



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VILLA DE ARISTA (2408), ESTADO DE
SAN LUIS POTOSÍ**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica	6
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA	8
4.1 Estratigrafía.....	10
4.2 Geología estructural.....	12
4.3 Geología del subsuelo	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos	15
5.3.1 Profundidad del nivel estático.....	15
5.3.2 Elevación del nivel estático.....	16
5.3.3 Evolución del nivel estático	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1 Entradas.....	20
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	20
7.1.2 Recarga inducida (Ri)	21
7.2 Salidas.....	21
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	21
7.2.2 Evapotranspiración (ETR).....	21
7.2.3 Descargas naturales (Dn).....	22
7.2.4 Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	22
7.3 Cambio de almacenamiento	22
8. DISPONIBILIDAD	23
8.1 Recarga total media anual (R)	23
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	23
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	24
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	24
9. BIBLIOGRAFÍA	26

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 Villa de Arista, definido con la clave 2408 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-occidental del estado de San Luis Potosí, en el centro del Altiplano Potosino, entre los paralelos 22° 26' y 23° 19' de latitud norte y entre los meridianos 100° 40' y 101° 23' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 4,312 km².



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 2408 VILLA DE ARISTA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	17	11.1	22	30	46.1	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	101	20	56.0	22	42	37.7	
3	101	19	59.9	22	46	18.3	
4	101	21	21.0	22	48	21.4	
5	101	21	29.8	22	50	47.6	
6	101	21	48.7	22	52	12.4	
7	101	15	7.6	23	0	31.4	
8	101	15	59.5	23	5	54.5	
9	101	10	54.3	23	8	23.1	
10	101	7	29.5	23	13	37.9	
11	101	8	55.7	23	17	45.2	
12	101	4	13.6	23	18	41.9	
13	100	52	25.3	23	16	56.2	
14	100	55	48.5	23	6	28.3	
15	100	47	26.2	23	2	28.3	
16	100	45	54.4	22	56	25.8	
17	100	48	15.0	22	54	25.5	
18	100	42	34.3	22	49	8.6	
19	100	41	26.0	22	46	6.2	
20	100	40	17.8	22	44	40.4	
21	100	45	5.6	22	45	15.6	
22	100	47	49.3	22	34	46.9	
23	100	45	46.6	22	26	58.5	
24	100	57	27.1	22	29	24.1	
25	101	2	15.1	22	26	30.6	
26	101	6	3.2	22	30	1.2	
27	101	9	56.1	22	32	19.0	
28	101	9	40.6	22	30	16.4	
29	101	12	14.2	22	30	47.3	
30	101	13	54.2	22	32	25.9	
1	101	17	11.1	22	30	46.1	

Limita al noroeste con el acuífero Santo Domingo, al norte con Vanegas-Catorce, al noreste con Matehuala-Huizache, al sureste con Villa Hidalgo, al sur con San Luis Potosí y Aqualulco, pertenecientes al estado de San Luis Potosí; y al suroeste con el acuífero Espíritu Santo, perteneciente al estado de Zacatecas (figura 1).

El acuífero Villa de Arista abarca los municipios de Villa de Arista, Moctezuma, Charcas y Venado. La zona se encuentra bien comunicada, por la zona de estudio pasa la carretera federal No. 57, tramo San Luis Potosí-Matehuala, a la altura del km 60, y a la izquierda hay una desviación de una carretera estatal que une a los poblados de Villa de Arista, Moctezuma y que cruza el área de estudio de NW a SW. También se encuentra comunicada por la carretera federal No. 48, tramo San Luis Potosí-Zacatecas, a la altura del km 31 se advierte una desviación a la derecha que va al poblado de Charcas, pasando por Aqualulco, Moctezuma y Venados. Además, el ferrocarril México-Laredo también cruza la zona de estudio de norte a sur.

La base económica de las poblaciones, ejidos y colonias enclavadas en la región está regida en primer término por la agricultura y enseguida por la ganadería. En lo que respecta a la agricultura destacan en orden de importancia la explotación de productos tales como maíz, frijón, tomate, alfalfa, chile, trigo y hortalizas. Por lo que toca a la ganadería, las principales especies que se crían corresponden a caprinos, lanar, porcino, bovino, vacuno y caballar. Por último, en la zona de Charcas la principal actividad es la minería.

1.2 Situación administrativa del acuífero

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LAS CUENCAS FISIográfICAS DE VILLA DE REYES, SAN LUIS POTOSÍ O TANGAMANGA Y VILLA DE ARISTA, S.L.P.

Realizado en el año de 1971, Con una extensión de 8 000 km², cuya finalidad fue la de obtener un primer conocimiento del funcionamiento hidráulico de los acuíferos existentes en la zona de estudio, intentar una evaluación preliminar de los recursos disponibles de agua subterránea en las cuencas definidas, y programar las investigaciones futuras para la continuación y terminación del estudio.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DEL VALLE DE ARISTA, ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ. Realizado en 1981 por la Universidad Autónoma de San Luis

Potosí con el objetivo de determinar la magnitud de la recarga y el volumen de explotación del acuífero, definir la factibilidad de incrementar el bombeo y las zonas más favorables para captarlo, y definir la posible comunicación hidrogeológica del valle de Arista con los de Matehuala y San Luis Potosí.

Como resultados recomiendan suspender la perforación de pozos en la porción centro oriental del valle, y puede permitirse aumentar las extracciones en las porciones sur y norte del valle de Arista. En el lapso de 1971 a 1987 se registraron abatimientos que varían entre unos 2 m y algo más de 13 m, las profundidades del nivel estático variaban entre 40 y 85 m y consideraron al acuífero como sobreexplotado.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

Fisiográficamente el área de estudio se emplaza en la Provincia de Sierras Bajas de la Sierra Madre Oriental, según la clasificación hecha por Raisz en 1959. La mayor elevación topográfica de 2,600 msnm corresponde a la sierra de Coronado. Los valles en la porción norte tienen altitudes desde 2,100 hasta 1,800 msnm a la altura de Venado, la menor elevación de 1,650 msnm se registra en la zona de Guardarraya, al noreste del poblado Villa de Arista.

La cuenca queda limitada al poniente por las sierras del Escalón y Guanamé, al norte por la Laguna Seca, al oriente por las sierras de Coronado y Rincón de Leijas y al sur por el alto La Melada.

3.2 Clima

De acuerdo a la clasificación de climas propuesta por W. Köppen modificada por E. García, el clima es del tipo BSkwg que significa, clima árido con inviernos fríos. En las diferentes zonas el clima es seco estepario y va de frío a templado, según puede verse en la tabla 2. La temperatura media anual es de 16.9° C, para el período de 1962 a 1999. La precipitación promedio es de 391.2 mm anuales para el periodo de 1962 a 1999. La evaporación potencial para el periodo de 1962 a 1999 es de 1 941.9 mm.

Tabla 2. Clasificación de climas.

Municipio	Clave	Clima predominante
Charcas	BSokw"(e)g	Clima seco estepario, temperatura media anual inferior a 18° C, lluvias en verano
Moctezuma	BSokw"(e)g	
Venado	BS ₁ kw(w)(e)	Clima seco estepario, frío regular con temperatura media anual entre 18 y 22° C.
Arista	BSohw"(e)	Clima seco estepario, semicálido con invierno fresco, régimen de lluvias en verano.
Ahualulco	BS ₁ kw(w)(e)	Clima seco estepario frío regular con temperatura media anual inferior a 18° C.
Villa Hidalgo	BSokw"(e)g	Clima seco estepario, temperatura media anual inferior a 18° C, lluvias en verano

3.3 Hidrografía

El fuerte desequilibrio existente entre precipitación y evapotranspiración ocasiona que no existan escurrimientos superficiales de importancia, cuando más arroyos intermitentes, como el de Cañada Verde que desciende de la sierra de Guanamé en la porción noroccidental del valle, y que actúan como zonas de recarga de los abanicos aluviales. La zona de Villa de Arista pertenece a la Región Hidrológica No. 37 “El Salado”.

3.4 Geomorfología

En términos generales, la descripción geomorfológica del área de estudio se puede resumir en un complejo de rocas tanto sedimentarias como metamórficas e ígneas, en un ciclo geomorfológico que oscila entre juvenil avanzada a madurez temprana; el drenaje es variable de acuerdo a sus tipos de rocas.

En la parte media septentrional del área de estudio, en el poblado de Moctezuma, se encuentra un conjunto de serranías formadas principalmente por rocas sedimentarias marinas de edad cretácica, muy plegadas, con una orientación NW-SE, con una topografía de contornos suaves que da como resultado un ciclo de erosión avanzada, con una variación del relieve que oscila en sus puntos más bajos entre 1700 msnm y 2250 msnm en los puntos más altos; presenta en esta parte un drenaje típico de enrejado el cual sólo lleva agua en épocas de lluvia, de la cual mucha se pierde por la gran infiltración y evaporación que se exhibe en esta zona. En la porción media austral del poblado se encuentran algunas series de rocas ígneas extrusivas de edad terciaria, cuya estratigrafía demuestra que descansan discordantemente con las sedimentarias, exhibiendo una topografía abrupta con un drenaje de carácter rectangular y con un desagüe hacia Villa de Arista.

Más al sur del área, en el municipio de Aqualulco, se encuentra otro paquete de rocas félsicas terciarias las cuales forman parte de una provincia geológica, que va desde el eje neovolcánico en el sur hasta los Estados Unidos Americanos en el norte, con una dirección NW, de espesores muy variables que van de 150 a 200 km de ancho.

En la parte SE de Villa de Arista se encuentra la sierra de Rincón de Leijas, que no es otra cosa que la prolongación hacia el norte de la sierra El Coro, formando entre ambas el anticlinorio de La Luz, el cual se encuentra representado por una serie de anticlinales y sinclinales cuyos ejes están orientados NW-SE.

Estas rocas sedimentarias de edad mesozoica se encuentran fuertemente plegadas, el relieve que se observa en Rincón de Leijas tiene unos 1600 msnm y al sur de Villa de Arista, las elevaciones son de 2000 a 2150 msnm en el vértice de triangulación geodésica El Ojito, al este del cerro de las Tunas.

En la sierra de las Pilas se puede observar el anticlinorio La Taponá, el cual tiene una disposición paralela al anterior y está formado por rocas cretácicas de la formación El Doctor, con sus anticlinales y sinclinales fallados.

Es precisamente en esta región, en el cerro El Borrado, donde se presenta la mayor expresión topográfica del área con alturas hasta de 2450 msnm; estas montañas están fuertemente erosionadas con una morfología arredondada y pendientes de ligeras a abruptas, presentando en su base grandes abanicos aluviales formados por sedimentos de montaña circundante.

Su drenaje en esta parte de la región es de tipo detrítico intermitente, no llegando al valle de modo superficial por la infiltración. Estas sierras llegan a formar largas cañadas como el cañón de San Antonio, El Ojito, cañón de Las Minas y de las Animas.

Al norte y sureste de esta zona se pueden observar algunos aparatos volcánicos y derrames lávicos de composición basáltica formando mesetas bien definidas, sobre todo al oriente del anticlinorio La Luz.

4. GEOLOGÍA

El valle de Villa de Arista es una fosa tectónica formada por el mismo trend estructural que dio origen a las fosas de los valles de San Luis y Villa de Reyes. Esta fosa se encuentra bordeada, excepto en su porción austral, por anticlinorios conformados por rocas sedimentarias de origen continental y marino de edades Triásico Superior a Cretácico, que fueron depositados en el elemento paleogeográfico denominado cuenca mesozoica situada al occidente de la Plataforma Valles-San Luis. Las estructuras siguen una orientación preferencial N-S, y geomorfológicamente se encuentra en una etapa erosiva juvenil-avanzada (figura 2). Hacia el sur, las rocas cretácicas marinas se hallan cubiertas discordantemente por paquetes de rocas ígneas extrusivas terciarias de composición ácida a intermedia, cuya fuente se localiza hacia el sur del área de estudio (figura 2)

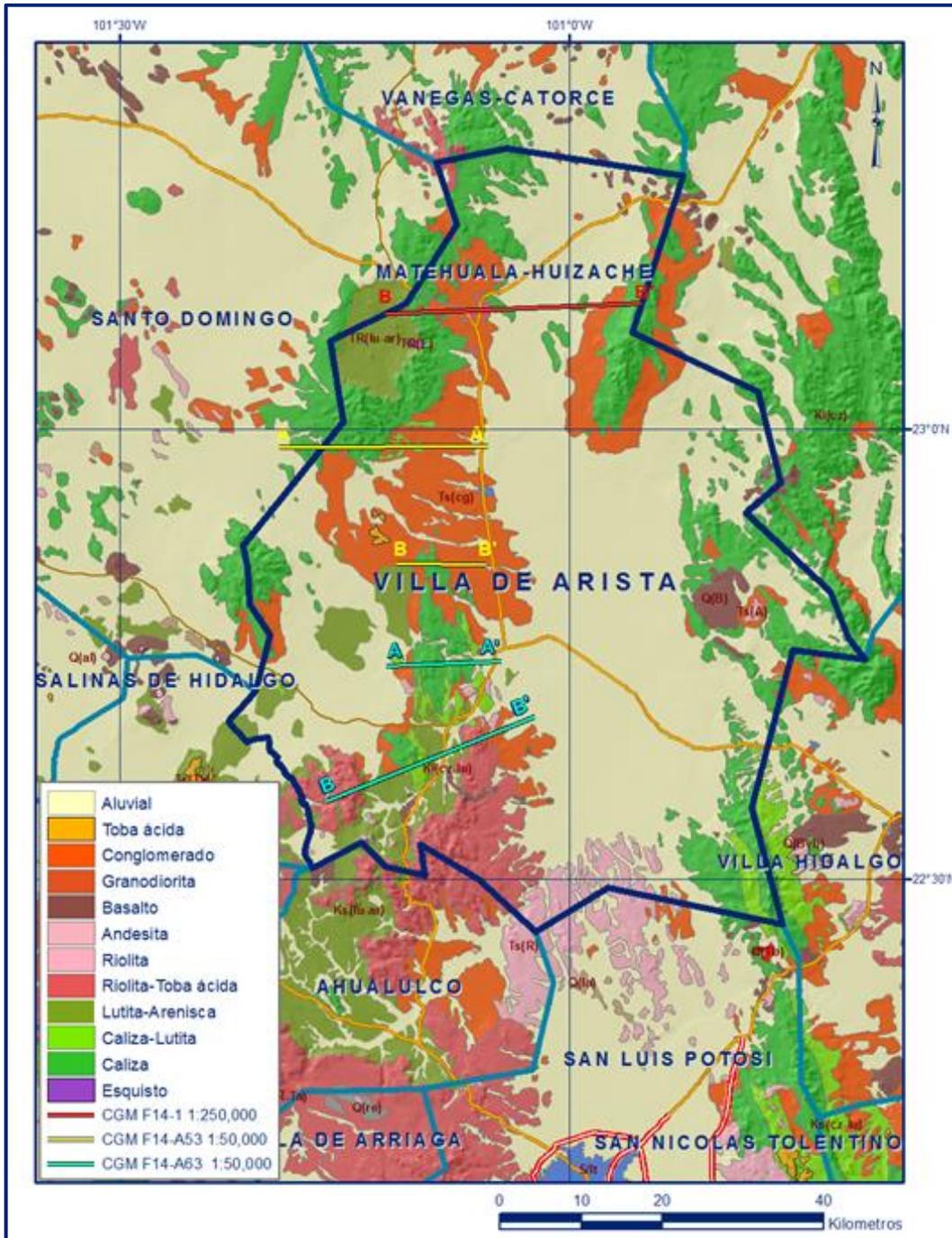


Figura 2. Geología general del acuífero

Existen también derrames basálticos de poco espesor en las inmediaciones de Moctezuma y Villa de Arista, que conforman mesetas de baja altitud. Intrusivos de composición cuarzo-monzonítica afectan el paquete sedimentario en la Sierra Coronado y son los responsables de la mineralización que ahí se explota.

Tras los eventos orogénicos laramídicos, las fuerzas distensivas dieron lugar al fallamiento en bloques que originó la fosa tectónica de Villa de Arista, la cual fue rellenada durante varios episodios de hundimiento por sedimentos de origen aluvial y fluvio-lacustre, de naturaleza muy heterogénea.

De acuerdo a los cortes litológicos que se reportan en informes técnicos de pozos identificados PSLB (construidos por Geohidrología y Zonas Áridas entre 1975 y 1980), se conoce que el espesor del paquete granular se incrementa de norte a sur, variando de alrededor de 100 m en las cercanías de Venado y Moctezuma, donde el piso rocoso lo constituyen calizas arcillosas y lutitas de la Formación Caracol, hasta más de 200 m en el centro del valle Villa de Arista, donde no se ha alcanzado el piso rocoso del acuífero. De acuerdo a lo reportado en el estudio de 1981 el espesor del relleno en esta zona puede ser del orden de 250 a 300 m.

Finalmente, abanicos aluviales de edad cuaternaria se han estado formando en los bordes de las sierras que rodean toda la cuenca.

4.1 Estratigrafía

Las unidades estratigráficas de la zona de estudio se describen en la tabla tres, donde se incluye su edad, litología, espesor, ocurrencia y comportamiento.

Tabla 3. Unidades estratigráficas

Formación	Edad	Litología	Espesor (m)	Ocurrencia	Comportamiento
C R E T A C I C O					
Fm. Zacatecas	Triásico (Tr)	Lutitas, limolitas, areniscas, cuarcitas y argilitas	No definido	Sierra de Coronado, Anticlinal El Pájaro	Acuífugo (Impermeable)
Fm. La Joya	Jurásico (J)	Limolitas, areniscas arcillosas, conglomerados rojos y lutitas	30 - 40	Anticlinal El Pájaro, Anticlinorio San Rafael, Mina Morelos, U. Charcas.	Acuífugo (Impermeable)
Fm. Zuloaga	Cretácico (Ki)	Caliza arcillosa recristalizada y caliza microcristalina densa en	100 - 150		Acuífugo (Impermeable)

		capas gruesas con pedernal			
Fm. La Caja	Cretácico (Ki)	Calizas arcillosas gris claro alternadas con capas delgadas de caliza gris oscuro	60	Anticlinorio El Pájaro Sierra de Coronado	Acuífugo (Impermeable)
Fm. Taraises y Cupido	Cretácico (K)	Estratos medios a gruesos de caliza color gris a café que intemperiza en amarillo a gris claro.	300	Sierra Coronado y Charcas.	Acuífugo (Impermeable)
Fm. La Peña	Cretácico (K)	Calizas criptocristalinas color gris claro a oscuro, interestratificada por lutitas calcáreas.	60	Municipios de Moctezuma y Charcas.	Acuífugo (Impermeable)
C R E T A C I C O					
Fm. Cuesta del Cura	Cretácico (K)	Caliza de estratificación delgada y ondulante, compacta, color gris oscuro a negro.	No definido	Municipios de Ahualulco, Moctezuma, Venado, Charcas y Villa de Arista.	Acuífugo (Impermeable)
Fm. El Doctor	Albiano-Cenomaniano (K)	Caliza criptocristalina de color gris claro a gris crema, estratificación mediana a gruesa con abundante microfauna.	No definido	SE Villa de Arista	?
Fm. Soyatal	Cretácico (K)	Calizas arcillosas de estratificación media, color gris oscuro a negro y alternancia de lutitas físis gris y verdosas.	224	Zona El Tajo Villa de Arista,	Acuífugo (Impermeable)
Fm. Indidura	Turoniano (K)	Calizas arcillosas a carbonosas de estratificación delgada, intercaladas con lutitas gris claro a rojizas.	No definido	Localidades de Ahualulco y Venado.	Acuífugo (Impermeable)
Fm. Cárdenas	Conaciano (K)	Intercalación de lutitas y areniscas calcáreas	No definido	Zona de Villa de Arista	Acuífugo (Impermeable)
Fm. Caracol	Coniaciano-Maestrichtiano (K)	Alternancia de lutitas físis y areniscas de grano fino a medio (Depósitos tipo Flysch)	No definido	Zona de Ahualulco y Venado.	Acuífugo (Impermeable)
S I S T E M A T E R C I A R I O					

Clastos continentales	Paleoceno-Eoceno	Conglomerados de fragmentos de areniscas y lutitas de la Fm. Caracol	2 – 40	Moctezuma y Charcas	Acuífero
“El Temeroso”	Eoceno	Pórfido granítico a granodiorítico		Distrito minero de Charcas.	Acuífugo (Barrera impermeable)
Complejo volcánico		Rocas volcánicas y piroclastos: andesitas, latitas, traquitas riolitas, tobas, dacitas e ignimbritas riolíticas.		W de Villa de Arista, Ahualulco, Charcas	Acuífero en zonas de fracturamiento, en la zona de la Melada, Cerritos de Zavala, en la zona meridional de la Z. Geohidrológica.
S I S T E M A C U A T E R N A R I O					
Conglomerado	Pleistoceno	Taludes y rellenos de depresión estructurales, fragmentos de cantos rodados pobremente clasificados, cementados.	Máximo reportado 300 (?)	Villa de Arista, faldas de la Sierra de Coronado	Acuífero
Basaltos	Pleistoceno Reciente	Coladas basálticas color negro textura vesicular		SE de Villa de Arista	Acuífero

4.2 Geología estructural

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de las unidades paleogeográficas denominadas Cuenca Mesozoica del Centro de México y Plataforma Valles-San Luis, donde las rocas sedimentarias que constituyen dichas unidades fueron falladas y plegadas intensamente por los movimientos orogénicos de la Revolución Laramide a fines del Cretácico y principios del Terciario.

Como resultado de los eventos tectónicos, se formó un sistema de fallas y pliegues con orientación N-S a N50°W preferencialmente, siendo los más sobresalientes: el graben de Villa de Arista, el anticlinorio San Rafael, el anticlinal El Pájaro, anticlinorio Santa Catarina, el sinclinorio El Tajo y el anticlinorio La Tinaja; además existen dos extensas fallas que delimitan el graben de Villa de Arista en forma perpendicular, una denominada

El Salero orientada N75°E, y la otra El Salto con rumbo N40°E, y un pequeño graben situado al oriente de Ahalulco con rumbo similar a la falla “El Salto”.

4.3 Geología del subsuelo

La geología del subsuelo está representada por rocas sedimentarias de origen marino, tanto del Triásico algo metamorfoseado que conforman los núcleos de los pliegues anticlinales, como por rocas del Jurásico y Cretácico que constituyen los flancos de las estructuras antes mencionadas, las cuales presentan un rumbo general norte – sur y noroeste – sureste.

Hacia la porción austral del área, las rocas antes mencionadas se encuentran cubiertas discordantemente por una serie de rocas lávicas, constituidas por varias unidades de composición que varían desde el ácido hasta el básico, haciéndose notar que entre estas dos series de rocas sedimentarias y lávicas existe un paquete de rocas granulares volcanoclásticas clasificadas como tobas arenosas y lahares.

Las fosas tectónicas o graben tienen un control casi completo del agua subterránea, tanto en esta cuenca como en la de San Luis Potosí, siendo la magnitud de estos hundimientos del orden de los 400 m.

El graben de Villa de Arista se encuentra limitado por dos fallas de gravedad, tanto al oriente como al poniente y una que se infiere al norte a la altura de Venado, S.L.P., cubiertas por el material aluvial del Reciente, el cual tiene su máximo espesor hacia el centro del valle considerándose que sea del orden de los 350 m.

Las geologías del subsuelo de este graben es como sigue: al norte está constituido por los sedimentos arcillo calcáreos pertenecientes a la formación Indura de edad Turoniano y en menor proporción por las calizas algo arcillosas con pedernal de la formación Cuesta del Cura, la cual cambia de facies hacia el oriente pasando a una caliza de estratificación potente de origen arrecifal, denominada facies San Joaquín de la formación El Doctor.

Hacia el sur está formado por rocas granulares lacustres y piroclásticas intercaladas entre rocas ígneas extrusivas lávicas, que cubren discordantemente a las calizas arcillosas y limolitas calcáreas de la formación Indidura.

Al poniente el graben está constituido por calizas, calizas arcillosas y limolitas de las formaciones Cuesta del cura e Indidura respectivamente; en su porción austral, estas rocas se encuentran cubiertas discordantemente por tobas arenosas, lutitas porfiríticas, dacitas, riolitas y algunos derrames basálticos.

Al oriente, esta cuenca sedimentaria continental está formada por calizas arrecifales en su porción septentrional, pertenecientes a la formación El Doctor del Albiano-Cenomaniano, las cuales cambian de facies a la altura de Villa de Arista, pasando a calizas arcillosas con pedernal de estratificación ondulada, correspondiente a la formación Cuesta del Cura, Subyaciendo concordantemente a estas formaciones se encuentran las calizas arcillosas interestratificadas con lutitas de la formación La Peña del Altiplano, la cual puede presentar ventanas geológicas.

En la base de este graben se considera que existen las formaciones Indidura y Cuesta del Cura, cubiertas parcialmente en su porción sur por tobas arenosas y rocas lávicas de composición ácida, sirviendo estas de roca basal al material aluvial que se encuentra rellenando al graben, y presentando su máximo espesor hacia la parte central, considerándose que sea del orden de los 350 metros.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

En la zona geohidrológica del valle de Villa de Arista, el sistema acuífero conocido se encuentra alojado en el material aluvial y sedimentos lacustres que rellenan la fosa. Tanto las fronteras laterales como el piso rocoso se consideran impermeables, ya que corresponden a formaciones de naturaleza calcáreo-arcillosa.

El espesor de este acuífero varía desde 100 m en su porción noroccidental a 250 m ó más en la zona de Villa de Arista. Por medio de pruebas de bombeo se ha demostrado que el comportamiento de este acuífero es libre a semiconfinado.

La recarga tiene lugar principalmente en el borde occidental del valle, a lo largo de una franja que se extiende desde Venado, hacia el sur, hasta Potrero el Mezquital, a través de los abanicos de la sierra de Guanamé; la extensión de esta zona de recarga es de aproximadamente 40 km.

Otras zonas de recarga las constituyen los bordes de la sierra Alto de Melada y borde de la sierra de Coronado. Actualmente existe una componente adicional de la recarga que es inducida por la infiltración de retornos de riego.

La descarga tiene lugar por extracción a través del bombeo, la cual se concentra mayormente en los alrededores del poblado de Villa de Arista, como puede apreciarse en el plano de configuración de elevación del nivel estático.

La evapotranspiración es otro fenómeno de descarga que tiene importancia en las zonas de Venado y Moctezuma, donde el nivel estático se encuentra a profundidades someras.

Se considera que en la actualidad no existen salidas subterráneas a través de la zona de El Tajo o Guardarraya, debido a la formación del cono piezométrico al norte de Villa de Arista.

5.2 Parámetros hidráulicos

De 53 pruebas de bombeo realizadas por la Cía. Hidrotec en 1971, se puede observar que las transmisividades varían de $0.36 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ a $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con predominio de valores entre 2.5 y $4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; sin embargo, se considera que la mayor parte de los pozos no son totalmente penetrantes, por lo que los valores de la transmisividad para el acuífero probablemente sean más altos.

5.3 Comportamiento hidráulico

5.3.1 Profundidad del nivel estático

Para diciembre de 1981 el rango de profundidades del nivel estático fue de 40 a 80 m, con las profundidades mayores de 60 a 85 m en los alrededores de Villa de Arista, donde la mayoría de los pozos tenían entre 150 y 200 m (figura 3).

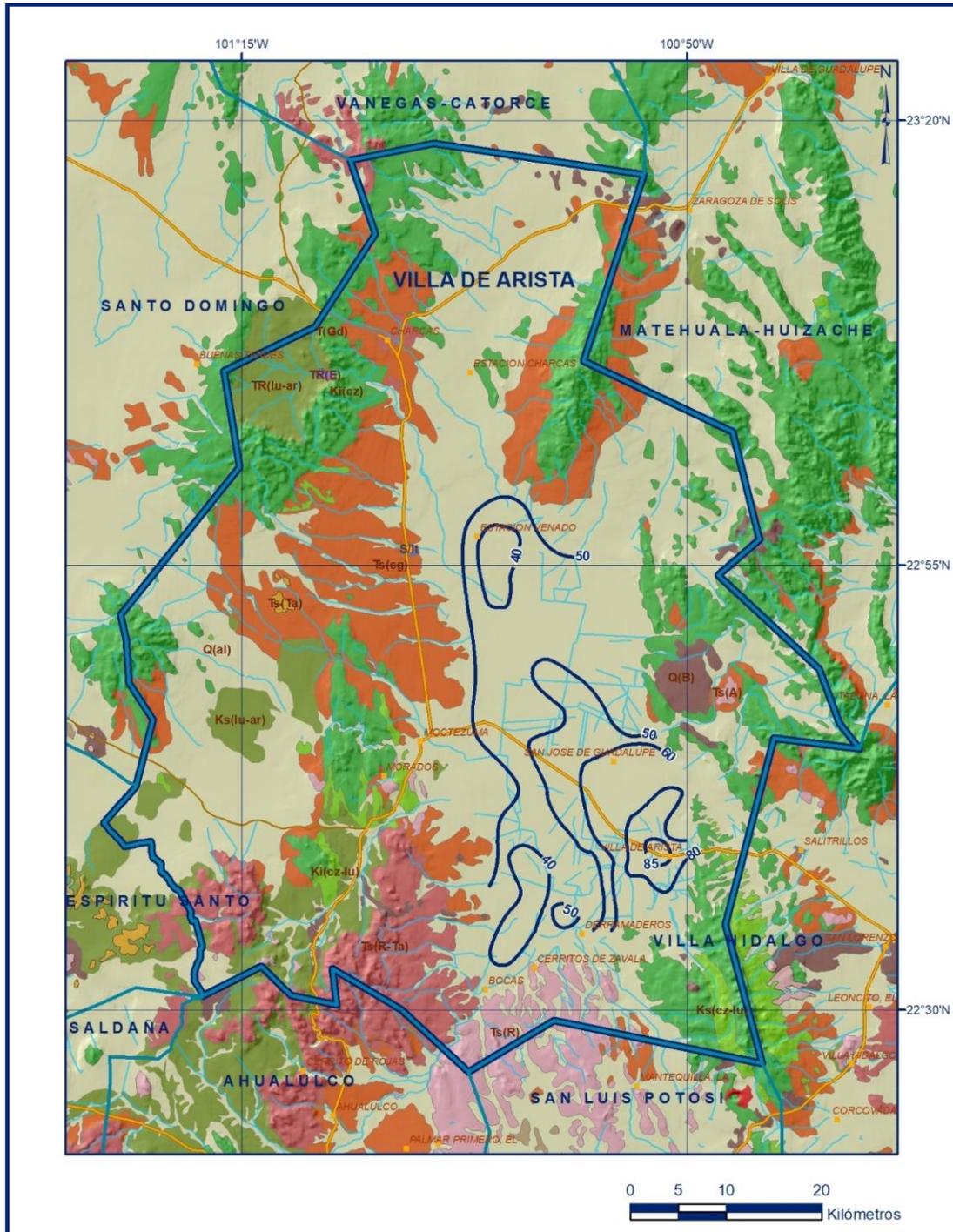


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (1981).

5.3.2 Elevación del nivel estático

La red de flujo permaneció invariable en la periferia del valle; en cambio, en la porción centro oriental, la disposición de las líneas equipotenciales acusa ya el efecto del bombeo de la zona a través de la formación de depresiones piezométricas.

Las equipotenciales van de 1780 en el límite norte, a 1480 msnm en el límite sureste, definiéndose conos piezométricos mediante las equipotenciales 1580 a 1540 msnm, pero de extensión relativamente localizada, persistiendo aparentemente una salida subterránea por el límite oriental del valle.

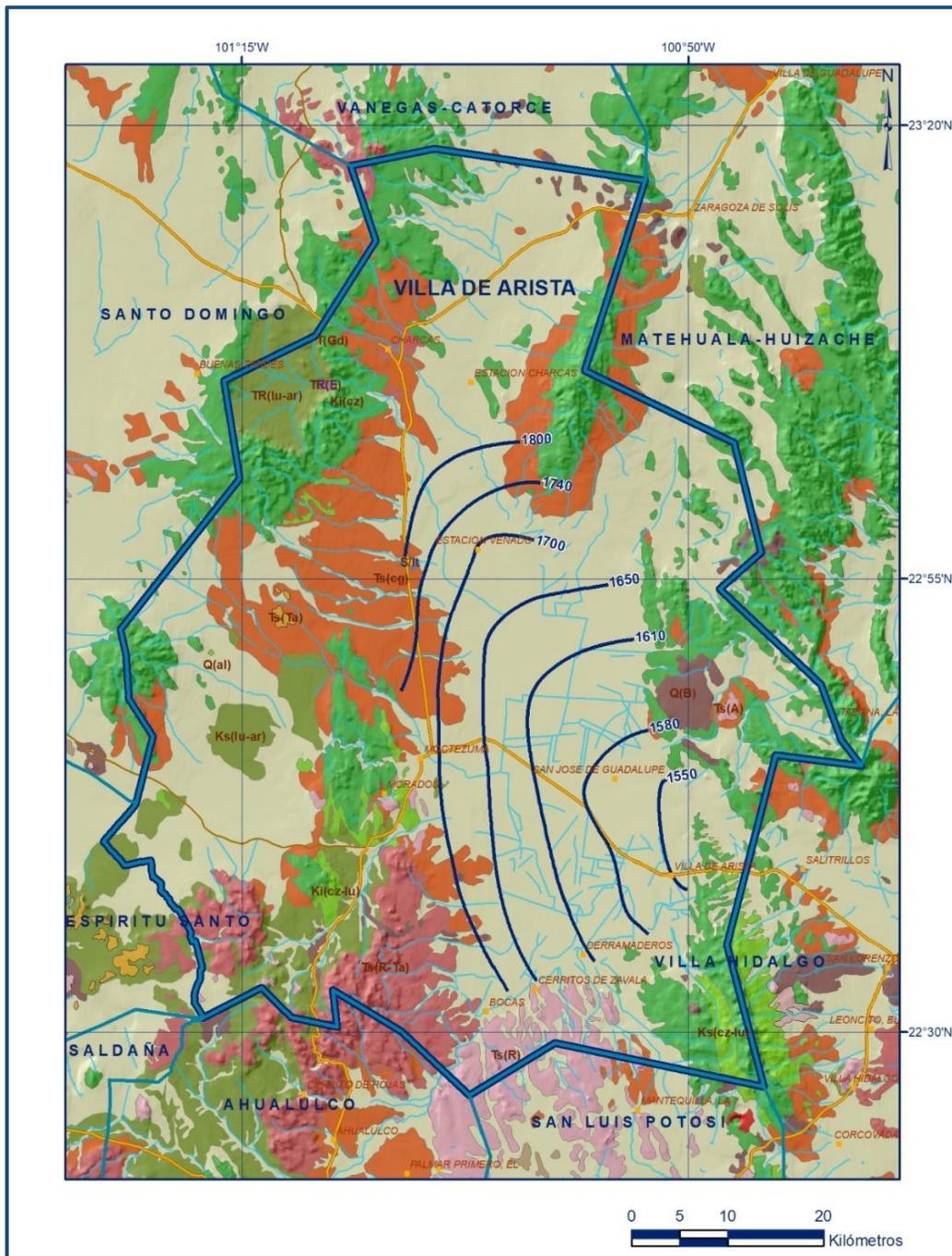


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (1981).

5.3.3 Evolución del nivel estático

Los abatimientos acumulados en el periodo de 1971 a 1981 varían entre 2 y 13 m, de la periferia hacia la zona de bombeo intensivo, respectivamente, con algunos descensos puntuales de hasta 18m. Asimismo, también se identificaron zonas sin cambio en la posición del nivel estático en los flancos occidental, sur y centro-norte del valle.

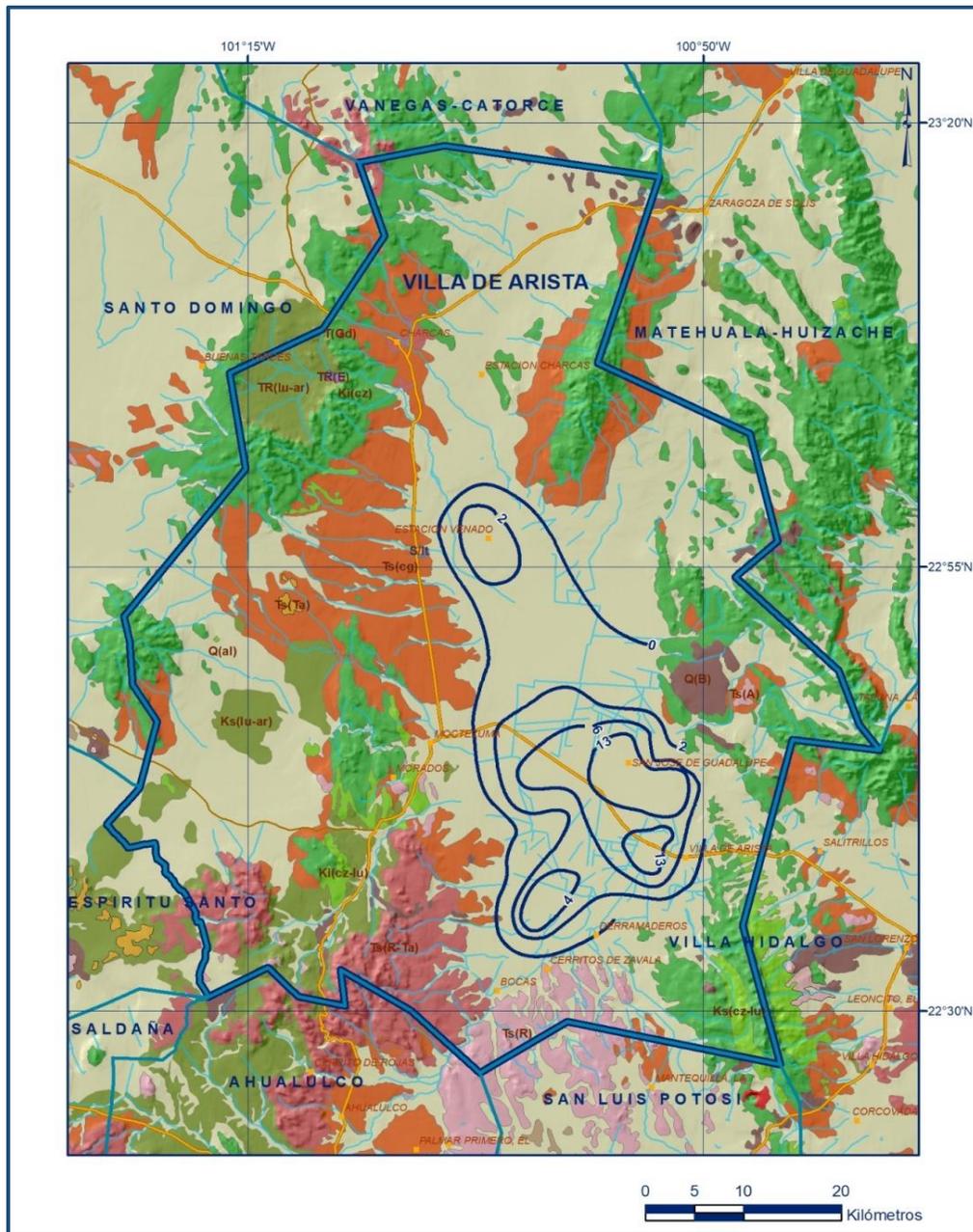


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (1971-1981).

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Durante 1994 y 1995, la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua censó un total de 728 aprovechamientos en la cuenca geohidrológica de Villa de Arista. Los registros de campo incluyeron datos generales del aprovechamiento, constructivos y de operación principalmente, con los cuales se integró una base de datos para su procesamiento y actualización permanente.

Del total de los 728 aprovechamientos subterráneos censados se divide en 590 pozos profundos, 136 norias excavadas, 1 manantial y 1 galería filtrante. Asimismo 404 de los 590 pozos se encontraron activos (68%) y 186 resultaron inactivos (32%). La mayor parte de los pozos inactivos se localiza en un radio de 15 km del poblado de Villa de Arista. En cuanto a las norias, 116 de 136 se registraron como obras activas (85%) y únicamente 20 fueron declaradas por los usuarios como inactivas (15%). Con relación al total de aprovechamientos, el 72% se encontraron activos (522) y el restante 28%, inactivo (206).

Acerca de los usos del agua subterránea puede decirse que de 523 aprovechamientos activos, 373 de ellos, es decir el 71%, se destina al uso agrícola; esta cifra incluye 352 pozos, 20 norias, 1 manantial y una galería filtrante; 94 aprovechamientos activos se aprovechan para uso doméstico abrevadero (18% del total), cifra compuesta por 87 norias y 7 pozos profundos; otras 40 obras de captación de agua subterránea (8% del total) son operadas para uso público-urbano, de los cuales 35 son pozos profundos y 5 son norias. Solamente 9 aprovechamientos subterráneos (2% del total) son explotadas para fines pecuarios, y de éstos 4 son pozos perforados y 5 más excavados.

Finalmente, para el uso industrial se explota el acuífero a través de 6 obras perforadas (1% del total); estos pozos incluyen 3 pozos profundos situados al norte del Troncón que abastecen a la planta de beneficio de la Unidad Minera Charcas, los 3 restantes dan servicio a empacadoras de productos agrícolas.

Tabla 4. Distribución de las extracciones de acuerdo al uso (hm³/año).

TIPO	AGRÍCOLA	DOMESTICO ABREVADERO	PUBLICO URBANO	PECUARIO	INDUSTRIAL	SUBTOTAL
POZOS	71.67	0.0	0.8	0.15	0.85	73.47
NORIAS	0.9	0.2	0.1	0.1	0.0	1.3
TOTAL	72.57	0.2	0.9	0.25	0.85	74.77

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó en una superficie que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

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:

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

7.1 Entradas

La recarga total está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga natural del acuífero corresponde básicamente a los volúmenes infiltrados por agua de lluvia y recarga horizontal, proveniente de las zonas de recarga. La recarga por lluvia es de **17.6 hm³/año**, al considerar un área de 900 km², una precipitación de 391.2 mm/año y un coeficiente de infiltración de 0.05.

Respecto a la recarga por infiltración de agua de escurrimientos superficiales naturales, no existen corrientes importantes y permanentes que se generen en la cuenca, o que provengan de otras cuencas vecinas, y que contribuyan a la recarga del acuífero

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego que se realiza en el área se calculó multiplicando al volumen aplicado al riego (72.6 hm³/año, más 0.5 del volumen destinado a otros usos), por un coeficiente de infiltración (I₂), de 0.15, resultando un volumen de recarga de **11.0 hm³/año**. Al mismo tiempo, el uso público urbano origina una recarga al acuífero por pérdidas en redes de distribución básicamente, el cual se calculó aplicando un coeficiente de 0.15 (I₃), al volumen usado de 0.9 hm³/año, resultando una recarga inducida **0.1 hm³/año**.

7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

La recarga por flujo horizontal se lleva a cabo por la parte noroeste del valle, específicamente, de la parte norte por la sierra La Cuesta, y del oeste por la sierra El Durazno, resultando de **19.5 hm³/año**, al considerar 6 celdas. El cálculo de entradas por flujo horizontal (Eh), se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático del año 1982, y la transmisividad obtenida a través de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona de estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

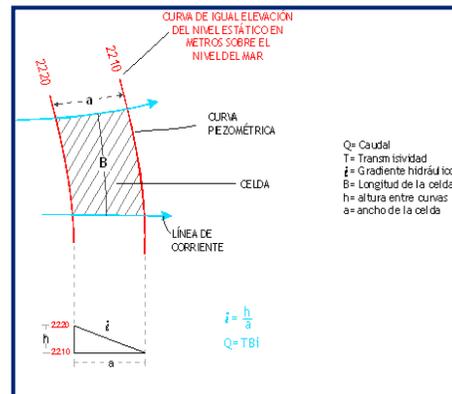
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

T = Transmisividad (m²/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)



7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), salidas subterráneas horizontales hacia el mar (Sh) y evapotranspiración (ETR).

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

El volumen extraído total del acuífero a través del bombeo para todos los usos, resultó de **74.8 hm³/año**.

7.2.2 Evapotranspiración (ETR)

Debido a que, en el acuífero estudiado, las profundidades del nivel estático son importantes, mayores de 40 m, la pérdida por evapotranspiración no existe.

7.2.3 Descargas naturales (Dn)

En la zona no existen manantiales ni corriente con gastos base que salgan del sistema acuífero.

7.2.4 Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas por flujo subterráneo horizontal ocurren por la parte sur del valle; en la localidad de Arista se calcularon en **3.1 hm³/año**.

7.3 Cambio de almacenamiento

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero considerando el promedio anual de abatimiento en 2 m/año, valor que aplicado al área de valle (900 km²), resulta un volumen drenado (Vd) de 1 800 hm³/año, lo que aplicado al coeficiente de almacenamiento de 0.0164, resulta un cambio de almacenamiento de **-29.7 hm³/año**. Considerando en el balance las extracciones del año de 1981 e información histórica, se presenta en forma resumida en la tabla 5.

Tabla 5. Balance de aguas subterráneas.

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO VILLA DE ARISTA, SLP			1981
Área total del acuífero	km ²		4,360
RECARGA TOTAL			
Área de valle	km ²		900
Coeficiente	I ₁		0.05
Precipitación	mm/año		391.2
Recarga natural por lluvia	hm ³ /año		17.6
Entradas horizontales	Eh	hm ³ /año	19.5
Total de recarga natural		hm ³ /año	37.2
Público Urbano	I ₂		0.15
Recarga inducida P.U.		hm ³ /año	0.1
Agrícola más otros agua subterránea	I ₃		0.15
Recarga inducida Agrícola + otros		hm ³ /año	11
RECARGA TOTAL	Rt	hm ³ /año	48.2
DESCARGA TOTAL			
Salidas horizontales	Sh	hm ³ /año	3.1
Caudal base	Q _{base}	hm ³ /año	0
Evapotranspiración		hm ³ /año	0
Extracción total		hm ³ /año	74.8
Agrícola		hm ³ /año	72.6
Público urbano		hm ³ /año	0.9
Industrial		hm ³ /año	0.9
Otros		hm ³ /año	0.5
DESCARGA TOTAL		hm ³ /año	77.9
Cambio de almacenamiento	DA	hm ³ /año	-29.7
Coeficiente de almacenamiento	S		0.0165
Volumen drenado (2 m/año)	Vd	hm ³ /año	1,800

De esta manera, la recarga total media anual es igual a la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i \\ R &= 17.6 + 19.5 + 11.1 \\ R &= 48.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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:

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

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 **48.2 hm³/año**, de los cuales corresponden 37.2 hm³/año como recarga natural y 11.0 hm³/año como recarga inducida.

8.2 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, en donde no existen manantiales, ni caudal base, y considerando que no existen volúmenes comprometidos por la descarga de flujo subterráneo que se efectúa hacia aguas abajo, la descarga natural comprometida es nula. **DNC = 0.0 hm³ anuales.**

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 (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 **103,366,641 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 **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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 48.2 - 0.0 - 103.366641 \\ \text{DMA} &= -55.166641 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **55,166,641 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

HIDROTEC, S.A., Dirección de Aguas Subterráneas de la extinta Secretaria de Recursos Hidráulicos, 1971. Estudio geohidrológico preliminar de las cuencas fisiográficas de Villa de Reyes, San Luis Potosí o Tangamanga y Villa de Arista, San Luis Potosí.

Subdirección General de Administración del Agua, Comisión Nacional del Agua, 1994. Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos.