



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
MEDIA ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA**

ACUÍFERO (0838) ALTO RIO SAN PEDRO

ESTADO DE CHIHUAHUA

PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL
28 DE AGOSTO DE 2009

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA Y MODIFICACIÓN, PARA SU MEJOR PRECISIÓN, LA DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL ACUIFERO

PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL 28 DE AGOSTO DE 2009

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales, señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en consideración la disponibilidad media anual del recurso, misma que se revisará al menos cada tres años conforme a la programación hídrica, para lo cual el propio precepto dispone que la Comisión Nacional del Agua debe publicar la disponibilidad por acuífero o acuíferos de que se trate.

De los resultados de los estudios técnicos recientes, se observó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea de 282 de los acuíferos, debido a los cambios en el régimen natural de recarga, el manejo del agua y de los volúmenes concesionados, por lo que se ha determinado el valor actualizado de la disponibilidad media anual de agua en cada uno de los mismos.

La actualización de la disponibilidad media anual de las aguas subterráneas publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de septiembre de 2008.**

Con el desarrollo de los modernos equipos de geoposicionamiento, de los sistemas de información geográfica y la accesibilidad de las herramientas computacionales, ahora permiten precisar la ubicación geográfica de sitios y ámbitos territoriales. De igual manera, lo anterior ha permitido mejorar la definición geográfica y la representación cartográfica de la ubicación y límites de los acuíferos,

En tal virtud, se perfeccionaron los límites de los acuíferos, a efecto de dar mayor certeza a los usuarios respecto de la ubicación exacta de su aprovechamiento, utilizando un sistema nacional de referencia único, basado en la versión magnética del Marco Geoestadístico Municipal 2000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y su base cartográfica escala 1:250,000, en coordenadas geográficas y NAD27 como Dátum.

CLAVE	ACUIFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DEFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CUBICOS ANUALES					
ESTADO DE CHIHUAHUA							
0838	ALTO RIO SAN PEDRO	56.3	29.1	14.573676	20.5	12.616324	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000.

Los estudios técnicos a través de los que se determinó el volumen que se señala en esta fracción, se realizaron respecto a la poligonal que a continuación se indica:

ACUIFERO 0838 ALTO RIO SAN PEDRO

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	105	45	1.8	27	42	7.4
2	105	55	18.2	27	43	15.2
3	106	1	5.3	27	38	30.3
4	106	2	41.5	27	34	1.1
5	106	8	46.0	27	32	12.2
6	106	14	30.8	27	35	45.4
7	106	21	49.1	27	35	55.7
8	106	29	9.2	27	39	13.7
9	106	34	23.5	27	39	29.4
10	106	45	17.3	27	41	25.9
11	106	55	38.8	27	48	21.0
12	106	55	44.6	27	52	19.5
13	106	59	35.4	27	58	23.0
14	106	53	28.0	28	3	5.8
15	106	50	21.6	28	7	57.9
16	106	52	42.2	28	11	59.2
17	106	49	48.3	28	14	37.1
18	106	49	58.6	28	21	57.9
19	106	40	0.1	28	26	8.1
20	106	32	48.9	28	24	59.0
21	106	38	11.4	28	35	29.2
22	106	46	2.1	28	40	7.3
23	106	34	39.0	28	51	32.4
24	106	34	42.0	28	56	22.2
25	106	32	48.5	28	56	19.5
26	106	26	34.8	28	45	1.8
27	106	21	41.5	28	34	21.1
28	106	24	45.4	28	29	39.4
29	106	5	34.5	28	24	19.7
30	106	5	24.2	28	19	52.3
31	106	2	49.7	28	12	53.9
32	106	2	40.0	28	8	34.1
33	105	57	34.6	28	3	19.2
34	105	52	17.7	28	1	51.9
35	105	48	49.0	28	0	46.7
36	105	37	58.2	28	9	9.6
37	105	35	20.9	27	55	13.6
1	105	45	1.8	27	42	7.4



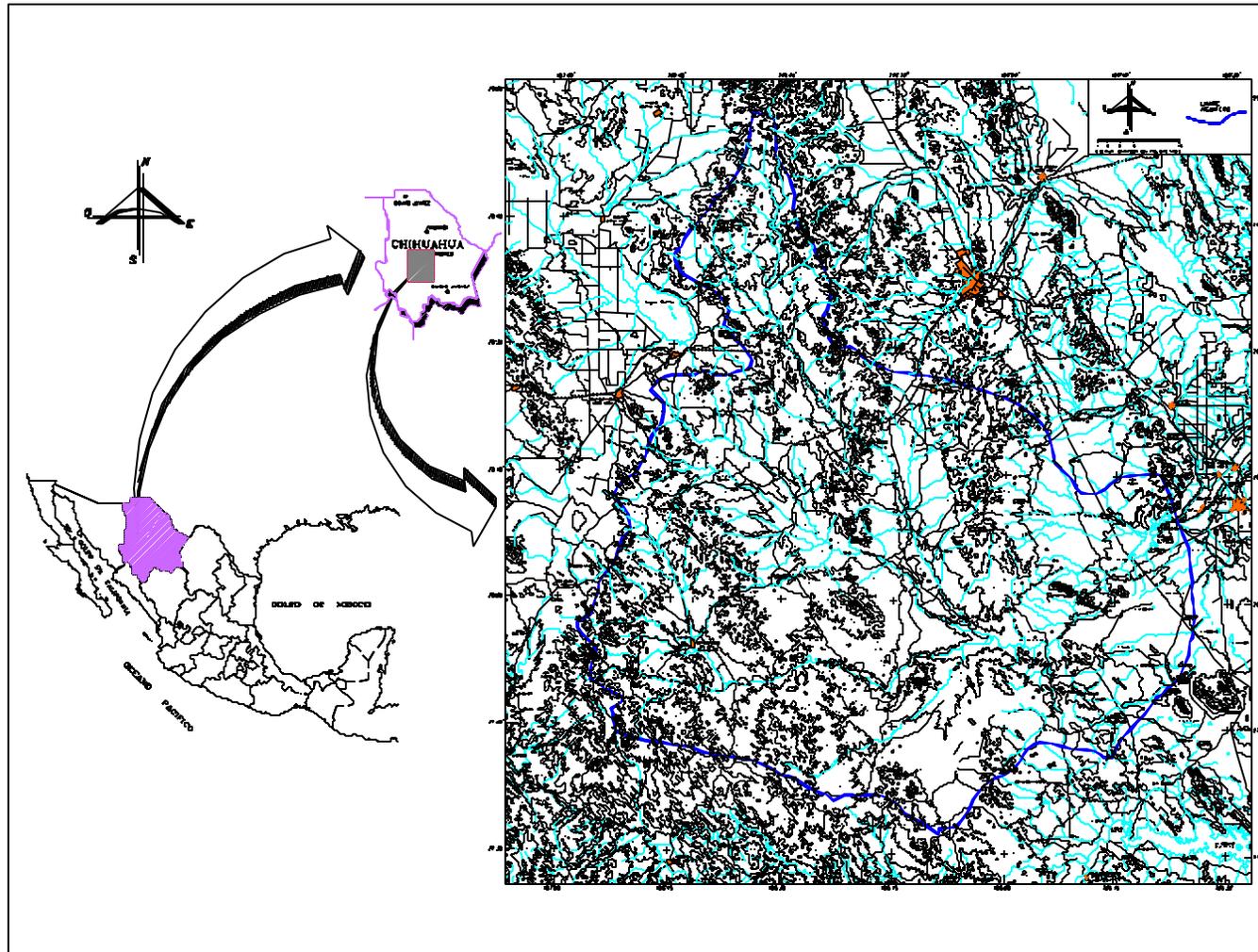
***Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica***

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO ALTO RÍO SAN
PEDRO, ESTADO DE CHIHUAHUA***

México, D.F., 30 de abril de 2002



Acuífero Alto Río San Pedro

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO ALTO RÍO SAN PEDRO, ESTADO DE CHIHUAHUA

CONTENIDO

- 1 Generalidades**
 - 1.1 Antecedentes
 - 1.2 Localización, extensión y límites
 - 1.3 División municipal
 - 1.4 Estudios técnicos realizados con anterioridad
- 2 Marco físico**
 - 2.1 Clima
 - 2.2 Hidrografía
 - 2.3 Geología
- 3 Hidrología subterránea**
 - 3.1 Tipo de acuífero
 - 3.2 Niveles del agua subterránea
 - 3.3 Censo de aprovechamientos e hidrometría
- 4 Balance de aguas subterráneas**
 - 4.1 Ecuación de balance
 - 4.2 Recarga
 - 4.3 Descarga
 - 4.4 Cambio de almacenamiento
- 5 Disponibilidad**
 - 5.1 Recarga total media anual
 - 5.2 Descarga natural comprometida
 - 5.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado
 - 5.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

Figuras

- | | |
|----------|--------------------------------------|
| Figura 1 | Zona del acuífero Alto Río San Pedro |
| Figura 2 | Profundidad del nivel estático, 1985 |
| Figura 3 | Elevación del nivel estático, 1985 |

Tablas

- | | |
|---------|---|
| Tabla 1 | Coordenadas que definen el área del acuífero Alto Río San Pedro |
| Tabla 2 | Aprovechamiento del agua subterránea |
| Tabla 3 | Balance de aguas subterráneas |

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO ALTO RÍO SAN PEDRO, ESTADO DE CHIHUAHUA

1 Generalidades

1.1 Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CNA) 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) “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales” (NOM de Disponibilidad). Esta norma a 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 CNA.

Con la publicación de la LAN en diciembre de 1992, se establece que los aprovechamientos de agua subterránea deberán de estar inscritos en el Registro Público de Derechos del Agua (RE-PDA), estimándose a esa fecha un universo de 140,000 pozos existentes en todo el país, de los cuales, unos 42,600 contaban con registro nacional y otros 10,000 tenían algún tipo de autorización. A finales de 1995 se emitieron Decretos Presidenciales que otorgan facilidades a los usuarios para inscribir sus pozos en el REPDA, que se prorrogaron hasta finales de 1999, con lo que se ha logrado captar a casi todo el universo de usuarios. Uno de los instrumentos que le dará certidumbre jurídica a los actos de autoridad de la CNA, es la publicación en el DOF de los datos de disponibilidad de agua subterránea en cada uno de los acuíferos del país y la publicación de los estudios técnicos correspondientes. Esta publicación deberá estar dentro de los lineamientos que establece la NOM de disponibilidad.

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 REPDA.

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 Registro Público de Derechos del Agua (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.

1.2 Localización, extensión y límites de la unidad hidrogeológica

El acuífero Alto Río San Pedro se localiza en la parte central del estado de Chihuahua; está limitado al norte por la sierra Azul, al noroeste por la sierra Bernabé, al oeste por las estribaciones

de la Sierra Madre Occidental, al sureste por la sierra La Cieneguilla, y al este por la presa Francisco I. Madero.

El valle cubre una superficie aproximada de 11, 088 km², las coordenadas del polígono para enmarcar el área de estudio se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 Coordenadas que definen al área del Acuífero Alto Río San Pedro

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	106	45	43.2	27	42	43.2	
2	106	55	22.8	27	50	9.6	
3	106	55	1.2	27	59	38.4	
4	106	50	20.4	28	7	58.8	
5	106	52	40.8	28	12	0.0	
6	106	49	48.0	28	14	38.4	
7	106	48	0.0	28	24	32.4	
8	106	34	26.4	28	28	1.2	
9	106	45	7.2	28	40	37.2	
10	106	34	40.8	28	57	36.0	
11	106	32	49.2	28	56	20.4	
12	106	24	3.6	28	37	33.6	
13	106	23	38.4	28	30	21.6	
14	106	4	40.8	28	25	22.8	
15	105	55	19.2	28	21	3.6	
16	105	49	1.2	28	12	43.2	
17	105	39	18.0	28	15	0.0	
18	105	35	34.8	28	6	18.0	
19	105	35	20.4	27	55	12.0	
20	105	45	39.6	27	41	27.6	
21	105	55	19.2	27	43	15.6	
22	106	8	45.6	27	32	13.2	
1	106	45	43.2	27	42	43.2	

1.3 División municipal

La zona de estudio está integrada por la totalidad de los municipios Dr. Belisario Domínguez, Gran Morelos y General Trías, y en forma parcial por los municipios de Cuzihuiriachi, Chihuahua, Riva Palacio, San Francisco de Borja, Rosales y Satevó; así como de una pequeña parte de los municipios de Cuauhtémoc, Delicias, Saucillo y Valle Zaragoza, según se puede ver en la figura 1.

El acceso a la zona es por medio de las carreteras federales No.16 y No. 24⁽¹⁾: la primera atraviesa la zona de oriente a poniente y comunica la población de Chihuahua con Cd. Cuauhtémoc, en su recorrido se puede tener acceso a poblados como Rancho de Rosas, Santa Isabel, Santa Rosa, San Juan de Abajo y Los Ojos; la carretera federal 24 atraviesa la zona de estudio de sur a norte; partiendo de Hidalgo del Parral hacia Chihuahua se tiene comunicación con diversos poblados como Ranchería Valeria, San Francisco Javier Satevó y Soliceño, hasta entroncar con la carretera No. 16, la que tiene comunicación con la capital de Chihuahua. Asimismo, la zona cuenta con diversos caminos pavimentados y otros de terracería que permiten la comunicación con otros poblados de la localidad, entre ellos se tiene el camino que parte del entronque de la carretera No.16, a la altura del poblado de Santa Rosa, y que llega a San Francisco de Borja, pasando por varias localidades. Por la parte norte de la zona, el ferrocarril que comunica a Chihuahua y Cd. Cuauhtémoc atraviesa el valle de General Trías.

Entre las poblaciones más importante que se ubican dentro del área, destacan: San Francisco Javier Satevó, General Trías, Riva Palacio, San Francisco de Borja, Santa Rosalía de Cuevas, Tutuaca y Gran Morelos, sí como poblaciones menores y rancherías como: Guadalupe, Dr. Belisario Domínguez, Vicente Guerrero, La Paz, Santa Ana de Arriba, San Cayetano, Lago de Jacales, San Andrés y Santa Cruz de Mayo.

1.4 Estudios técnicos realizados con anterioridad

En el año de 1985 se realizó un estudio geohidrológico para la cuenca alta del Río San Pedro, único del que se tiene noticia ⁽²⁾.

2 Marco físico

2.1 Clima

De acuerdo con los criterios propuestos por Köppen y modificados por E. García, en la porción occidental, donde predominan las serranías, el clima se identifica con las siglas BS₁ Kw (w), que significan semiseco, templado, con lluvias en verano y un por ciento de precipitación invernal menor de 5. En la porción central se advierte una estrecha franja orientada de norte a sur con clima BS₀ kw(w), que significa seco templado, con lluvias en verano y un por ciento de precipitación invernal menor de 5. En la porción oriental, el clima varía a BS₀ hw(w), o sea seco, semi-cálido con lluvias en verano y un por ciento de precipitación invernal menor de 5.

La temperatura media anual para esta zona es del orden de 15° a 16° C. La precipitación media anual para la zona de estudio es del orden de 450 a 500 mm. Para esta área se ha considerado una evaporación potencial media anual de 2 400 mm⁽³⁾.

2.2 Hidrografía

El acuífero Alto Río San Pedro pertenece a la Región Hidrológica No. 24, Bravo-Conchos, Subregión Hidrológica 24a Cuenca Río Conchos, Subcuenca Río San Pedro. Desde el punto de vista administrativo pertenece a la región VI Río Bravo.

¹ Plano INEGI, Condensado Estatal, Chihuahua, esc. 1: 1 250 000

² “Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chih.”, realizado por Ariel Consultores, S.A., bajo el contrato No. CRISH-85-10-E, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica, Subdirección de Geohidrología, 1985.

³ Op. Cit. Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chih.”, capítulo 2. 1985.

La red hidrográfica está constituida por el río San Pedro y su sistema de afluentes, entre los que destacan los ríos Satevó, Santa Isabel, Teporachic, San Javier, Tres Hermanos y Cieneguilla⁽⁴⁾.

El río Satevó nace cerca de Cd. Cuauhtémoc, donde se originan los arroyos Carretas y Santa Cruz, que cruzan los poblados de Gran Morelos y Belisario Domínguez, respectivamente, en el valle Gran Morelos, con dirección general NW-SE. A partir de la confluencia de estos dos arroyos la corriente recibe el nombre de río Satevó, escurriendo con la misma dirección general hasta su confluencia con el río Santa Isabel a la altura de la población de Satevó.

El río Santa Isabel nace en la porción norcentral del área de estudio, escurriendo primeramente con dirección general NW-SE. Después de pasar por la población de General Trías, cambia rumbo al oriente para entrar al valle Santa Isabel, donde recibe aportaciones del Arroyo Grande. En este valle escurre con dirección general norte a sur hasta su entronque con el río Satevó.

El río San Pedro nace cerca de la Laguna de los Mexicanos, donde tienen origen sus afluentes formadores Guisoichic, Sauz y Agua Caliente; después de su confluencia a la altura de San Francisco de Borja recibe el nombre de San Pedro, que prosigue tocando al poblado de Santa Ana y cruza la sierra con dirección oriente, arribando a San Rafael. Poco después recibe aportaciones de los arroyos San Javier, Tres Hermanos y Cieneguilla, antes de que se controlen sus escurrimientos en la presa Francisco I. Madero.

En la cuenca de la zona de estudio el patrón de drenaje establecido es de tipo dendrítico y paralelo, mostrando la región una disminución general de la pendiente hacia el oriente, concurriendo las corrientes hacia el río San Pedro que finalmente desemboca en la presa Francisco I. Madero; el almacenamiento de esta presa se utiliza en el Distrito de Riego No. 05, de Delicias, Chih. La capacidad total de la presa Francisco I. Madero es de 544 Millones de m³ ⁽⁵⁾. De la información hidrométrica existente, sólo se pueden estudiar los escurrimientos del Río San Pedro en su tramo final, mediante las estaciones Las Vírgenes y Villalba.

La estación Las Vírgenes se instaló con la finalidad de conocer el régimen del río San Pedro para el proyecto de la presa actualmente en operación. Estuvo ubicada en la boquilla Las Vírgenes, precisamente en el sitio en que fue construida la presa Francisco I. Madero; funcionó de 1934 a 1939. La estación hidrométrica Villalba se instaló en sustitución de la anterior, aproximadamente 30 km aguas arriba de la presa y tiene por objeto medirlas aportaciones del río. De acuerdo con el análisis de la estación, el volumen drenado del acuífero resulta en promedio de 25.11 Mm³/año⁽⁶⁾, para el período 1938-1981⁽⁷⁾.

⁴ Op. Cit. Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chih.", capítulo 2. 1985.

⁵ Lineamientos Estratégicos para el desarrollo hidráulico de las regiones hidrológicas Río Bravo y Cuencas Cerradas del Norte, pertenecientes a la Región VI, Río Bravo, CONTRATO SGP – GRN – RB – 98 – 01 IR, CNA. 1999.

⁶ Mm³, Millones de metros cúbicos

⁷ “Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chih.”, capítulo 2, realizado por Ariel Consultores, S.A., bajo el contrato No. CRISH-85-10-E, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica, Subdirección de Geohidrología, 1985.

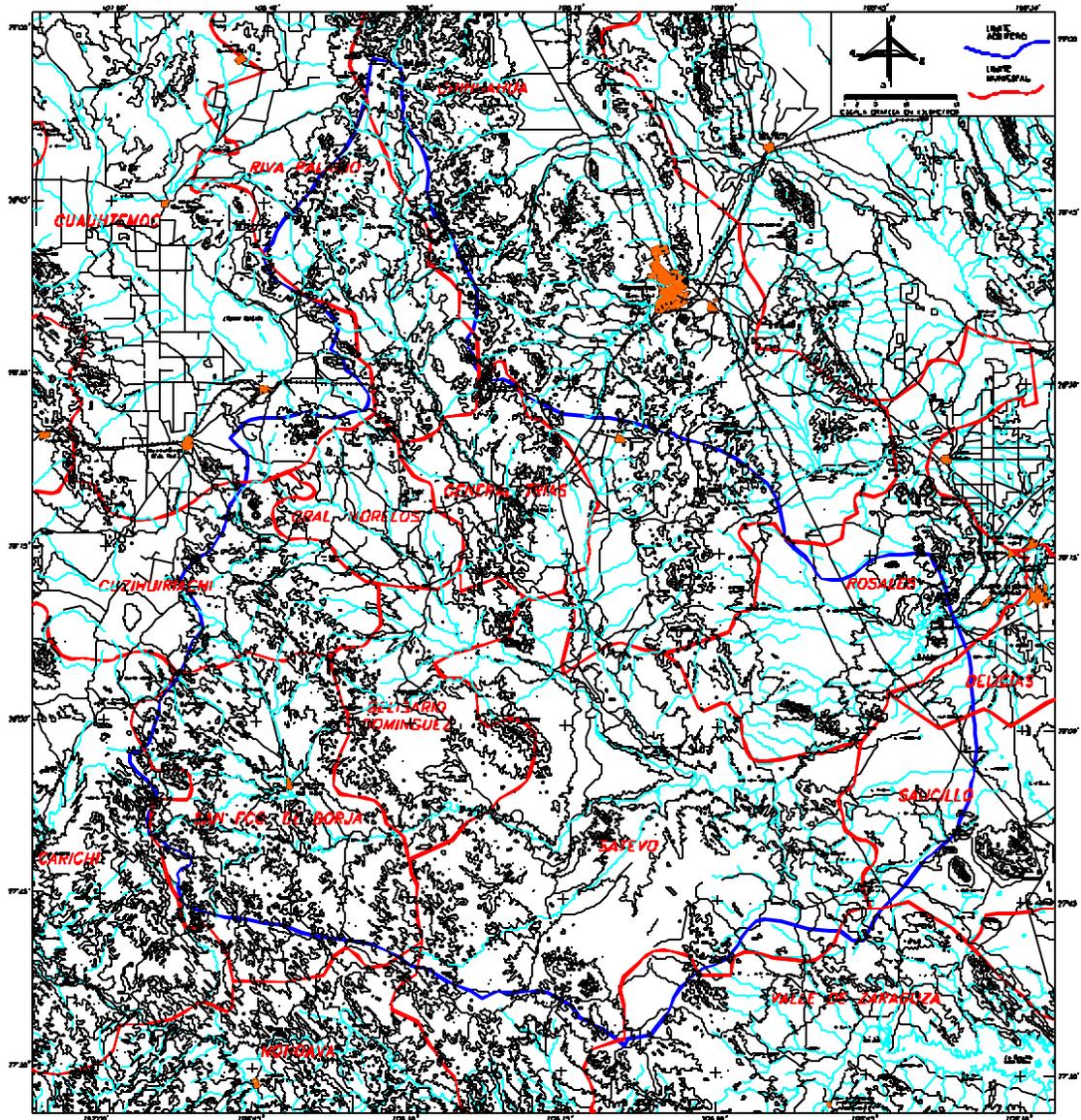


Figura 1 Zona del acuífero Alto Río San Pedro

2.3 Geología

Fisiografía y geomorfología

El acuífero del Alto Río San Pedro, de acuerdo con la clasificación de las provincias fisiográficas realizada por INEGI⁽⁸⁾, se ubica dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango, así como de una pequeña parte de la subprovincia Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses.

La geomorfología de la región presenta un relieve en forma general volcánico piroclástico de mesetas, originado durante el Terciario y cubriendo parcialmente a un relieve de montañas cretácicas. Actualmente se presentan modificadas en bloques escalonados y separados por valles de origen tectónico, en donde se depositaron posteriormente grandes volúmenes de material aluvial, encontrándose en su mayor parte disectados y con presencia de sedimentos lacustres.

Las montañas y mesetas dentro del área se caracterizan por numerosos escarpes y profundos cañones labrados por los agentes erosivos, evidenciado por la ruptura de pendiente en los sedimentos clásticos, lo cual le da un aspecto de etapa de rejuvenecimiento desde el punto de vista geomorfológico; sin embargo, en algunas zonas del área, sobre todo en los valles y regiones áridas, se encuentra en una etapa de madurez⁽⁹⁾.

Estratigrafía

De acuerdo a la estratigrafía, en el área de estudio quedan comprendidas desde rocas sedimentarias marinas del Cretácico Inferior, rocas ígneas y clásticas continentales del Terciario, hasta materiales de acarreo del Cuaternario, que a continuación se describen de las más antiguas a las más recientes.

Rocas sedimentarias calizas

Las rocas calizas del Cretácico Inferior comprenden a un conjunto de rocas marinas calcáreas que afloran en la sierra Magistral, al centro del área, en la sierra La Chaconeña, y en la sierra Savonrola en la porción oriental. Este paquete de rocas calizas corresponde a la Formación Aurora, depositada durante el Albiano Inferior y Medio en un ambiente marino de plataforma. Presentan un color gris y pardo rojizo, de textura micrítica y gramicrítica, de estratificación gruesa a masiva, con algunas capas de lutitas calcáreas. Asimismo, se observa un segundo paquete de calizas grises y café rojizas de textura calcidurítica, con estratificación gruesa a masiva; se infiere que se depositó en un ambiente de plataforma, posiblemente en el Barremiano, cuyos fósiles indican que se trata de la formación Cupido. Otro paquete de rocas se localiza estratigráficamente entre las Formaciones Aurora y Cupido, consistente de una alternancia de margas y calizas.

En el área de estudio se identifican también unidades que presentan características litológicas semejantes al grupo Washita indiferenciado y a la Formación Ojinaga. El primer grupo está constituido por una alternancia de calizas y lutitas que se depositaron en ambiente nerítico. Por su posición estratigráfica con respecto a las Formaciones Aurora y Ojinaga se le asigna al grupo Washita una edad de Albiano Superior al Cenomaniano, además de ser correlacionable con las formaciones del Río y Buda. La formación Ojinaga está constituida por calizas arcillosas, lutitas

⁸ Carta Fisiográfica, escala 1: 1 000 000; hoja Chihuahua. INEGI

⁹ Op. Cit. Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chih.", capítulo 4, 1985

y areniscas que se depositaron en ambiente nerítico, y de acuerdo a su contenido faunístico permiten fijarle una edad del Cenomiano Superior al Turoniano. El contacto inferior de la formación Ojinaga se observa concordante con la parte superior del grupo Washita indiferenciado; asimismo, está cubierta discordantemente por rocas volcánicas terciarias; al sur de la sierra Magistral aflora con un espesor aproximado de 500 m.

Conglomerados

Están constituidos por clastos depositados en un ambiente continental, relleno de las fosas tectónicas. Su tamaño varía desde gravas, cantos redondos y bloques incluidos en una matriz arenarcillosa, medianamente cementados por carbonatos de calcio y hematita. La mayoría de los clastos son derivados de rocas ígneas (riolitas, tobas riolíticas y basaltos), y de rocas calizas. La unidad se presenta en ocasiones intercalada con areniscas conglomeríticas y aflora en las zonas de Gral. Trías, en las rancherías Vallecillo y el Charco y en los poblados de Gran Morelos, Belisario Domínguez y Santa Rosalía Cuevas, formando extensas planicies. Por su posición estratigráfica, se le asigna una edad del Terciario Superior.

Del Cuaternario se presenta una unidad de conglomerados policimáticos cuyos fragmentos son de rocas ígneas principalmente que van de subredondeados a redondeados, con un rango granulométrico amplio en una matriz arcillosa, mal compactados y pobremente cementados por carbonatos de calcio. Representan las acumulaciones de origen continental más recientes, cuyos afloramientos se localizan al pie de las sierras, al sur de Santa Rosalía de Cuevas y al oriente de la sierra Chacomeña.

Aluvial

Esta unidad litológica incluye a todos los depósitos recientes de origen aluvial. Dichos materiales están constituidos por fragmentos líticos y de minerales plagioclasas, cuarzo y micas; su granulometría es variable y sus componentes van de subredondeados a redondeados. Están ampliamente distribuidos en la porción sureste del área, formando rellenos de valles fluviales o escasas planicies aluviales.

Rocas ígneas intrusivas

Granito

Se encuentran muy fracturados superficialmente y con intemperismo esferoidal. Afloran en el poblado del Aguaje, al pie de la carretera que va de Gral. Trías a Cuauhtémoc, donde está cubierto por conglomerados. Su edad se asigna al Terciario Medio.

Granodiorita

En el área de estudio aparecen afloramientos muy escasos de esta unidad, localizándose en la porción sureste, a la altura del poblado Santa María de Cuevas, de la ranchería Colonia y en la sierra Magistral. La roca presenta intemperismo esferoidal y fuerte oxidación; posiblemente su edad corresponda al Terciario medio, Eoceno-Oligoceno

Rocas ígneas extrusivas

Andesita

Estas rocas afloran principalmente en la sierra El Durazno, en el poblado de Buenavista y en la porción sureste del área de estudio. Corresponden a la secuencia volcánica calcoalcalina de la Sierra Madre Occidental. Esta unidad subyace a las rocas piroclásticas, por lo que se le asigna una edad del Terciario Inferior.

Toba intermedia

Se aprecian afloramientos de estas rocas en las cercanías de la comunidad Granillas, al oriente de Gral. Trías. Está constituida por rocas líticas andesíticas, con estructura compacta. Esta unidad pertenece también a la secuencia volcánica calcoalcalinas del Terciario Inferior.

Toba ácida

Se trata de una unidad constituida por tobas silíceas e ignimbritas que presentan con frecuencia pseudoestratificación y cubren a las areniscas del Terciario, como se aprecia en el extremo norte del área y cerca de la ciudad de Chihuahua, ya fuera del área de estudio. Se le asigna una edad correspondiente al Terciario Medio.

Riolita-Toba ácida

Esta unidad aparece ampliamente distribuida en el área, formando parte de las sierras que tienen las mayores altitudes. En algunos afloramientos se observan alternancia de riolitas con tobas ácidas brechoides. Cubren discordantemente a las rocas sedimentarias del Mesozoico así como a las rocas volcánicas del Terciario Inferior. También aparecen en algunas partes cubiertas por derrames de basalto, como sucede sobre la carretera Chihuahua a Gral. Trías, en el tramo de Palomas a San Pedro, y generalmente están cubiertas por depósitos aluviales del Terciario Superior-Cuaternario, razón por la cual se les asigna una edad del Terciario Superior, Oligoceno-Mioceno.

Basaltos

Los derrames de esta unidad afloran ampliamente en el centro y en el extremo noreste del área, formando mesetas y lomeríos suaves de poca altura; en ocasiones aparece coronando algunas de las sierras de la región. Sus derrames son compactos y masivos, aunque en algunas partes están sumamente fracturados y alterados; en ocasiones descansan sobre riolitas y tobas riolíticas, y en otras sobre conglomerados y materiales de acarreo del Terciario. Constituyen el último evento de las emisiones volcánicas del Terciario Superior, Mioceno–Plioceno.

Unidades hidroestratigráficas

El basamento geohidrológico está constituido por estructuras de calizas y los intrusivos graníticos, granodioritas y monzonitas que las afectaron y por las unidades impermeables que ocasionalmente las sobreyacen, como la secuencia de tobas intermedias y ácidas¹⁰).

¹⁰.. Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chih.", capítulo 8, realizado por Ariel Consultores, S.A., bajo el contrato No. CRISH-85-10-E, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica, Subdirección de Geohidrología, 1985.

El sistema de sierras orientadas NW-SE y que delimitan a los valles intermontanos, representan las áreas principales de recarga a los acuíferos constituidos en los diferentes tipos de conglomerados. Es posible que las calizas también representen acuíferos susceptibles de explotación.

La unidad calizas del Cretácico inferior compuesta por calizas con estratificación masiva y que alternan con algunas capas de lutita calcáreas, pueden contener buenos acuíferos en los horizontes afectados con fracturas y oquedades de disolución, que corresponden a depósitos de plataforma, siempre y cuando se localicen abajo del nivel de saturación.

La unidad arenisca-conglomerado del Terciario Superior, con morfología de lomeríos bajos y mesetas, presentan permeabilidades bajas que permiten a los pozos bombear caudales bajos (1 a 5 l/s) con profundidades de 100m. En la porción central del área destaca por su extensión un afloramiento conglomerático más reciente, compuesto por guijarros y cantos en una matriz arenosa, medianamente cementados por carbonatos. Estas condiciones le confieren una permeabilidad baja por lo que se cataloga como acuífero pobre. Los pozos perforados en esta unidad a 200 m, con información de caudales presentan gastos de 4 y 6 l/s.

Los conglomerados del Cuaternario compuestos por fragmentos de rocas ígneas en matriz arcillosa, representan acuíferos pobres con permeabilidades de media a baja.

Los depósitos aluviales del Cuaternario constituyen un acuífero importante, como lo demuestran numerosas norias perforadas a lo largo de los cauces de los ríos principales; sin embargo, por su pequeña extensión, poco espesor y buena permeabilidad, el agua subterránea drena rápidamente en zonas de fuerte pendiente topográfica, llegándose a secar algunas norias en tiempos de estiaje.

Las unidades de rocas ígneas, especialmente cuando están fracturadas, además de constituir las sierras principales que recargan a los acuíferos de los valles intermontanos, funcionan como excelente acuífero en sus partes topográficamente bajas.

Dentro de las unidades de rocas ígneas del área de estudio, dos de ellas se son favorables desde el punto de vista geohidrológico; las primeras que corresponden a las riolitas y las tobas ácidas que ocupan las sierras de mayores altitudes y que tienen permeabilidad secundaria debido al grado de fracturamiento que presentan permiten calificarlas como buenas receptoras y transmisoras del agua infiltrada, y dependiendo de su fracturamiento, hasta como excelente acuífero.

La segunda unidad esta representada por basaltos del Terciario Superior, y aunque se advierten sus derrames compactos y masivos en algunas zonas, en otras se ven sumamente fracturados por lo que su permeabilidad puede variar de baja a alta. Funciona como una unidad receptora y transmisora de agua hacia rocas más profundas de subsuelo cuando está fracturada, bien se trate de las riolitas o también de conglomerados sobre los que descansan.

En la generalidad de los pozos perforados entre 57 y 122 m de profundidad, los caudales varían entre 3 y 30 l/s, promediando unos 12 l/s. Existe en el área de Gral. Trías un pozo perforado en 1985 a 140 m de profundidad, del cual se extrae (1985) 80 l/s, al igual que otro pozo cercano para riego.

Geología histórica y estructural

La serie de acontecimientos geológicos que afectan el área en estudio puede dividirse en dos etapas principales. La primera está representada por la sedimentación Mesozoica, acompañada de eventos tectónicos sucedidos en esa Era, quedando representados dichos sedimentos por los afloramientos descritos anteriormente. La segunda etapa corresponde a la gran actividad volcánica que tuvo lugar durante el Terciario y parte del Cuaternario, misma que está representada por diversos cuerpos de rocas ígneas, intrusivas y efusivas que afloran frecuentemente en la región.

Durante el Jurásico y principios del Neocomiano existieron algunas tierras con elevación positiva rodeando la región en estudio, tales como la península de Coahuila al oriente; la región Tarahumara al occidente; la parte norte en territorio de los Estados Unidos de Norteamérica y el archipiélago de Palomas-Villa Ahumada-Aldama, quedando en esa época todo el resto del estado de Chihuahua cubierto por mares y recibiendo sedimentos clásticos, provenientes de las áreas altas de rocas pre-existentes que originaron los depósitos de la Formación Las Vigas.

Sucesivas transgresiones del mar durante el Aptiano y Albiano temprano dan por resultado depósitos de sedimentos lagunares en los bordes de las antiguas tierras con elevaciones positivas que corresponden a las facies clásticas de la Formación La Peña o yesíferas de la Formación Cuchillo del Aptiano, así como calizas neríticas que representan a la Formación Aurora, siendo estos depósitos los más antiguos que afloran en el área.

El mar cubrió casi toda la parte norte del país a fines del Albiano, dejando una angosta faja de tierra positiva, la Sierra Madre Occidental, condiciones que perdurarían estables durante el Cenomaniano (Cretácico Superior). La regresión de los mares que terminó a fines del Cretácico Superior quedó representada por los sedimentos de lutitas, calizas, margas y areniscas que constituyeron a la Formación Ojinaga y al grupo Washita. La emersión definitiva y plegamientos de estos sedimentos debieron suceder a fines del Cretácico Superior y principios del Terciario, provocados por la Revolución Laramídica, cuyos esfuerzos tangenciales se produjeron de oeste a este. Simultáneamente al máximo esfuerzo plegante y aún después del mismo, las sierras fueron afalladas debido al movimiento de acomodación de las estructuras, y más adelante vino el sepultamiento parcial de los bloques caídos por fallas, como consecuencia de una intensa erosión y actividad volcánica iniciada a fines del Oligoceno, que comenzó con la expulsión de material piroclástico y afluencia de derrames de lava (riolitas y andesitas). Después de estas emisiones tal vez ocurrieron los pocos fenómenos ígneos intrusivos locales, representados en el área por granitos y granodioritas que se observan en las cercanías del poblado Gran Morelos.

Considerando el tipo de sistema tectónico de las estructuras regionales, se puede mencionar que la fase tectónica en la que se formaron las sierras de Magistral y Chaconeña, localizadas en la porción central del área, es de tipo orogénica, razón por la cual presentan afectación por los esfuerzos tangenciales de la Orogenia Laramide, consistentes en fallas normales e inversas en los sedimentos que forman parte de las estructuras que afloran en el área.

La última fase de tectonismo es de carácter distensivo, que tuvo lugar durante el Mioceno-Plioceno, y que está representada por el desplazamiento norte-sur, originando un sistema de fosas y semigrabens en las unidades volcánicas, las cuales presentan una pseudoestratificación horizon-

tal, con la presencia de fracturamiento cuyos cortes en ocasiones atestiguan la existencia de calderas volcánicas.

La orientación general de las estructuras calcáreas sedimentarias que afloran tiene un rumbo NW-SE, con echados en los anticlinales buzando hacia el NE-SW, presentando además fallas y fracturas paralelas dispuestas perpendicularmente a las formaciones sedimentarias.

Por lo que se refiere a los macizos de rocas volcánicas, presentan un extenso fracturamiento con orientaciones variables y fallas normales a lo largo de las estribaciones de las montañas, mostrando a la vez, una inclinación de sus derrames hacia el noreste, suroeste y sureste.

3 Hidrología subterránea

Las condiciones geohidrológicas de la región son bastante complejas debido a la heterogeneidad de las rocas geológicas que comprenden no sólo las eminencias sino también los valles; el aprovechamiento de las aguas subterráneas es sumamente reducido.

Desde el punto de vista geohidrológico el área de estudio en general es pobre en cuanto a su potencial debido a sus bajas permeabilidades⁽¹¹⁾. Lo anterior se ha constatado por los bajos rendimientos de los pozos, salvo algunas excepciones, ya que de acuerdo a información geohidrológica estatal de Chihuahua del año de 1985, de exploraciones cercanas a esa fecha y realizadas por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, se obtuvieron en algunas de ellas resultados satisfactorios con caudales de hasta 70 l/s; sin embargo, en otras exploraciones se obtuvieron resultados negativos.

La explotación de aguas subterráneas en el área de estudio es bajo, y aunque actualmente no rebasa su potencial, debe considerarse que la zona en términos generales es geohidrológicamente pobre, por lo cual se debe tener una adecuada planeación de este recurso.

Las zonas de recarga más importantes se localizan en la unidad de riolitas y tobas ácidas que forma el sistema de sierras con mayores elevaciones, pudiendo ser al mismo tiempo un buen acuífero susceptible de explotar en sus partes bajas, colindantes con las planicies. Recarga a los acuíferos constituidas en las diferentes unidades de conglomerados tanto del Terciario como del Cuaternario, en las porciones sur y occidental del área de estudio, así como en la porción central.

La disposición geológica estructural de las sierras y valles obligan al agua subterránea a circular de NW a SE; en los valles de los ríos Satevó y Santa Isabel, se pueden inferir intercomunicaciones subterráneas a través de la unidad de alternancia de riolitas y tobas ácidas (afectadas por fracturamiento), en las porciones norte y central, por la estrecha garganta presente entre los afloramientos calizos, por lo que al último sito citado se refiere.

El agua subterránea del acuífero Alto Río San Pedro reconoce finalmente los alrededores del vaso de la presa Francisco I. Madero. Los escurrimientos subterráneos de los valles General Trías y Gran Morelos alimentan a los del valle de Santa Isabel, que también son enriquecidos con recargas provenientes de los valles donde se desarrollan los arroyos San Javier y Tres Hermanos. A

¹¹ Op. Cit. Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chih.", capítulo 4. 1985.

la altura de Satevó la dirección adoptada por el flujo subterráneo parece coincidir sensiblemente con el cauce del río San Pedro.

3.1 El acuífero

El acuífero granular funciona como libre o freático (¹²).

A falta de información directa, esto es, de pruebas de bombeo, las características hidráulicas del acuífero Alto Río San Pedro, se estiman para la transmisividad del orden de $0.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, semejante a valores obtenidos en pruebas de bombeo en el área de Cd. Cuauhtémoc, el cual colinda con este acuífero.

3.2 Niveles del agua subterránea

El acuífero del Alto Río San Pedro cuenta con datos de niveles piezométricos correspondientes a los años de 1985 y 1986.

Profundidad del nivel estático

En el acuífero del Alto Río San Pedro las profundidades del nivel estático para el año de 1986 (¹³), se pueden observar en la configuración de la figura 2, que en general varían de 5 a 80 m.

En el valle de General Trías oscilan de 5 a 15 m, las mayores se localizan en su parte noroeste a la altura del lugar El Venado y parte sur, al este del poblado de General Trías; valores de 5 m se encuentran al norte de Riva Palacio, El Terrero y en el Rancho Las Rosas.

En el Valle de Gran Morelos las profundidades de los niveles estáticos varían de 10 a 80 m localizándose las mayores al sur del poblado de San Juan de Abajo, valores de 20 a 60 m se presentan en forma de una envolvente alargada entre Entronque Tacaba, Ciénega de Castillos, Cieneguilla, La Laborcita de San Javier y Santa Rosa. Profundidades del nivel estático de 30 y 35 m se observan en el poblado de La Paz. En el área del poblado de Tutuaca se observan valores de 15 m; valores de 10 m corresponden a las estribaciones de las sierras que delimitan el valle, donde ocurre una parte de la recarga al acuífero; las menores profundidades del nivel estático de 5 m se localizan en las inmediaciones de los poblados de Guadalupe Cruz de Mayo, Dr. Belisario Domínguez y Vicente Guerrero.

Elevación del nivel estático

La configuración de las curvas de igual elevación del nivel estático en 1986, muestra que el agua subterránea en los valles de General Trías y Gran Morelos, el sentido general de ambos flujos subterráneos es de NW a SE, tal como se puede observar en la figura 3.

En el primero de los valles, al norte del poblado de Riva Palacio, el acuífero presenta una altitud del nivel estático de 1800 msnm; el agua subterránea fluye de este sitio hacia el sureste, y más o menos a la altura del poblado de General Trías cambia el flujo hacia el oriente alimentando al

¹² Tabla de condiciones geohidrológicas en los acuíferos del estado de Chihuahua, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, subgerencia de de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, 1997.

¹³ “ Estudio geohidrológico de la zona cuenca alta del Río San Pedro, Chih.”, capítulo 6, realizado por Ariel Consultores, S.A., bajo el contrato No. CRISH-85-10-E, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, Dirección General de Control de Ríos e Ingeniería de Seguridad Hidráulica, Subdirección de Geohidrología, 1985.

acuífero en el área de Santa Isabel, donde el flujo se manifiesta con rumbo norte a sur, hasta la población de Satevó.

El flujo subterráneo que se presenta en el valle de Gran Morelos, que se inicia con una altitud del nivel estático de 1950 msnm, después de pasar por Belisario Domínguez, cambia el rumbo hacia el oriente para recargar el acuífero del valle de Santa Isabel, a través de una estrecha garganta entre calizas; esta alimentación se une al flujo principal de ese valle.

En el valle de Santa Isabel el agua subterránea fluye de norte a sur desde el poblado San José hasta la población de Satevó; en este sitio, la altitud del nivel estático del acuífero es de 1400 msnm y el flujo apunta en dirección al oriente, y considerando que en el área de Ciudad Delicias, ubicada al este de la presa Francisco I. Madero y fuera del área de estudio, la altitud de los niveles de agua subterránea fluyen de la cota 1 190 msnm a 1 150 msnm, se puede inferir que el agua subterránea en el área de estudio sigue una trayectoria hacia la presa Francisco I. Madero.

En el valle intermontano de San Francisco de Borja las condiciones geológicas parecen propiciar una alimentación proveniente del acuífero de la Laguna de Mexicanos, y de hecho esta situación se puede observar en esa área, donde se tiene una salida de agua subterránea a la altura de Santa Rita y San Bernabé, con dirección hacia las barrancas que se localizan en la sierra Álamo Mocho.

Evolución del nivel estático

Con base a información de datos de niveles estáticos de en el período diciembre 1985 y agosto 1986, derivada de cuatro recorridos de observaciones piezométricas, se observa como un hecho generalizado un descenso de los niveles estáticos entre diciembre de 1985 a febrero de 1986; en algunos aprovechamientos esta tendencia se prolonga hasta el mes de mayo, pero en otros ya se notan recuperaciones piezométricas, lo cual ya se generaliza para agosto de 1986 en la gran mayoría de los aprovechamientos de agua subterránea. El descenso de los niveles piezométricos primeramente mencionado corresponde a la temporada de estiaje la región, y se prolonga hasta el mes de abril y mayo para algunas zonas; para mayo en algunas norias manifiestan síntomas de recuperación de sus niveles de agua subterránea, debido por las primeras infiltraciones de agua de las precipitaciones pluviales. Para agosto la recuperación piezométrica es un fenómeno generalizado en el área de estudio. Lo anterior da una idea de las variaciones estacionales que manifiesta el almacenamiento subterráneo.

De información reciente, proporcionada por la Gerencia de Aguas Subterráneas, el acuífero no presenta variación de sus niveles piezométricos⁽¹⁴⁾.

3.3 Censo de aprovechamientos e hidrometría

Del total de los 160 aprovechamientos que se tienen censados en el área, 119 son pozos y 41 norias⁽¹⁵⁾. La extracción por pozos es de 15.91 Mm³/año y 3.41 Mm³/año a través de norias.

En la tabla siguiente se muestra el aprovechamiento por usos del agua subterránea en la zona donde se localiza el acuífero Alto Río San Pedro.

¹⁴ Tabla de condiciones geohidrológicas en los acuíferos del estado de Chihuahua, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, subgerencia de de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, 1997.

¹⁵ Tabla de evaluación de la extracción de acuerdo al tipo de aprovechamiento, CNA, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, 1997.

Tabla 2. Aprovechamiento del agua subterránea¹⁶⁾

Uso	Volumen Mm ³ /año	Porcentaje (%)
Doméstico- Abrevadero	0.8	4.1
Agrícola	10.98	56.9
Público Urbano	7.54	39.0
Total	19.32	100

La extracción total de agua subterránea en la zona es de 19.32 Mm³/año, la cual se destina principalmente para la agricultura, y en menor proporción para uso público urbano.

¹⁶ Tabla de evaluación de la extracción de acuerdo al uso del agua, CNA, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, 1997

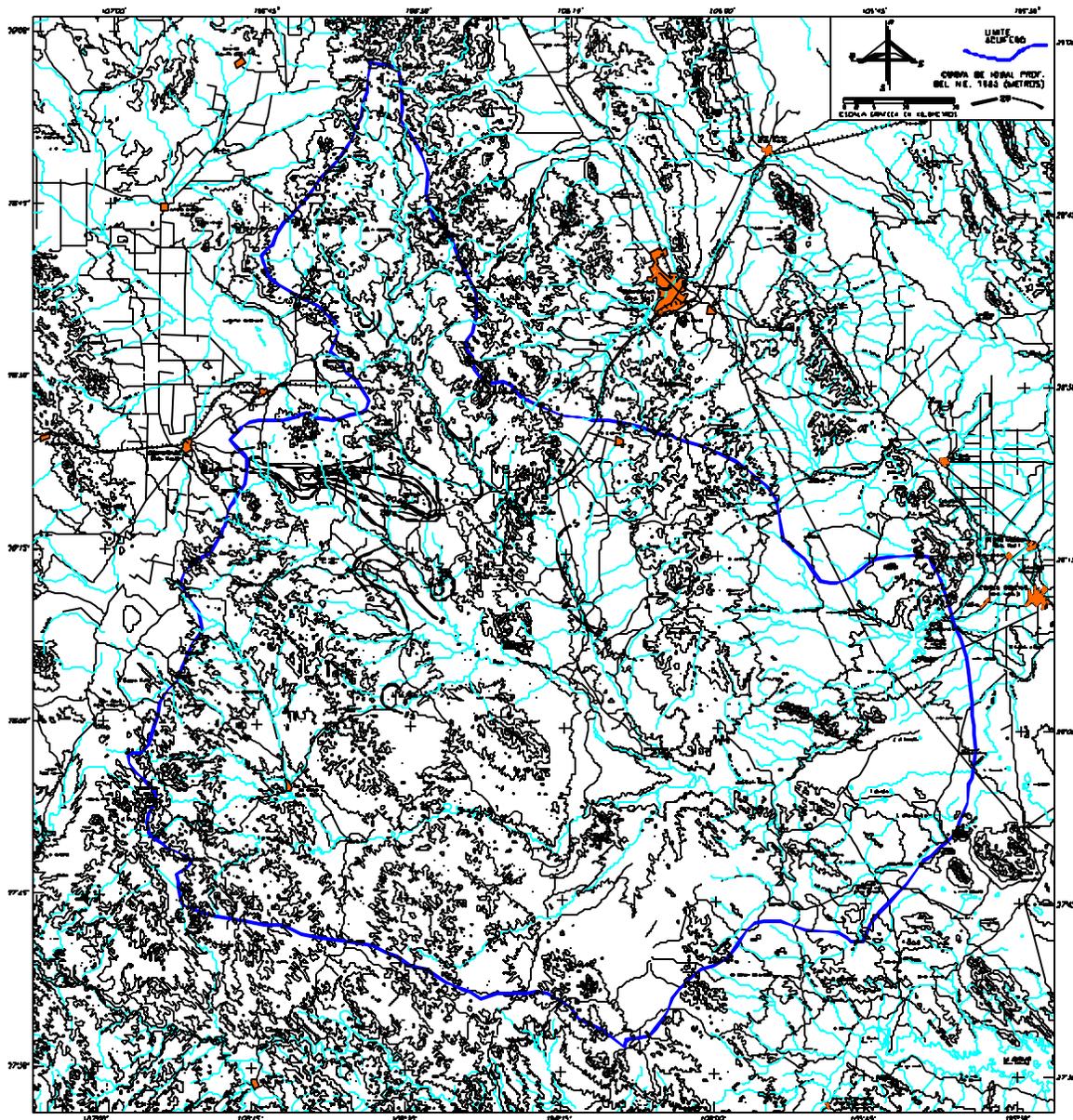


Figura 2 Profundidad del nivel estático. 1985

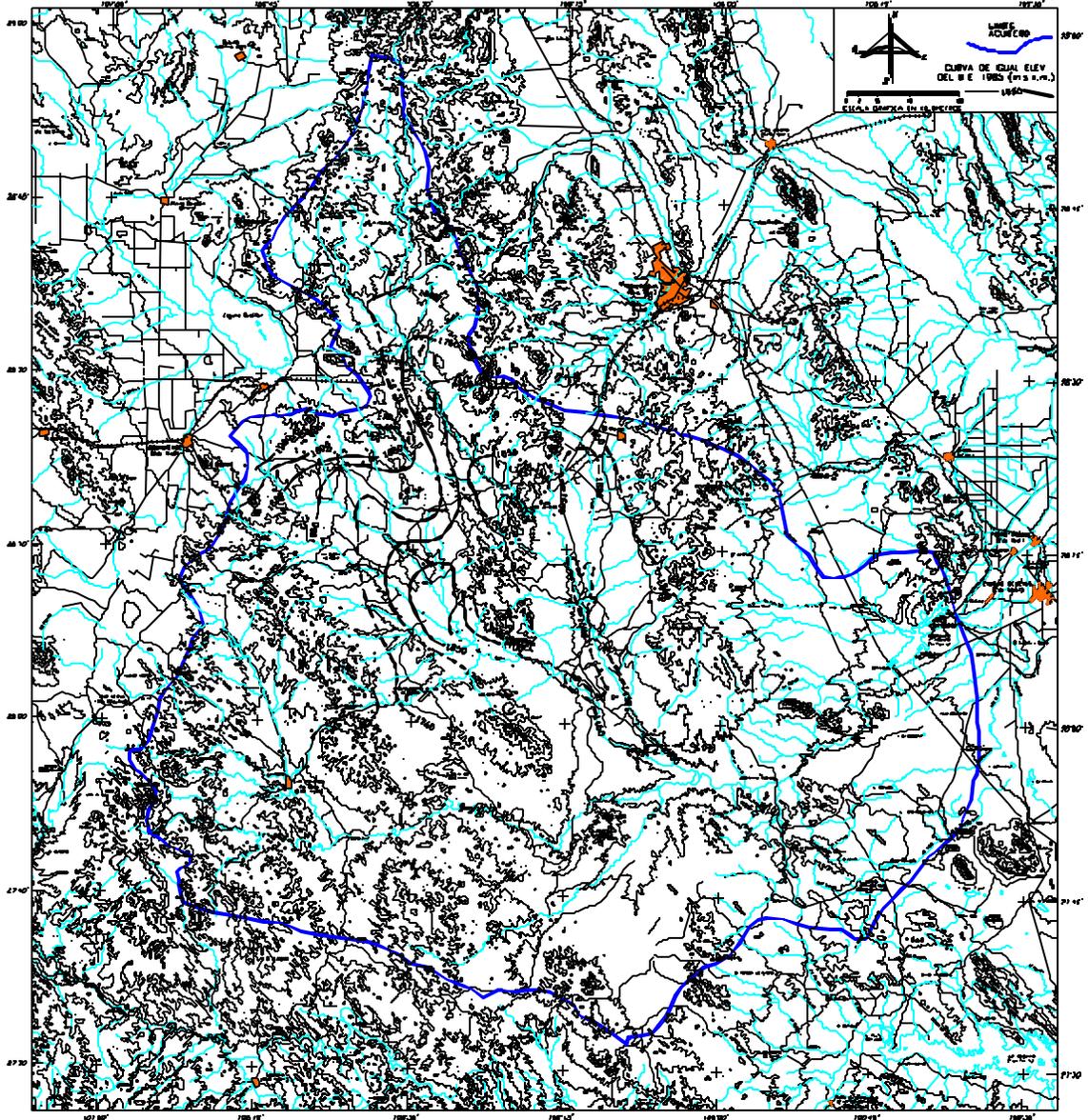


Figura 3 Elevación de los niveles estáticos. 1985

4 Balance de aguas subterráneas

4.1 Ecuación de Balance

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 anualmente por el almacenamiento del subsuelo.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

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

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total, y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica, quedando como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en la unidad hidrogeológica} \dots\dots\dots (2)$$

4.2 Recarga

La recarga del acuífero proviene de las infiltraciones del agua de lluvia que se precipita en las sierras, y de la que se precipita en las partes bajas donde las formaciones permiten dicha infiltración; el agua de lluvia que fluye por los ríos en parte también se infiltra, y en este caso se considerará como parte integral de los volúmenes que recargan al acuífero procedentes de la precipitación, debido por un lado a que no provienen de otras cuencas ni sus escurrimientos son perennes sino de temporal; el acuífero recibe recarga del exceso de agua aplicada en la irrigación en los campos de cultivo.

La recarga natural considerada como la suma de la infiltración del agua de lluvia más el flujo subterráneo proveniente de las zonas montañosas que rodean al valle, se ha calculado en 54.4 Mm³/año, repartida como sigue: una superficie de 3 400 km², una precipitación de 450 mm y un coeficiente de infiltración de 0.03, dando como resultado una recarga natural de 45.9 Mm³/año, además, la recarga subterránea horizontal es de 8.5 Mm³/año, que corresponde al agua de lluvia infiltrada en las sierras y que llega al acuífero en sus partes bajas como una entrada horizontal, así como una parte de los volúmenes que ingresan por la zona oeste del acuífero de estudio y que proceden de acuíferos contiguos, como es el caso del acuífero de La Laguna Mexicanos. Es importante mencionar que no toda el agua que sale del acuífero de La Laguna de Mexicanos entra al acuífero del Alto Río San Pedro, sino sólo una parte, la demás es posible que se pierda a profundidad.

La recarga inducida proviene del agua subterránea que se utiliza en exceso para el riego, y en una menor proporción del agua utilizada en el uso público urbano.

El monto total de la recarga inducida se ha calculado en 1.9 Mm³/año, resultado de multiplicar el volumen aplicado al riego (10.98 Mm³/año de agua subterránea), por un coeficiente de infiltración de 0.10 y de multiplicar el volumen utilizado en usos urbanos (7.54 Mm³/año) por un coeficiente de 0.10

4.3 Descarga

Las salidas del sistema acuífero están integradas por las descargas naturales que en condiciones originales presentaba el sistema, y que aún cuando hayan sido modificadas por las condiciones actuales de explotación, aún persistan; más las descargas artificiales por efecto del bombeo en

los pozos. Las salidas totales del sistema se han calculado en 56.3 Mm³/año, distribuidos de la siguiente manera.

Las descargas naturales del acuífero consisten en aquellas por flujo subterráneo horizontal que se presentan particularmente entre el poblado de San Pedro y el de Satevó, donde el flujo subterráneo adopta una tendencia a coincidir sensiblemente con el cauce del río San Pedro, o sea hacia el oriente, hasta la presa Francisco I. Madero; calculadas en 6.6 Mm³/año, más la descarga por evapotranspiración que se tiene en las áreas de niveles someros considerados hasta 5 m de profundidad, y que en total son del orden de 220 km², resultando 5.28 Mm³/año al considerar un porcentaje de 0.01 de la evaporación⁽¹⁷⁾.

La extracción de agua subterránea se ha calculado en 19.32 Mm³/año, conformada por la extracción en pozos y norias.

De acuerdo a la piezometría existente del acuífero de Delicias - Meoqui, el acuífero tiene una entrada por flujo subterráneo procedente del área donde se ubica la presa Francisco I. Madero, la cual se ha calculado en 4.0 Mm³/año

4.4 Cambio de almacenamiento

Como se ha comentado anteriormente, el acuífero del Alto Río San Pedro se encuentra prácticamente en equilibrio dinámico, y el volumen que entra es semejante al volumen que sale, con un cambio de almacenamiento bajo.

Para el cálculo de este término se consideró un coeficiente de almacenamiento de 0.0737, tomando en cuenta que el acuífero no manifiesta cambio en su almacenamiento.

5 Disponibilidad

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas se aplica el procedimiento establecido en la Norma, que establece la metodología para calcular la disponibilidad de aguas nacionales.

La disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{rcccl} \text{Disponibilidad media} & = & \text{Recarga} & - & \text{Descarga} & - & \text{Volumen anual de} & \dots(3) \\ \text{anual de agua subterránea} & & \text{total} & & \text{natural} & & \text{agua subterránea} & \\ \text{en una unidad hidrogeoló-} & & \text{media anual} & & \text{comprometida} & & \text{concesionado e} & \\ \text{gica} & & & & & & \text{inscrito en el RE-} & \\ & & & & & & \text{PDA} & \end{array}$$

5.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual, calculado como la suma de la recarga natural (54.4 Mm³/año) más la recarga inducida (1.9 Mm³/año), arroja un valor de 56.3 Mm³/año.

¹⁷ Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos. Subdirección General de Administración del Agua, CNA, 1994

Tabla 3 Balance de aguas subterráneas

Área total del acuífero Alto Río San Pedro			km ²	11,088
RECARGA TOTAL				
	Área de valle		km ²	3,400
	Coefficiente	I ₁		0.03
	Precipitación		mm/año	450.0
Recarga natural por lluvia			Mm ³ /año	45.8
Entradas horizontales		Eh	Mm ³ /año	8.5
Total de recarga natural			Mm ³ /año	54.3
Recarga inducida P.U.		I ₂	Mm ³ /año	0.10
	Público Urbano			0.8
Recarga inducida Agrícola + otros		I ₃	Mm ³ /año	0.10
	Agrícola más otros			1.2
RECARGA TOTAL			Mm ³ /año	56.3
DESCARGA TOTAL				
Salidas horizontales		Sh	Mm ³ /año	6.6
Caudal base		Q _{base}	Mm ³ /año	25.1
Evapotranspiración			Mm ³ /año	5.3
	160 Extracción total		Mm ³ /año	19.3
	Manantiales comprometido		Mm ³ /año	
	Agrícola		Mm ³ /año	10.98
	Público urbano		Mm ³ /año	7.54
	Industrial		Mm ³ /año	0.00
	Otros		Mm ³ /año	0.80
DESCARGA TOTAL			Mm ³ /año	56.3
Cambio de almacenamiento		DA	Mm ³ /año	0.0
Coefficiente de almacenamiento		S		0.07373
Volumen drenado (0 m/año)		Vd	Mm ³ /año	0
Area de abatimiento			km ²	1

5.2 Descarga natural comprometida

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Respecto al caudal base, es del orden de 25.11 Mm³/año. Para este acuífero las salidas de agua subterránea que se tienen se pueden considerar que están comprometidos en parte; en este sentido, de acuerdo a la piezometría del acuífero de Delicias–Meoqui el volumen comprometido hacia aguas abajo es del orden de 4.0 Mm³/año, a fin de garantizar los volúmenes de agua que alimentan a la zona contigua, localizada al oeste de la zona de estudio. De acuerdo a lo anterior la descarga comprometida es del orden de 29.11 Mm³/año.

5.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

El volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), al 30 de abril de 2002, consiste en 9'924,314 m³/año.

5.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada en la “Norma que establece la metodología para calcular la disponibilidad de aguas nacionales” se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA, de esta forma la disponibilidad es de 17'265,686 m³/año.

$$17'265,686 = 56'300,000 - 29'110,000 - 9'924,314$$

La cifra indica que existe volumen disponible de 17'265,686 m³/año para nuevas concesiones en el acuífero de Alto Río San Pedro, Chih. En este sentido, se debe considerar no incrementar la extracción en las áreas donde se tienen condiciones geohidrológicas que presentan síntomas de abatimiento

México, D.F., 30 de abril de 2002