



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO ROSARIO-TESOPACO-EL QUIREGO
(2646), ESTADO DE SONORA**

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	6
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica.....	6
3.2 Clima.....	7
3.3 Hidrografía.....	9
3.4 Geomorfología.....	9
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1 Estratigrafía.....	9
4.2 Geología estructural	13
4.3 Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos	16
5.3 Piezometría.....	17
5.4 Comportamiento hidráulico.....	17
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3 Evolución del nivel estático	18
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	20
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	21
7.1 Entradas.....	21
7.1.1 Recarga natural.....	21
7.1.2 Recarga inducida	21
7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	21
7.2 Salidas	21
7.2.1 Evapotranspiración.....	21
7.2.2 Descargas naturales.....	22
7.2.3 Extracción por bombeo (B).....	22
7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	22
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)	23
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1 Recarga total media anual (R).....	26
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	26
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	27
9. BIBLIOGRAFÍA	28

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 Rosario Tesopaco-El Quiriego, definido con la clave 2646 por la Comisión Nacional del Agua está ubicado al sur del estado de Sonora, al noroeste de la Presa A. Ruiz Cortines, tiene registrados alrededor de 300 aprovechamientos; su superficie es de 1,744 km², colinda al norte con el acuífero Río Chico, al este con San Bernardo, al sur con Valle del Mayo y al oeste con los acuíferos Cocoraque y Cumuripa (figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 2646 ROSARIO- TESOPACO- EL QUIRIEGO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	109	17	18.0	27	59	53.7
2	109	10	31.4	27	56	3.8
3	109	2	34.8	27	34	38.0
4	109	11	5.8	27	22	50.3
5	109	18	47.7	27	28	35.0
6	109	23	25.8	27	43	44.3
7	109	27	24.1	27	44	46.8
8	109	27	34.1	27	48	56.1
9	109	29	37.0	27	57	48.0
1	109	17	18.0	27	59	53.7

Rosario Tesopaco. El municipio está ubicado al sureste del estado de Sonora, su cabecera es la población de Rosario de Tesopaco, a una altura de 450 msnm. Aproximadamente el 25 % de la superficie del municipio se ubica dentro del acuífero.

Colinda al norte con el municipio de Yécora, al noreste con el Estado de Chihuahua, al sur con el municipio de Quiriego, al oeste con el municipio de Cajeme y al noroeste con el municipio de Onavas. Posee una superficie de 3,636 km² que representa el 1.78% del total estatal. Las localidades más importantes, además de la cabecera, son: Nuri, Movas y Cedros.

La agricultura se desarrolla en una superficie de 5,327 hectáreas, de las cuales el 82.5% son de temporal y el resto de riego. La práctica de esta actividad básicamente se destina para la producción de autoconsumo y de sostenimiento para la actividad ganadera. Los principales cultivos son: ajonjolí, sorgo forrajero, sorgo grano, maíz y frijol. Se realiza en una superficie de 354,891 hectáreas de agostadero, en las que se manejan 35,055 cabezas de ganado bovino, 478 de caprino y 1,356 de equino.

En el municipio se cuenta con 6,293 hectáreas de praderas de zacate. La red de carreteras del Municipio está integrada por la carretera pavimentada Ciudad Obregón-Chihuahua que permite la comunicación a la cabecera municipal.

El Quiriego. El municipio está ubicado en el sureste del Estado de Sonora, su cabecera es la población de Quiriego. Colinda con los municipios siguientes: al norte con Rosario; al este con Álamos; al sur con Navojoa y el Estado de Chihuahua y al oeste con Cajeme. Y se encuentra a una altura de 222 msnm. Aproximadamente el 23 % de la superficie del municipio se ubica dentro del acuífero. Posee una superficie de 2,705.72 km² que representan el 1.46 % del total estatal; las localidades más importantes, además de la cabecera, son: Batacosa y Tepahui.

La agricultura ocupa el segundo lugar en importancia después de la ganadería, se desarrolla en una superficie abierta al cultivo de 7,138 hectáreas, de las cuales 6,289 son de temporal y 849 de riego. Los principales cultivos son: ajonjolí, sandía, sorgo forrajero, maíz, frijol y zacates. La ganadería se desarrolla sobre una superficie estimada de 338,824 hectáreas de agostadero y 23,500 hectáreas de praderas de zacate buffel. De esta superficie la mayoría corresponde al sector social: Ejidal y comunal, en ella pastorean en el 2001 aproximadamente 34,096 cabezas de ganado.

El municipio cuenta con una longitud de red carretera de 336 kilómetros, de ellos 34 kilómetros son carreteras alimentadoras estatales y 302 son de caminos vecinales y de acceso (Tabla 2).

Tabla 2. Población y tasa de crecimiento del municipio de Tesopaco.

Población			Tasa de crecimiento (%)	
1980	1990	2000	1980/1990	1990/2000
6,656	6,127	5,432	-0.8	-1.21

La población total en el año 2000 es de 5,432 habitantes de los cuales 2,833 son hombres y 2,599 son mujeres siendo su tasa de crecimiento negativa de 1.21 %. La población económicamente activa del municipio es de 1,659 habitantes, de los cuales 1,629 tienen ocupación y 30 se encuentran desocupados, de las personas ocupadas 826 se dedican al sector primario, 306 al sector secundario, 474 al terciario, 23 no especifican actividad y 2,390 habitantes son económicamente inactivos (Tabla 3).

Tabla 3. Población y tasa de crecimiento del municipio de Quiriego.

Población			Tasa de crecimiento	
1980	1990	2000	1980/1990	1990/2000
4,474	3,346	3,335	-2.9	-0.03

Hasta 1998, el 31% de la población se concentraba en la cabecera municipal y, el 69% restante vive en localidades rurales, ejidos, rancherías y comunidades como: Machilibampo, Tepahui, Goijaquía, Bacusa, Los Bajíos, Batacosa, Cabora y el Tanque principalmente.

El municipio cuenta con una población de 3,335 habitantes de acuerdo al Censo General de Población y Vivienda 2000, de los cuales 1,535 son mujeres y 1,800 son hombres. Respecto al total de la población Estatal, se ubica en el lugar 38 y representa el 0.15%.

1.2. Situación administrativa del acuífero

Para evitar y controlar el incremento de las extracciones de agua subterránea, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (actualmente Comisión Nacional del Agua), ha decretado a través del tiempo una serie de Vedas para la explotación de este recurso, las cuales involucran la mayor parte del territorio sonorense. Sin embargo, los límites del acuífero se ubican en zona de libre alumbramiento.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

La ganadería es la principal actividad productiva organizándose el gremio ganadero en asociaciones ganaderas locales integradas por ejidatarios y ganaderos particulares. El 30 de agosto del 2000, se instaló el Consejo de cuenca Río Mayo, que es un órgano colegiado de integración mixta, instancia de coordinación y concertación, apoyo, consulta y asesoría, entre la CONAGUA, incluyendo el Organismo de Cuenca Noroeste, y las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal, y los representantes de los usuarios de agua y de las organizaciones de la sociedad, de la respectiva cuenca o región hidrológica.

Por otra parte, los Consejos Ciudadanos del Agua Estatales son también organizaciones autónomas que trabajan como canales de participación de los ámbitos locales que trabajan a favor de la difusión de información del agua, tendiente a fomentar su cuidado y uso sustentable. El 30 de octubre del 2000 se instaló la Alianza sonorense por el Agua, A.C.

En el área del acuífero se cuenta con 14 unidades de riego, organizándose los agricultores en unidades de riego de tipo ejidal y pequeña propiedad. De acuerdo al volumen concesionado en el acuífero el principal uso es el público urbano, y en segundo término el uso agrícola.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Se tienen los estudios realizados por: Alencaster G. (1961), Fries, C. (1962) y Astier, J.L. (1982) enfocados a aspectos crono-estratigráficos de la región y Arámbula M. D.A., J.C. Palomino M. (1991), Brooks K.N., P. F. Folliott, H.M. Gregersen, J.L. Thames. (1991), Comisión Nacional del Agua. Subgerencia Regional Técnica. Gerencia Regional (2004) y Geólogos Consultores Asociados S.A. (1979), enfocados principalmente a los aspectos geohidrológicos predominantes en la región.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área se encuentra ubicada en la porción sur del Estado de Sonora, fisiográficamente, según Raisz (1964), queda comprendida en la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, perteneciendo a la Subprovincia de Planicie de Lava.

En la Planicie de Lava las montañas son alargadas con orientación noroeste- sureste y altitudes de 500 a 2300 msnm

3.2 Clima

En un estudio realizado por la CNA, Subgerencia Técnica de Sonora, se estimó el valor de los diferentes componentes del ciclo hidrológico, ubicándose la zona del acuífero en la cuenca del arroyo El Quiriego, correspondiente al área drenada por esta corriente hasta la entrada al vaso de la presa Adolfo Ruiz Cortines, Mocuzari, en la Región Hidrológica 9, Sonora Sur.

Con base en la información recopilada, se llevó a cabo el análisis climatológico de la cuenca del arroyo El Quiriego, hasta Tesocoma, Sonora; a partir del análisis del registro de datos se seleccionaron las estaciones climatológicas Tezocoma, El Quiriego y Tesopaco.

La temperatura en el área se obtuvo a partir de la información recopilada de las estaciones climatológicas Tezocoma, Quiriego y Tesopaco. Para la cuenca, se tiene una temperatura media de 22.7° C.

El régimen pluvial en esta cuenca es variable, pero de manera general presenta dos períodos de ocurrencia, el primero corresponde a las lluvias de verano entre los meses de julio a septiembre en que se presentan los valores más altos, y otro que abarca de diciembre a febrero; en los meses restantes las precipitaciones son considerablemente menores.

El cálculo de los promedios anuales de la cuenca se realizó a partir del método de Polígonos de Thiessen. La precipitación media anual en la subcuenca de la zona es de 690.6 mm.

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso debido a la radiación solar; se estima que en este proceso del ciclo hidrológico entre el 75 y 95 % de la precipitación total anual que ocurre sobre los continentes retorna a la atmósfera en forma de vapor.

La evapotranspiración real (ETR) fue calculada por el método de Turc; esta ecuación empírica se expresa de la siguiente forma:

$$ETR = P / (0.9 + (P^2/L^2)^{1/2})$$

Donde:

- ETR:** Evapotranspiración real, en mm
- P:** Precipitación media anual, en mm
- L:** $300 + 25T + 0.05T^3$
- T:** Temperatura media anual, en °C

Con el método de Turc se obtuvo un valor medio en la cuenca de 644.6 mm que representa el 93.3 % de la precipitación Tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de Evapotranspiración

AÑO	PRECIP. (mm)	TEMP. (°C)	L	ETR (mm)
1963	629	22.3	1408.7	599.9
1964	634.2	20.3	1228.8	587.3
1965	566.6	21.5	1331.9	545
1966	636.1	22	1383.1	603.4
1967	587	22.8	1467.2	570.2
1968	778.9	22.2	1402.7	708.6
1969	561.3	21.9	1368.6	543.1
1970	637.5	23.2	1506.6	613.7
1971	739.3	21	1284.7	666.3
1972	623.3	22.7	1449.3	598.4
1973	677.6	21.3	1314.5	627.6
1974	632.5	21.8	1359.4	598.6
1975	568.1	21.2	1307.6	544.4
1976	562.9	21.6	1340	542.5
1977	570.6	23	1480.6	557.2
1978	924.7	22.7	1449.6	808.8
1979	485.3	22.1	1391.9	480.1
1980	625.4	22.9	1471.1	601.5
1981	773.5	23.2	1503.4	716.7
1982	716.1	23.3	1513.4	675.5
1983	1,014.00	22.3	1413.3	852.5
1984	1,005.00	22.6	1443.7	854.1
1985	724.1	22.8	1460.5	676.4
1986	709.6	23.3	1517	670.8
1987	537.8	23.4	1528.4	531.5
1988	738.2	23	1487	689.4
1989	662.6	23.6	1543.9	636.3
1990	1,008.40	22.7	1455.7	858.5
1991	769.1	22.5	1428.7	705.1
1992	784.2	22.9	1470.3	720.5
1993	727.6	23.2	1502.4	683.1
1994	837.5	23.2	1504.9	761.4
1995	709.3	23.2	1502	669.3
1996	775.3	23.2	1500	717.6
1997	748.5	22.8	1463.2	694.5
1998	469.8	22.8	1464.5	469.1
1999	601.8	23.2	1502.5	584.4
2000	697.9	23.8	1564.5	665.8
2001	644.1	23.3	1519.5	619.9
2002	445	23.7	1557.1	449.1
2003	612.1	24.1	1605.1	598.7
2004	854	23.5	1534.3	776.4
PROMEDIO	690.6	22.7		644.6

3.3 Hidrografía

La zona se localiza en la cuenca del arroyo Quiriego, correspondiente a la cuenca del río Mayo. El arroyo Quiriego o Cedros confluye con el río Mayo en la presa Mocuzari; es el principal afluente del río Mayo en lo que respecta a extensión de área drenada, tiene sus orígenes en elevaciones de 1,200 m en el parteaguas con el arroyo Guajaray; su curso general es sur-suroriente.

En la zona del acuífero, esta cuenca drena un área de 1,615 km².

El acuífero Rosario-Tesopaco-El Quiriego pertenece a la Región Hidrológica No. 9 “Sonora Sur”, dentro de la cuenca del Río Mayo, comprendida dentro de la subcuenca del arroyo Quiriego o Cedros.

El volumen de escurrimiento superficial que sale de la cuenca se mide en la estación hidrométrica Tezocoma, dando un promedio anual de 43.2 hm³.

3.4 Geomorfología

La geomorfología del área es un reflejo de tres importantes fenómenos geológicos que son: eventos tectónicos, actividades ígneas y procesos erosivos.

El área está compuesta principalmente por montañas volcánicas de bajo relieve, separadas por valles de origen endógeno flanqueados por potentes espesores de depósitos proluviales.

Resumiendo la geomorfología que presenta esta provincia de sierras y valles paralelos, es producto de grandes fallas de tensión que comenzaron a desarrollarse en el Plioceno y que actualmente todavía se encuentran activas.

Estos fenómenos a su vez originaron un sistema de valles y sierras alargadas dispuestas paralelamente

4. GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

Las relaciones estratigráficas entre las diferentes unidades litológicas se describen en el orden geocronológico correspondiente y se observan en la figura No. 2.

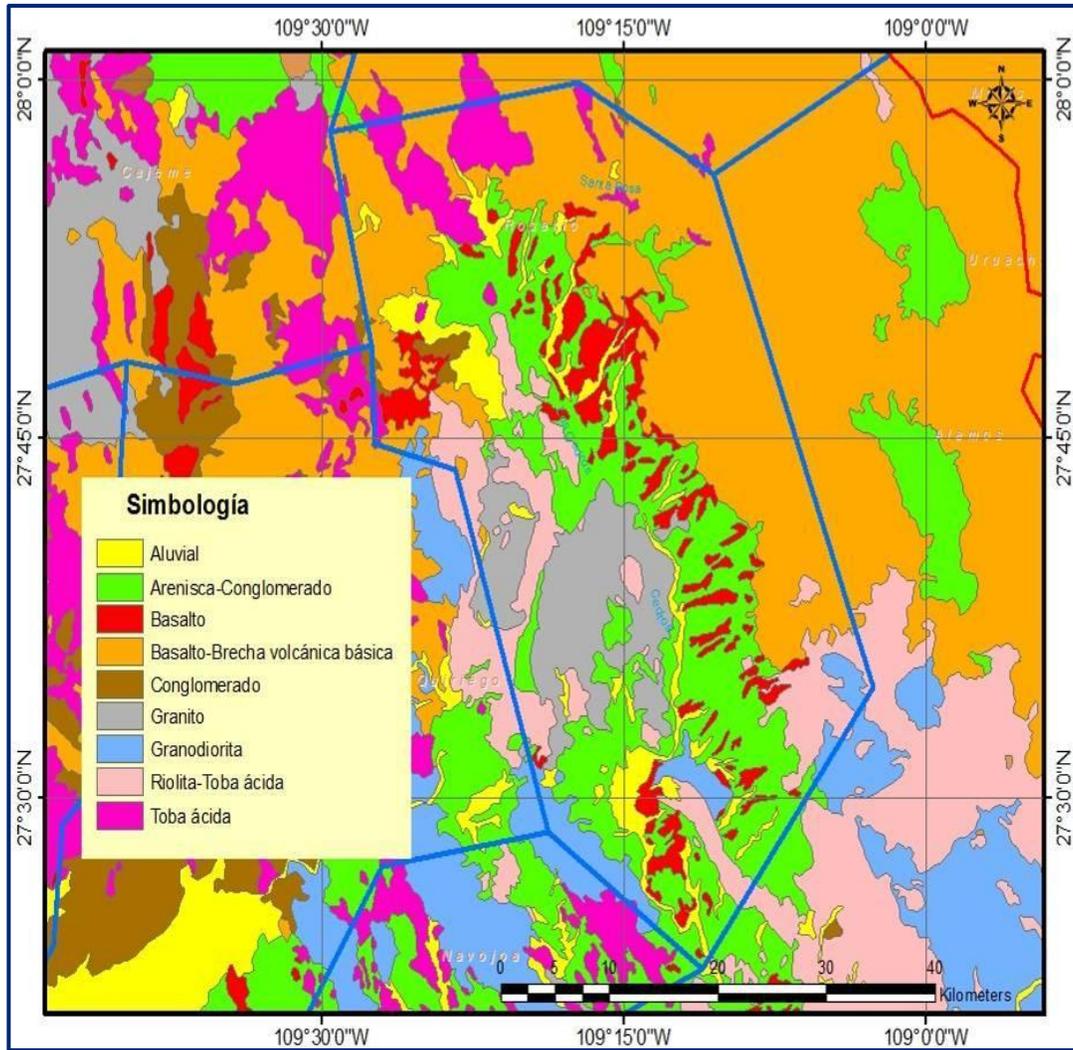


Figura 2. Geología general del acuífero

K (Gr) Granito

El granito es de color blanco y rosado con tonalidades negras, sus minerales esenciales son cuarzo y oligoclasa, y los accesorios son biotita, apatito y zircón; su textura es holocristalina equigranular, estructura compacta fanerítica. Es poco resistente a la erosión, por lo que forma lomeríos y planicies onduladas.

Constituye parte del llamado Batolito Láramide de Sonora y Sinaloa. Se le ha asignado una edad del Cretácico tardío al Oligoceno por varios autores (King, 1939; De Cserna, 1962; Salas y Clark, 1975 y Gastil y Krummenacher, 1977).

Tom (R-Ta). Riolita-Toba Ácida

Esta unidad está constituida por una secuencia irregular de riolita fluidal y esferulítica, ignimbrita, toba riolítica y brecha volcánica ácida.

La riolita fluidal es de color rojizo con estructura compacta y textura microcristalina; la riolita esferulítica de color rosa a gris con intemperismo ocre; la ignimbrita es de color gris con textura fluidal y textura microcristalina; contiene en su composición minerales de cuarzo, sanidino, oligoclasa, biotita, clorita, apatito y zircón. La toba y la brecha son de color rosa, de textura merocristalina; estructura compacta porfídica.

La primera tiene minerales de cuarzo, oligoclasa, andesina, sanidino y biotita; la segunda está formada por fragmentos angulosos de rocas volcánicas ácidas e intermedias englobados en una matriz areno- tobácea. Su morfología es de sierras y mesetas disectadas y sobreyacen discordantemente a rocas, volcánicas y a rocas más antiguas. Su edad se correlaciona con los eventos de actividad ignimbrítica ocurridos en la parte superior del Oligoceno (McDowell y Clabaugh).

Ts (ar – cg) Formación Báucarit

El nombre de división Báucari fue aplicado por Dumble (1900) a una secuencia de arenas arcillosas y conglomerados cuyo desarrollo típico tiene lugar en la vecindad del pueblo da Báucari, sobre el río Cedros. En 1939 King corrige el término de Báucari por Báucarit y considera esta unidad como una Formación (Formación Báucarit).

Las correlaciones hechas por Dumble no corresponden con las de King dado que los estratos asignados por este a la Formación Báucarit en el valle del Yaqui, fueron clasificados por Dumble como “División Nogales” y los del valle de Agua Caliente como “División Lista Blanca”.

La formación Báucarit se encuentra ampliamente distribuida en casi todo el estado de Sonora, en la Provincia de Sierras y Valles Paralelos, aflorando en las depresiones intermontanas como grandes mesetas casi horizontales, en forma de terrazas fluviales y como abanicos aluviales.

Sus buzamientos raramente exceden los 25° y por lo general son mucho menores, en algunos sitios, se observa afectada por fallas y fracturas recientes que han provocado el basculamiento de grandes bloques.

Como fue definida originalmente por King, esta unidad consiste de areniscas bien estratificadas, conglomerados y arcillas levemente consolidadas, los conglomerados consisten principalmente de fragmentos redondeados a subangulosos de rocas volcánicas, pero en algunos sitios, incluyen fragmentos de granito y calizas.

Donde la unidad tiene su desarrollo completo, existen uno o más flujos de basaltos interestratificados con aglomerados basálticos no expuestos en la vecindad de las localidades tipo, siendo considerados como el miembro inferior de la unidad por King.

La Formación Báucarit representa el proceso de denudación tectónica que tiene lugar al formarse la provincia de "Sierras y Valles Paralelos" y constituye el relleno de los grandes valles intermontanos de origen tectónico (Grabens); la presencia de fragmentos de granito y otras rocas de los núcleos de las sierras, sugiere que sus afloramientos marcan en forma aproximada los límites de las cuencas originales de depósito.

Los conglomerados pueden haberse depositado como abanicos aluviales mientras que, los depósitos finos a veces estratificados sugieren un origen lacustre. La presencia de pequeñas cuencas endorreicas sobre las cuales han ocurrido los diferentes depósitos, confirman esta suposición.

Ts (B – Bvb). Basalto – Brecha Volcánica Básica

Unidad constituida por basaltos alcalinos de olivino, basaltos andesíticos y brechas volcánicas basálticas. Los basaltos presentan una textura afanítica a porfídica con estructura vesicular – amigdaloides; los minerales predominantes son olivino, piroxeno y plagioclasa cálcica. Esta unidad es la de mayor distribución en el área presentando una orientación general NW – SE, una actitud subhorizontal y un espesor superior a los 1000 metros. Presenta una morfología de sierras abruptas y escarpadas.

Q (B). Basaltos

Unidad constituida por basaltos alcalinos de olivino de color gris oscuro a negro, textura afanítica–porfídica, estructura compacta y densa – vesicular. Por lo general se presenta en derrames de poco espesor cubriendo discordantemente a las unidades previas.

Q (al). Aluvión

Depósito de grava, arena, limo y arcilla no consolidado; su granulometría varía de material grueso al pie de la sierra y fino hacia los valles, su color es café claro-amarillo; se originó en el depósito de material detrítico generado por el arroyo Cedros. El carácter progradante de los materiales fue favorecido por la existencia de prominencias rocosas que formaban antiguas islas, que proporcionaron el aporte y acumulación rápida de sedimentos.

4.2 Geología estructural

Los rasgos estructurales más sobresalientes consisten de un patrón de fallas y fracturas que pueden agruparse en tres grupos principales: Patrón con dirección aproximada Norte – Sur; patrón con dirección NW – SE y patrón con dirección NE – SW. Estos patrones estructurales se correlacionan a la apertura del Golfo de California, que provocó la generación de fosas tectónicas donde se acumularon gruesos paquetes de productos volcanoclásticos y detríticos.

Los extensos afloramientos de sedimentos del Mioceno y Plioceno por los que discurre el arroyo Cedros, evidentemente son producto de acumulación en fosas tectónicas y en ambas partes el control de este es de carácter estructural.

4.3 Geología del subsuelo

Con el objeto de conocer el comportamiento del subsuelo en sitios seleccionados de la cuenca del arroyo Cedros, se procedió a la ejecución de un levantamiento geofísico en la siguiente modalidad:

Método aplicado:	Resistividad Eléctrica.
Modalidad:	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)
Arreglo:	Tetraelectródico de Schlumberger
Apertura máxima de AB/2:	300 m.
Apertura mínima de AB/2:	1.0 m.
No. de sondeos:	13

Del análisis de los modelos óptimos obtenidos para cada uno de los sondeos levantados se concluye. La profundidad al nivel freático descansa en el rango de los 4 a 18 metros. El espesor del medio Aluvial (gravas–boleos–arenas) descansa en el rango de los 4 a los 11 metros. Las Resistividades obtenidas para el medio Aluvial descansan en el rango de los 170 a los 800 (Ω m).

Las terrazas Fluviales que subyacen en discordancia al medio Aluvial presentan espesores favorables en función de las resistividades obtenidas dado que, en su constitución, presentan un alto contenido de arcillas. Las Resistividades obtenidas para estas terrazas descansan en el rango de los 3 a los 10 (Ω m) (El Quiriego). Es evidente desde el punto de vista geohidrológico que las unidades representadas por el medio Aluvial y las Terrazas fluviales son las más importantes para la acumulación y alumbramiento de las aguas subterráneas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Este acuífero se clasifica como tipo libre, dadas las condiciones de las unidades aluviales y terrazas fluviales de espesores reducidos.

A partir de la información de la litología extraída del mapa geológico correspondiente, se obtuvo la distribución de las unidades geohidrológicas de acuerdo a sus posibilidades de almacenamiento y producción las cuales a su vez, son producto de la combinación porosidad (primaria y/o secundaria) y permeabilidad.

Desde el punto de vista geohidrológico, las unidades de mayor importancia están representadas por la unidad aluvial y las terrazas fluviales.

El rango de espesor para la unidad aluvial de acuerdo a los sondeos eléctricos verticales y norias es inferior a los cuatro metros en el área de Cedros a un máximo de 12 metros en el área de El Quiriego. Las resistividades representativas son superiores a los 150 Ohmmetros (\wedge -m) produciendo caudales del orden de los 50 lps, en el área de El Quiriego. Los espesores saturados son del orden de los 5 a los 7 metros para el medio aluvial.

Las Terrazas fluviales que subyacen en discordancia al medio aluvial pueden presentar espesores favorables en función de las resistividades obtenidas dado que en su constitución presentan un alto contenido de arcillas.

El acuífero de la cuenca Rosario Tesopaco-El Quiriego, está constituido principalmente por las unidades geohidrológicas Aluvial (6.5 % del área) y en menor escala por las Terrazas Fluviales-Basaltos (formación Báucarit) y el medio fracturado de las Riolitas. Por la razón anterior se tiene que la parte Norte y Central del Acuífero está siendo aprovechado por un gran número de Norias de poca profundidad y gastos reducidos; en cambio, en la parte sur del Poblado El Quiriego, donde también los espesores son reducidos, la unidad aluvial es la que produce gastos aceptables hasta 60 lps.

Las condiciones a los límites de este acuífero son prácticamente impermeables al Norte, Este y Oeste, quedando solo una comunicación estrecha hacia el Sur de la zona, que es por donde fluye el Arroyo Cedros.

Las extracciones mayores del acuífero son las realizadas para abastecer de agua potable a los poblados de Tesopaco, Cedros, El Quiriego y otras pequeñas comunidades con baja población. Existen algunas áreas de riego especialmente en la parte sur del poblado El Quiriego, que se hacen con aguas subterráneas y también con agua superficial que toman de los cursos de agua.

Se observa que a lo largo de los cauces de los cursos de agua, aflora la roca consolidada, lo que hace que aflore el nivel freático.

Unidades Geohidrológicas

A partir de la información de la litología extraída del mapa geológico correspondiente, se obtuvo la distribución de las unidades geohidrológicas de acuerdo a sus posibilidades de almacenamiento y producción los cuales, a su vez, son producto de la combinación porosidad (primaria y/o secundaria) y permeabilidad figura 3, y en la tabla 5, se presentan los porcentajes de ocurrencia dentro de los límites del acuífero.

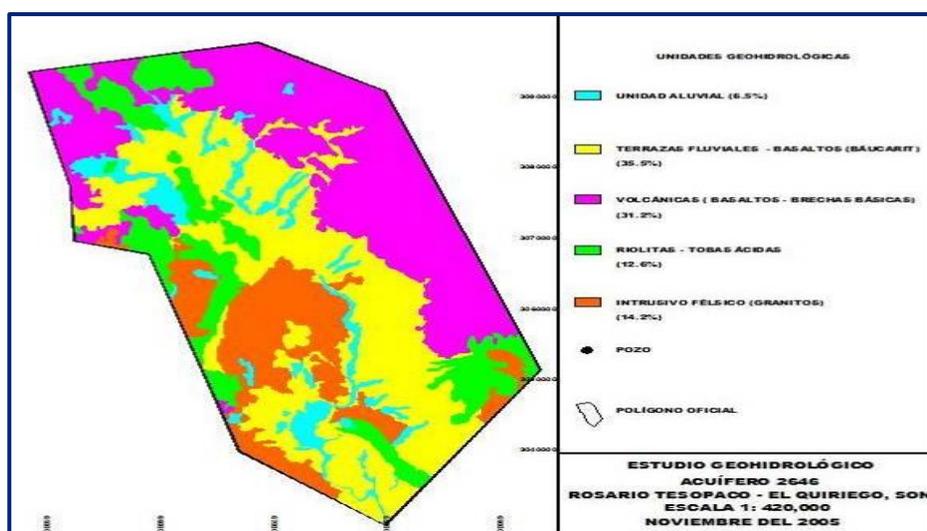


Figura 3. Unidades geohidrológicas en el Acuífero.

Tabla 5. Unidades geohidrológicas

Unidad Geohidrológica	Porcentaje
UNIDAD ALUVIAL	(6.5 %)
TERRAZAS FLUVIALES-BASALTOS (BÁUCARIT)	(35.5 %)
VOLCÁNICAS (BASALTOS-BRECHAS BÁSICAS)	(31.2 %)
RIOLITAS-TOBAS ÁCIDAS	(12.6 %)
INTRUSIVO FÉLSICO (GRANITOS)	(14.2 %)

5.2 Parámetros hidráulicos

Todas las pruebas por bombeo resultaron congruentes en sus valores de transmisividad y permeabilidad, tanto en abatimiento como en recuperación.

El mejor valor de transmisividad fue el del pozo del agua potable de El Quiriego, con valores de $3.17 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. en abatimiento y $1.97 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. en recuperación.

El valor más bajo de transmisividad fue el pozo del agua potable de Tesopaco con $1.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, lo que le favorece es que el espesor es grande, de 65.66 m.

Los valores de permeabilidad varían desde $1.53 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ en el pozo de Tesopaco, hasta $9.06 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ del pozo de Quiriego.

La mayoría de las norias están enclavadas en roca fisuradas, por eso sus valores de transmisividades son del orden de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ y permeabilidades del orden de 10^{-5} m/s . Los resultados de las pruebas de bombeo en pozos y en norias se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de las pruebas de bombeo en pozos y norias

POZO	TRANSMISIVIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	ESPESOR DEL ACUÍFERO (m)	OBSERVACIONES
Ó NORIA	m^2/s	m/s		
LA NORIA	$2.62 \cdot 10^{-4}$	$6.56 \cdot 10^{-5}$	4	Gasto de 1.2 lps, nivel estático =11.00 m. Abatimiento
LA NORIA	$6.98 \cdot 10^{-4}$	$1.74 \cdot 10^{-4}$	4	Gasto de 1.2 lps, nivel estático =11.00 m. Recuperación
EL SAUZ	$1.84 \cdot 10^{-3}$	$2.34 \cdot 10^{-4}$	78.83	Gasto de 15.0 lps, nivel estático =11.63 m. Abatimiento
EL SAUZ	$2.20 \cdot 10^{-3}$	$2.79 \cdot 10^{-4}$	78.83	Gasto de 15.0 lps, nivel estático =11.63 m. Recuperación
Agua Potable de Tesopaco	$1.00 \cdot 10^{-4}$	$1.53 \cdot 10^{-6}$	65.66	Gasto de 10.0 lps, nivel estático =34.33 m. Recuperación
LOS MAUTOS	$6.15 \cdot 10^{-4}$	$1.10 \cdot 10^{-4}$	5.59	Gasto de 0.2 lps, nivel estático =9.41 m. Abatimiento
LOS MAUTOS	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$3.88 \cdot 10^{-5}$	5.59	Gasto de 0.2 lps, nivel estático =9.41 m. Recuperación
EL MUERTO	$4.13 \cdot 10^{-3}$	$2.75 \cdot 10^{-4}$	1.5	Gasto de 1.0 lps, nivel estático =14.20 m. Abatimiento
EL MUERTO	$1.64 \cdot 10^{-3}$	$1.09 \cdot 10^{-4}$	1.5	Gasto de 1.0 lps, nivel estático =14.20 m. Recuperación
CARRIZAL	$4.78 \cdot 10^{-3}$	$3.45 \cdot 10^{-4}$	18.83	Gasto de 1.0 lps, nivel estático =16.171 m. Abatimiento
CARRIZAL	$3.77 \cdot 10^{-3}$	$2.73 \cdot 10^{-4}$	18.83	Gasto de 1.0 lps, nivel estático =16.171 m. Recuperación
CEDROS	$1.73 \cdot 10^{-3}$	$4.34 \cdot 10^{-5}$	40	Gasto de 8.0 lps, nivel estático =21.062 m. Abatimiento
CEDROS	$3.10 \cdot 10^{-3}$	$7.75 \cdot 10^{-5}$	40	Gasto de 8.0 lps, nivel estático =21.062 m. Recuperación
COBRIZA	$2.13 \cdot 10^{-3}$	$1.89 \cdot 10^{-4}$	11.27	Gasto de 1.0 lps, nivel estático =12.227 m. Abatimiento
COBRIZA	$3.45 \cdot 10^{-3}$	$3.06 \cdot 10^{-4}$	11.27	Gasto de 1.0 lps, nivel estático =12.227 m. Recuperación
QUIRIEGO-AGUA POTABLE	$3.17 \cdot 10^{-2}$	$9.06 \cdot 10^{-3}$	12	Gasto de 12.0 lps, nivel estático =5.25 m. Abatimiento
QUIRIEGO-AGUA POTABLE	$1.97 \cdot 10^{-2}$	$5.64 \cdot 10^{-3}$	12	Gasto de 12.0 lps, nivel estático =5.25 m. Recuperación
GOIJAQUIA	$2.63 \cdot 10^{-3}$	$6.27 \cdot 10^{-4}$	4.2	Gasto de 3.0 lps, nivel estático =4.80 m. Abatimiento
GOIJAQUIA	$2.22 \cdot 10^{-3}$	$5.23 \cdot 10^{-4}$	4.2	Gasto de 3.0 lps, nivel estático =4.80 m. Recuperación

5.3 Piezometría

Para el cálculo de evolución de los niveles estáticos y cambio de volumen se utilizó la piezometría realizada en estudio de la Universidad de Sonora para la CNA realizada en Octubre del 2003 y la realizada en octubre de 2005.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Respecto a la profundidad del nivel estático se observa que las mayores profundidades se localizan en los poblados de Tesopaco y Cedros, debido a las extracciones para uso doméstico realizadas en un acuífero con un medio fracturado y que los gastos de 10 y 8 lps, respectivamente, se deben a que las profundidades de la perforación son de 100 m y 60 m, respectivamente. Estos valores de profundidad de nivel freático van en Tesopaco hasta los 26 m. y en Cedros, hasta los 18 m. En cambio, en la parte media y sur del acuífero. Las profundidades del nivel estático se mantienen sin muchos cambios y van de 10 m en la Cobriza, a 4 m, en Goijaquía.

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con la información obtenida de la nivelación de brocales y medición de la profundidad de los niveles estáticos de los aprovechamientos de la zona, se obtuvo el plano de la piezometría de octubre del 2005 (figura 4).

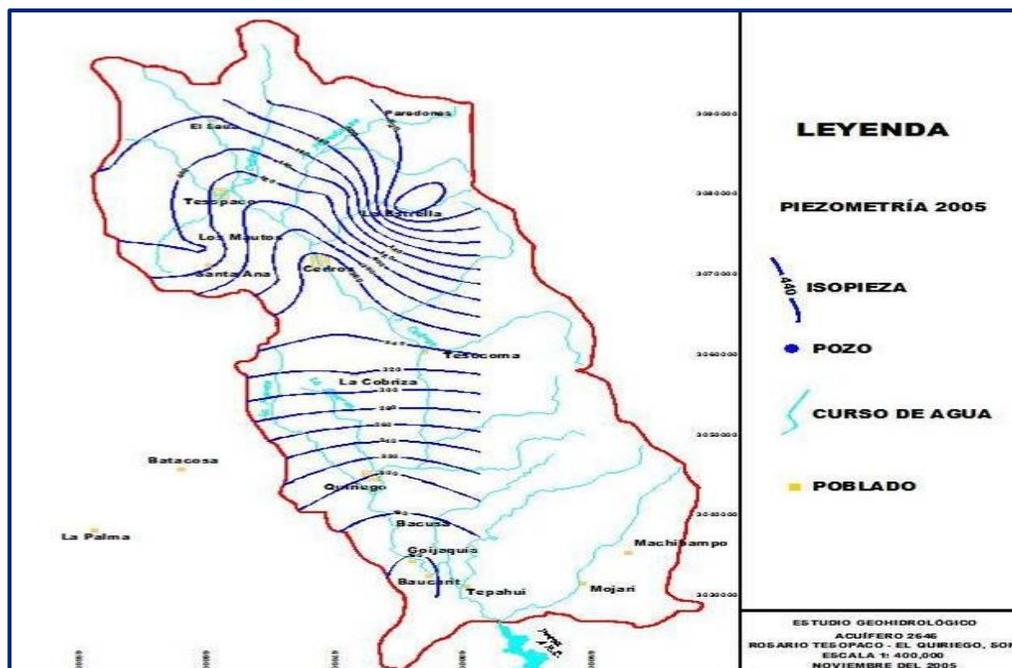


Figura No. 4. Elevación del nivel estático en msnm (2005)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Observando las líneas isopiezas se concluye que la dirección del flujo es en el sentido norte-sur que van de los valores de 540 msnm, en la parte más alta del acuífero, a 160 msnm en la población de Goijaquía, al sur.

Asimismo se detecta una alteración en la distribución de esta piezometría que se retracts en los poblados de Cedros y Tesopaco, lo cual indica que en estos lugares la extracción es mayor que la recarga natural al acuífero. Sin embargo, el resto de la configuración piezométrica, muestra una orientación Este-Oeste, lo que confirma que el cambio de almacenamiento al acuífero es positivo y que es un acuífero subexplotado. Por otro lado, se puede observar que las entradas de otra cuenca son nulas y que las salidas horizontales subterráneas son muy limitadas en el área en los poblados, Goijaquía, Báucarit y Tepahui.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Se muestrearon y se analizaron en laboratorio certificado, veinte pozos a los que se les determinaron características físico-químicas y esta información se interpretó, lo que permitió definir las familias de agua y su calidad, utilizando el método de Stiff. En el sistema acuífero se distinguen cuatro facies hidrogeoquímicas principales, las cuales se presentan en la tabla No. 6 y de manera gráfica en la Figura No. 5.

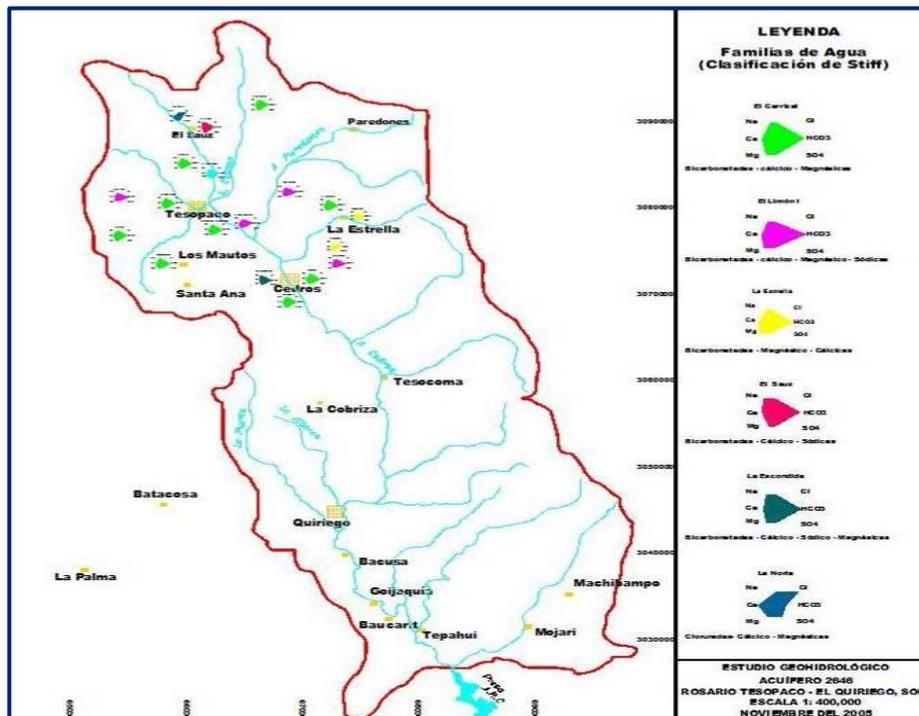


Figura No. 5. Familias de agua (Clasificación de Stiff)

En la tabla 7. Se muestra la Familia de aguas según la clasificación de Stiff, utilizando el Software AquaChem.

Tabla 7. Familia de aguas

Ca - Mg -HCO ³	Bicarbonatada Cálcico-Magnésica
Ca-Mg-Na-HCO ₃	Bicarbonatada Cálcico-Magnésico-Sódica
Mg-Ca- HCO ₃	Bicarbonatada Magnésico-Cálcica
Ca-Na - HCO ₃	Bicarbonatada Cálcica - Sódica
Ca-Na-Mg-HCO ₃	Bicarbonatada Cálcico-Sódico-Magnésico
Ca-Mg-Cl	Clorurada Cálcico-Magnésico.

La familia predominante es la Bicarbonatada, que provienen de rocas volcánicas y de acuíferos que no están sobreexplotados, ni contaminados. Sólo una muestra resultó como familia clorurada, del Rancho La Noria, al noroeste de la cuenca.

Estas facies o tipos de familias de agua se relacionan con los diferentes orígenes y medios de depósito. La calidad del agua de toda la cuenca es buena, Se observa que en el caso del Rancho La Noria, sucede un caso de contaminación puntual por nitratos, dado que el pozo está dentro de los corrales de manejo del ganado. La figura No. 6, correspondiente a Sólidos Totales Disueltos (muestra un rango de 250 a 550 mgs/l, excepto el de La Noria, que da 2650 mgs/l. El plano de Conductividad Eléctrica (figura 7), muestra que los valores fluctúan en un rango de 550 a 850 microSiemens/cm, excepto en el rancho La Noria, que se encuentran en el rango de 3000 microSiemens/cm.

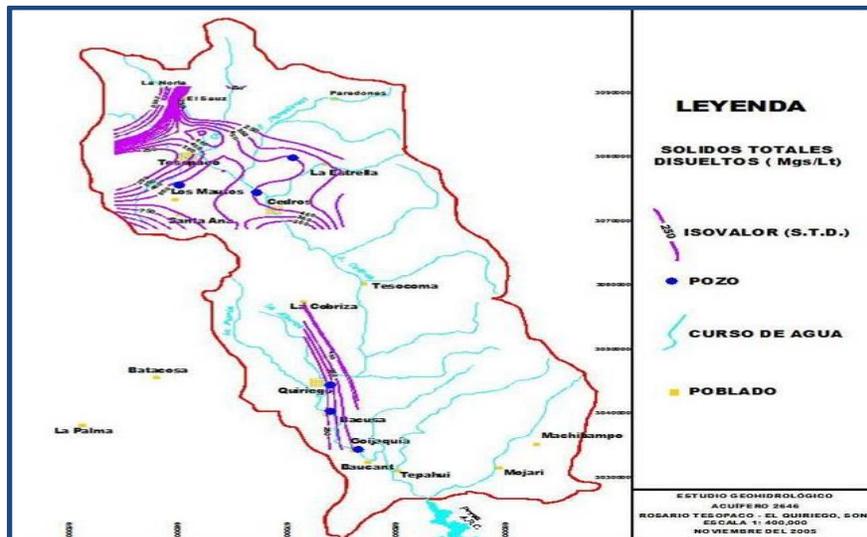


Figura No. 6. Sólidos Totales Disueltos

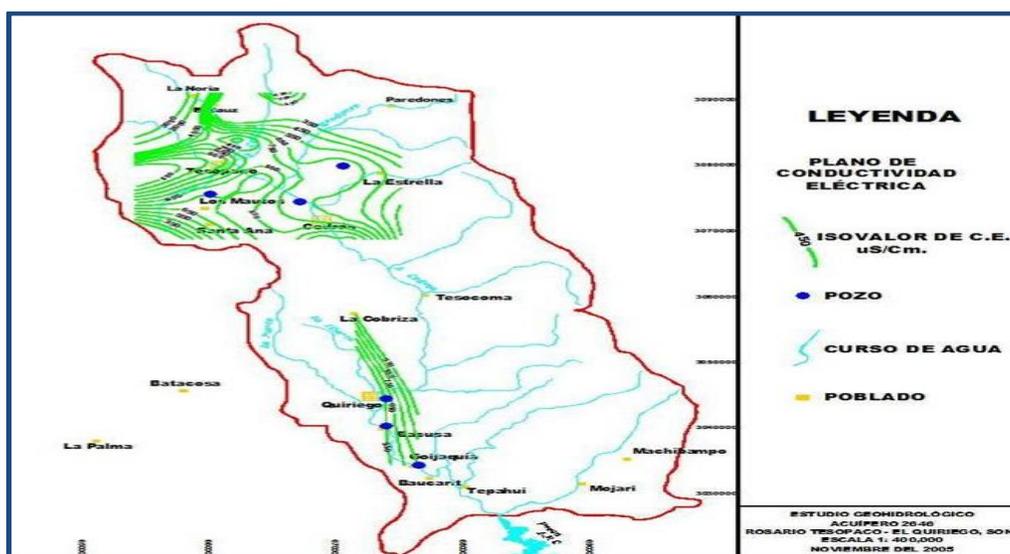


Figura No. 7. Conductividad Eléctrica

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Para octubre de 2005 se censaron 28 aprovechamientos (tabla 8), a los que se les determinó parámetros hidrogeológicos como nivelación de brocales, profundidad de nivel estático, características de construcción, a 10 de ellos, se les efectuó una prueba de bombeo para obtener parámetros hidráulicos.

Tabla 8. Censo de aprovechamientos, Octubre 2005

Pozo	Coordenadas			Nivel Estático	Altura de Brocal	Prof. N.E.	Piezometría
	X	Y	Z				
Santa Rita	653,878.54	3,081,166.20	475.6	17.6	0.55	17.05	458.55
El Sauz	660,092.10	3,089,136.11	464.55	12.21	0.58	11.63	452.92
La Noria	658,342.31	3,090,987.73	478.95	10.73	0.32	10.42	468.53
El Bajío	660,176.12	3,085,469.74	453.69	10.38	0.65	9.74	443.96
Los Mautos	659,495.43	3,073,363.67	450.62	8.86	0.31	8.55	442.06
San Martín	664,699.60	3,091,361.04	500.37	2.22	1.87	0.35	500.02
Zapuchio	661,905.54	3,084,385.97	432.46	8.75	0.57	8.19	424.28
Rosario Tesopaco	660,481.86	3,081,249.07	445.4	28.78	0.21	28.57	416.83
El Gato	658,378.29	3,076,628.47	446.25	10.6	0.31	10.29	435.97
La Angostura	664,041.01	3,078,268.88	395.29	4.26	0.59	3.67	391.62
Cedros	668,886.60	3,071,341.90	358.78	21.22	0.16	21.06	337.72
Núcleo Dos	669,501.83	3,069,095.96	358.72	18	0.5	17.5	341.22
San Juanico	665,675.81	3,076,028.21	385.91	4.41	0	4.41	381.5
El Limón 1	670,896.32	3,072,278.62	383.69	6.64	0.49	6.15	377.53
El Limón 2	670,466.59	3,074,378.25	410.36	8.15	0.42	7.73	402.63
La Estrella	674,824.49	3,078,600.21	554.13	0	0	0	554.13
El Muerto	665,748.28	3,075,695.60	395.95	14.6	0.4	14.2	381.75
La Escondida	665,964.23	3,069,442.63	382.81	5.55	0	5.55	377.26
Los Valles	667,127.13	3,081,616.80	434.45	2.05	0	2.05	432.4
El Carrizal	670,274.50	3,080,255.45	444.89	15.71	0.25	15.46	429.43
Bacuzá	673,665.22	3,040,698.69	182.86	3.67	2.1	1.57	181.29
Goyjaquia	676,186.87	3,034,710.09	162.06	5.44	0.82	4.62	157.44
La Cobriza	671,285.80	3,057,562.36	329.73	12.24	0.75	11.49	318.24
Pozo 2646-77	673,683.79	3,044,840.48	199.64	6.83	0.33	6.5	193.15
Quiriego	673,537.18	3,044,525.12	196.95	6.05	0.8	5.25	191.7
La Viejita	659,814.00	3,076,000.00	441	18.88	0	18.88	422.12
Terminel	666,923.00	3,074,844.00	374	3.67	0.65	3.02	370.98
Carrizal II	669,019.00	3,080,602.00	438	15.05	0.31	14.75	423.26

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

7.1.1 Recarga natural

La recarga natural del acuífero corresponde básicamente a los volúmenes infiltrados por agua de lluvia y se obtiene despejando de la ecuación de balance, obteniéndose un valor de **27.7 hm³ anuales**.

7.1.2 Recarga inducida

En la zona no existe este tipo de recarga.

7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

En la zona no existe este tipo de recarga.

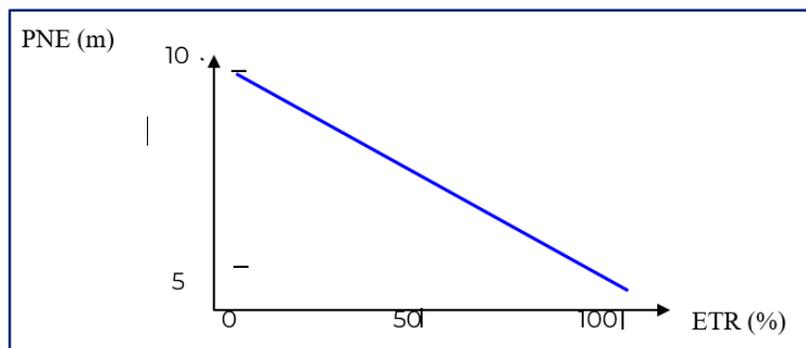
7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración

Para calcular el volumen de agua que se descarga del acuífero por evapotranspiración se utilizó el método empírico de Turc, obteniéndose una lámina de 644.6.9 mm anuales. El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR.

Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR; de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



De la configuración de profundidad al nivel estático se consideran las curvas menores e iguales a 10 m, se calcula el área entre ellas y se toma el valor promedio (entre las curvas de 3 y 4 metros en valor promedio será 3.5, por ejemplo). El resultado de multiplicar el valor promedio por el área entre las curvas, deberá ponderarse de acuerdo a la relación lineal mencionada anteriormente, en este caso particular como el valor medio de profundidad es de 8.0 m, se multiplicará por 0.2 (que significa que a esta profundidad, el 20 % es susceptible de evapotranspirarse. Lo mismo se hace para cada área comprendida entre dos curvas de profundidad menor a 10 m. Al final se obtendrá la suma de los volúmenes evapotranspirados. Para el caso del acuífero de Rosario-Tesopaco-El Quiriago, se obtuvo un valor de **5.8 millones de metros cúbicos por año** ($\text{hm}^3/\text{año}$) en una superficie de 45 km^2 , donde el nivel estático se encuentra a menos de 10 metros de profundidad.

7.2.2 Descargas naturales

En la zona no existen este tipo de descargas.

7.2.3 Extracción por bombeo (B)

El bombeo reportado por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) es de **2 hm^3** , que comprende las extracciones para agua potable y pequeñas áreas de cultivo.

7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

La información obtenida de las pruebas de bombeo y de la configuración de la piezometría, nos permiten calcular, por medio de la Técnica de Redes de flujo, las salidas horizontales subterráneas que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Salidas horizontales subterráneas calculadas por Redes de Flujo, año 2005

No. de Celda	Ancho de Celda (m)	Transmisividad (m ² /s)	Gradiente Hidráulico (m/m)	Gasto Q (m ³ /s)	Volumen Anual (m ³ /año)
1	541.45	0.0026	0.00702	0.009883	311,655.9517
2	819.51	0.002	0.00731	0.011981	377,840.2648
3	764.54	0.0026	0.00796	0.015823	498,991.6001
4	853.4	0.0015	0.00854	0.010932	344,753.2549
5	474.3	0.0026	0.00848	0.010457	329,783.5068
Total					1,863,024.5783

Las salidas horizontales subterráneas calculadas por el método de Redes de Flujo resultan ser de **1.9 hm³ por año**.

7.3 Cambio de almacenamiento ($\Delta V S$)

En la zona es en las unidades identificadas como aluvial y terrazas fluviales, con espesores muy reducidos donde se calculó la recarga vertical.

Con la ecuación del balance subterráneo:

$$Q_e - Q_s - B + R_v = E \Delta A$$

Donde

Q_e = Entradas horizontales subterráneas

Q_s = Salidas Horizontales Subterráneas

B = Extracción por Bombeo

R_v = Recarga Vertical al Acuífero

± Δ A = Es el cambio de almacenamiento positivo o negativo.

En la zona no existen entradas horizontales subterráneas. Las salidas horizontales subterráneas se calcularon por el método de Redes de Flujo y resultaron ser de 1.9 hm³ por año.

El bombeo reportado por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) es de 2 hm³, que comprende las extracciones para agua potable y pequeñas áreas de cultivo. Este volumen corresponde a los aprovechamientos ubicados en el acuífero de acuerdo al REPDA.

La recarga vertical se despejará como incógnita.

El cambio de almacenamiento resulta de multiplicar el área por la diferencia de altura y la porosidad efectiva o rendimiento específico.

En la tabla 10 se muestra el cálculo del cambio de volumen para la evolución de los niveles estáticos entre los años de Octubre del 2003 (realizado en el estudio de la Universidad de Sonora para la CNA) a Octubre de 2005.

Tabla 10. Evolución a almacenamiento entre los años 2003-2005

Grid Volume Computations	
Volumes	
Z Scale Factor:	1
Total Volumes by:	
Trapezoidal Rule:	2720960753.2392
Simpson's Rule:	2720337123.2199
Simpson's 3/8 Rule:	2721665575.2678
Cut & Fill Volumes	
Positive Volume [Cut]:	4177004608.9591
Negative Volume [Fill]:	1455901758.6056
Net Volume [Cut-Fill]:	2721102850.3535 m³
Areas	
Positive Planar Area [Cut]:	1025815518.2959
Negative Planar Area [Fill]:	366184481.7041
Blanked Planar Area:	0
Total Planar Area:	1392000000
Surface Areas	
Positive Surface Area [Cut]:	1025816589.847
Negative Surface Area [Fill]:	366185079.22589

El cambio de almacenamiento es el resultado de calcular la evolución o cambio de niveles estáticos en un período de tiempo (en nuestro caso fue de Octubre del 2003 a Octubre del 2005), cuyo volumen resultó de 2,721 Millones de metros cúbicos que dividido entre dos años, es de 1,360 hm³.

El volumen se calculó en el área total de la cuenca, sin embargo según el resultado del estudio de las unidades geohidrológicas y aplicando el criterio geológico y en función del recorrido y censo de los aprovechamientos hidráulicos repartidos en toda la cuenca, se llegó a la conclusión de que el área con posibilidades de buena y regular permeabilidad oscila alrededor de un 16.5 %.

Considerando el área acuífera de las unidades hidrogeológicas aluvial, terrazas fluviales y rocas fisuradas de un 16.5% y una porosidad efectiva ponderada de 0.08 (8%) resulta un cambio de almacenamiento positivo de 18 hm³.

Considerando que el área aluvial es la más afectada por la evapotranspiración, la que resulta ser de 113.36 km², y considerando una profundidad promedio de 8 metros, da 0.9068 km³, es decir, 906.8 hm³, que multiplicados por el valor de la evapotranspiración, de 644.6 mm del estudio de la CNA, resulta una evapotranspiración de 5.8 hm³.

Sustituyendo estos valores en la ecuación de balance, tenemos:

Cambio de almacenamiento = Entradas – Salidas

$$\begin{aligned}\Delta V &= E - S = E - S_h - B - ET \\ 18 &= E - 1.9 - 2.0 - 5.8\end{aligned}$$

Despejando las entradas totales al sistema, tenemos:

$$E = 27.7 \text{ hm}^3$$

Entonces, la recarga total del acuífero es de **27.7 hm³/año**.

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:

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **27.7 hm³/año**.

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, su valor es de **DNC = 7.7 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 **2,951,205 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 27.7 - 7.7 - 2.951205 \\ \text{DMA} &= 17.048795 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **17,048,795 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Geólogos Consultores Asociados S.A. 1979. Estudio de las Condiciones Geohidrológicas, sitios adecuados perforación y delimitación de acuíferos Terciarios de los Valles Intermontanos de Yécora, Rio Chico, Los Cedros, Jíncore y Cocoraque, Estado de Sonora. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México.