masas de agua, tanto marítimas como lacustres.

Se encuentran variantes de climas semisecos hacia el norte y noreste; climas templados en las partes altas de las sierras; semicálidos en la zona centro y alrededores de Chapala, y climas cálidos a lo largo de toda la costa.

El área del acuífero se encuentra en la zona centro del estado de Jalisco, donde existe un clima semicálido que ha favorecido en gran medida al desarrollo de actividades agrícolas, localizándose también la mayor concentración de áreas urbanas e industriales como la capital del estado, Ocotlán, Atotonilco e industrias textiles, químicas, alimenticias y otras. Cabe hacer notar que en esta zona se aloja el 49% de la población total del estado.

El clima general de la zona centro tiene una temperatura media anual mayor a los 18° C y bajo su influencia se desarrollan comunidades vegetales como matorral, subtropical, pastizales, selva baja y bosque de táscate. Ocupa aproximadamente un 42% de la superficie del estado. La variante a la que pertenece el clima en la zona es un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano.

La evaporación media anual de la zona es de 1,984.18 mm correspondiente a seis estaciones climatológicas con datos para ese periodo. La evaporación máxima se presenta en abril y la mínima en los meses de noviembre y diciembre. Los valores mínimos en la zona son de 1,850 mm en la porción NW y aumentan hasta unos 2,000 mm en la zona Santa Cruz.

Temperatura Media Anual: Para la temperatura media anual se consideraron siete estaciones climatológicas con un valor promedio de 15.7° C. Para la zona el mes más caluroso es junio con temperatura de 19.71 °C y enero es el mes más frío con una temperatura de 10.39 °C. La distribución espacial de la temperatura indica un incremento en la misma conforme la cota topográfica disminuye.

Precipitación Media Anual: Con base en los cálculos del sistema de balance hidráulico superficial, se determinó que el volumen promedio anual de lluvia en la zona de recarga del acuífero tiene una magnitud de 306,005,270 m³ (855.32 mm), de los cuales escurren 34,639,796 m³.

En la zona se presenta una precipitación media anual de 855.32 mm, correspondiente a las nueve estaciones climatológicas distribuidas en la zona del acuífero.

Durante los meses de junio a septiembre se presenta la época de lluvias, siendo julio el mes más lluvioso, y marzo y abril los meses más secos. La distribución espacial de la precipitación varía de 880 en las partes más altas de la zona localizadas en la porción NW hasta valores de 700 mm para la porción SE de la zona.

Con base en los cálculos del sistema de balance hidráulico superficial, se determinó que el coeficiente de infiltración es de alrededor de 14.8%. Los suelos predominantes en la región son: Regosol, Feozem Háptico, Acrisol Órtico, Cambisol, Chernozem, Litosol, Castañozem, Luvisol, Andosol, Vertisol, Planosol y Xerosol, entre otros. El Estado tiene una superficie territorial de 8,013,700 hectáreas, de las cuales 1,634,518 son utilizadas con fines agrícolas, 2,847,238 en la actividad pecuaria, 2,343,253 son de uso forestal, 62,390 son suelo urbano, 477,929 tienen otro uso y 648,372 no tienen un uso especificado. En lo que a la propiedad se refiere, una extensión de 4,733,595 hectáreas es privada y otra de 2,193,987 es ejidal; 686,535 es comunal y el resto no se especifica la propiedad.

Los tipos de suelo encontrados en la zona son: Vertisol localizado principalmente en el centro del valle del acuífero San Isidro, en la zona de La Primavera se encuentra el tipo Regosol con lecho rocoso, entre La Primavera y el poblado de San Isidro se localiza una porción de suelo Feozem, entre las poblaciones de Villa Corona y Acatlán de Juárez se encuentra toda una franja de suelo del tipo Feozem Litica y Pedregosa. En los alrededores de la Presa Hurtado se encuentran suelos del tipo Solonchak.

Como resultado de la combinación de las condiciones climatológicas y la topografía determina la existencia de una serie de suelos. En las partes altas predomina el Bosque de Encino-Pino y se encuentra distribuido de 1500 msnm hasta los 2000 msnm, constituido por especies de encino (*Quercus* sp) y pino trompillo (*Pinus Oocarpa*). En la parte baja de la sierra La Primavera se localiza un área de bosque de Pino-Encino. Otros tipos de vegetación que se presentan en la zona son Bosque de Encino en el poblado La Vega, Matorral Subtropical desde Villa Corona hasta Acatlán de Juárez y San Juan Evangelista, Selva Baja Caducifolia y Pastizal natural e inducido.

3.3 Hidrografía

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1981-2001), el estado de Jalisco queda comprendido en parte de las regiones hidrológicas: “Lerma – Chapala – Santiago” (No. 12) que abarca la mayor parte del estado con 40,213.22 km²; Huicila (No. 13), pequeña porción en la parte centro oeste con solo 1,431.63 km²; Ameca (No. 14) en la parte centro noroeste con 8,884.52 km²; Costa de Jalisco (No. 15) en la parte suroeste con 11,590.69 km²; Armería – Coahuayana (No. 16) ubicada en el sur del estado, colindante con Colima con 12,336.62 km²; Alto río Balsas (No. 18), pequeña porción ubicada en la parte SE, con 4,042.72 km²; y el Salado (No. 37), pequeña porción en los límites con el estado de Zacatecas en la parte NE, con 390.67

km². En ese trabajo las descripciones de la zona de estudio de San Isidro no son detalladas, existen únicamente referencias generales. Por ejemplo, se menciona que la cuenca del lago de Chapala recibe las corrientes de La laguna de San Marcos y por ubicación se infiere que la zona de estudio pertenece a la subcuenca de esta laguna.

En la publicación del INEGI (2001), se hace referencia a la zona de estudio sólo por la mención del municipio de Tlajomulco de Zúñiga. Con base en la clasificación de la Comisión Nacional del Agua, la superficie de la cuenca hidrológica en donde está emplazada la zona acuífera denominada como San Isidro presenta un área de 562 km², y pertenece a la región hidrológica No.12.

La cuenca hasta hace algunos años contaba con cuerpos de agua conocidos como las presas Elizondo, Playa de Santa Cruz, San Cayetano y La Presa Hurtado que es la de mayor importancia y uso con 22.008 Mm³ de capacidad.

Cabe señalar que estas obras hidráulicas ya no almacenan agua, presentando las compuertas abiertas y el arroyo circulando. Los lechos de estos vasos se encuentran invadidos por cultivos agrícolas, principalmente maíz. La cuenca se encuentra drenada por arroyos, muchos de los cuales se pierden debido a la alta permeabilidad del terreno de las partes altas de la cuenca, por ejemplo los arroyos Agua Caliente, El Salvial, El Pachón, Los Tecolotes y El Novillero todos ubicados al norte y noreste del poblado de San Isidro. Al norte del poblado de San Isidro inicia el arroyo La Villita, el cual drena hacia el sudoeste y a la altura del poblado La Culebra se le denomina arroyo San Antonio, que se convierte en el principal tributario de la Presa Hurtado.

Con referencia a la zona denominada acuífero San Isidro (Ariel Consultores, 1973) se incluye en la cuenca de San Marcos. Ésta a su vez pertenece a una cuenca cerrada donde se forman las lagunas de Zacoalco, Sayula, San Marcos y Atotonilco, con un área del orden 2,967 km². Dichas lagunas están alimentadas por numerosos arroyos que drenan de las laderas de los cerros y sierras que confinan a la cuenca cerrada.

3.4 Geomorfología

Geomorfológicamente la zona presenta muy pocas topoformas, sólo el Domo de La Primavera al Norte, los volcanes cineríticos distribuidos en diferentes puntos de la zona de análisis y la llanura o planicie en el centro del valle.

El Domo La Primavera se formó aproximadamente hace 120 mil años (Gutiérrez Negrín, 1991), como producto del ascenso de una gran masa magmática, provocando un fracturamiento semicircular por donde fluyeron domos y flujos de composición riolítica.

Posteriormente ocurrieron una serie de eventos explosivos que dieron lugar a los flujos piroclásticos, los cuales se depositaron en los valles circunvecinos. Esta rápida evacuación de la cámara magmática provocó un hundimiento horizontal donde se formó un lago.

Este lago desapareció posteriormente como consecuencia del resurgimiento de la cámara magmática, formándose la sierra como la observamos hoy en día, con emisiones recientes de domos y lavas riolíticas.

La zona ha estado sujeta a constantes eventos de vulcanismo y tectonismo en los últimos 70 millones de años, siendo los volcanes, calderas, montañas en bloque, fosas y planicies sus topoformas más representativas.

De manera local, el Acuífero San Isidro se ubica en una fosa tectónica la cual ha estado sujeta a diferentes eventos de vulcanismo, que han producido las diferentes secuencias de rocas que conforman la columna estratigráfica de la zona. El principal rasgo que se aprecia es el Domo La Primera en la porción Norte.

En la parte central del valle se encuentra una planicie, la cual no presenta drenaje superficial, llegándose a presentar zonas de inundación.

Esta topoforma es el producto del relleno de material provenientes por la erosión y depositación de materiales volcánicos de las montañas adyacentes.

4 GEOLOGÍA

En la región central de México afloran secuencias que atestiguan diversos dominios de varios niveles estratigráficos que en algunas regiones se observan sobrepuestos; esto hace que los intentos de descripción, a nivel general resulten infructuosos. El Eje Neovolcánico Transmexicano constituye una franja volcánica del Cenozoico Superior, está formado por una gran variedad de rocas volcánicas que fueron emitidas a través de un importante número de aparatos volcánicos, figura No. 2, algunos de los cuales constituyen las principales alturas del país.

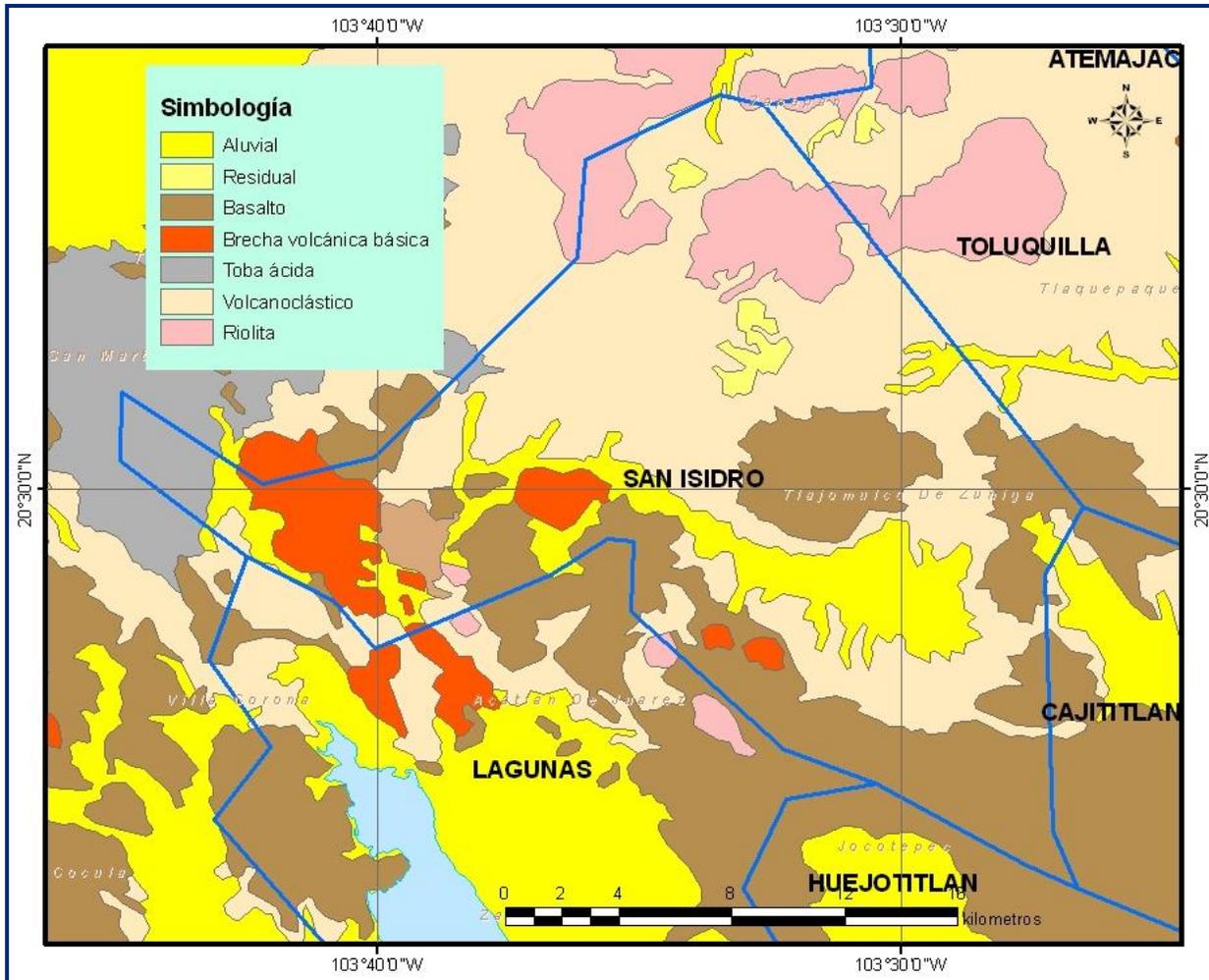


Figura 2. Geología general del acuífero

La actividad volcánica en esta franja ha dado lugar a un gran número de cuencas endorreicas con el consecuente desarrollo de lagos, lo que le da al paisaje geomorfológico una apariencia muy característica.

4.1 Estratigrafía

La mayoría de los afloramientos que se presentan en la zona corresponden a rocas volcánicas de composición félsica (riolitas y tobas riolíticas) a máfica (basaltos). Las rocas volcánicas se formaron durante dos periodos de vulcanismo, el primero que incluye del Oligoceno al Plioceno y corresponde a la actividad de la Sierra Madre Occidental y el segundo, que se presentó durante el Pleistoceno y corresponde al vulcanismo de la Faja Volcánica Transmexicana.

Aunque no afloran en la región, se ha inferido (C.F.E., 1982) que a profundidad subyaciendo todo el paquete de rocas volcánicas se encuentra un potente horizonte de rocas sedimentarias que corresponde a las calizas de la Formación Morelos y a las areniscas de la Formación Mexcala, con edades del Cretácico Medio y Superior, respectivamente.

Cretácico

Formación Morelos (Kmo). Esta formación no aflora en la zona, se presenta en la Sierra de Tapalpa, al SW de la zona del acuífero. La formación está constituida por calizas de color gris con estratificación gruesa y presencia de estilolitas.

Dadas las características geológicas y a la ausencia de fauna para su datación, se correlacionó con rocas similares que afloran al W de la Ciudad de Colima, asignándose una edad de Cretácico Medio. Se desconoce el espesor de la unidad en la zona ya que no se identificó el contacto inferior, sólo se infiere que puede corresponder al basamento granítico. Desde el punto de vista geohidrológico esta unidad puede constituir un acuífero si presenta porosidad secundaria.

Formación Mexcala (Kmx). Constituida por una alternancia de areniscas, limolitas y lutitas de color pardo a verde, con estratificación delgada.

Sobreyace a la Formación Morelos y subyace a derrames volcánicos del Oligoceno. Por su posición estratigráfica y características litológicas se ha correlacionado con rocas que afloran al Sur del Estado de Jalisco, correspondiendo a una edad de Cretácico Superior.

Esta unidad no aflora en la zona, se localiza principalmente en la Sierra de Tapalpa y en La Sierra de La Laja.

Tomando en cuenta el alta grado de cementación de estas rocas, geohidrológicamente esta unidad puede constituir un acuicludo o inclusive un acuifugo, dependiendo del grado de fracturamiento.

Terciario.

Oligoceno andesítico (Toa). Constituido por andesitas de color pardo rojizo, gris claro o verde grisáceo. Se han observado facies piroclásticas constituidas por tobas, brechas y aglomerados. Llega a presentar alteración hidrotermal, así como intemperismo.

La edad de este paquete de rocas se estableció por correlación (Vanegas, 1981) con rocas que representan la etapa inicial de la actividad volcánica de la Sierra Madre Occidental, asignándoseles una edad del Oligoceno.

Desde el punto de vista geohidrológico y por la posición estratigráfica esta unidad puede considerarse como un acuícludo, aunque pudiera contener facies con potencial geohidrológico favorable.

Mioceno riolítico (Tomr). Unidad conformada por derrames, tobas y brechas de composición riolítica. Los derrames presentan textura porfirítica, estructura fluidal y esferulítica. A esta unidad se le ha asignado la edad de Oligoceno Tardío al Mioceno (C.F.E., 1980), por correlación con rocas de la Sierra Madre Occidental.

Sus afloramientos se han observado en la Sierra de Tapalpa donde sobreyace a las secuencia de rocas sedimentarias, mientras que cubre a las andesitas del Oligoceno en el Cañón del Río Grande de Santiago.

Dadas sus características hidráulicas (estructura masiva y escaso fracturamiento) esta unidad puede considerarse un acuífugo.

Mioceno andesítico-basáltico (Tmpa). Estas rocas corresponden a una serie de derrames y brechas de composición andesítica, andesítico-basáltica y basáltica. Dataciones isotópicas de estas rocas han dado como resultado edades de 17 a 9 millones de años (Ruiz et al, 1978).

Plioceno tobas (Tpt). Bajo esta denominación se han agrupado a esta unidad una serie de tobas pumicíticas, vítreas y líticas, de composición intermedia, de color gris amarillento a café grisáceo oscuro. Este tipo de rocas es representativo de eventos explosivos en el Plioceno.

Debido a su estructura masiva, geohidrológicamente se comportan como acuífugos.

Plioceno ignimbrítico (Tpig). Compuesta de ignimbritas de composición máfica de color negro, observándose también fragmentos de riolita, andesita, basalto y obsidiana en una matriz de vidrio opaco.

Esta unidad subyace a basaltos del Cuaternario y sobreyace a las riolitas del Oligoceno, deduciéndose una edad del Plioceno por posición estratigráfica. Geohidrológicamente se comporta como un acuitardo.

Plioceno riolítico (Tpr). Estas rocas comprenden riolitas fluidales de color café a rosa (C.F.E., 1981), con fracturamiento moderado. En ocasiones se presentan como pseudoestratos.

Observaciones de campo (C.F.E.1980) sugieren una variación en la intensidad del fracturamiento, lo cual puede proporcionarle un comportamiento de acuífero o inclusive acuífugo.

Cuaternario - Reciente

Pleistoceno basáltico inferior (Qbi). Unidad formada por derrames de basalto y andesita-basalto que alternan con rocas piroclásticas. En la, conforma el Cerro de Toltepec al NW de Santa Cruz de Las Flores, así como al Sur de San Isidro.

La edad de estas rocas ha sido determinada por métodos geocronométricos los cuales indican un alcance de 1.24 a 0.950 m.a. para los derrames de fisuras (Qbi) y de 0.970 m.a. para algunos conos cineríticos (Qbc)" (C.F.E.)

Esta unidad se comporta como acuífero.

Riolitas vítreas esferulíticas (Qrv). Riolitas de color gris claro a rosado con textura holohialina a merocristalina, en ocasiones compacta, aunque generalmente se le encuentra fracturada (C.F.E. 1982).

Esta unidad presenta un gran fracturamiento por lo se le considera una roca trasmisora del agua, e inclusive puede considerarse unidad acuífera.

Derrames piroclásticos (Qft). Esta unidad se localiza en la porción norte de la zona, bordeando la Caldera La Primavera. Está constituida por varias derrames piroclásticos de color gris a blanquecino en capas gruesa a masivas, con fragmentos de andesita, riolita y pómez. Mahood, (1979) determinó una edad geocronológica de 95-96 000 años para esta unidad.

Geohidrológicamente esta unidad se comporta como acuífero y donde aflora presenta zonas de recarga.

Domos riolíticos (Qdr). Esta unidad es la principal unidad que conforma la Sierra de La Primavera y en menor proporción se encuentra al Noroeste de Acatlán de Juárez, constituida por flujos de riolita fluidal vítrea, de color gris a crema. La unidad se presenta de manera compacta a deleznable con una textura afanítica.

Estas rocas se presentan de manera anular al Domo La Primavera, sobreyaciendo a derrames piroclásticos (Qft).

Dicha unidad presenta un gran fracturamiento, lo que permite que se comporte como zona de recarga hacia zonas más profundas.

Sedimentos lacustres (Qls). Estos sedimentos se presentan en la zona del Domo La Primavera y representan la depositación en el lago que se formó en ese sitio.

Esta unidad está conformada por material bentonítico, diatomitas y acumulaciones de material pumicítico de diferentes tamaños, producto de los eventos volcánicos subsecuentes. Se le encuentra en los flancos de algunos domos, sobreyaciendo a derrames piroclásticos (Qft).

Por el contenido del material bentonítico esta unidad se considera semipermeable, aunque sus facies pumicíticas permiten el almacenamiento y tránsito del agua.

Tobas pumicíticas (Qto). Unidad con una amplia extensión en la zona, su formación se debe a la actividad explosiva de la Caldera de La Primavera, caracterizada por depósitos de caída libre (piroclásticos de composición pumicítica).

Esta unidad es de color blanco, gris y crema; presenta estratificación media. La composición principal es pumicítica pero también se observan fragmentos de riolita y obsidiana. Por otro lado también se reporta la presencia de horizontes arcillosos producto de la alteración de las cenizas volcánicas.

Aflora en gran parte de la zona, bordeando la Caldera La Primavera, y de hecho Santa Cruz de Las Flores y Cofradía se encuentran emplazadas en este tipo de material.

Esta unidad presenta una alta conductividad hidráulica lo cual lo constituye como un gran cuerpo receptor, que permite una gran infiltración de la precipitación hacia el subsuelo, donde también constituye un cuerpo almacenador de agua.

Cuaternario Aluvial. Estos depósitos están conformados por arenas pumicíticas, abanicos aluviales, depósitos de pies de monte y llanuras de inundación.

En la zona se presentan en el centro del valle de Santa Cruz de las Flores y San Isidro. Debido a que estos depósitos son el producto de los diferentes agentes erosivos y de transporte en la zona, la granulometría de los depósitos va desde los conglomerados, arenas, limos y arcillas. Así, los horizontes arcillosos, principalmente hacia el centro de los valles provoca la inundación de algunas zonas.

Geohidrológicamente esta unidad puede comportarse como unidad acuífera en ciertos horizontes y variar en propiedades de libre a semiconfinado.

4.2 Geología Estructural

Los rasgos estructurales más prominentes en la zona corresponden al elemento tectónico denominado “Graben de Tepic-Chapala”, que está definido por un sistema de fallas escalonadas con dirección NW-SE, y con un basculamiento hacia el NE.

Estas estructuras controlan la geometría del acuífero, así como las direcciones de flujo regional del agua subterránea.

En la zona se observan fallas normales con orientación NW-SE tanto en el Domo de la Primavera como al sur del Poblado de San Isidro. Así mismo se encuentra una serie de fallas normales radiales (de colapso) en la Sierra de la Primavera.

4.3 Geología del Subsuelo

El objetivo de la geofísica mediante la técnica del TEM en la zona, es conocer el comportamiento de los materiales geológicos hasta una profundidad promedio de 500 m y definir zonas con posibilidad de contener agua con base en la conductividad eléctrica.

La distribución de los sitios de medición se realizó con separaciones de 2 a 10 km, cubriendo únicamente la zona de mayor interés con 10 sitios, y usando una bobina de 150 x 150 m, para conocer el comportamiento de la conductividad eléctrica.

En la tabla 2, se presentan las coordenadas para cada sitio de medición por TEM.

TEM	Este (km)	Norte (km)	Elevación msnm
SI1	645.444	2272.173	1542
SI2	648.667	2270.300	1538
SI3	645.410	2269.320	1517
SI4	641.228	2269.543	1490
SI5	656.488	2261.790	1537
SI6	652.304	2263.368	1528
SI7	646.847	2268.689	1506
SI8	650.598	2267.618	1549
SI9	655.793	2265.809	1538
SI10	658.514	2265.394	1553

Tabla No. 2.- Coordenadas de los sondeos geofísicos TEM.

Con el fin de obtener la geometría espacial del Acuífero San Isidro se llevó a cabo una interpretación conjunta de la información geológica y geofísica de la zona de interés, señalada en la actividad anterior. En esta integración se reinterpretaron los cortes litológicos de pozos en la zona para determinar la distribución espacial de las unidades Hidrogeológicas que conforman el acuífero.

Una vez reinterpretada e interpretada la información geológica y geofísica de la zona, se procedió a la integración de secciones geológicas. La orientación de dichas secciones geológicas obedece a la dirección preferencial del flujo del agua subterránea.

Así, se elaboraron 4 secciones geológicas, y se incluye una sección elaborada por el CEAS Jalisco que sólo incluye los pozos perforados en la porción occidental de Santa Anita y a las faldas del Cerro Totoltepec. La sección "A" con dirección NW-SE sobre el eje mayor del acuífero y las cuatro secciones restantes con direcciones más o menos perpendiculares a ésta.

Dichas secciones permitieron estimar los espesores de las unidades geológicas en el subsuelo, resultando en un acuífero superior con espesores que van de los 30 a los 100 m, y otro semiconfinado en la porción central del valle con espesores estimados de 100 a 300 m.

Debido a que no existen perforaciones mayores a los 400 m en el centro del valle, es difícil cuantificar de manera más precisa las conexiones hidráulicas con unidades más profundas.

Sin embargo, con base a la génesis de la zona se puede inferir que el fallamiento y fracturamiento experimentado en la región proporciona zonas de conexión hidráulica con unidades más profundas. No obstante, los resultados hidrogeoquímicos e isotópicos no muestran ninguna evidencia de la conexión hidráulica, cuando menos del acuífero superior con zonas profundas del Domo La Primavera.

Finalmente, de las condiciones Hidrogeológicas analizadas se definieron los límites del acuífero (zona de almacenamiento) hacia el centro del valle, las zonas de recarga en las porciones periféricas de Cofradía, Buenavista y Sta. Cruz de las Flores así como en la región norte de San Isidro en el Domo La Primavera; y las zonas de descarga en la porción Sur de San Isidro.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de Acuífero

Existe un acuífero superior con espesores que van de los 30 a los 100 m, y otro semiconfinado en la porción central del valle con espesores estimados de 100 a 300 m. Debido a que no existen perforaciones mayores a los 400 m en el centro del valle, es difícil cuantificar de manera más precisa las conexiones hidráulicas con unidades más profundas.

Sin embargo, con base a la génesis de la zona se puede inferir que el fallamiento y fracturamiento experimentado en la región proporcionan zonas de conexión hidráulica con unidades más profundas.

No obstante, los resultados hidrogeoquímicos e isotópicos no muestran ninguna evidencia de la conexión hidráulica, cuando menos del acuífero superior con zonas profundas del Domo La Primavera.

Medio poroso: El medio poroso incluye las unidades geológicas no consolidadas, semi-consolidadas del Terciario y Cuaternario, incluyendo los depósitos de tobas que existen en la superficie y subsuelo del Valle de San Isidro.

El medio poroso es el de mayor importancia para la existencia del sistema acuífero San Isidro, pues conforma gran parte del relleno de la porción central del valle. La mayoría de los aprovechamientos de la zona están emplazados en unidades hidrogeológicas conformadas por medio poroso.

El relleno aluvial así como ciertos depósitos volcánicos y vulcanosedimentarios conforman un gran paquete de material granular donde se aloja el agua subterránea del valle.

Medio fracturado: El medio fracturado incluye aquellas unidades geológicas consolidadas del Terciario y Cuaternario, que manifiestan discontinuidades estructurales de tamaño diverso, producidas por esfuerzos distensivos y extensivos por donde puede circular agua subterránea. En este medio se pueden incluir las rocas volcánicas, principalmente coladas basálticas, riolitas y andesitas, asociadas a diferentes eventos magmáticos y volcánicos.

5.2 Parámetros hidráulicos del acuífero

Se realizaron 13 pruebas de bombeo, distribuidas a todo lo ancho y largo del acuífero San Isidro, obteniendo resultados de transmisividad y conductividad hidráulica en 10 de los pozos.

Por el comportamiento observado durante las pruebas de bombeo y su interpretación, se puede concluir que los pozos ubicados dentro del Acuífero San Isidro explotan un acuífero semiconfinado y los emplazados en las partes altas topográficamente explotan un acuífero libre.

Los valores de transmisividad fluctúan entre 3.43×10^{-5} y 1.93×10^{-2} m²/s. Los valores de conductividad hidráulica entre 2.29×10^{-7} y 1.29×10^{-4} m/s. El rango de valores de conductividad hidráulica obtenidos en las pruebas de bombeo (Freeze y Cherry, 1979), corresponde a materiales clasificados entre arena limpia (10×10^{-4}), arena limosa (10×10^{-5} y 10×10^{-6}) y limo (10×10^{-7}).

Con respecto a las pruebas de bombeo realizadas en los pozos denominados “La Soledad”, “Arenas” y “Guadalupe del Carmen” en donde no se registraron abatimientos durante la prueba, ya que prácticamente no se abaten para el caudal que actualmente se extrae.

Al respecto se estima que el equipo de bombeo opera con un índice de eficiencia bajo, ya que carecen de un programa de mantenimiento.

5.3 Piezometría

En julio del 2002 se llevó a cabo la primera campaña para registrar la profundidad al nivel estático en el acuífero San Isidro. Cabe señalar que este levantamiento piezométricos correspondió a la temporada de lluvias. Una segunda campaña fue realizada en mayo del 2003, la cual correspondió a la temporada de estiaje.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Fue posible medir los niveles estáticos en 71 pozos y 39 norias. En los pozos, la profundidad al nivel estático fluctuó entre 3.0 y 51.8 m; en las norias, entre 0.8 y 28.7 m.

Se seleccionaron 25 pozos profundos y 15 norias para integrar la red de observación. Estos aprovechamientos fueron nivelados y en ellos se determinó la profundidad al nivel en la segunda campaña.

Para fines de la elaboración de la Piezometría, el acuífero San Isidro se dividió en dos valles: i) el que subyace a la superficie ubicada entre el Cerro Totoltepec–Cofradía–El Ventarrón y el Cerro Patomo; y ii) el que se ubica entre el Cerro Totoltepec–Cofradía–Cerro Mazatepec–inmediaciones de La Primavera.

5.4.2 Elevación del nivel estático

Valle 1 (Cerro Totoltepec – Cofradía – El Ventarrón - Cerro Patomo).

La configuración de la elevación del nivel estático correspondiente a julio del 2002, Figura 3, muestra que las elevaciones del nivel en el límite del acuífero ubicado entre las poblaciones del Centenario, El Tecolote y El Ventarrón fluctúan entre los 1,510 y 1,490 msnm y entre los poblados de Buenavista, Santa Cruz de las Flores, Cofradía y Santa Cruz de La Loma las equipotenciales varían de 1,490 a 1,488 msnm.

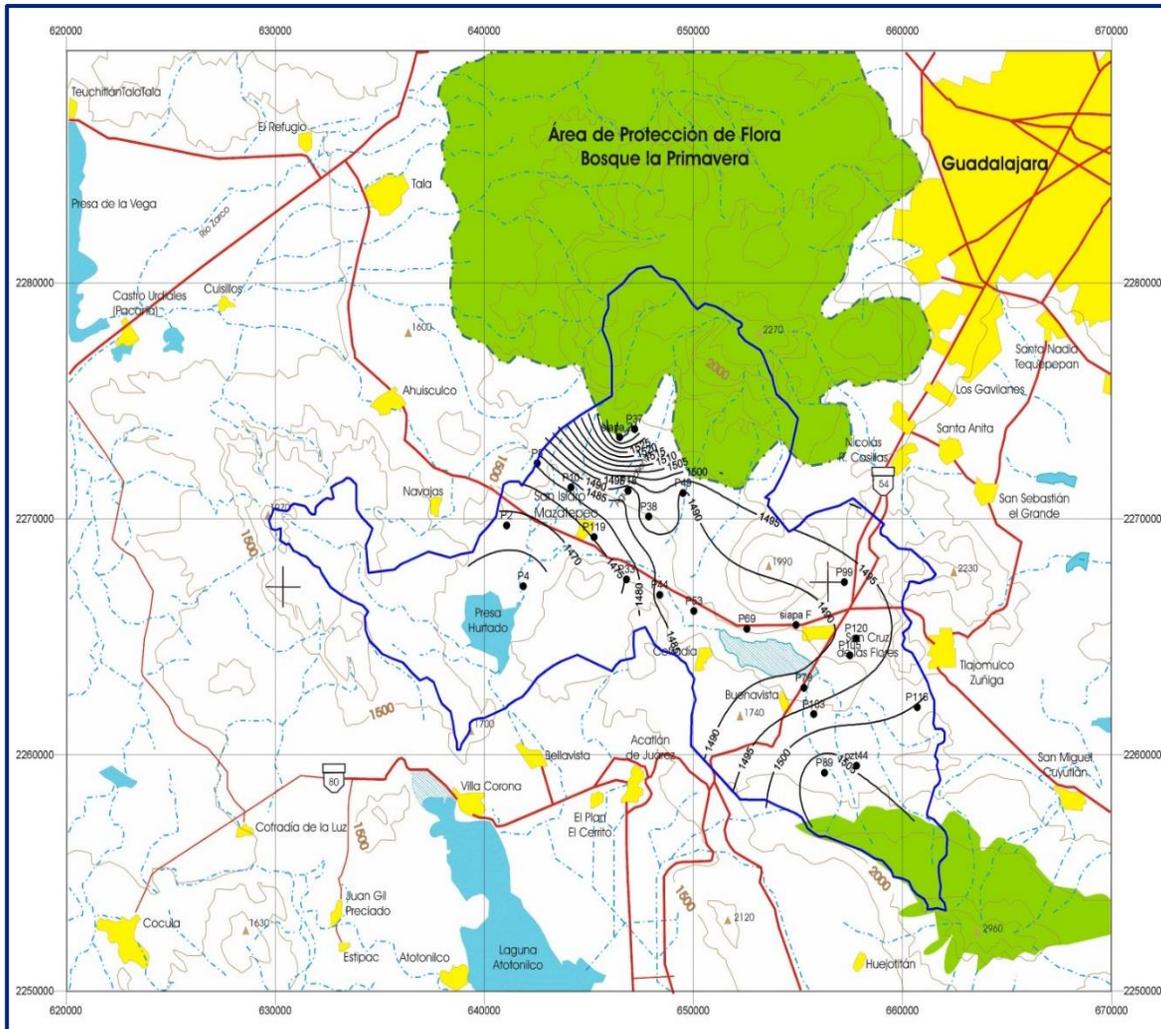


Figura 3.-Elevación del nivel estático en msnm (mayo 2003)

El gradiente hidráulico se calculó utilizando la metodología propuesta por Devlin (2003). Mediante una hoja de cálculo se estima el gradiente hidráulico utilizando hasta 20 pozos en conjunto.

La ubicación de los ejes para la ubicación de los aprovechamientos dentro de cada valle es arbitraria. Los pozos, coordenadas y elevación respectiva utilizados para el cálculo del gradiente hidráulico se observan en las tablas 3 y 4.

Coordenadas de pozos según plano de referencia arbitrario para el cálculo del gradiente hidráulico del valle ubicado entre cerro Totoltepec-el Ventarrón y cerro Patomo.

Pozo	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Elevación (msnm)
Ducor – Agro	1650	250	1488.18
SIAPAF	3600	1500	1488.08
Las Víboras	5200	-900	1489.50
Ejido Tlajomulco 1	6100	-1400	1496.50
Pozo 120	6250	2400	1491.80
Las Yeguas	6500	1500	1491.80
Granja AVI – G	7750	-3400	1513.70
El Tecolote	8900	-2350	1506.27
Agua Claire	10300	1300	1512.00

Tabla 3. Coordenadas de pozos para el cálculo del gradiente hidráulico. Valle 1.

Gradiente = 0.000348; Angulo del eje X = -31.85°

Valle 2 (Cerro Totoltepec – Cofradía – Cerro Mazatepec).

En la configuración de la elevación del nivel estático correspondiente a julio del 2002, se muestra que las elevaciones del nivel estático fluctúan entre 1490 y 1460 msnm. De la misma manera que en el Valle 1, se calcula el gradiente hidráulico utilizando la metodología de Devlin (2003). En la Tabla 4, se presentan los aprovechamientos utilizados en este valle, así como sus respectivas coordenadas y elevación para un eje de referencia arbitrario, cuyo eje X se sobrepuso aproximadamente al centro del acuífero: coordenadas de pozos según plano de referencia arbitrario para el cálculo del gradiente hidráulico del valle ubicado entre cerro Totoltepec-Cofradía y cerro Mazatepec.

Pozo	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Elevación (msnm)
Las Trojes	100	150	1479.2
Lagunillas	750	-4000	1463.8
La Villita	1400	0	1483.1
El Gato	2700	-4600	1462.12
Desert Glory	2250	1250	1484.4
Siapa 24	2100	2800	1541.9
La Camichinera	5650	1250	1494.55
Nuevo pachón 3	6100	2900	1488.2
Chavarin	6200	1300	1475.8
Soledad cruz vieja	6950	800	1487.4
El Agostaderito 2	9700	350	1488.95

Tabla 4. Coordenadas de pozos para el cálculo del gradiente hidráulico. Valle 2.

Gradiente = 0.010079262; Angulo del eje X = -56.70°

El gradiente hidráulico calculado para la configuración del nivel estático correspondiente al mes de mayo del 2003 es similar al calculado para el mes de julio del 2002.

5.5 Hidrogeoquímica

Con el fin de establecer la hidrogeoquímica del acuífero San Isidro se realizó, durante los días del 26 de febrero al 6 de marzo de 2002, la toma de muestras de agua subterránea en 20 pozos profundos y 10 norias para su análisis químico de calcio, magnesio, sodio, potasio; carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos; sílice, nitratos, arsénico, boro, cadmio, flúor, aluminio, manganeso, sólidos totales disueltos, alcalinidad total y dureza total.

De igual manera se midieron in situ los valores de pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y potencial REDOX.

De acuerdo al censo de aprovechamientos la red de muestreo de pozos y norias fue conformada de acuerdo con las características de construcción, profundidad al nivel estático, situación geográfica y disponibilidad de muestreo. Se encontró que los valores de STD para pozos profundos varían en el rango de 58 hasta 292 mg/l, con una media de 145.95 mg/l, lo cual corresponde a la clasificación de agua dulce.

En el caso de norias dichos valores presentan un mayor rango de variación desde 77 hasta 664 mg/l, con una media de 268.3 mg/l, el cual también corresponde a la clasificación de agua dulce.

Los diagramas Piper para la clasificación de las aguas subterráneas muestran que en los pozos profundos la familia de agua predominante corresponde a la de bicarbonatadas sódicas. Sin embargo, en el caso de las norias se encuentra una gama de familias como las bicarbonatadas cálcicas, cloruradas sódicas, sulfatadas sódicas, sulfatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas.

La composición isotópica estable de pozos y norias muestreadas (deuterio y oxígeno₁₈), indica que el agua de lluvia, principal componente de la recarga efectiva de los acuíferos del valle, presenta variaciones características resultantes de la topografía del terreno. Los pozos profundos son recargados por un tipo de agua que está isotópicamente más empobrecido que el agua que captan las norias.

Los valores de la $\delta^{18}\text{O}$ de los pozos están comprendidos entre -10.03 y -8.85 ‰ y los valores de la $\delta^2\text{H}$ entre -72.52 y -67.13 ‰. Las norias presentan variaciones en la $\delta^{18}\text{O}$ comprendidas entre -8.76 y -8.00 ‰ y en la $\delta^2\text{H}$ entre -65.10 y -59.74 ‰. Estos resultados indican que los pozos captan agua de un sistema de flujo diferente del que captan las norias; es decir, la recarga efectiva del acuífero profundo donde están emplazados los pozos, proviene de las partes montañosas altas de la cuenca y presenta una composición isotópica promedio de $\delta^{18}\text{O} = -9.32\text{‰}$.

En la composición isotópica de estos aprovechamientos no se observa la influencia de fluidos geotermales provenientes del subsuelo y/o del Domo de La Primavera.

Los resultados de isótopos estables y de tritio ambiental indican que el tiempo de residencia del agua que captan los pozos profundos es mayor de 40 años (agua libre de tritio), mientras que el agua que alimenta las norias es de precipitación muy reciente, infiltrada en los últimos 40 años. Los resultados de carbono-14 indican valores que van desde casi el 100 % de carbono moderno hasta valores inferiores al 45%, correspondiendo en edades de 65 a 7010 años. Se infiere un sistema de flujo regional de altas temperaturas asociados a cámaras magmáticas que subyacen a grandes profundidades en el Domo La Primavera.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS

El estudio Plan maestro de los aprovechamientos de los acuíferos de la zona conurbada de la Ciudad de Guadalajara, Jal., reporta que las extracciones correspondientes al uso de agua potable ascienden a 1.939 hm³/año, el de las Norias con otros usos a 1.456 hm³/año, y el de los pozos con otros usos a 23.496 hm³/año. De tal manera que el volumen anual total de extracción por bombeo es igual a 26.892 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

Se identificaron 194 aprovechamientos de los cuales el 32 % (62) corresponde a norias y el 65.4 % (127) a pozos, el 2.6 % restante corresponde a cinco manantiales.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Tomando en consideración lo anterior, tenemos que la ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

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

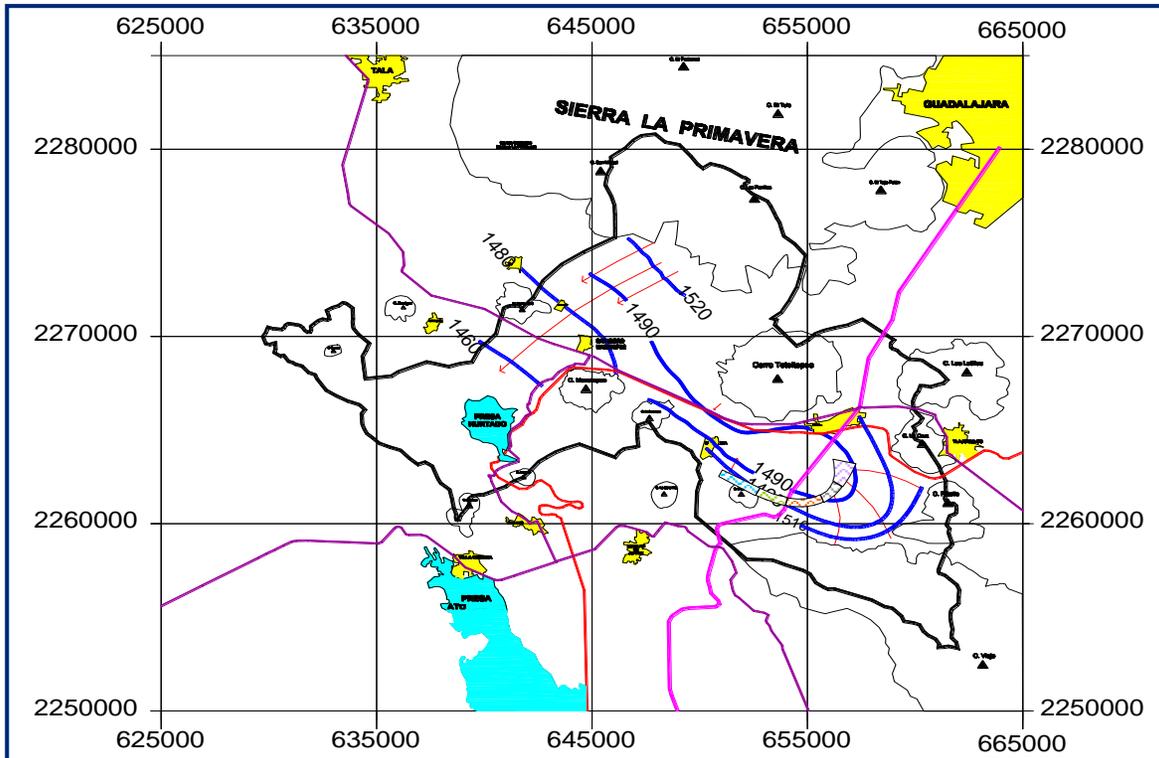


Figura 5. Flujo horizontal subterráneo de recarga radial (zona achurada).

Se utilizó la siguiente ecuación para realizar el cálculo del flujo:

$$Q = T b i$$

Dónde:

T = coeficiente de transmisividad en la zona de recarga proveniente de la Primavera.

b = ancho de la franja de transmisividad en la zona de recarga proveniente de la Primavera.

i = gradiente hidráulico de la zona de recarga proveniente de la Primavera.

Q = Flujo subterráneo horizontal proveniente de la zona de recarga proveniente de la Primavera.

El cálculo de la transmisividad horizontal (conductividad hidráulica por el espesor saturado) en la zona de análisis se realizó con base en pruebas de bombeo, complementada de acuerdo con la litología de dicha región.

Según el plano geológico y la geometría del acuífero, se propuso un ancho de la franja de flujo de la zona de recarga la Primavera de 7.9 km. La zona de flujo radial se dividió en cinco canales, cada uno con las siguientes longitudes: 2,051 m, 1,540 m, 1,538 m, 1,238 y 1,538 m.

Para determinar el efecto del gradiente hidráulico se propuso la diferencia entre dos líneas equipotenciales. Con base en la información anterior el flujo subterráneo en la zona de recarga de la Primavera resultó del orden de 15.8 hm³/año y en la zona de flujo radial de 1.9 hm³/año.

7.2 Recarga Vertical

Con base en los cálculos del sistema de balance hidráulico superficial, se determinó que el volumen promedio anual de infiltración hacia el acuífero es de 45,281,773 m³.

Cálculos de la infiltración al acuífero

Área de la cuenca hidrológica = 357.8 km²

Área de la zona de extracción = 82.9 km²

Precipitación media anual = 855.3 mm

Temperatura media anual = 15.7° C

Evapotranspiración real (fórmula de Turc)

$$EVtr = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$L = 300 + 25T + 0.05T^3$

Evtr = 631.9 mm

Volumen evapotranspirado = Vol. Evtr = Evtr x Área = 226.1 hm³/año

Volumen precipitado = VP = P x A = 306 hm³/año

Volumen escurrido = Coeficiente de escurrimiento. (Según Norma Mexicana NOM-011-CNA-2000)

$$Ce = k \cdot \frac{P - 250}{2000} + \frac{k - 0.15}{1.5}$$

Para un valor de 0.22 según tipo de suelo A con una cobertura vegetal menor al 25%.

Ce = 0.1132

VEsc. = VP x Ce = 34.7 hm³

Volumen infiltrado = [VI] = VP - VEVtr - Vesc = 45.3 hm³

VI = 45.3 hm³/año.

Retornos de riego

De los datos estadísticos del estado se conoce que el 23.63 % de la superficie es agrícola. Extrapolando esta información a la superficie del acuífero se tiene un área de uso agrícola de 19,599,431 m². Adoptando una capacidad de campo de 42 cm (CNA, 1991) y si se requiere cumplir con una lámina de riego igual a la capacidad de campo de 42 cm, entonces se necesita un volumen de riego de aproximadamente 8.2 hHm³. Por otro lado, considerando que el coeficiente de infiltración es de alrededor de 14.8 %, se estima que el retorno de riego es de 1.2 hm³/año.

7.3 Salidas

De acuerdo con la información disponible que incluye la configuración piezométrica y el modelo conceptual de funcionamiento, figura No 6, se determinó que la descarga horizontal subterránea se presenta al suroeste del poblado de San Isidro, con una dirección noreste-suroeste y es del orden de **17.6 hm³/año**.

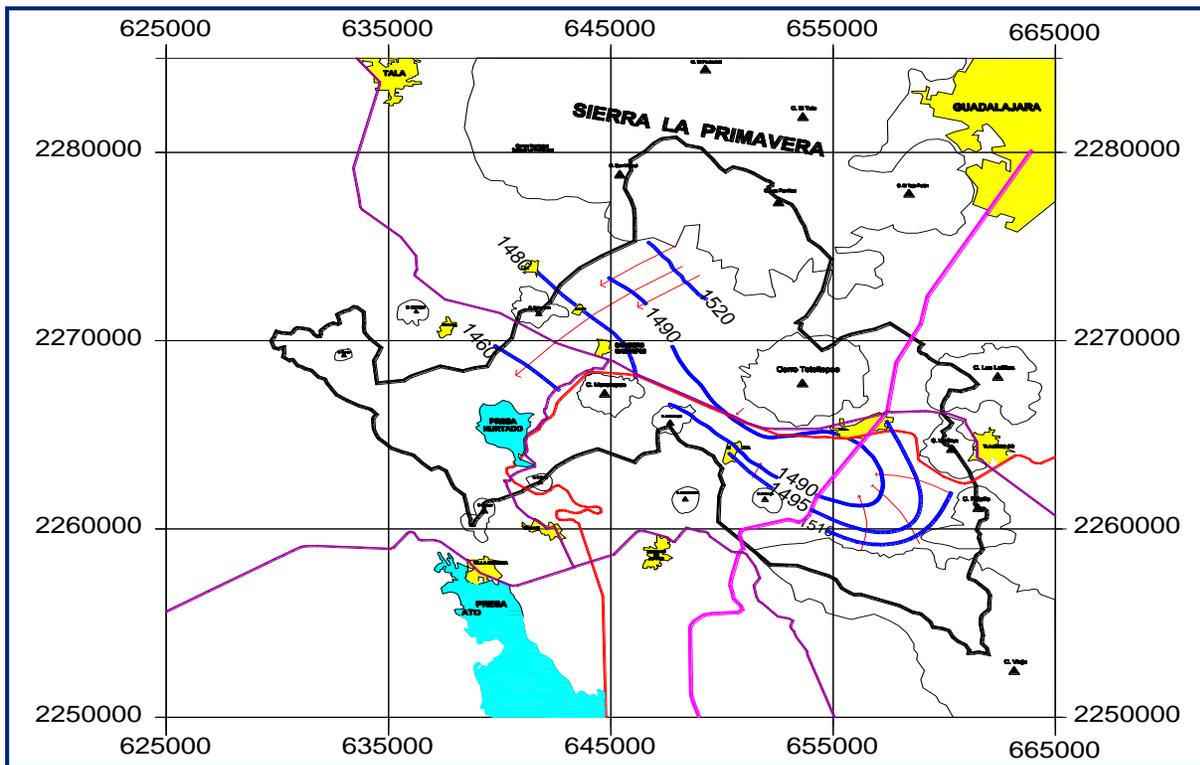


Figura 6.-Descarga horizontal subterránea (zona achurada).

Descarga por manantiales.

El flujo que aflora dentro de la cuenca proveniente de los manantiales asciende a 3.0 Hm³. Los manantiales las Termas, Acatlán de Juárez, y Villa Corona que descargan en la cuenca de la laguna de Zacoalco, provienen del acuífero de San Isidro (CNA, 1991). El flujo total de estos manantiales asciende a 5.2 hm³/año.

Bombeo

Una de las salidas del acuífero es por medio del volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos, resultó de 26.9 Hm³/año.

Evapotranspiración

Evapotranspiración real (fórmula de Turc)

$$EV_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde $L = 300 + 25T + 0.05T^3$

$L = 300 + 25(15.7) + 0.05 (15.7^3) = 886$

$P^2 = 731572.3$

$L^2 = 784986.5$

$Ev_{tr} = 631.9 \text{ mm}$

Volumen evapotranspirado = (Vol. Ev_{tr}) = $Ev_{tr} \times \text{Área} = 226\ 083\ 700.3 \text{ m}^3$

Si consideramos que la profundidad media al nivel estático en el área de niveles someros es igual a 0.05 metros

Volumen evapotranspirado * 0.05 = $226.1 \text{ hm}^3 (0.05 \text{ m}) = 11304185.02 \text{ m}^3$

Evapotranspiración = **11.3 hm³/año**

7.4 Cambio de almacenamiento

No se presentan abatimientos considerables dentro del acuífero, por lo que podemos considerar que no existe cambio de almacenamiento. $\Delta v(s) = 0$.

Resultados Obtenidos Del Balance De Aguas Subterráneas

Al considerar las componentes de recarga y descarga en el acuífero, se determinó lo siguiente:

Entradas

Vertical	45.3
Retorno de Riego	1.2
Flujo Horizontal Primavera	15.8
Flujo Horizontal Radial	1.9

Total	64.2 hm³/año

Salidas

Bombeo	26.9
Manantiales	8.4
Flujo Horizontal	17.6
Evapotranspiración	11.3

Total	64.2 hm³/año

En la tabla No. 5, se presenta un resumen con los valores del balance de aguas subterráneas.

Tabla 5. Balance de aguas subterráneas

Área total del acuífero			km2	357.767
RECARGA TOTAL				
		Área del valle	km2	
		Coeficiente		
		Precipitación	mm/año	855.32
Recarga natural por lluvia			hm3/año	45.3
Entradas horizontales			hm3/año	17.7
Total de recarga natural			hm3/año	63.0
	Público Urbano		hm3/año	
Recarga inducida P.U.			hm3/año	
	Agrícola más otros		hm3/año	
Recarga inducida Agrícola + otros			hm3/año	1.2
RECARGA TOTAL			hm3/año	64.2
DESCARGA TOTAL				
Salidas horizontales			hm3/año	17.6
Caudal base			hm3/año	
Evapotranspiración			hm3/año	11.3
	Extracción total		hm3/año	26.9
	Manantiales comprometidos		hm3/año	8.4
	Agrícola		hm3/año	

	Público			hm ³ /año	
	Urbano			hm ³ /año	
	Industrial			hm ³ /año	
	Otros			hm ³ /año	
DESCARGA TOTAL				hm ³ /año	64.2
Cambio de almacenamiento				hm ³ /año	0.00
Coeficiente de almacenamiento					
Volumen drenado					
AGUA SUPERFICIAL					
Agrícola					
Público Urbano					
Industrial					

8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

- DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
- R** = Recarga total media anual
- DNC** = Descarga natural comprometida
- VEAS** = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso, su valor es de **64.2 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural

8.2 Descarga Natural Comprometida (DNC)

En el plan maestro de los aprovechamientos de los acuíferos de la zona conurbada de la ciudad de Guadalajara, Jal., la descarga natural comprometida se reporta de **19.6 hm³ anuales**. De los cuales corresponden a las salidas por manantiales y las salidas horizontales.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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 (REPDA), 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 hídrica, 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 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.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **47,550,790 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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 referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 64.2 - 19.6 - 47.550790 \\ \text{DMA} &= -2.950790 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **2,950,790 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Ariel Construcciones S. A. (1973). Geohidrología de los Valles de Atemajac, Tesistán, Ameca, Ahualulco y San Marcos, Jalisco.

Ariel Consultores, S.A. (1989-1990). Estudio Geohidrológico en la Zona de Tesistán-Atemajac, Estado de Jalisco Contrato SGA-89-47.

Geocalli, S.A. (1981). Actualización del estudio geohidrológico Tesistán-Atemajac-Ocotlán, Jalisco. Contrato GZA-81-70GD.

Geoex, S.A. de C.V. (1996) Actualización del estudio geohidrológico Zona Conurbada de Guadalajara Cuencas: Toluquilla, Atemajac, Cajititlán. Estudio para el SIAPA, elaborado por Geoex, S.A. de C.V. 1996.