

FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO DE SAN JUAN B. LONDÓ, BCS Y SU RELACIÓN CON LA INTRUSIÓN DE AGUA DE MAR

Por: Ing. Juan Manuel Lesser I.
Ing. José Luis Meza Trejo
Ing. Victor Manuel Castañón Arcos
Ing. David González Posadas

El acuífero de San-Juan-Londó corresponde a un valle intermontano constituido por aluviones cuaternarios acumulados en una fosa tectónica (>200m). Presentan una transmisividad media de 1×10^{-3} m²/seg y forman un acuífero con nivel de saturación a 15-40m de profundidad. La recarga se realiza principalmente en los extremos norte y sur del valle, a partir de infiltración de agua pluvial sobre las sierras. El flujo subterráneo circula en forma concéntrica hacia el centro del valle donde es extraído a través de pozos.

La extracción en Londó se ha venido realizando en dos zonas muy localizadas, una en la porción norte donde se encuentra una reducida zona de riego que, por su escasa precipitación, temperaturas extremas y calidad deficiente del agua-subterránea (1000-2000ppm), ha limitado su desarrollo (extracción de 1.8 Mm³/año); mientras en el extremo sur del valle se encuentran pozos que abastecen de agua potable a la población de Loreto (3.6 Mm³/año y salinidad de 500 mg/l de STD), además de bombeo en el centro del valle (0.9 Mm³/año), lo que da un total de extracción de agua del acuífero de 6.3 Mm³/año. En general el volumen de extracción es reducido, sin embargo, por la aridez imperante ésta es muy valiosa. No obstante la reducida extracción, se han ocasionado ligeras depresiones del nivel estático, con un abatimiento promedio anual de 0.30 metros para el período 1979-2006 y de 0.5 metros en el último año (2006). La aparición de agrietamientos del terreno en el valle, son aparentemente otra consecuencia de la extracción de agua subterránea.

Cabe hacer notar que el valle de Londó no tiene comunicación hidráulica y no descarga al mar pero existe una pequeña porción de terreno denominado Desembocadura de San Bruno que pertenece a la misma Unidad Geohidrológica. Los resultados del balance de agua subterránea en toda la Unidad, indican que la recarga por flujo subterráneo e infiltración es de 6.5 Mm³/año, la extracción por bombeo de 6.3 Mm³/año, las salidas por flujo subterráneo al mar (en San Bruno) es de 1.2 Mm³/año y el cambio de almacenamiento -1.0 Mm³/año.

INTRODUCCIÓN

La extracción de agua subterránea en Loreto, B.C.S., se realizaba a través de pozos a cielo abierto, de poca profundidad, construidos por los propios pobladores antes de la promulgación del decreto de veda del 2 de julio del año de 1954. La extracción de agua subterránea que se llevaba a cabo, era mayor que la recarga, lo cual ocasionó la intrusión de agua de mar, lo que a su vez provocó la salinización de muchos pozos. El abastecimiento de agua a la población fue resuelto en los años 90's con el apoyo del Fondo Nacional de Turismo, mediante la adquisición de derechos vigentes de pozos de uso agrícola en el acuífero de San Juan B. Londó y la perforación de pozos profundos, cuya agua es conducida para el abastecimiento de la población de Loreto. El incremento en la población y los programas de desarrollo turístico, demandan de nuevas fuentes de abastecimiento.

LOCALIZACIÓN

Los acuíferos de San Juan B. Londó y Loreto, se localizan en la porción centro- oriental del Estado de Baja California Sur, entre los paralelos 26° 22' y 25° 45' de latitud norte y los meridianos 111°

15' y 111° 40' de longitud oeste. El valle de San Juan B. Londó es un valle intermontano ubicado a 8 kilómetros de la línea de costa. El acuífero de Loreto corresponde a una porción de la planicie costera del Mar de Cortés. La localización regional y local de la zona de estudio se presenta en la figura 1.

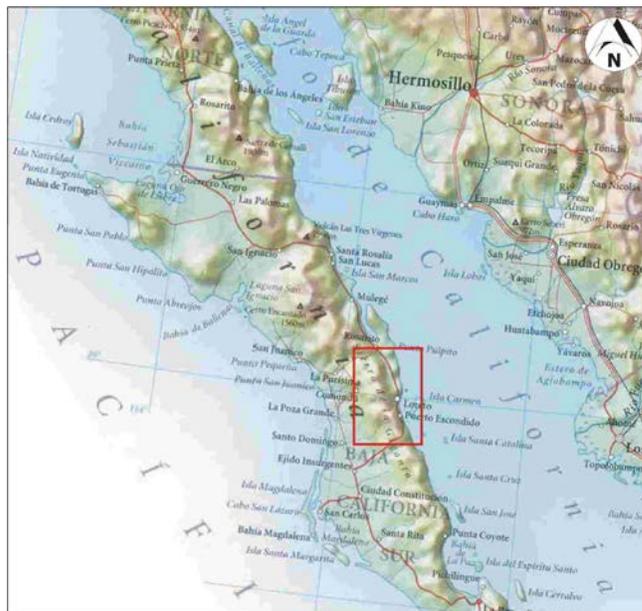


FIGURA 1.- LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

GEOMORFOLOGÍA

Respecto a la geomorfología, el área de San Juan B. Londó corresponde a un valle plano con ligera pendiente al SE, que se eleva a 30-40 metros sobre el nivel del mar. Está circundado por elevaciones topográficas que hacia el poniente corresponden a la Sierra La Giganta. De la sierra, bajan arroyos efímeros que cruzan el valle de oeste a este, los que se unen en un arroyo cuya traza se extiende paralela a la carretera federal, pasa por el poblado de San Juan y desemboca al sureste. En la porción SE del valle, se presenta una franja angosta de valle, a través de la cual se comunica el Valle de San Juan B. Londó con el Mar de Cortés, en el área conocida como desembocadura de San Bruno. La Sierra La Giganta circunda el valle de San Juan B. Londó. Se eleva a más de 1200 msnm y presenta formas abruptas, con una gran cantidad de acantilados.



GEOLOGÍA GENERAL

Las rocas volcánicas que constituyen la Sierra La Giganta fueron denominadas originalmente por Heim (1922) como Formación Comondú, compuesta por lavas, diques y mantos intrusivos de basaltos y andesita, aglomerados, conglomerados volcánicos, tobas, brechas volcánicas y areniscas tobáceas, con un espesor superior a los 1,000 metros. A esta formación se le ha asignado una edad del Mioceno Superior de acuerdo a su posición estratigráfica. Los valles y la planicie costera, están representados por gravas y arenas, así como por un conglomerado de reciente formación que puede alcanzar hasta 70 metros de espesor en Loreto.

ESTRATIGRAFÍA

Dentro de la zona de estudio afloran rocas volcánicas, sedimentarias e ígneas intrusivas las cuales se describen a continuación y se muestran en la figura 2.

Rocas graníticas (Kgr).- Son las rocas más antiguas que afloran en el área de estudio. Corresponden a un intrusivo constituido por granitos y granodioritas que afloran al SW y W del poblado de San Juan B. Londó, donde afloran bloques de color rosa. La granodiorita es de color gris oscuro, generalmente se encuentra alterada. La edad de esta roca se considera del Cretácico. Le sobreyace en forma discordante la Formación Comondú.

Formación Comondú (Tco).- La Formación Comondú está constituida por una alternancia de materiales volcánicos y sedimentarios. Incluye areniscas, conglomerados, brechas volcánicas, andesitas y tobas. Las areniscas se presentan bien consolidadas y compactas, en varios sitios se observa estratificación cruzada. Tiene un color rojizo. Los conglomerados están constituidos por fragmentos redondeados, de origen ígneo, empacados en arenas. Las areniscas y los conglomerados se encuentran complejamente interestratificados e intrusionados por diques de composición intermedia y básica. Se observan afloramientos de este paquete 15 km al NW de Loreto. Las tobas y brechas presentan una composición predominantemente básica. Las brechas están constituidas por fragmentos de 0.3 a 40 cm de diámetro, empacadas en una matriz tobacea. Se encuentran intrusionadas por diques. Constituye la mayor parte de las elevaciones topográficas que corresponden a la Sierra La Giganta. Presenta una estratificación casi horizontal, con una sensible inclinación hacia el poniente. Su espesor se estima en más de 1,000 metros. Se considera de edad Mioceno (Las fotografías mencionadas se incluyen en el informe principal).

Formación Salada (Tps).- La Formación Salada corresponde a un conjunto de sedimentos semiconsolidados de origen marino, del período Plioceno. Incluye horizontes de areniscas y conglomerados semiconsolidados, de color gris, de origen marino con fósiles. Se han reportado espesores de aproximadamente 1,000 m y una edad Plioceno Inferior. Presenta también limolitas en colores gris claro y amarillo que sobreyacen a las areniscas y conglomerados. Se considera del Plioceno Medio. Se le estima a este cuerpo un espesor de 200 m. Otro horizonte dentro de esta formación, corresponde a material calcáreo con material terrígeno. Afloramientos de este cuerpo se presentan al sur del poblado de San Juan B. Londó. Se le asigna una edad de Plioceno Tardío. Aflora principalmente al norte del poblado de Loreto. Cubriendo a los materiales mencionados anteriormente, se encuentran andesitas, basaltos y brechas basálticas en un espesor que varía entre 100 y 200 metros.

Terrazas y pie de montes (Qp).- Corresponde principalmente a conglomerados poco consolidados, empacados en arenas. Los clásticos son de rocas ígneas. Aflora en el flanco poniente del valle de San Juan B. Londó y al pie de la Sierra La Giganta en la planicie de Loreto–Puerto Escondido. Se pueden observar espesores superiores a los 50 metros a lo largo de los arroyos, como en el Arroyo Primer Agua.

Aluviones (Qal).- Están formados por materiales granulares de diferentes tamaños, tales como arenas, limos, arcillas, gravas y cantos rodados, producto del intemperismo y erosión de las rocas que constituyen las elevaciones topográficas de la región. En San Juan B. Londó corresponden a

material transportado por corrientes fluviales procedentes de la sierra. En la línea de costa, se interdigitan con arenas y gravas trabajadas por el mar. Afloran en las partes planas del valle de San Juan B. Londó y en la planicie de Loreto.

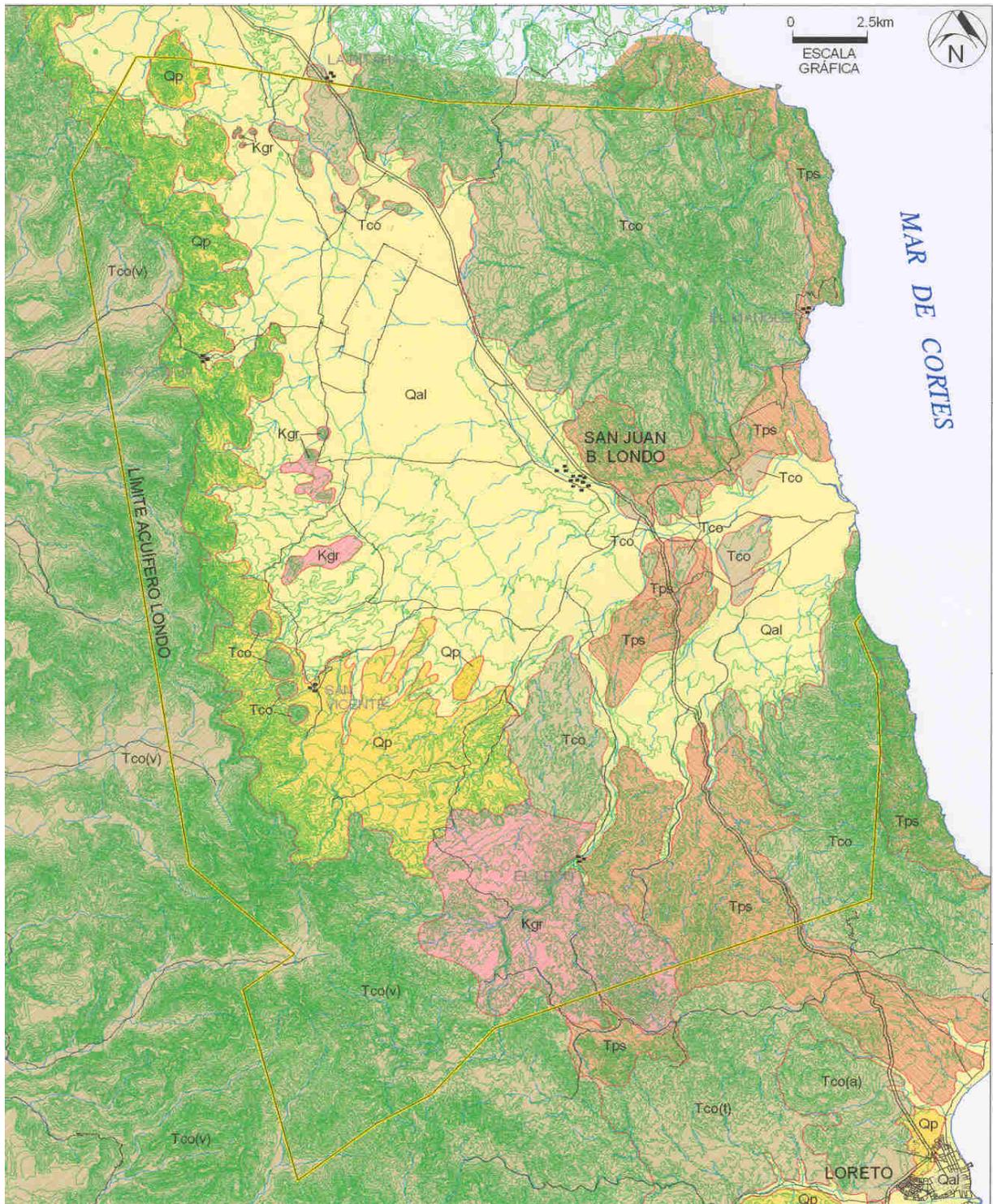


Figura 2.- Plano Geológico

CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En el acuífero de San Juan B. Londó, de los 70 aprovechamientos censados (figura 3). Se realizó el cálculo de los volúmenes de agua subterránea extraída tomando en cuenta el caudal de extracción y el tiempo de operación de cada aprovechamiento y se obtuvo una extracción de 6.12 hm³/año, se hace la observación de que existen pocos pozos realmente productores, correspondiendo 4 de ellos a los del agua potable que es conducida a Loreto y sólo 10 principales pozos de riego.

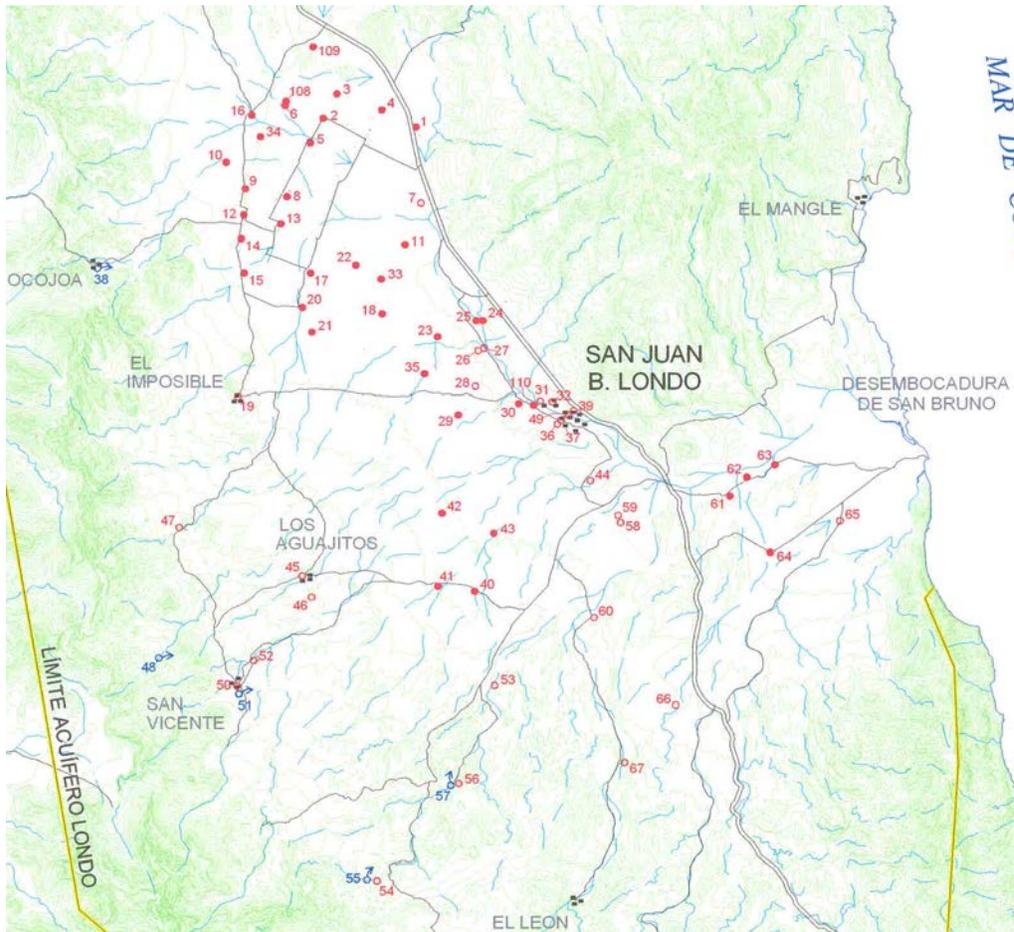


Figura 3.- Aprovechamientos censados

PRUEBAS DE BOMBEO

Se realizaron 12 pruebas de bombeo en los pozos CNA-2, CNA-3, CNA-6, CNA-8, CNA-10, CNA-12, CNA-15 y CNA-21, CNA-40, CNA-41, CNA-42 y CNA-43. Los resultados fueron procesados mediante dos paquetes, el Ground Water for Windows (GWW) y el Aquifertest. Las pruebas de bombeo por el método de Neuman, arrojaron valores de transmisividad entre 7.0 y 0.56 x 10⁻³ m²/s. Se hace notar que Acuaplan (1981), reportó valores de 1 x 10⁻³ m²/s, no así la UNAM (1985), que obtuvo valores de 0.17 a 0.31 x 10⁻³ m²/s.

FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO

El acuífero de San Juan B. Londó corresponde a un valle intermontano constituido por materiales granulares en una fosa tectónica (figura 4), los cuales alcanzan espesores de más de 200 metros de acuerdo a exploraciones geofísicas (UNAM, 1985). Estos materiales granulares presentan una

permeabilidad media y permiten la formación de un acuífero con un nivel relativamente cercano a la superficie. La recarga se realiza principalmente en los extremos norte y sur del valle, a través de flujo subterráneo procedente de infiltración de agua de lluvia sobre las sierras. En los flancos oriente y poniente prácticamente no existe infiltración por flujo subterráneo.

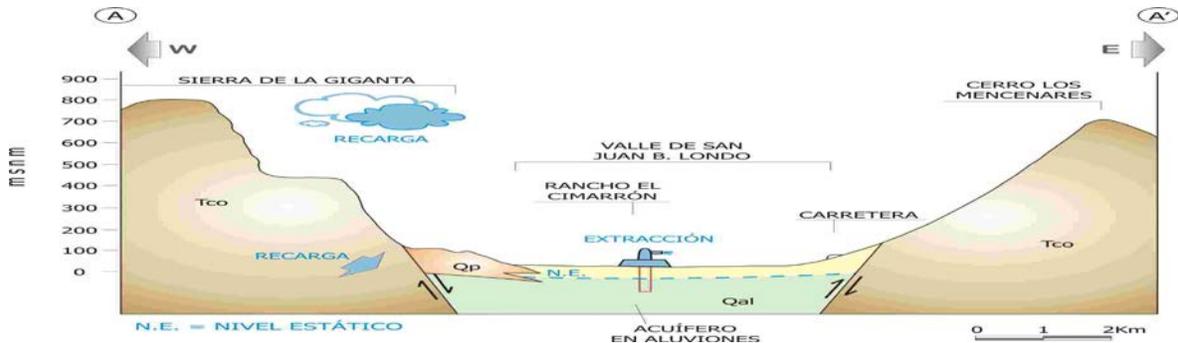


Figura 4.- Funcionamiento del acuífero

Lo árido de la región con sus temperaturas extremas, además del agua de calidad deficiente en el extremo norte del valle, han limitado su desarrollo agrícola. En la porción centro-norte del valle se encuentra una zona de riego que se reduce a la explotación de 10 pozos y otros de caudal reducido, concentrados en una pequeña extensión de terreno, los cuales provocan la formación de un cono piezométrico. Por otra parte, en el extremo sur del valle se encuentran 4 pozos que se utilizan para el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de Loreto a través de una conducción de casi 30 km de longitud. Estos 4 pozos están provocando la formación de una depresión piezométrica en la porción sur del valle. Aún y cuando la extracción de agua es reducida, ha existido abatimiento del nivel piezométrico, el cual ha invertido el gradiente hidráulico en el estrechamiento topográfico que une al Valle de San Juan B. Londo con la desembocadura al mar. Dicho estrechamiento, aunado al abatimiento, ocasiona que actualmente no exista salida por flujo subterráneo, del valle hacia el oriente (San Bruno).

DESEMBOCADURA DE SAN BRUNO.- La desembocadura de San Bruno (figura 5) es una extensión de terreno de 25 kilómetros cuadrados constituida por materiales granulares de permeabilidad baja y media, en los cuales se almacena agua subterránea. Su importancia es reducida debido a que; tiene poca extensión, no tiene conexión con San Juan B. Londo y presenta intrusión salina a lo largo de la línea de costa. Sin embargo, esta porción de terreno forma parte de la unidad hidrogeológica de San Juan B. Londo.



Figura 5.- Desembocadura de San Bruno

HIDROGEOQUÍMICA

8.1.- MUESTREO Y ANÁLISIS

Se obtuvieron 32 muestras de agua en aprovechamientos seleccionados y distribuidos espacialmente en el Valle de San Juan B. Londó. En cada pozo se obtuvieron muestras de agua en envases plásticos de un litro de capacidad, uno de los cuales fue preservado con ácido nítrico hasta alcanzar un pH de 2. Las muestras se guardaron en una hielera y fueron enviadas para su análisis al laboratorio Ingeniería de Control Ambiental y Saneamiento, S. A. de C. V. el cual se encuentra acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C. (EMA) con el número AG-008-152/03 y vigencia hasta el 2007-03-05. Durante el muestreo se midió la conductividad eléctrica del agua, el pH y la temperatura.

A las muestras obtenidas se les efectuaron las determinaciones de calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, boro, sílice, arsénico, estroncio, fluoruros, litio, yoduros y sólidos totales disueltos. Se midió la conductividad eléctrica del agua la cual es una medida indirecta de su salinidad. Se presentan valores de poco menos de 600 mmhos/cm (micro-mhos/centímetro) en el sur y poniente, hasta 4000 mmhos/cm en el norte y más de 2000 mmhos/cm en el estrechamiento localizado al sureste.

Se trazó una configuración la cual se incluye en la figura 6, observándose que se pueden diferenciar tres zonas correspondientes a: 1) Norte del Valle de San Juan B. Londó; 2) Sur del Valle de San Juan B. Londó y; 3) Desembocadura de San Bruno. En la porción norte del Valle de San Juan B. Londó el agua presenta concentraciones medias de sales representadas por valores de STD entre 600 y 1500 mg/l. En la parte sur del valle el agua se considera en general de bajo contenido salino con poco más de 600 mg/l y finalmente, en la desembocadura del valle hacia el Mar de Cortés (área que se conoce como San Bruno-Buenavista), se presentan los valores de STD más altos los cuales fluctúan entre 1,000 y 3,000 mg/l.

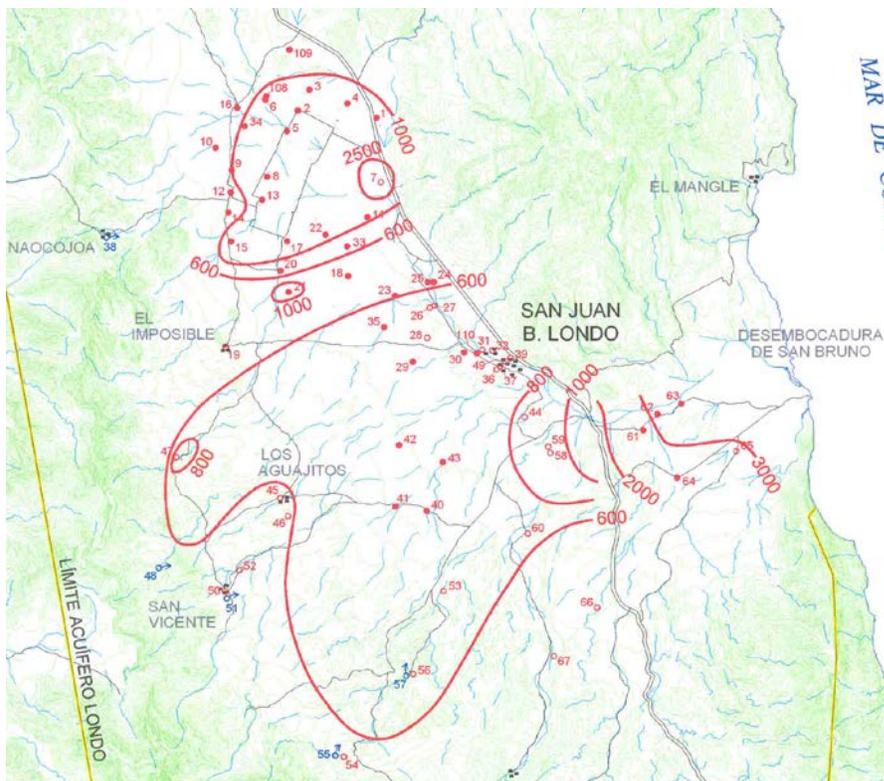


Figura 6.- Conductividad eléctrica del agua.

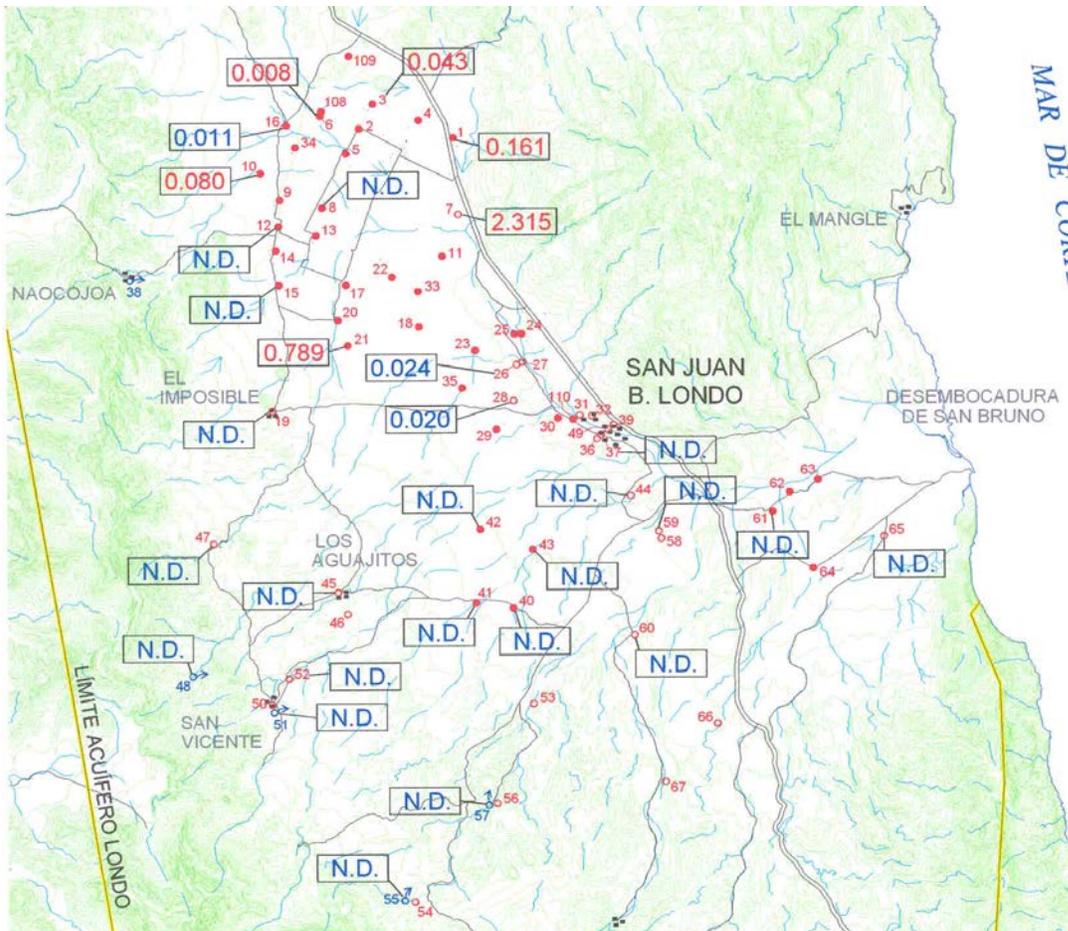


Figura 7.- Arsénico en el agua subterránea

Se realizaron determinaciones de sodio, cloruros, sulfatos, arsénico, fluoruros y boro en el agua subterránea entre otros.

El sodio se presenta en concentraciones mayores de 200 mg/l en el norte del Valle de San Juan B. Londo; en concentraciones entre 100 y 200 mg/l en la parte central del valle y con valores menores de 100 mg/l en el extremo sur del mismo. Hacia la desembocadura de San Bruno se incrementan a entre 200 y 500 mg/l. Por lo que se refiere a los cloruros, estos se encuentran en las porciones norte con 200 mg/l, en el centro con entre 50 y 100 mg/l y en el sur del valle en concentraciones de menos de 100 mg/l respectivamente, mientras que en la desembocadura de San Bruno se presenta entre 300 y 500 mg/l. Los sulfatos se encuentran en concentraciones mayores de 100 mg/l en la zona agrícola ubicada al norte del Valle de San Juan B. Londo, en concentraciones menores de 50 mg/l en la parte central y sur del valle y, en más de 700 mg/l hacia la desembocadura de San Bruno.

Por lo que respecta al arsénico (figura 7), este fue detectado en concentraciones ligeramente por arriba del límite permisible en la "NOM-127-SSA1-1994 (2000) de agua para uso y consumo humano", la cual establece un límite máximo de 0.025 mg/l. De 27 muestras de agua analizadas en el valle, 4 de ellas presentan valores por arriba del límite permisible, con concentraciones que van de 0.043 a 0.161 mg/l en pozos y 2.315 mg/l en una noria.

El boro fue otro parámetro determinado en los análisis realizados. Llegó a detectarse en concentraciones entre 1 y 8 mg/l en la zona agrícola ubicada en la parte norte del Valle de San Juan B. Londo y en concentraciones del orden de 0.30 mg/l en la porción central y sur.

Se clasificó el agua subterránea de acuerdo a su composición química tomando en cuenta el principal catión y el principal anión en solución. Para ello, se utilizaron tres tipos de representaciones gráficas, diagrama triangular o de Piper, diagrama semilogarítmico o de Schoeller y diagramas de Stiff. Se define como "agua mixta" a aquella que se gráfica hacia el centro del triángulo, por no existir un ion que predomine.

Se marcaron 4 zonas de acuerdo a la familia de agua obtenida. En la zona de riego ubicada al norte del valle el agua predominante es de tipo *sódico-clorurada* lo cual indica la presencia de sales evaporíticas de origen marino. En la porción central del valle predomina el agua *sódico-bicarbonatada* que corresponde a una agua de reciente infiltración de composición similar a la precipitación pluvial la que se considera que ha circulado a través de materiales que no incluyen sales evaporíticas de fácil disolución. En el extremo sur-oeste del valle se encuentran algunos manantiales y norias sobre el flanco de la sierra donde predomina el agua *mixta-bicarbonatada*, lo cual indica que corresponde a agua de lluvia con bajo contenido salino donde no es evidente la presencia de sales evaporíticas. Hacia la desembocadura de San Bruno el agua es de tipo *sódico-clorurada* evidenciando la influencia de materiales de fácil disolución que incluyen sales marinas y posiblemente yesos o influencia del agua marina debido a intrusión.

En los análisis químicos realizados a las muestras de agua, se marcaron los parámetros cuyas concentraciones se encuentran por arriba de los límites permisibles de acuerdo a la "NOM-127-SSA1-1994(2000) de agua para uso y consumo humano". En los análisis realizados, aproximadamente el 50% de las muestras no cumple con los lineamientos establecidos para agua potable y en general se utilizan para riego o abrevadero. Los principales pozos utilizados para abastecimiento de agua potable, presentan buena calidad

Cabe destacar que en algunos pozos del norte del valle de San Juan B. Londó, fue detectado arsénico en concentraciones ligeramente por arriba del límite permisible. De 27 muestras de agua analizadas en el valle, 4 de ellas presentan valores por arriba de dicho límite, con concentraciones que van de 0.043 a 0.161 mg/l en pozos y 2.315 mg/l en una noria. Cabe hacer destacar que estos pozos se utilizan para riego.

Por lo que respecta a la calidad del agua para riego, se clasificó ésta utilizando el método de Wilcox, en el cual se cataloga al agua de acuerdo a la salinidad total expresada como conductividad eléctrica y al contenido de sodio expresado como relación de adsorción de sodio.

El agua para riego se clasificó como de baja, media, alta y muy alta salinidad (C1, C2, C3 y C4) y de bajo, medio, alto y muy alto contenido de sodio intercambiable (S1, S2, S3 y S4). Para las muestras analizadas, el 70% de ellas corresponden al los tipos C2-S1 y C3-S1, la cual puede utilizarse en riego prácticamente sin restricción alguna. El 30% de las muestras analizadas se clasifica como C3-S2, C2-S1 y C4-S4 que corresponde a un agua con alto contenido salino y alta proporción de sodio intercambiable, la cual para ser utilizada en riego deben de llevarse a cabo prácticas de control la salinidad, de lo contrario se obtienen rendimientos reducidos. Se realizaron determinaciones de boro, el cual se encontró en concentraciones menores de 1mg/l en la mayor parte de las muestras analizadas. Solamente en 7 muestras se presentaron concentraciones mayores entre 1 y 8.3 mg/l.

PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO

Con los valores de profundidad al nivel estático obtenidos en el censo de aprovechamientos realizado en el presente año del 2006, se construyó la configuración que se muestra en la figura 8 observándose curvas que varían de 20 a 50 metros. Los valores más bajos se presentan alrededor del poblado de San Juan B. Londó y se profundizan hacia el poniente. Se hace notar que los principales pozos en operación, tanto los de la zona de riego localizada al norte del valle y los de agua potable que opera FONATUR ubicados al sur, son los que presentan las mayores profundidades al nivel estático.

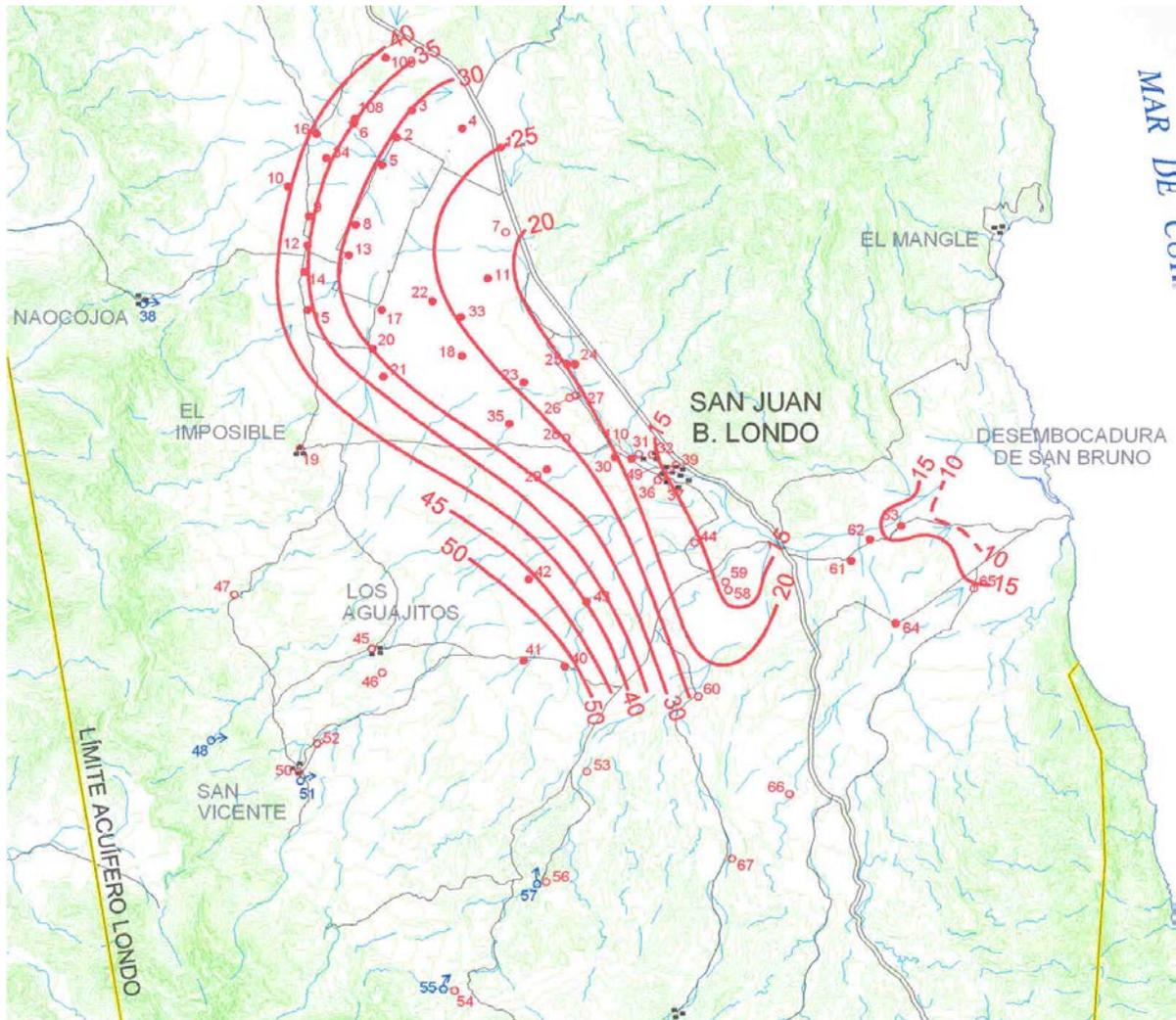


Figura 8.- Profundidad al nivel estático

ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

Con los datos obtenidos a través del censo realizado en prácticamente todos los pozos existentes en el valle, se construyó la configuración de la elevación del nivel estático para el año del 2006 que se muestra en la figura 9, observándose que los valores mayores corresponden a 30 msnm y se ubican en las estribaciones de las sierras; disminuyen hacia la parte sur del valle donde presentan 25 msnm. En el norte del valle se encuentra una suave depresión piezométrica que baja de la curva 27 a la curva 22 msnm. En la parte sur del valle se encuentran suaves depresiones piezométricas que tienden a formar un cono cerrado. Al oriente del estrechamiento topográfico de San Bruno, se trazaron curvas que van de 2 a 10 msnm y que se considera son independientes del esquema de flujo del Valle de San Juan B. Londó.

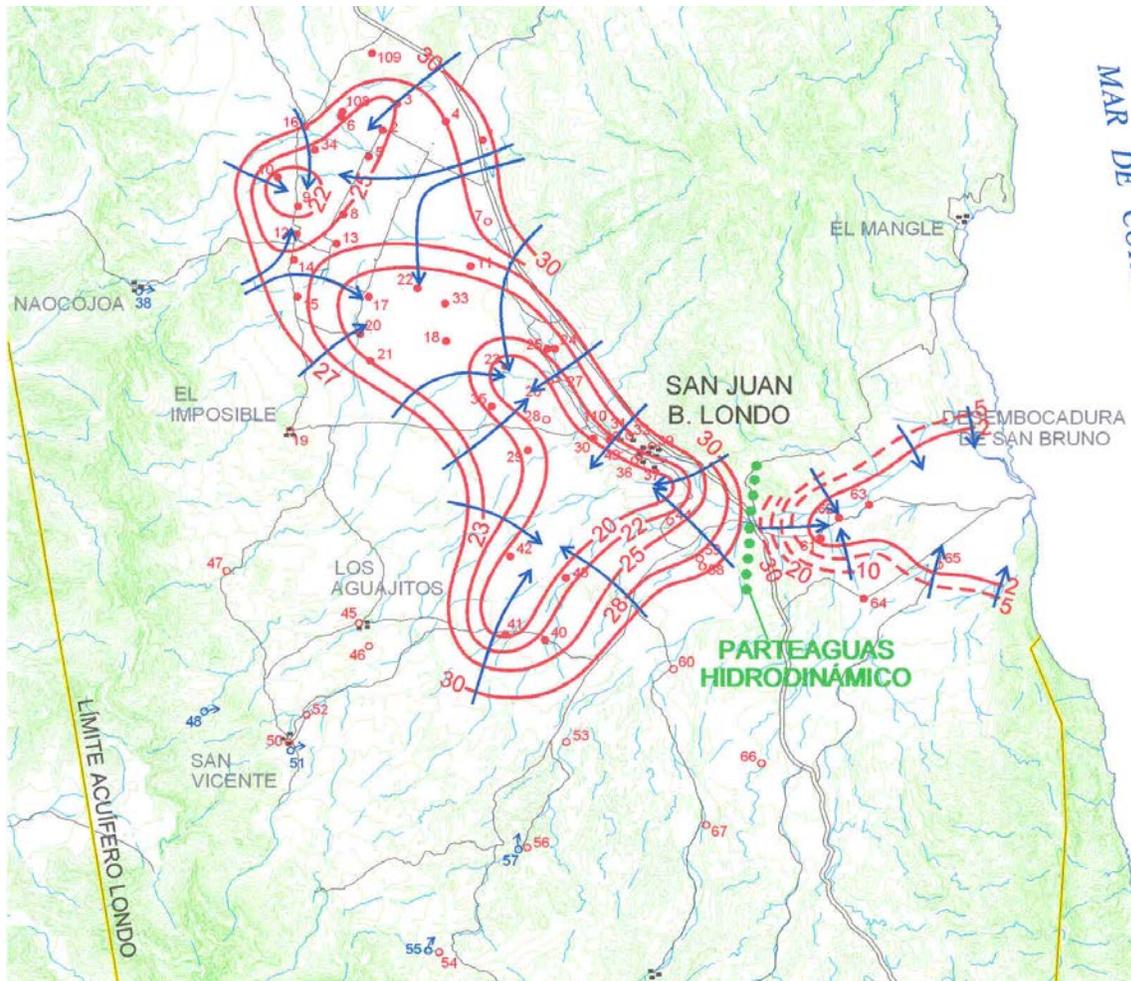


Figura 9.- Elevación del nivel estático

EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

Desde la información obtenida del año de 1978 (SRH), se indica una evolución media anual entre -1 y -2 metros en la porción norte del valle, lo cual indica que desde dicha fecha ya existía sobreexplotación en esta porción.

En general la información piezométrica es escasa. La Comisión Nacional del Agua ha realizado mediciones recientes a partir de las cuales se calculó la evolución 2005-2006 obteniéndose abatimientos anuales entre 0.5 y 1.0 metros en zonas localizadas al norte del valle y alrededor del poblado de San Juan B. Londó.

La información piezométrica histórica, presenta el mayor apoyo deducir la evolución del nivel estático en el período de 1979-2006, período ha existido un abatimiento de entre -6 y -8 metros, lo que equivale a un ritmo anual de abatimiento de 20 a 30 centímetros.

EXTRACCIÓN

El volumen de extracción se obtuvo tomando en cuenta los caudales de los pozos medido en el campo y su tiempo de operación deducido tanto de la información verbal de campo como por superficies de riego. Se efectuó un análisis minucioso de dichas extracciones debido a que, como se observará posteriormente, los pozos activos son muy pocos. En el Valle de San Juan B. Londó, la extracción en los pozos de riego del norte asciende a 1.784 hm³/año, en la porción central del

valle es de 0.438 hm³/año, en los pozos de agua potable del sur asciende a 3.561 hm³/año y en el resto del área de 0.338 hm³/año, para dar un total de extracción de 6.12 hm³/año.

BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA (SAN JUAN B. LONDÓ)

$$\text{Ecuación de balance } E_s + I_{nf} - B = \pm \Delta V(s)$$

Se efectuó un balance de agua subterránea considerando que las entradas de agua al sistema son iguales a las salidas, más el cambio de almacenamiento. Las entradas de agua corresponden al flujo subterráneo (E_s) y a la infiltración vertical (I_{nf}), mientras que las salidas corresponden a la extracción (B) de agua a través del bombeo. El flujo subterráneo de salida (S_s) es cero.

Se efectuaron balances de agua subterránea considerando dos escenarios. Uno considerando la evolución de un año (2005-2006) y otro considerando la evolución obtenida en el período de 27 años (1979 y el 2006).

ESCENARIO 1

Para el cálculo del flujo subterráneo se trazaron las celdas que se marcan en la figura 9.3 marcadas como celdas E-1 a E-16. La **entrada** por flujo subterráneo calculada fue de 4.0 hm³/año. Para su cálculo se tomaron en cuenta tanto los valores de transmisividad obtenidos en las pruebas de bombeo, como la litología de la zona. El volumen de **extracción** se obtuvo tomando en cuenta los caudales de los pozos medido en el campo y su tiempo de operación deducido tanto de la información verbal de campo como por superficies de riego. El valor obtenido fue de 6.1 hm³/año. En este escenario, el **cambio de almacenamiento** se calculó a partir de la evolución anual calculada para el año 2005-2006, el cual resultó de -1.3 hm³/año. Para este **primer escenario** y aplicando la ecuación de balance, se obtuvo una **infiltración vertical** de 0.8 hm³/año que corresponde a una infiltración del 5% de la precipitación pluvial considerada ésta de 200 mm/año.

$4.0 + I_{nf} - 6.1 = -1.3$; por lo que la $I_{nf} = 0.8$
Por lo tanto la **recarga total** (RT) asciende a 4.8 hm³/año

ESCENARIO 2

Para el segundo escenario solo se modifica el cambio de almacenamiento para el periodo de 27 años, el cual resultó de -0.8 hm³/año. Aplicando este valor en la ecuación de balance, se obtiene una infiltración vertical de 1.3 hm³/año que corresponde al 10% de la precipitación pluvial.

$4.0 + I_{nf} - 6.1 = -0.8$ por lo que la $I_{nf} = 1.3$ y la $RT = 5.3$

Considerando que el segundo escenario es más representativo, se concluye que:

Recarga por flujo subterráneo (4.0) + infiltración (1.3) = 5.3 hm³/año
Extracción por bombeo: 6.1 hm³/año
Salidas por flujo subterráneo al mar: 0 hm³/año
Cambio de almacenamiento: -0.8 hm³/año.

Por otra parte, a los datos anteriores se le sumó los correspondientes a la desembocadura de San Bruno, área que se trató independientemente debido a que se encuentra separada del valle de San Juan B. Londó mediante un parteaguas hidrodinámico. Para esta zona de San Bruno, las entradas subterráneas son de 1.1 hm³/año, la infiltración vertical de 0.3 hm³/año, la extracción (B) de 0.2 hm³/año, mientras que el cambio de almacenamiento se consideró cero. A partir de estos datos y aplicando la ecuación de balance, se calculó una salida subterránea la cual ascendió a 1.2 hm³/año.

BALANCE TOTAL ACUÍFERO DE SAN JUAN B. LONDÓ

Corresponde a la suma de los valores obtenidos y comentados en los párrafos anteriores (San Juan Londó + San Bruno), con los que se obtiene:

Recarga por flujo subterráneo e infiltración vertical = $5.3 + 1.4 = 6.7 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Extracción por bombeo = $6.1 + 0.2 = 6.3 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Salidas por flujo subterráneo = $0 + 1.2 = 1.2 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Cambio de almacenamiento = $-0.8 + 0 = -0.8 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Recarga total = $6.7 \text{ hm}^3/\text{año}$.

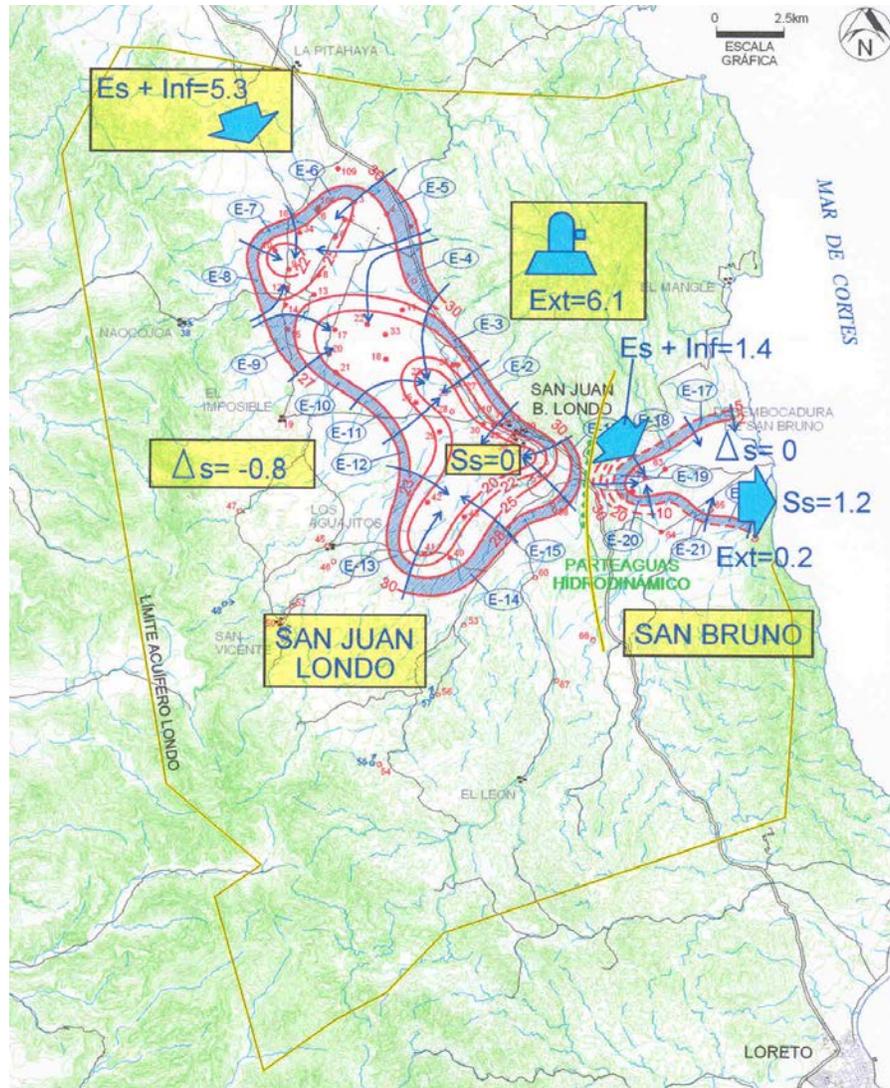


Figura 10.- Balance de agua subterránea

DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

La disponibilidad media anual del agua subterránea, se determinó aplicando las especificaciones y el método señalado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, denominada "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. Conforme a dicha norma, la disponibilidad media anual se obtiene restando, a la

recarga total, la descarga natural comprometida y los volúmenes de agua concesionados inscritos en el Registro Público de derechos de agua (REPDA).

Para efectos del cálculo de la disponibilidad de agua subterránea en el **Acuífero San Juan B. Londó**, se consideró que de los 1.2 hm³/año que salen subterráneamente hacia el mar, por lo menos 1.0 hm³/año debe considerarse como comprometido, para mantener la posición de la interfase marina. Por otra parte los volúmenes de agua subterránea concesionados e inscritos en el REPDA son de 7,678,950 m³/año (con fecha de corte al 31 de mayo de 2006) y la recarga de 6,700,000 m³/año. Por lo tanto, la disponibilidad media anual de aguas subterráneas queda como sigue:

Disponibilidad media anual de agua subterránea (en m3/año)	=	Recarga media anual	-	Descarga comprometida	-	Volumen Concesionado
-1,978,950	=	6,700,000	-	1,000,000	-	7,678,950

De lo anterior se desprende que en el **Acuífero San Juan B. Londó**, no existe disponibilidad de agua subterránea, además de que la sobreexplotación esta ocasionando el abatimiento de los niveles de agua subterránea.

CONCLUSIONES

En el valle de San Juan B. Londó de los 70 aprovechamientos censados, 37 corresponden a pozos, 28 norias y 5 a manantiales.

El acuífero de San Juan B. Londó, corresponde a una fosa tectónica rellena de materiales granulares en espesores de más de 200 metros.

La recarga se genera en las estribaciones de las sierras principalmente en los extremos norte y sur.

La extracción en San Juan B. Londó se ha venido realizando en dos zonas muy localizadas; una destinada al riego ubicada al norte (1.8 hm³/año) y otra al sur del valle, donde el agua extraída es conducida hacia Loreto para su abastecimiento de agua potable (3.6 hm³/año).

Se han observado abatimientos del nivel estático en las tres últimas décadas, localizados en las dos zonas donde se concentra la extracción, lugares donde se han formado ligeras depresiones piezométricas con un abatimiento promedio anual de 0.30 metros para el período 1979-2006 y de 0.5 metros en el último año. En el resto de la región no se han registrado variaciones importantes del nivel del agua subterránea.

En el estrechamiento topográfico entre el valle de San Juan B. Londó y la salida al mar (San Bruno), no hay conexión hidráulica, debido tanto a que los materiales del subsuelo son de baja permeabilidad, como a que existe un parteaguas subterráneo (hidrodinámico) producido por la extracción de agua subterránea en el valle de San Juan B. Londó.

La extracción de agua subterránea en general es reducida, no obstante ha ocasionado ligeras depresiones del nivel estático. Se calculó una extracción de 6.3 hm³/año. Se hace la observación de que son pocos los pozos productores, correspondiendo 4 de ellos a los del agua potable que es conducida a Loreto y 10 pozos de riego, como las principales obras de explotación en este cuífero. La aparición de agrietamientos del terreno en el valle, son *aparentemente* otra consecuencia de la extracción de agua subterránea.

Existe sobreexplotación del acuífero, la cual se concentra en dos zonas locales, una en la zona de riego al norte del valle y otra en el área de extracción de agua potable, al sur del valle.

Los resultados del balance de agua subterránea indican que la recarga por flujo subterráneo e infiltración es de $6.7 \text{ hm}^3/\text{año}$, la extracción por bombeo de $6.3 \text{ hm}^3/\text{año}$, las salidas por flujo subterráneo al mar son $1.2 \text{ hm}^3/\text{año}$ y el cambio de almacenamiento es de $-0.8 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En el **Acuífero San Juan B. Londó**, no existe disponibilidad de extracción de volúmenes adicionales de agua subterránea, además de que la sobreexplotación local está ocasionando el abatimiento de los niveles de agua subterránea.