



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE SAN JUAN DEL RÍO (2203),
ESTADO DE QUERÉTARO**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes	2
1.1 Localización	2
1.2 Situación administrativa del acuífero	4
2. FISIOGRAFÍA.....	5
2.1 Provincia Fisiográfica.....	5
2.2 Clima	5
2.3 Hidrografía.....	6
2.4 Geomorfología	6
3. GEOLOGIA	8
3.1 Estratigrafía.....	8
4. HIDROGEOLÓGICA.....	12
4.1 Piezometría.....	12
4.2 Comportamiento hidráulico	12
4.2.1 Profundidad al nivel estático	12
4.2.2 Elevación del nivel estático	13
4.2.3 Evolución del nivel estático.....	13
4.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	13
5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS	16
6. BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA	17
7. DISPONIBILIDAD	21
7.1 Recarga total media anual (R)	21
7.2 Descarga natural comprometida (DNC)	21
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	22
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	22
8. BIBLIOGRAFIA.....	23

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-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y 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 de extracción de aguas subterráneas.

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 San Juan del Río, definido con la clave 2203 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, tiene una extensión de 2264.48 km², se ubica en el centro de la República Mexicana, en la porción suroriental del estado de Querétaro. Abarca parte de los municipios de San Juan del Río, Tequisquiapan, Colon, Pedro Escobedo, Huimilpan, Amealco y El Marqués (figura 1).

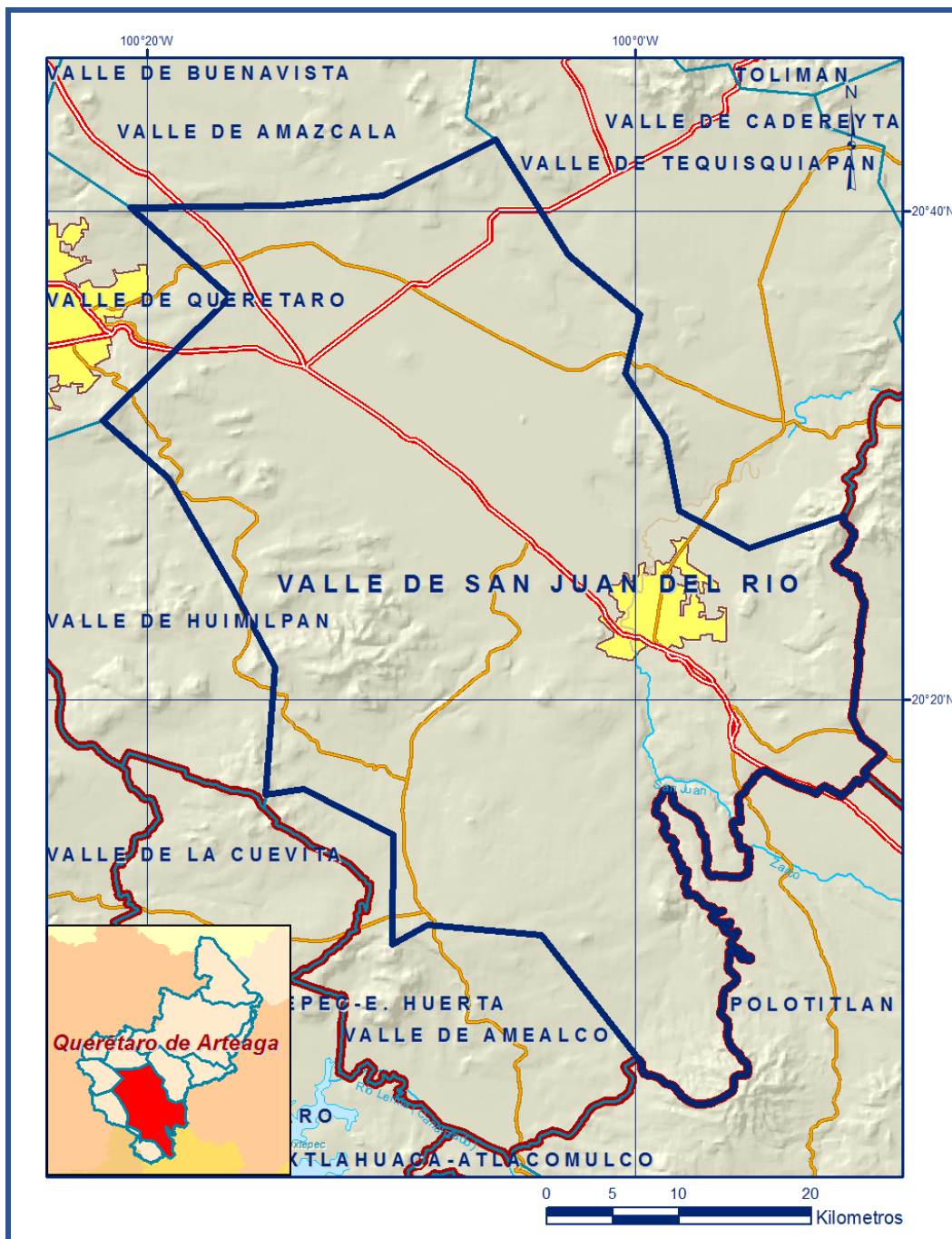


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2203 VALLE DE SAN JUAN DEL RIO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	16	35.0	20	36	30.0	
2	100	20	38.0	20	40	8.0	
3	100	14	28.7	20	40	14.2	
4	100	10	19.0	20	40	40.0	
5	100	5	42.9	20	42	55.5	
6	100	2	43.7	20	38	11.6	
7	99	59	49.6	20	35	46.6	
8	100	0	24.1	20	33	22.7	
9	99	58	46.3	20	30	44.5	
10	99	58	12.3	20	27	44.8	
11	99	55	22.0	20	26	11.2	
12	99	51	28.7	20	27	32.6	DEL 12 AL 13 POR EL LIMITE ESTATAL
13	99	50	31.2	20	16	53.4	DEL 13 AL 14 POR EL LIMITE ESTATAL
14	99	59	50.3	20	5	14.1	
15	100	3	50.2	20	10	20.2	
16	100	8	30.8	20	10	47.0	
17	100	9	56.6	20	9	57.4	
18	100	9	53.9	20	14	27.7	
19	100	13	34.8	20	16	20.8	
20	100	15	8.0	20	16	7.2	
21	100	14	45.1	20	21	20.7	
22	100	16	28.2	20	24	31.5	
23	100	19	6.4	20	29	3.9	
24	100	21	45.0	20	31	27.0	
1	100	16	35.0	20	36	30.0	

La zona geohidrológica del acuífero de San Juan del Río ocupa los municipios de San Juan del Río, Pedro Escobedo, Tequisquiapan, Colon, El Marques y una pequeña porción de Huimilpan y Amealco.

Dentro de las Principales poblaciones se encuentra la ciudad de San Juan del Río, Pedro Escobedo, El Colorado, El Sauz, Galindo, San Fandila y la Piedad.

El crecimiento acelerado de la población, el desarrollo industrial, el aumento de servicios y la agricultura ubicadas en el valle, han provocado una competencia en el uso del recurso agua subterránea, lo que ha ocasionado sobreexplotación en dicho acuífero.

1.2 Situación administrativa del acuífero

Actualmente se tienen vedas para el aprovechamiento de Agua del Subsuelo desde el año de 1949 mediante Decreto oficial publicado en el Diario Oficial de la Federación. Mediante decreto presidencial de fecha 13 de noviembre de 1957, 17 de

marzo de 1964, 24 de septiembre de 1964 y 30 de diciembre de 1957 que señalan que por causa de interés público y para protección de los mantos acuíferos se establece veda por tiempo indefinido, dentro de los municipios de San Juan del Río, Tequisquiapan, Pedro Escobedo, El Marqués, Colón y parcialmente el municipio de Huimilpan, quedando el municipio de Amealco en zona de libre alumbramiento.

Dentro de los decretos de reserva o reglamento no existe antecedente de alguna publicación en el Diario Oficial de la Federación, existiendo únicamente a nivel de propuesta y mediante el Consejo de Cuenca del Río San Juan.

Respecto a las Zonas de Disponibilidad de acuerdo a la ley Federal de Derechos, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia Fisiográfica

La Zona Geohidrológica San Juan del Río se emplaza dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico según clasificación de E. Raíz 1964 en su porción septentrional, se caracteriza por eventos volcánicos de muy diferentes edades y composición petrológica diversa que a grosso modo proporciona desde una morfología de elevaciones topográficas abruptas y con un relieve conspicuo hasta lomeríos de formas más bien redondeadas de poca inclinación en sus laderas.

Así mismo, exhibe zonas de valles intermontanos de gran extensión hacia las partes bajas rellenas por paquetes de rocas y sedimentos volcanoclásticos y lacustres.

2.2 Clima

El clima de acuerdo con los criterios de Koppen modificados por Enriqueta García, se clasifica en general como semi-seco semicálido en la porción central, hacia su parte sur se tiene un clima templado subhúmedo, el régimen de lluvia es de verano y con un bajo porcentaje de lluvia invernal; la precipitación media anual en el valle es del orden de 450 a 680 mm siendo hacia el sur donde se presentan las mayores precipitaciones.

La temperatura media anual oscila entre los 12° y 19° C; la evaporación potencial media en el valle es del orden de 2.05 cm valores que sobrepasan por mucho a la precipitación pluvial, razón por lo que se considera el clima como semi-seco.

2.3 Hidrografía

El Valle de San Juan del Río está dividido por el parteaguas continental en su porción occidental, lo cruza con una dirección N-S estando en la región Hidrológica No. 26 Cuenca del Pánuco la mayor superficie.

La zona geohidrológica de San Juan del Río se ubica dentro de la cuenca del Río San Juan, el principal colector es el Río San Juan, que recibe este nombre después de la unión del Río Arroyo Zarco con el Río Prieto, sus principales afluentes se encuentran por la margen izquierda, los ríos Galindo, Amealco y la H los cuales confluyen al colector principal mediante el dren El Caracol.

De acuerdo al análisis anual en la cuenca hasta la estación Paso de Tablas se encuentra en déficit para satisfacer las demandas, sin embargo a nivel mensual se observa que no ocurre así durante todo el año, ya que en los meses de junio a septiembre se satisfacen las demandas, se tienen excedentes que están comprometidos para satisfacer los compromisos aguas abajo.

2.4 Geomorfología

Para describir las expresiones morfológicas que se presentan las estructuras geológicas, se optó por agrupar las diferentes unidades en serranías y valles.

Sierra de En medio. Esta sierra se localiza en la parte central de la zona, presenta una alineación NW-SE con una longitud promedio de 40 km. Está constituida por rocas volcánicas ácidas y básicas principalmente por ignimbritas, tobas y basaltos. En conjunto forman lomeríos con pendientes moderadas a abruptas, con una altitud promedio de 2100 msnm, así como lomeríos de mediana altura que varía entre 100 y 200m, con escarpes de aproximadamente 30 m, topografía característica de las rocas volcánicas ácidas.

Las rocas básicas forman mesetas de poca extensión y pendientes suaves, localizándose en los terrenos occidental y oriental de la sierra. De igual forma se

observa a estas mesetas intercaladas con material consolidado a semiconsolidados que se extiende con pendiente muy suaves hacia los valles aledaños.

Sierra de Tequisquiapan. La Sierra se localiza al oriente de la zona de estudio con, una extensión de aproximadamente 25 km y una orientación NE-SW. Se caracteriza por presentar dos áreas que varían en composición y altitud. El área norte presenta una topografía de lomeríos de poca altura con pendientes suaves y amplios valles colmados por depósitos de composición ácida a básica (ignimbritas, brechas, tobas y basaltos). Como caso particular se menciona la sierra de laderas tendidas con pendientes moderadas en el poblado de la Higuera y sus alrededores, con altitud promedio de 2000 msnm.

Hacia el sur de esta sierra, la composición varía a rocas volcánicas intermedias (andesitas), presentando una sierra de laderas tendidas con pendientes muy abruptas y una gran disección, su altitud promedio es de 2100 msnm.

Sierra de San Juan del Río. Se localiza hacia el sur del área, con una extensión de 30 km en dirección E-W se caracteriza por presentar numerosos estratovolcanes, con elevaciones promedio de 2100 msnm, compuestos principalmente por rocas volcánicas básicas a ácidas. Hacia la parte oeste de esta sierra se observa amplias mesetas con gran escurrimiento, debido a que están conformadas por materiales volcánicos impermeables. Como caso particular se menciona el Arroyo de Zúñiga donde es posible observar una gran disección manifestada en el paisaje por cañadas profundas de paredes verticales de unos 120 m.

Sierra de Huimilpan. Se localiza al poniente en los límites de la zona de estudio, extendiéndose aproximadamente 25 km con una dirección NW-SE. El paisaje está compuesto por una topografía de laderas tendidas con pendientes moderadas abruptas, compuestas principalmente por rocas volcánicas, andesitas, basaltos y tobas. Su elevación promedio es de 2600 msnm.

Además de establecer el sistema de sierra de la zona, se define también el valle principal denominado San Juan del Río que a continuación se describe: Este valle forma un gran llano de pendientes suaves, en el cual sobresalen algunos lomeríos de colinas redondeadas e inclinaciones moderadas, los cuales están alineados en la misma dirección del valle.

La composición de estos es volcánica ácida (ignimbrita, tobas y brechas volcánicas) El material de relleno del valle lo componen principalmente materiales piroclásticos y una capa de material aluvial cuyo espesor varía desde 0.05 hasta 0.60 m, estando ausente en extensiones significativas.

3. GEOLOGIA

3.1 Estratigrafía

El marco geológico de zona geohidrológica de San Juan del Río está conformada por rocas de composición y edad muy variada que fueran producto de una serie de eventos geológicos efectuados a partir del Paleoceno, a continuación, se describen las unidades geológicas.

Andesita La Virgen

Esta unidad se compone de rocas andesíticas y andesitas basálticas de coloración gris clarooscuro al fresco que intemperiza a un gris pardusco claro; Presenta variaciones en su textura desde afanítica a fanerítica. En general se compone de fenocristales de piroxenos, plagioclasas, así como de xenolitos de composición tobácea y vidrio ocasionalmente.

Basalto San Juan

Esta unidad está caracterizada por rocas de composición basáltica de textura afanítica, presentando una coloración gris oscuro que intemperiza a gris claro pardusco, se encuentra afectada por fracturamiento columnar no observándose relleno secundario en las mismas, así mismo, un microfracturamiento relleno por carbonato de calcio. La mineralogía está constituida por cristales de plagioclasa, piroxenos, ferromagnesianos alterados, biotita y olivino.

La Unidad aflora dentro de lo que se denomina Sierra de San Juan, localizada en la porción meridional de la zona de estudio, en algunas localidades cercanas a los poblados El Jazmín, Ojo de Agua, El Sabino, Buenavista, El Chaparro, Santa Lucía, Santa Bárbara la Cueva, Palma de Romero, Paso de Mata, San Miguel Arcángel, El Sitio, Puerta de Alegrías y en los cerros El Bosque, El Jimbo, La Caja, El Barral, Del Aire y Cerro Gordo. Las serranías que conforman esta unidad presentan una alineación preferencial Este-Oeste lo que hace inferir la influencia de un arreglo estructural de fallas o fracturas regionales que favorecieron el emplazamiento de este material. En

estos afloramientos se observa un intenso fracturamiento de la roca sin dirección preferencial, con relleno secundario de material arcilloso y carbonato de calcio.

Ignimbrita Sierra de En medio

La unidad está compuesta por rocas de composición ácida (Ignimbritas) la mineralogía está compuesta por cuarzo, vidrio ácido, sanidino y plagioclasas; como minerales accesorios ferromagnesianos alterados, minerales arcillosos y óxidos de hierro; presenta estructura fluidal en algunos casos con ligero ondulamiento. La coloración es de gris claro y rosado al fresco y pardo amarillento al intemperismo, su textura es afanítica, con alineamiento de minerales principalmente de feldespatos potásicos, algunas vesículas rellenas por cuarzo botroidal, y contiene en ocasiones esferulitas de sílice.

Esta secuencia de ignimbritas se encuentran aflorando en lo que se denominó Sierra de Enmedio, y presenta una orientación preferencial noreste-sureste; Localizándose durante el presente estudio varios puntos de muestreo y verificación en los cerros La Engorda, El Pelón, La Caja, El Zapote, La Carbonera, Garambullo y cerca de los poblados la Pila, Puerta de Enmedio, Nogales, Colón La Noria, Peñuela, La Zorra, Peña Colorada, Nueva Esperanza, El Gallo, La Palma, El Blanco, Ajuchitlán, San José de la Laja, La Laja, La Fuente, Fuentesuelas, El Carrizal, La Llave y San Nicolás.

Basaltos Lajeados

La composición mineralógica que caracteriza a esta unidad es de plagioclasas, olivinos, anfíboles, ferromagnesianos que la clasifican como basáltica. El color de la roca es gris oscuro al fresco y pardo claro al intemperismo, su textura es afanítica y microcristalina en una matriz compacta, presenta lajeamiento y bajo grado de alteración.

Toba Amealco

Con este nombre se define a una secuencia de tobas inter-estratificadas con ignimbritas ubicadas al sur de la zona de estudio, obteniéndose muestras de esta unidad en el poblado de Galindillo, Quiotillos, La Estancia de Santa Lucía y en el poblado de Peral.

La secuencia representativa, medida de esta unidad se localiza en el Arroyo Zúñiga cercano al poblado Puerta de Alegrías, donde se observan los diferentes paquetes de tobas e ignimbritas que la componen.

Toba Huichapan

Se caracteriza por una secuencia de tobas limo-arcillosas de composición andesítica y basáltica, de coloración crema a pardo claro y crema amarillento al intemperismo, con algunos bloques de basaltos. El espesor de los estratos varía de medianos a gruesos entre 0.2 a 2 m.

Sistema Cuaternario

Tobas y Andesitas

Estas unidades están distribuidas en los amplios valles conocidos como San Juan del Río y Ezequiel Montes-Tequisquiapan, las cuales forman amplias mesetas de gran extensión y poca pendiente. Se encuentran intercaladas a lo largo de los valles ya mencionados.

Basaltos

Esta unidad se encuentra integrada por basaltos y brechas volcánicas de composición básica. En lo referente a los basaltos, se observan coloraciones que varían de gris oscuro a negro, presentan textura afanítica muy vesicular, cuya mineralogía se compone de plagioclasas, piroxenos, ferromagnesianos y biotita, en ocasiones presenta un fuerte lajeamiento.

Los afloramientos localizados de esta unidad son reducidos, ya que se restringen a pequeños aparatos volcánicos distribuidos en la zona central del área de estudio comprendida entre los poblados La Llave y Ajuchitlán. (sur y norte respectivamente)

Con respecto a los basaltos se encuentran aflorando en los poblados de San Antonio, al noreste de la Valla, en la mina la Trinidad (al poniente del poblado la Trinidad), La Laja, (al poniente), al norte San Nicolás y al sur de Fuentesuelas.

Brechas volcánicas

Las brechas basálticas varían de rojizo a gris oscuro, su textura es afanítica, de estructura brechoide, con algunos bloques de basalto, bombas volcánicas y fragmentos de pómez en una matriz fina, se observa con un alto grado de alteración de los minerales ferrosos. Los aparatos volcánicos que forman esta unidad son lomas redondeadas de poca altitud y pendiente.

Esta unidad se encuentra ubicada en la porción sur de San José de la Laja, y los poblados de La Galera, Panales, al norte de Tierra Dura, al sureste de El Blanco, al oeste de la Cenizas, en el banco de material de Las Cenizas en el km 3 de la carretera de Ezequiel Montes al entronque a Bernal en Villa Progreso.

Depósitos Aluviales

Se encuentran distribuidos principalmente en los cauces de arroyos, ríos y lagos (naturales y artificiales). Así mismo, se localizan cubriendo de manera discordante a las tobas que rellenan los extensos valles de San Juan del Río, cuya extensión se prolonga en dirección noroeste-sureste con una amplitud promedio de 12 km y al de Ezequiel Montes-Tequisquiapan en menor proporción. El espesor de los mismos es variable, encontrando en algunas zonas entre 20-30 cm y en otras de 1-5 m. en algunos cortes litológicos de pozos perforados en los mencionados valles se encontraron espesores desde 5 hasta 18 m (pozo Pedregoso). Se componen de materiales de diversos tamaños que van de arcillas hasta bloques redondeados de diferente composición de rocas preexistentes. Algunos paquetes de estos depósitos presentan gradación de los clastos que la componen.

Sierra de Huimilpan

Se localizaron afloramientos cercanos a los poblados de San Antonio, La D, Salto de Vaquerías, Laguna de Vaquerías y forman las elevaciones Cerro Blanco, La Cebolla, Loma Chata y Cerro La Virgen. En estas localidades se observan rocas andesíticas con matriz afanítica y fenocristales de plagioclasas y piroxenos, el color varía de gris oscuro a gris pardusco en ambos casos; Contiene algunos xenolitos de tamaño variable, semirredondeados, con aparente alteración metasomática y de naturaleza tobácea. Se encuentran asociados algunos cuerpos pórfido - dioríticos que producen alteraciones en la roca encajonante. En la localidad del Cerro la Cebolla la roca presenta la misma coloración, textura afanítica, con fenocristales de piroxenos y con un fuerte lajeamiento.

Sierra de Tequisquiapan

Se encontraron afloramientos en las inmediaciones de los poblados Santa Rosa Xajay y El Mercader; que forman los Cerros Xajay, Grande, Los Caballos, Boludo, Frío, El Pitol. En estas localidades se observan afloramientos de andesitas, de coloración variable gris oscuro a gris claro que intemperiza a pardo claro; La textura es de matriz afanítica con fenocristales de plagioclasas (andesina-oligoclasa), piroxenos, y óxidos de hierro, en ocasiones simplemente presenta una textura afanítica con

ausencia de fenocristales. Presenta xenolitos semirredondeados, bastante alterados, de composición tobácea similares a los observados en la localidad Laguna de Vaquerías (Sierra de Huimilpan). Se observa un fuerte lajeamiento de la roca.

4. HIDROGEOLOGÍA

Dentro de la zona Geohidrológica de San Juan del Río en su zona comprendida en el valle se han realizado actividades de exploración geofísica consistente en la ejecución de sondeos eléctricos verticales tipo Schlumberger, distribuidos a lo largo y ancho del valle, trabajos realizados por varias empresas en diferentes años cuyos resultados apoyados en cortes litológicos de pozos construidos en el valle sirvieron para definir el modelo conceptual del acuífero.

4.1 Piezometría

Con el propósito de conocer la posición y la evolución que presentan los niveles del Agua Subterránea a partir del año de 1994 a la fecha se han realizado dos recorridos de medición de niveles; la primera se efectúa en los meses de mayo-junio y la segunda en los meses de noviembre - diciembre.

Estos recorridos se están efectuando con apoyo del Gobierno del Estado a través del Organismo operador de Agua Potable (CEA), a continuación se dan los resultados actuales de dichos recorridos.

4.2 Comportamiento hidráulico

4.2.1 Profundidad al nivel estático

Con la información obtenida se observa que el comportamiento de la profundidad varía entre 30 y 150 m, los más someros se localizan en la zona de la presas Constitución de 1917, La Llave y el centro de la Ciudad de San Juan del Río con profundidades entre los 30 y 40 m. hacia la zona de Pedro Escobedo y San Clemente los niveles se localizan entre 50 y 65 m siendo hacia la zona de los poblados La Loma, El Colorado y Saldarriaga donde se localizan los niveles más profundos que alcanzan hasta los 100 a 120 m.

4.2.2 Elevación del nivel estático

Con el apoyo de los niveles estáticos y la elevación de brocal de los pozos, se calculó la elevación del agua subterránea con respecto al nivel del mar cuyo comportamiento no registra modificaciones, se continuó manifestando los canales de entrada subterránea en las zonas de las presas, San Nicolás y La Griega. La equipotencial de 1870 msnm, se manifiesta en el centro de la ciudad de San Juan del Río a partir del cual se marcan los dos gradientes hidráulicos subterráneos; uno en dirección sureste-noroeste siguiendo la orientación del valle y el segundo en dirección suroeste-noreste hacia el valle de Tequisquiapan.

La parte central del valle se presenta la elevación de 1,840 msnm; entre Pedro Escobedo y San Clemente, de 1,830 msnm en la Galera, la Palma, y Saldarriaga la elevación promedio se presenta en la elevación 1,829 msnm.

4.2.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático en el período de diciembre de 1997- diciembre 1998 varía en un rango de -0.7 a -3.0m, el promedio general se ubica en -2.0 m. las zonas que presentaron una evolución más baja corresponde a las localidades de San Juan del Río, Pedro Escobedo, La Lira y San Fandila con un abatimiento promedio de -1.0 m y los abatimientos más fuertes se ubican en zonas como La Valla, La Fuente, el Colorado y Saldarriaga.

Respecto a la realización de pruebas de bombeo, se realizaron algunos por parte de la Empresa Guysa en el año de 1992 e interpretan otras realizadas en años anteriores por parte de la SARH y otras empresas, que sirvieron como apoyo para conocer las características hidráulicas del acuífero.

4.3 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La interpretación hidrogeoquímica se basa en el análisis de las diversas representaciones gráficas de los análisis químicos: las curvas de isovalores de las distintas concentraciones o relaciones iónicas, así como los diferentes diagramas comparativos entre los más usuales son: Shoeller, Wilcox y Piper.

Estos diagramas se utilizan para la clasificación del agua conforme a su relación iónica, la cual permite la identificación de las posibles fuentes acuíferas, así como para delimitar zonas atendiendo a la calidad del agua.

La cantidad y tipo de compuestos en solución va a depender tanto de la composición química de las rocas como de algunas propiedades físicas del acuífero. La cantidad de elementos disueltos en el agua será tanto mayor cuanto más permanezca y avance su recorrido (circulación regional), ya que tendrá más tiempo de contacto con los minerales solubles de las rocas por las cuales circula.

En la actualidad la mayoría de los cuerpos de agua superficial se encuentran contaminados ya sea en mayor o menor medida, dependiendo de la cercanía con las fuentes emisoras de los contaminantes.

El río San Juan, localizado en la ciudad de San Juan y Tequisquiapan no queda exento de este fundamento ya que su lecho alberga descargas municipales e industriales principalmente.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el periodo Nov. – Dic. de 1995 con el fin de evaluar la posible contaminación del acuífero a través del monitoreo y detección de posibles focos de emisión de contaminantes, así como su movilidad en el acuífero de la ciudad de San Juan del Río. Y con el fin de conocer el grado de contaminación del agua subterránea en la ciudad de San Juan del Río se efectuó el análisis de grasas – aceites, plomo, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y coliformes totales.

Cabe reiterar que el agua muestreada del acuífero fue bombeada a diferentes profundidades según los niveles dinámicos de las captaciones, así como de diversas condiciones físicas.

El acuífero de la ciudad de San Juan del Río y del Valle de Tequisquiapan es anisotrópico ya que está formado por una serie de depósitos granulares y de derrames volcánicos lo cual modifica las condiciones del paso de agua a través de su estructura, ya sea en medios granulares o en medios fracturados.

El valor promedio en las concentraciones de grasas y aceites fue de 16 mg/l sin tomar en cuenta la máxima en el rancho San Isidro (pozo 75), con un valor de 118.7 mg/l y la mínima en el Rancho la Peña con 3.4 mg/l de concentración.

La distribución espacial se presenta hacia la porción norte de la ciudad, en curvas concéntricas: envolventes que aumentan en valor, sobre todo a un costado del lecho del río.

De acuerdo a la información existente de 1994, los pozos 70 (Rancho Sto. Domingo), 71 (rancho La Rueda), 75 (Rancho San Isidro), 1037 (Huerta: Lomo de Toro) y 5-A (JAPAM) evolucionaron con +20, -0.80, +104.2, -1.41 y -5.42 mg/l de grasas y aceites respectivamente.

Las concentraciones de plomo en la ciudad son menores a 3 mg/l y tienden a aumentar hacia el noroeste, paralelamente a la dirección del río San Juan. Al norte del poblado el mirador las líneas de igual concentración se agrupan, sobre todo en la propiedad del rancho La Espíndola (pozo 41), cuyo análisis químico resultó de 16.9 μ g/l para 1995.

En el acuífero de la ciudad de San Juan del Río ya existen indicaciones de contaminación por plomo, pero los resultados de los análisis indican la ocurrencia únicamente de trazas, es decir, los niveles del contaminante se conservan por debajo del límite próximo para aguas de uso potable de 50 μ g/l.

Considerando que el límite permisible es de 2 μ g/l de Demanda Química de Oxígeno (DQO) se obtuvieron valores de: En el pozo 43 (2.3 μ g/l), pozo 59 (2.3 μ g/t), pozo 73 (3.45 μ g/l) y pozo 911 (2.68 μ g/l). Se apreció la distribución de la demanda química de oxígeno en el acuífero, cuya máxima concentración es en el centro de la ciudad de San Juan, hacia la periferia los valores disminuyeron.

La localidad donde se presentan las máximas concentraciones de nitratos, fue al norte de la ciudad de San Juan y suroeste de San Pedro Ahuacatlán, cuyo valor promedio fue de 25 μ g/l y máximo de 85 μ g/l (pozo 70 Rancho Sto. Domingo).

Respecto a sulfatos no existe problema alguno relacionado con las concentraciones ya que se mantuvieron para 1995, muy por debajo de las normas establecidas de 500 μ g/l.

De nitrógeno total solo se presentaron concentraciones en los pozos 44 (1.9 μ g/l) y en el pozo 101 (1.5 μ g/l), en el resto de las muestras no se encontraron valores.

Coliformes totales se detectaron en los pozos 44 (36 NMP/100 m, pozo 619 (73 NMP/m), la norma para agua potable el 2 nmp / 100 m.

En el centro de la ciudad de San Juan del Río la concentración de sólidos totales disueltos varió de 300 a 350 μ g/l al igual que la porción occidental de San Pedro Ahuacatlán. Para el resto del valle la concentración fue menor.

La conductividad eléctrica para fines de 1995 presentó una variación de 2000 a 700 μ mhos/cm con un valor promedio d 350 μ mhos/cm para todo el valle.

Con el fin de determinar la presencia de detergentes y/o amonio en el acuífero de la ciudad de San Juan del Río, como producto de la posible infiltración de agua del río, se analizaron al azar 5 pozos cercanos al río, en los resultados no se encontró trazos de detergentes, considerándose para su evaluación la norma de 0.02 μ g/l.

Respecto al amonio los resultados fueron negativos, en 1995, las concentraciones fueron extremadamente mínimas.

Con el monograma de Wilcox, se graficaron las aguas de acuerdo a su salinidad y el contenido de sodio observándose diversas clases como: C2 – S1, C1- S1 y C3 – S1, las cuales corresponden a agua de buena calidad.

De acuerdo a diagramas triangulares de Piper, se observan 2 campos: respecto a los aniones las muestras se clasifican como aguas carbonatadas, en cuanto a cationes pertenecen a la familia de aguas sódicas y otro campo de las familias: aguas mixtas y cálcicas.

5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

La actualización del censo de aprovechamientos se realizó a partir del año de 1991 a la fecha a través de Gobierno del Estado y la Comisión Nacional del Agua, en esta actualización se tiene registrados todos los aprovechamientos activos, su clasificación de acuerdo al uso, se cuenta con una red de pozos pilotos, se lleva la

hidrometría subterránea para conocer los volúmenes de extracción y la situación que guardan los pozos.

En este valle se tienen censados 698 aprovechamientos, de los cuales 546 corresponden al uso agrícola y abrevadero, 128 pozos se utilizan para uso público-urbano y recreativo y 24 para el uso industrial.

6. BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA

Se realizó la actualización del balance volumétrico de aguas subterráneas, con el propósito de evaluar las condiciones de funcionamiento del Valle de San Juan del Río

A la fecha en estas zonas se han localizado nuevas reposiciones de pozos, las cuales se han integrado al funcionamiento del acuífero, de tal forma que se cuenta con una historia de censo de aprovechamientos, hidrometría, piezometría y pruebas de bombeo más completa de los mismos.

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:

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

Ecuación de balance

La ecuación de balance considerada para el Valle de San Juan del Río es de la siguiente forma:

$$E + S = AV * S$$

Donde:

E = entradas totales al sistema

S = salidas totales del sistema

AV = cambio de almacenamiento

S = coeficiente de almacenamiento

La ecuación anterior expresa la diferencia entre los volúmenes de recarga y descarga para un sistema acuífero y equivale al cambio en el volumen de almacenamiento para un periodo de tiempo determinado.

A continuación, se hace una descripción de los términos que involucran a las entradas totales al sistema, se expresan por la siguiente formula:

$$E = E_s + R_r + R_v$$

Donde: E_s = entradas subterráneas
 R_r = retornos por riego
 R_v = recarga vertical

Salidas totales del sistema

Los términos que involucran a las salidas totales del sistema, se expresan por la siguiente formula:

$$S = B + S_s$$

Donde: B = extracción por bombeo de pozos
 S_s = salidas subterráneas

Almacenamiento del sistema

$$\Delta V * S$$

$\pm \Delta V$ = cambio de almacenamiento

S = coeficiente de almacenamiento

De esta forma involucrando todos los términos mencionados anteriormente en la ecuación general de balance se tiene:

$$(E_s + R_v + R_r) - (B + S_s) = \pm \Delta V * s$$

En la ecuación anterior el coeficiente de almacenamiento es un dato obtenido en el estudio de 1992 realizado por Guysa S.A.

Entradas y salidas subterráneas

Para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas del sistema se utilizaron las configuraciones de elevación del nivel estático correspondientes de diciembre de 1994 a diciembre de 1996, de esta forma se identificaron las direcciones de flujo preferencial y los gradientes entre las curvas equipotenciales.

Retornos por riego

En vista que el 86% del volumen de extracción de agua subterránea se utiliza para riego agrícola en el valle, se hizo el cálculo de los retornos por riego utilizando la metodología propuesta en el estudio geohidrológico de 1992 elaborado por la empresa Guysa S.A.

El Distrito de Riego 023 en San Juan del Río proporcionó a esta compañía una tabla con valores de lámina neta, lámina bruta y uso consuntivo para diversos tipos de cultivos en la zona, además de las superficies totales destinadas para el riego en su ciclo agrícola correspondientes a 1996.

Los volúmenes de retorno se calcularon a partir de la lámina neta menos el uso consuntivo, multiplicada a su vez por el área de riego de esta forma se obtuvo un volumen de retorno para el período de enero a diciembre en todo el valle de San Juan del Río.

Extracción por bombeo

El volumen de extracción por bombeo se tomó de la hidrometría subterránea correspondiente a los seguimientos de 1996 por considerar que cubren la totalidad del valle.

VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN POR BOMBEO EN LA ZONA DE BALANCE PARA 1996	
Uso	Volumen (hm ³)
Agrícola	335.63
Industrial	37.45
Potable	22.92
TOTAL	396.00

El uso de abrevadero se cuantificó en el uso agrícola.

Cambio de almacenamiento

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se utilizó la configuración de la evolución del nivel estático para el período diciembre de 1994 a diciembre de 1996. El valor del coeficiente de almacenamiento considerado para la ecuación de balance, es el mismo que se usó en el estudio de 1992 por Guysa S. A. su valor es de 0.096.

Solución de la ecuación de balance

Una vez definidos los términos de la ecuación procederemos a dar solución a la ecuación de balance considerando que esta se aplica para el periodo de diciembre de 1994 a diciembre de 1996

Si aplicamos la solución de balance para el año de 1996, se tiene (valores en $\text{hm}^3/\text{año}$):

$$\begin{aligned} E_s &= 91.0 \\ S_s &= 26.0 \\ R_r &= 95.0 \\ B &= 396.0 \\ R_v &= 123.0 \\ A &= 750 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

De esta forma el valor de entradas y salidas del sistema es igual a:

$$\begin{aligned} E &= E_s + R_r + R_v \\ E &= 309.0 \text{ x } \text{hm}^3 \\ S &= B + S_s \\ S &= 422.04 \text{ x } \text{hm}^3 \end{aligned}$$

Los resultados anteriores indican que existe un déficit de 113 hm^3 entre la recarga y descarga total del acuífero lo que equivale al 37% de la recarga total y esto representa un abatimiento de 0.99 m al año.

7. 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:

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

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

7.1 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 **191.5 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural

7.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para este caso, su valor es de **0.0 hm³ anuales. DNC = 0.0 hm³ anuales.**

7.3 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 (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación 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 **327,762,000 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **20 de febrero del 2020**.

7.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 191.5 - 0.0 - 327.762000 \\ \text{DMA} &= -136.262000 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **136,262,000 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Estudio geohidrológico y modelación matemática de los valles de San Juan del Río, Tequisquiapan y Ezequiel Montes para el manejo automatizado de los recursos hidráulicos subterráneos. GUYSA febrero 1992.
2. Estudio hidrogeoquímico en diversos valles del estado de Querétaro. S.A.R.H. noviembre 1986.
3. Plan de apoyo integral del agua subterránea para los principales acuíferos del estado de Querétaro. GUYSA febrero 1987
4. Actualización geohidrológica de los acuíferos del estado de Querétaro. GUYSA septiembre 1985.
5. Censo, piezometría, hidrometría y balance de aguas subterráneas. Comisión Nacional del Agua Gerencia Estatal 1996.