

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

**“ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO
DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TURBIO,
ESTADOS DE GUANAJUATO Y JALISCO”**

QUE PRESENTA:

PEDRO MARTINEZ MURILLO

Ciudad Universitaria, México D.F., enero de 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y todos los grandes hombres que hicieron posible su fundación, que con visión, generosidad y patriotismo, reconocieron en la educación pública el motor fundamental para el desarrollo de una nación. Para mis compañeros universistarios y todos aquellos que encuentren alguna utilidad en este trabajo.

Muy especialmente para mis hermanos y hermanas: Lulú, Edgardo, Antonio, Fátima, Susana, Raquel, Rocío, Silvia, Alberto y Julieta, por todas las vivencias compartidas y las incontables veces en que me ayudaron a lo largo de toda mi trayectoria. Para mis sobrinos: Lalo, Tita, Paola, Joel, Mariana, Claudia, Vania, Jake e Ethan. Para todos ellos, quienes comparten conmigo la gran satisfacción de ver culminado este trabajo.

Con todo cariño para mi mamá, Magdalena Murillo, por su apoyo y amor incondicional, quien siempre hizo todo lo más que pudo para que recibieramos una educación.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería, que me permitieron formarme como Ingeniero.

A mis jefes y amigos:

El Ing. Francisco Cafaggi Félix, quien en ningún momento dejó nunca de presio...apoyarme para la culminación de este trabajo, por lo cual le estaré siempre agradecido.

El Ing. Guadalupe Ibarra Olivares quien también me apoyó y dió ánimos en las últimas etapas de esta tesis.

A mis compañeros del Servicio Geológico Mexicano: Saúl Peña Coronado, Mónica García Martínez y Julio César Arellano Guerrero, con quienes compartí múltiples vivencias y el arduo trabajo para la realización de este estudio. En agradecimiento por sus valiosas contribuciones.

A mis profesores y sinodales:

El Ing. Héctor Macías González, el M.C. Rolando de la Llara Romero, el Ing. Jorge Nieto Obregón, el Ing. Emiliano Campos Madrigal y a mi compañero de generación, el Ing. Alberto Arias Paz, por contribuir a mi formación y por aceptar amablemente dirigir esta tesis.

Al Servicio Geológico Mexicano, que me brindó la oportunidad de adquirir experiencia trabajando en varios proyectos; por el apoyo técnico, económico y logístico, así como por todas las facilidades a lo largo de todo este proceso.

INDICE		I
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Metodología	2
1.3	Generalidades	4
1.4	Estudios previos	6
2	FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA	10
2.1	Fisiografía	10
2.2	Geomorfología	12
3	GEOLOGÍA	15
3.1	Estratigrafía	15
3.1.1	<i>Unidad Ultramáfica San Juan de Otates (JsUm)</i>	18
3.1.2	<i>Diorita Tuna Mansa (JsD)</i>	19
3.1.3	<i>Basaltos La Luz (JsBa)</i>	20
3.1.4	<i>Unidad Volcanosedimentaria (JsVs)</i>	21
3.1.5	<i>Conglomerados Duarte – Cenicera (TpaeCgp)</i>	21
3.1.6	<i>Rocas Volcánicas del Oligoceno (ToR, ToR-Ig, ToTR, ToR-TR)</i>	22
3.1.7	<i>Rocas Volcánicas del Mioceno (TmA-B)</i>	24
3.1.8	<i>Unidades Sedimentarias del Mioceno y Plioceno (TnAr-Cgp, TplCz).</i>	24
3.1.9	<i>Rocas Volcánicas Intermedias a Básicas del Reciente (QptA-B, QptPc).</i>	25
3.1.10	<i>Depósitos Sedimentarios Recientes (Qal, Qal-Tb).</i>	26
3.1.11	<i>Intrusivos Terciarios (TpgGr, ToGa)</i>	27
3.2	Geología Estructural	28
3.2.1	<i>Estructuras Regionales</i>	26
3.2.2	<i>Secciones Geológico - Hidrogeológicas</i>	30
	- <i>Sección Geológico - Hidrogeológica A – A'</i>	30
	- <i>Sección Geológico - Hidrogeológica B – B'</i>	33
	- <i>Sección Geológico - Hidrogeológica C – C'</i>	34
4.	GEOFÍSICA	39
4.1	Trabajos previos	39
4.2	Gravimetría	40
	<i>4.2.1.- Descripción del Método.</i>	40
	<i>4.2.2.- Equipo Empleado y Trabajos de Campo.</i>	40
	<i>4.2.3.- Procesamiento de los Datos Gravimétricos.</i>	41
	<i>4.2.4. Resultados Obtenidos.</i>	42
5	GEOHIDROLOGÍA	49
5.1	Piezometría	49
	<i>5.1.1 Niveles Piezométricos Históricos</i>	50
	<i>5.1.2 Niveles Piezométricos Actuales</i>	55
	<i>5.1.3 Evolución Piezométrica</i>	60

5.2	Funcionamiento Hidráulico del Acuífero	64
5.2.1	<i>Zonas de Recarga y Descarga</i>	64
5.2.2	<i>Dirección de Flujo Subterráneo</i>	67
5.2.3	<i>Distribución de Unidades Hidrogeológicas</i>	69
5.2.4	<i>Modelo Conceptual de Funcionamiento Acuífero</i>	72
5.2.4.1	<i>Geometría del Acuífero y Tipo de Funcionamiento</i>	74
5.2.4.2	<i>Condiciones de Frontera</i>	75
5	HIDROGEOQUÍMICA	78
6.1	Muestreo y Laboratorios	78
5.2	Distribución de Parámetros Físicos y Químicos	81
5.3	Familias de Agua.	112
5.4	Balance de Aguas Superficiales y Subterráneas.	128
5.5	Características Isotópicas de la Zona de Estudio.	136
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	147
7.1	Conclusiones	147
7.2	Recomendaciones	149
	BIBLIOGRAFÍA	152

ANEXOS

Anexo 3.1 Fotografías unidades geológicas

Anexo 6.1 Resultados de Laboratorio

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte del desempeño profesional dentro del área de Geohidrología del Servicio Geológico Mexicano (antes Consejo de Recursos Minerales). Cabe señalar aquí, que el Servicio Geológico Mexicano nace desde mediados del año 2005 con funciones adicionales a las de su organismo predecesor. Las nuevas atribuciones lo involucran con otras áreas de estudio de las ciencias geológicas además de la tradicional minería. Dentro de las nuevas disciplinas se encuentran las áreas de Riesgo Geológico, la Geología Ambiental, y la Geohidrología.

El estudio es parte de los trabajos realizados dentro del SGM en el área del Bajío desde 2003 y que incluyen la actualización de gran parte de la información hidrogeológica sobre las subcuencas de los ríos Turbio y Guanajuato. Estos estudios tienen importantes aportaciones de datos hidrogeoquímicos, isotópicos y geofísicos, que contribuyen a la elaboración de un modelo más completo del funcionamiento acuífero de estas áreas.

Para la realización de este estudio ha sido muy importante la colaboración del área de Geofísica del SGM, que realizó e interpretó una serie de levantamientos gravimétricos en el área. Esta información se incluye en forma resumida en el capítulo 4 y ha servido de manera muy importante en la elaboración del modelo de funcionamiento hidrogeológico de la subcuenca.

El trabajo se realizó según un convenio de colaboración con la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), que proporcionó gran cantidad de información previa, facilitó sus redes de monitoreo piezométrico y de calidad de agua, así como guías de campo.

En el área de estudio, los trabajos de carácter hidrológico tradicionalmente se han elaborado por acuíferos, mismos que están limitados por medio de poligonales simplificadas cuyos nombres y extensiones fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF), de fecha 5 de diciembre del año 2001. El presente estudio se enfoca a la subcuenca del Río Turbio, que incluye varios de estos acuíferos delimitados en forma más administrativa que con criterios hidrogeológicos.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general del estudio es actualizar el conocimiento hidrogeológico de la Subcuenca del Río Turbio, aprovechando diversas técnicas de exploración geológicas y determinaciones de laboratorio en muestras de agua, entre otras más actividades. Para el cumplimiento de este objetivo, se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- Actualizar las redes de monitoreo piezométrico durante el tiempo de secas 2004.

- Conocer las condiciones actuales de profundidad y elevación de los niveles estáticos, además de su evolución con respecto al tiempo.
- Ampliar el conocimiento de las principales zonas de recarga natural y las direcciones preferentes de flujo de agua subterránea.
- Desarrollar pruebas de bombeo y reinterpretar pruebas existentes para determinar los principales parámetros hidráulicos que rigen el sistema acuífero.
- Llevar a cabo una verificación hidrogeológica y geológica de las diferentes unidades litológicas que afloran en la región.
- Integrar la información geológica y geofísica para modificar o validar el actual modelo geológico del subsuelo.
- Elaborar una campaña de muestreo de agua superficiales y subterránea para determinar las condiciones hidrogeoquímicas e isotópicas del medio.
- Ampliar el conocimiento del funcionamiento y la geometría de acuífero por medio de la elaboración de un modelo conceptual.

1.2 METODOLOGÍA

Compilación e integración de estudios previos

Se revisó información existente de diversos estudios proporcionados por la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), además de bibliografía y cartografía propia de COREMI, cartografía del INEGI e ideas aportadas por la CEAG, se estableció un modelo general de las condiciones de la zona de estudio, particularmente sobre piezometría, geología, funcionamiento del acuífero y de las principales características físicas y químicas del agua subterránea.

Descripción del entorno fisiográfico y análisis geológico, geomorfológico e hidrológico

Se describió la fisiografía del área, además se analizaron características climatológicas que incluyen, entre otros aspectos, clima, precipitación media anual, evapotranspiración y temperatura media anual.

Campaña de exploración gravimétrica terrestre.

Se realizaron levantamientos gravimétricos en varias líneas de exploración, aprovechando los caminos del área de trabajo. Las líneas se trazaron paralelas y perpendiculares a la fosa tectónica que forma el Valle del Río Turbio y se establecieron estaciones de lectura a cada 250 m. En gabinete se procedió a hacer las diferentes correcciones a las mediciones de gravedad para obtener mapas de anomalías de Bouguer y llevar a cabo el modelado del subsuelo.

Interpretación de la geología del subsuelo con información geológica y geofísica

Con el objeto de definir la geología del subsuelo, se integraron los resultados de magnetometría, de sondeos eléctricos verticales (SEV) y magnetotelúricos (TEM), de la información previa, con los de gravimetría, de esta fase de exploración, y columnas de pozos de agua, dando como resultado una modelación en tercera dimensión de las unidades litológicas.

Campaña de Piezometría

Se llevó a cabo una campaña de monitoreo piezométrico para el período de secas 2004 de las redes piezométricas del Valle de León, Río Turbio y Pénjamo Abasolo, que fueron proporcionadas por CEAG. Se realizaron además mediciones llevadas en pozos que no forman parte de dichas redes con el fin de complementar y enriquecer los resultados piezométricos. Con los resultados de esta campaña y la compilación de datos históricos se generaron mapas de profundidades, elevaciones y evoluciones de niveles estáticos, a la vez que se determinaron las principales zonas de recarga.

Funcionamiento hidráulico del acuífero.

Se elaboraron una serie de planos, diagramas y figuras donde se indican, entre otros aspectos, las diferentes unidades hidrogeológicas que afloran en el área, así como las zonas de recarga y descarga que imperan en la zona. Con el apoyo de los mapas de piezometría se marcaron las principales direcciones de flujo subterráneo.

Como resultado de esta actividad se elaboró una representación esquemática del funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la cual incluye la geometría espacial del sistema, tipo de funcionamiento del acuífero, condiciones de frontera y los regímenes de flujo subterráneo.

Recolección de muestras y análisis físico - químico.

Se llevó a cabo una campaña de muestreo de agua, tanto superficial como subterránea. La selección de pozos a muestrear fue hecha tomando en cuenta la distribución geográfica de la zona, además, buscando muestrear los diferentes niveles a los que se encuentra el agua a profundidad. CEAG proporcionó sus redes de monitoreo de calidad de agua para los tres acuíferos.

En el sitio de muestreo se hicieron las determinaciones de pH, Eh, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y salinidad así como la determinación del contenido de carbonatos y bicarbonatos por titulación de ácido sulfúrico. Para la toma de muestras se siguió el protocolo del Manual de Muestreo de Aguas Subterráneas de CNA (1999).

Con el fin de determinar un posible origen del agua se tomaron muestras para análisis de Oxígeno 18 y Deuterio, además, se incluyeron análisis de tritio, el cual es un elemento que brinda un panorama general sobre la edad del agua.

1.3 Generalidades.

La Subcuenca del Río Turbio se encuentra ubicada en la porción centro occidental del Estado de Guanajuato e incluye también una pequeña parte del Estado de Jalisco (Figura 1.1). Se encuentra limitada aproximadamente por los paralelos 20°18' y 21°15' de Latitud Norte y los meridianos 101°25' y 102°15' de Longitud Oeste, dentro de los municipios de León, San Francisco del Rincón, Manuel Doblado, Cuerámara, Abasolo, Purísima del Rincón, Romita y Pénjamo del Estado de Guanajuato, y Lagos de Moreno, Unión de San Antonio, San Diego de Alejandría y Jesús María en Jalisco, cubriendo una extensión aproximada de 4,635 km².

Los límites de la subcuenca son, al noreste y norte la Sierra de Guanajuato, al noroeste y oeste los altos de Jalisco, al suroeste la Sierra de Pénjamo, al sur el Río Lerma, al sureste la Sierra de Abasolo y el Valle de Irapuato y al oriente el Valle de Silao – Romita y la zona de La Muralla.

El escurrimiento más importante para el área de estudio es el propio Río Turbio, sus aguas son retenidas y reguladas poco después de su nacimiento por la Presa El Palote localizada al norte de León, después sus aguas son captadas por una serie de represas menores como San Germán y El Mastranzo al suroeste de la misma población. Aguas abajo sus aguas son nuevamente captadas y reguladas por la Presa El Sitio, ubicada al noreste de Manuel Doblado, para después fluir libremente al sur hasta su confluencia con el Río Lerma a la altura del poblado Pastor Ortiz.

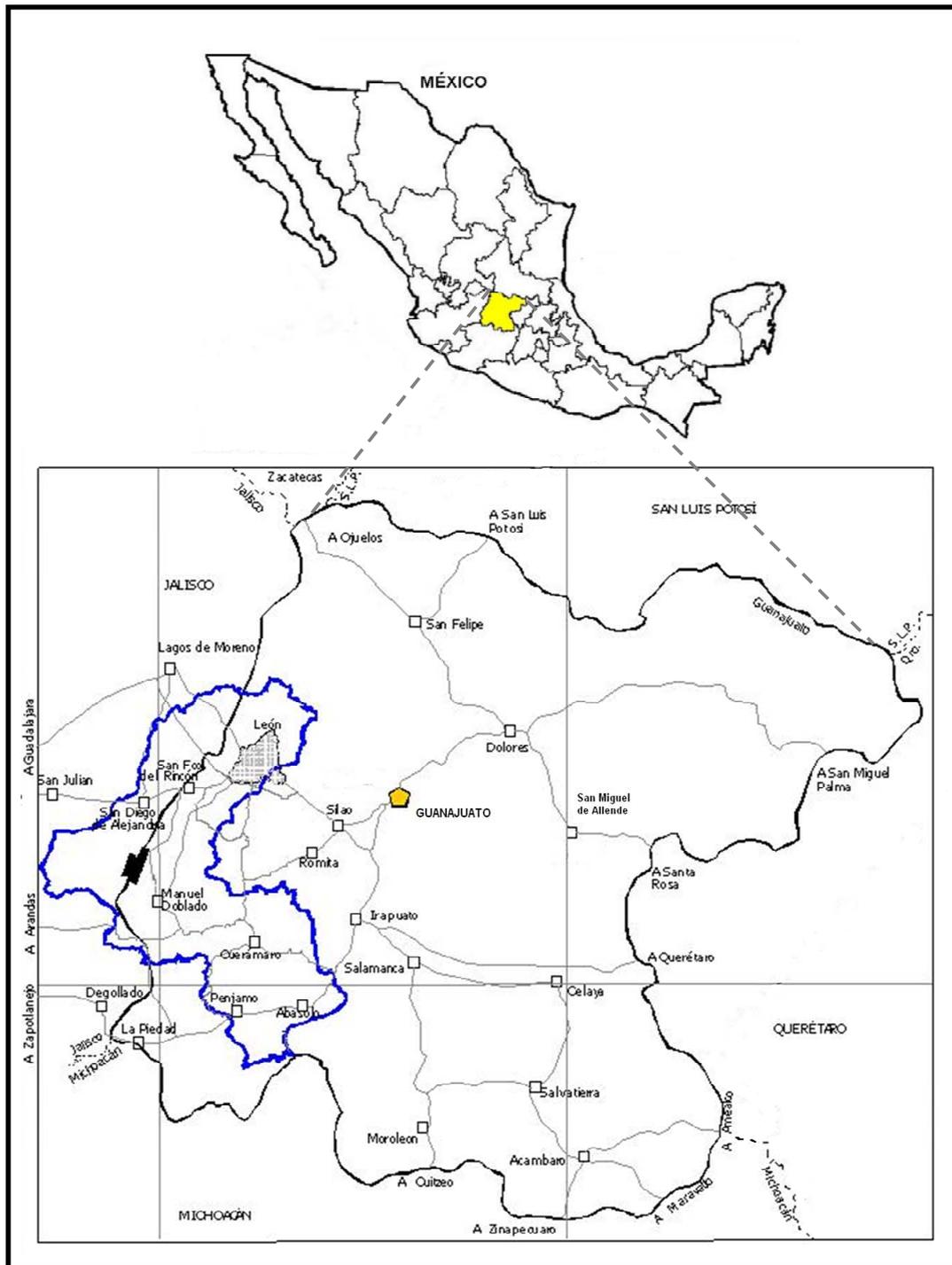


Figura 1.1 Localización del área de estudio.

Al Río Turbio vierten sus aguas innumerables afluentes, entre los principales se encuentra el Arroyo La Primavera, al noroeste de San Francisco del Rincón, el cual es regulado poco antes de su

confluencia con el Río Turbio por la Presa El Barrial, ubicada al norte de la misma población. Caso similar ocurre con el Arroyo Frío ubicado al suroeste de Cuerámaro y cuyas aguas son retenidas y distribuidas por la Presa El Aguacate. La zona poniente de la subcuenca se caracteriza por tener una serie de arroyos cuyas aguas fluyen principalmente al oriente y antes de unirse al Río Turbio se retienen y regulan por varias presas pequeñas como Santa Isabel, Bordo Grande, El Salitre y San Juan, para después fluir por una serie de canales y ser aprovechadas para riego agrícola principalmente.

El clima predominante de la región, según la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), es de tipo Templado – Sub-húmedo “C (wO) (w)”. La temperatura media anual es de 18 °C (Figura 1.3), con mínimas promedio de 10 °C y máximas de 25 °C. A partir del balance de aguas superficiales elaborado para este estudio, se calculó la precipitación media anual de 670 mm, a la vez que se calcularon la evapotranspiración media anual, resultando del orden de 594 mm, y escurrimiento medio anual, de unos 127 Hm³.

La región de estudio se encuentra el Distrito de Riego No. 011 *Alto Lerma*, enmarcado en la Región Hidrológico-Administrativa VIII *Lerma-Santiago-Pacífico*. Esta región ha sido motivo de diferentes tipos de veda para la explotación de aguas subterráneas y actualmente toda la zona está sujeta a una Veda del tipo Rígida.

Dentro de la Subcuenca del Río Turbio se localizan tres acuíferos: *Río Turbio*, *Valle de León* y *Pénjamo - Abasolo*, el primero se encuentra en su totalidad mientras que los otros lo están en su mayor parte.

1.4 Estudios Previos

Dada la importancia agrícola e industrial de la región, la zona de estudio ha sido objeto de numerosos estudios de carácter geohidrológico, la mayoría por encomienda de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y organismos que le antecedieron o CEAG. También existen compendios y cartografía de tipo regional, desarrollados y publicados por el Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI) y por COREMI. A continuación se hace una breve reseña de algunos informes consultados.

En 1969 la empresa Ariel Construcciones, S. A., realiza uno de los primeros trabajos al noreste de la zona de estudio, particularmente en el Valle de León, el propósito fue dar continuidad a los trabajos piezométricos llevados a cabo en años anteriores. Fueron observados descensos en los

niveles piezométricos (7 metros para un periodo de 21 años, 1948-1969), mismos que fueron atribuidos a la incipiente sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos.

A partir de 1997 CEAG encomendó a diversas empresas el hacer estudios de carácter geohidrológico con el objeto de programar el manejo de los acuíferos. Por lo cual, en 1998 la empresa Lesser y Asociados, S.A. de C.V. elaboró el *Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero Pénjamo-Abasolo*. De este estudio se destaca la presencia de 3 horizontes acuíferos: uno somero, un intermedio y otro profundo; de los cuales al somero e intermedio se les consideró prácticamente agotados. El abatimiento medio anual reportado fue de 1 a 3 m, con extracciones referidas del orden de 721 Hm³. Entre las recomendaciones destacan: tecnificación de riego, aumento de la recarga mediante presas y adaptación de cauces antiguos, así como aplicar programas de reforestación.

Geofísica de Exploraciones (Guysa, S.A. de C.V.), realizó trabajos en el área en 1988, y en 1998 llevó a cabo el *Estudio Hidrogeológico y Modelo Matemático del Acuífero del Valle de León, Gto.* Del anterior se desprende que el tipo de acuífero es libre, heterogéneo y anisotrópico, con un abatimiento anual de 1.6 m y con un cambio de almacenamiento negativo de 68 Hm³, también se obtuvo una nueva visión de la geometría espacial del subsuelo y se definieron 8 unidades hidroestratigráficas. Se concluye que existe una tendencia marcada de la dirección del flujo subterráneo a converger radialmente hacia un cono de dimensiones regionales que se localiza al centro del valle.

En el mismo año la empresa Geopsa, S.A. de C.V., lleva a cabo el *Estudio Hidrogeológico del Acuífero del Valle del Río Turbio*. Incluyó 22 pruebas de bombeo con las que se asignó valores de transmisividad a diferentes conjuntos litológicos. Valores de recarga de 51 Hm³ se atribuyeron a la zona norte y oeste del valle –Altos de Jalisco–, mientras que se asignó un valor de 63 Hm³ a la recarga vertical, de tal modo que la recarga total asignada fue de 121 Hm³. Se establece que el Río Turbio es el principal agente contaminante del valle y a la vez se recomienda establecer políticas de control y saneamiento de las descargas. También se indica que el sistema acuífero funciona como libre y está integrado por unidades litológicas de tipo granular y fracturadas que se comunican hidráulicamente entre sí.

En 1999 el estudio denominado *Desarrollo de un Modelo Integral para el Análisis Coordinado de las Aguas Subterráneas y Superficiales en las Subcuencas de los Ríos Turbio y Guanajuato*, fue llevado a cabo por Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V. De entre las actividades importantes destacan la elaboración de un balance de aguas subterráneas, dando como resultado un déficit de 207 Hm³ y el balance de aguas superficiales que arrojó infiltración de 303 Hm³. Se propuso la

existencia de un acuífero de tipo libre, sin marcados contrastes de conductividad hidráulica entre unidades hidroestratigráficas. Se definieron parámetros hidráulicos del sistema por medio de la información arrojada en 53 pruebas de bombeo.

También en 1999, el Instituto de Geofísica de la UNAM, llevó a cabo el *Estudio isotópico para la caracterización del agua subterránea en la zona de la Muralla, Gto.* En dicho trabajo se hace la caracterización isotópica del agua subterránea y se determina el origen de la misma. Se establecieron las conductividades hidráulicas promedio de las distintas unidades geológicas de la zona.

En el 2001 CEAG inicia la conformación de la red estatal para el monitoreo de la calidad del agua subterránea, la cual se realiza por etapas, incorporando pozos existentes, representativos para la calidad del agua subterránea y su evolución con el tiempo. Por tal motivo, en ese mismo año, el Instituto de Geofísica de la UNAM, elaboró el estudio *Definición de red para la caracterización de la calidad físico-química del agua subterránea para el Acuífero de Pénjamo – Abasolo.* En este estudio, como su nombre lo indica, se propone una red de monitoreo para la calidad de agua y a la vez se sugiere el monitoreo constante de la misma.

Ramos J.A (2002) elaboró su tesis doctoral sobre *Validación de mapas de vulnerabilidad acuífera e impacto ambiental, caso Río Turbio, Guanajuato.* El trabajo presenta mapas de vulnerabilidad acuífera e indica la presencia de dos acuíferos, uno relacionado a un medio granular y otro enmarcado en un medio fracturado.

Para 2004 COREMI llevó a cabo el estudio *Potencial Geohidrológico del Graben de León*, el cual está enmarcado en la Subcuenca del Río Guanajuato. Destacan puntos como el espesor de las rocas y materiales con potencial acuífero que va de 400 hasta cerca de 1000 m, con un grosor promedio de 350 m para la parte granular. El acuífero a nivel de subcuenca es de tipo libre, con la presencia de horizontes arcillosos que, de forma local, forman condiciones de semiconfinamiento, se infiere la presencia de fosas profundas sepultadas bajo rellenos sedimentarios, de entre las más importantes resalta el Graben de León. Se llevaron a cabo líneas de exploración gravimétrica cuya interpretación permitió delimitar la configuración del basamento geohidrológico, además del espesor y morfología del paquete granular y fracturado favorable para el almacenamiento de agua.

La tendencia general del acuífero es al abatimiento con pequeñas recuperaciones locales y momentáneas, al menos en los cinco años previos. Se definieron y cartografiaron 6 unidades hidrogeológicas y se estimaron conductividades hidráulicas y transmisividades medias a partir de la reinterpretación de pruebas de bombeo. El modelo conceptual soporta la existencia de dos acuíferos,

uno superior (freático) con espesores de hasta 30 m, por de bajo de éste un acuífero regional de amplia extensión y espesor, el cual funciona como libre a semiconfinado localmente. El agua subterránea en la subcuenca mostró de manera general buena calidad, sin embargo, es evidente el impacto de la actividad humana en algunas zonas. Un análisis isotópico mostró que el agua subterránea no tiene alteraciones significativas con respecto al agua de la precipitación y se sugiere un sistema hidrológico dinámico con recarga rápida en algunas zonas.

2. FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGÍA

2.1 Fisiografía

El área de estudio queda comprendida dentro de dos grandes provincias fisiográficas: la Mesa del Centro y La Faja Volcánica Mexicana o Eje Neovolcánico. La mayor parte del área queda incluida dentro de la segunda provincia (cerca de un 90%). La porción del área que corresponde a la Mesa del Centro está representada solamente por la zona que corresponde a la Sierra de Guanajuato que representa acaso un 10% del total de la superficie de la subcuenca.

Aunque la mayor parte del área se ubica dentro de la provincia del Eje Neovolcánico, ésta, con excepción del extremo sur de la subcuenca, se encuentra generalmente cubierta por rocas riolíticas del Terciario Medio, por lo que tienen más afinidad con el vulcanismo de la Sierra Madre Occidental.

La Figura 2.1 presenta un mapa fisiográfico de la Subcuenca del Río Turbio y zonas circundantes. En el mapa se señalan las divisiones correspondientes a las provincias y subprovincias fisiográficas que se encuentran en el área (según las claves y divisiones utilizadas por INEGI, 1982), así como los diferentes sistemas de topofomas que se hallan en ellas.

El área correspondiente a la Mesa del Centro incluye a la subprovincia de *Valles Paralelos del Suroeste de la Sierra de Guanajuato* que ocupa el extremo norte de la subcuenca. Todo el resto del área es Faja Volcánica, donde la mitad oriental forma parte de la subprovincia del *Bajío Guanajuatense* mientras que la mayor parte de la mitad occidental pertenece a la subprovincia de los *Altos de Jalisco*. Sólo hacia el extremo sur algunas zonas menores (parte del valle de Pénjamo) quedan clasificadas dentro de la subprovincia de *Sierras y Bajíos Michoacanos*.

En la Sierra de Guanajuato, el Río Turbio tiene como principales afluentes a las corrientes Hacienda de Arriba y Los Castillos, que descargan en la presa El Palote y hacia el canal Los Gómez, éste último que cruza la ciudad de León. También en la misma sierra, los arroyos Ojo de Agua Los Reyes, Rancho La Virgen y Puerto Colorado; al norte de San Francisco del Rincón los arroyos Las Cruces y El Molino que alimentan la presa El Barrial. Al sur de Manuel Doblado se le unen los arroyos Ayo y Providencia.

Hacia la zona de los Altos de Jalisco se observa una red de drenaje poco desarrollada; prácticamente no hay corrientes perennes, con excepción del arroyo Agua Negra que alimenta la Presa Nueva de Jalpa.

El Río Turbio se une al Río Lerma cerca de la comunidad de Atarjea de Crucitas situada a unos 3 Km al poniente de la población de Pastor Ortiz.

La red hidrográfica es de densidad moderada con patrones dendríticos, subparalelos y radiales. A gran escala el Río Turbio presenta inflexiones en su dirección general a 90° en un patrón zigzagueante, lo que tiene relación directa con los sistemas de fallamiento dominantes en la región. A excepción de buena parte de la Sierra de Guanajuato, el paisaje está dominado por relieve de origen volcánico, lávico y piroclástico, que presentan estados de erosión moderados. Estas topofomas incluyen sierras altas y bajas, mesas y lomeríos, así como cerros aislados separados por valles y zonas llanas o con muy suave relieve, donde preferentemente se practican los cultivos.

La orientación de los elementos orográficos del área está estrechamente relacionada con las principales estructuras regionales. De esta manera, son de notar la orientación NW-SE de la Sierra de Guanajuato y algunos escarpes, lomeríos y cauces en dirección general norte sur particularmente en las zonas noroeste, centro oriente del área y hacia el poniente y suroeste de San Francisco del Rincón.

Hacia la parte centro y sur de la subcuenca son comunes los rasgos topográficos alineados según una serie de fallamientos normales de dirección muy próxima a noreste-suroeste (NE-SW) y este noreste – oeste suroeste (ENE-WSW). Entre tales rasgos destacan la sierra que se alza al norte de Pénjamo y suroeste de Cuerámara (Levantamiento Tectónico de Pénjamo) así como los escarpes asociados a un graben en la zona que corresponde al Estado de Jalisco (Geben de Jalpa).

Al norte, el principal rasgo orográfico está constituido por la Sierra de Guanajuato. Esta sierra tiene aproximadamente 85 Km de longitud y anchura entre 15 y poco más de 20 Km. Se alza a unos 12 Km al oriente de Lagos de Moreno y se extiende en dirección sureste por la zona norte de León, hasta unos 15 Km hacia el sureste de la Ciudad de Guanajuato.

Las mayores elevaciones de la Sierra de Guanajuato, dentro del área de trabajo, alcanzan alturas de 2,700 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la Sierra de Lobos, en el extremo norte de la subcuenca. Destacan en esta zona las mesas El Gato y El Toro (2,670 msnm), El Borrego (2,710 msnm), La Cuatralba (2,830 msnm) el cerro El Puerto de la Magdalena y el cerro El Gigante (2,700 msnm).

El paisaje, en la zona oriente de la Subcuenca del Río Turbio está dominado por una serie de sierras, lomeríos y mesas con elevaciones de entre 1,800 y 2,190 msnm, como el cerro La Silleta (1,930 msnm), Mesa La Colmena (2,160 msnm), el cerro El Picacho (2,100 msnm) hacia el poniente de la localidad de La Muralla. Las estrechas zonas llanas aledañas a estas sierras bajas tienen elevaciones del orden de 1,770 msnm.

Al norte de Abasolo y poniente de Irapuato destaca el cerro El Veinte, volcán de 2,330 m de altura. Este último aparato es el rasgo topográfico más notable en la zona sureste del área de estudio; su cima es parte de la línea de parteaguas entre las subcuencas de los ríos Turbio y Guanajuato.

El límite poniente de la subcuenca está representado por una serie de mesas y sierras con elevaciones de hasta 2,400 msnm. En la zona de Jalisco en el extremo poniente destaca el cerro La Corona (2,210 msnm) y hacia el sur de Manuel Doblado, los cerros El Gallo (2,250 msnm) y El Escorpión (2,350 msnm). En contraposición a las elevaciones serranas, las zonas llanas y valles de cultivo se encuentran a niveles entre 1,780 y 1,850 msnm para el Valle de León; entre 1,740 y 1,700 msnm para la zona de Manuel Doblado y Cuerámaro y, aproximadamente, de 1,700 a 1,680 msnm para el valle de Pénjamo-Abasolo.

2.2 Geomorfología

Las distintas formas de relieve en el área son, por supuesto, reflejo y consecuencia de la historia geológica de la región. Las unidades geológicas, al igual que las topoformas derivadas de ellas, pueden agruparse, de manera general, en dos dominios. Por una parte se tienen sierras altas y bajas, bastante disectadas, así como lomeríos de formas suaves, que acusan una larga historia de intemperismo y erosión. Por otro lado, se tienen formas juveniles, consistentes en mesas, abanicos aluviales, planicies de rellenos sedimentarios, así como algunas sierras altas, bajas y lomeríos de origen volcánico reciente, que muestran redes de drenaje poco desarrolladas.

El primer grupo de topoformas se presenta principalmente en la Sierra de Guanajuato, en el extremo norte del área; estas formas corresponden a las unidades geológicas más antiguas, de la Era Mesozoica y de la base del Terciario, que incluyen rocas metasedimentarias volcanoclásticas e intrusivas, principalmente, así como volúmenes menores de conglomerados consolidados. La sierra se extiende a lo largo de una franja de orientación general NW-SE, coincidente con trazas de fallamientos de tipo normal e inverso. Dentro de la misma sierra pueden observarse cañadas y lineamientos subparalelos de orientación NE-SW, más o menos perpendiculares al tren general de la sierra al que parecen intersectar.

En las unidades más antiguas de la Sierra de Guanajuato el patrón de drenaje es dendrítico y bastante denso, aunque se nota claramente la influencia de las grandes fracturas y fallas mencionadas anteriormente. La red de drenaje es claramente más densa en las unidades geológicas mesozoicas y del Terciario Inferior que en las rocas más recientes; sin embargo, dentro de la misma sierra se encuentran

algunos cuerpos de basaltos y rocas ácidas del Terciario Superior y Cuaternario, cuya morfología juvenil contrasta con la de las unidades subyacentes.

Son comunes las mesas volcánicas de amplios bordes escarpados producidos ya sea por fallamientos normales (Altos de Jalisco y Sierra de Pénjamo) o erosión remontante (mesas La Cuatralba, El Toro y El Gato). En el resto del área se observan formas de escasa antigüedad constituidas por lomeríos y sierras bajas con grados intermedios a incipientes de erosión asociadas a materiales volcánicos del Terciario Medio al Cuaternario, así como a depósitos y rellenos aluviales.

En la zona Norte y en pequeñas zonas del centro poniente del área se presenta, en general, un desarrollo geomorfológico de madurez, con zonas rejuvenecidas hacia el resto del área. Dentro de las formas juveniles se presentan mesetas volcánicas, sierras y lomeríos de rocas ácidas intermedias y básicas terciarias y cuaternarias. Estos rasgos son más claros en el extremo sur del área con la presencia de algunos aparatos volcánicos muy recientes. En estas formas de relieve la red de drenaje es pobre o casi inexistente, aunque se aprecian algunas cañadas de claro control estructural. En este sentido los fallamientos normales del Terciario Medio y Cuaternario han contribuido al desarrollo de rasgos juveniles, como los ya mencionados escarpes y sistemas serranos del extremo poniente y norte de Pénjamo con orientaciones generales ENE-WSW y en menor medida, E-W y N-S. La denudación de estas formas ha originado rellenos sedimentarios, en ocasiones de tipo lacustre y fajas de abanicos aluviales.

Las mesas de origen volcánico se presentan en posición casi horizontal o levemente basculada y disectadas por corrientes fluviales de tipo consecuente y subsecuente. Estas formas se observan en toda el área, incluso hacia ambas vertientes de la Sierra de Guanajuato, donde coexisten con un paisaje más antiguo.

Más del 50% de la superficie de la subcuenca está dominada por la presencia de rellenos sedimentarios recientes que conforman zonas llanas o de suaves lomeríos, como ocurre con los valles de León y San Francisco del Rincón, Manuel Doblado, Cuerámaro y Pénjamo-Abasolo. En la zona sur del área se manifiesta la presencia frecuente de cenizas volcánicas cuaternarias mezcladas con los sedimentos aluviales y lacustres así como suelos residuales.

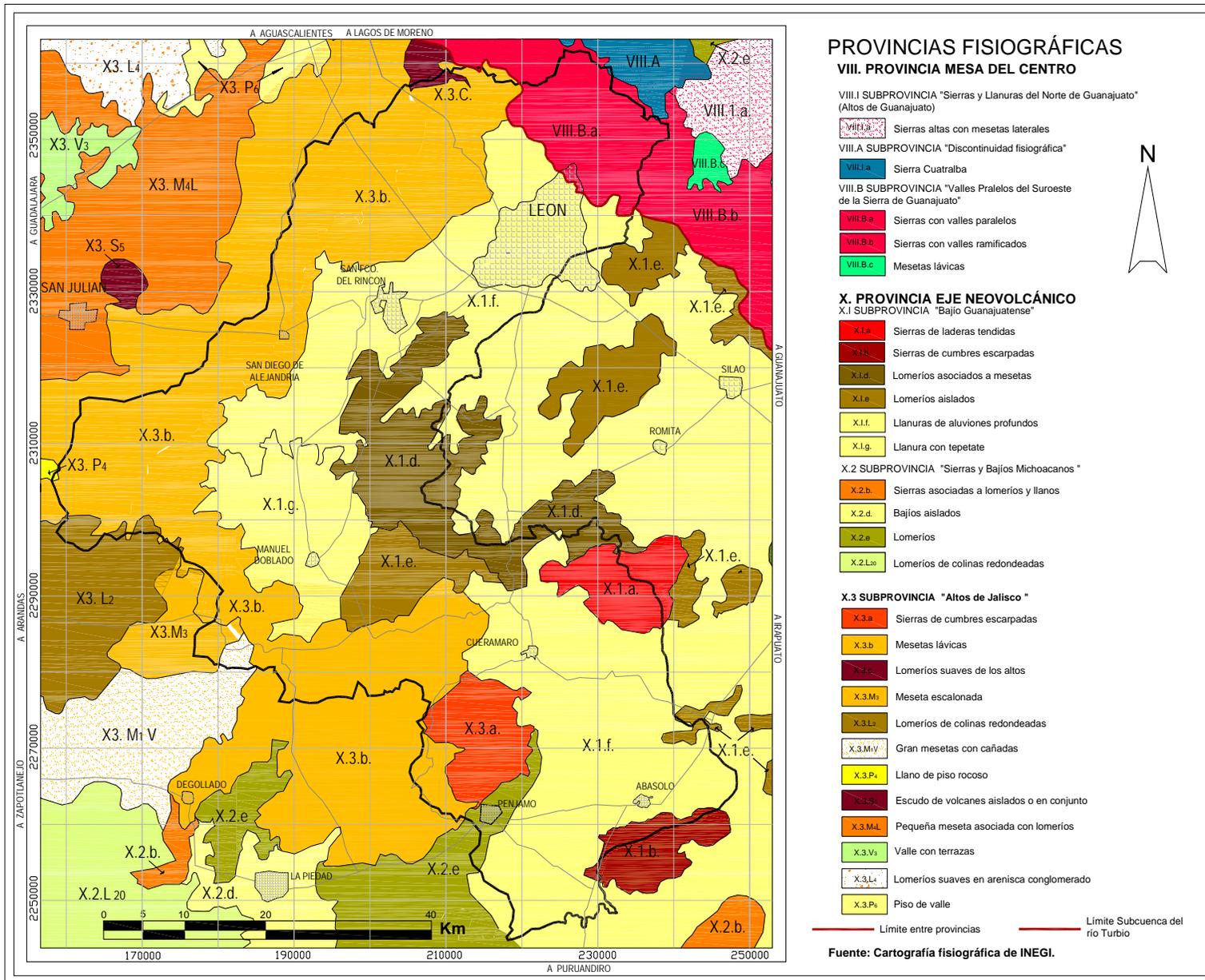


Figura 2.1 Mapa fisiográfico de la Subcuenca del Río Turbio.

3 GEOLOGIA

La mayor parte del área de la subcuenca del Río Turbio está cubierta por rocas volcánicas terciarias de composición predominantemente riolítica, aunque no son raras las andesitas y basaltos. Dentro del paisaje de la subcuenca tienen gran importancia extensos valles aluviales sobre los que se practica agricultura intensiva. Estas zonas llanas y de topografía muy suave cubren cerca de la mitad de la superficie del área de estudio. Aunque menos abundantes que las rocas terciarias, también son comunes los afloramientos de rocas volcánicas cuaternarias, constituidas por tobas y lavas basálticas.

En el extremo norte de la subcuenca, en la Sierra de Guanajuato, el ambiente geológico es distinto al observado en la mayor parte del resto del área. En esta zona serrana afloran rocas mesozoicas metasedimentarias, plutónicas y volcánicas relacionadas con un antiguo arco volcánico intraoceánico. A su vez, estas rocas están afectadas por grandes cuerpos intrusivos terciarios y cubiertas localmente por ignimbritas y otras rocas riolíticas del Terciario y basaltos cuaternarios.

En las rocas mesozoicas de la Sierra de Guanajuato se han reconocido fallamientos inversos e incipiente foliación ocurrida a finales de la Era Mesozoica. A su vez, todo el conjunto de rocas, tanto mesozoicas, terciarias y cuaternarias están afectadas por fallamientos de tipo normal. Del Terciario se presentan sistemas de fallamiento normal con orientaciones noreste-suroeste, NE-SW, y noroeste – sureste, NW-SE, principalmente; mientras que del Cuaternario, son propios los sistemas este noreste – oeste suroeste, ENE - WSW, oeste noroeste – este sureste, WNW-ESE, y norte – sur, N-S.

Las rocas riolíticas terciarias forman pequeñas sierras, lomas y mesas que pueden observarse particularmente hacia la zona poniente de la subcuenca, en el Municipio de Arandas, Jalisco, así como en una zona intermedia entre las ciudades de León y Lagos de Moreno. Otras zonas de afloramiento de estas rocas se observan hacia las partes bajas de la sierra que se levanta entre Pénjamo y Cuerámaro (Levantamiento Tectónico de Pénjamo), así como a unos 15 Km al oriente y al este - noreste de Manuel Doblado, al norte del poblado de San José de Otates. Asimismo, en las partes bajas de la vertiente suroeste de la Sierra de Guanajuato como en las partes más altas, también se pueden observar rocas riolíticas e ignimbríticas terciarias.

3.1 Estratigrafía

Las diferentes unidades que se exponen en la zona se describen a continuación en orden de la más antigua a la más joven. En el plano geológico de la Figura 3.1 (ver plano geológico anexo) se muestra su distribución en planta.

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA
EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TURBIO**

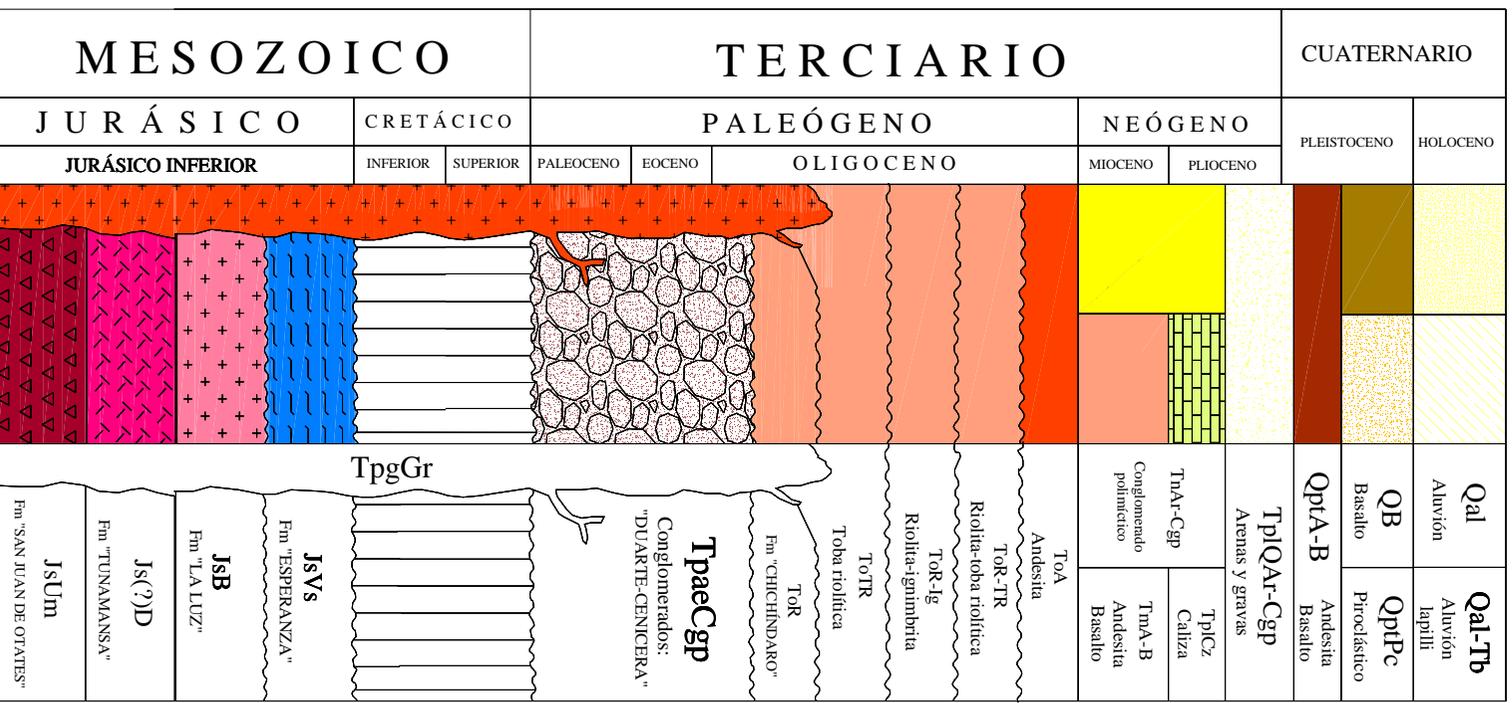


Figura 3.2 Columna estratigráfica para la Subcuenca del Río Turbio.

La Figura 3.2 ilustra la columna estratigráfica del área de estudio. La geología plasmada en la planta se obtuvo de la cartografía de las hojas geológicas escala 1:250,000 de COREMI, la cual fue parcialmente modificada durante la verificación de campo, particularmente en los empates entre las mismas.

Las unidades más antiguas que afloran en el área corresponden a la Era Mesozoica y constituyen un complejo plutónico – volcánico - metasedimentario cuya litología está atribuida a la existencia de un antiguo arco volcánico intraoceánico que fue acrecionado a Norteamérica hacia finales del Período Cretácico (*Arco de Guanajuato*, Monod *et al.*, 1988, 1990; Ortiz Hernández, 1993). Todas estas unidades afloran en la sierra de Guanajuato, junto con una potente unidad de conglomerado rojo tipo molasa (conglomerados Guanajuato, Duarte y Cenicera) así como con emisiones volcánicas del Terciario y Cuaternario.

El conjunto litológico del arco se encuentra actualmente disociado, está compuesto por 5 unidades alóctonas superpuestas mediante planos de cabalgadura: Unidad Ultramáfica San Juan de Otates, Diorita Tuna Mansa, Tonalita Cerro Pelón, Basaltos La Luz y Unidad Volcanosedimentaria (o Fm. Esperanza).

Aunque estas unidades conforman gran parte de la Sierra de Guanajuato, desde la zona sur del poblado de Comanja, hasta la ciudad de Guanajuato, en el área de la Subcuenca del Río Turbio no aflora la unidad Tonalita Cerro Pelón, la cual puede observarse hacia el N y NW de la ciudad capital.

3.1.1 Unidad ultramáfica San Juan de Otates (JsUm)

Se considera la unidad más antigua de las rocas mesozoicas que afloran en la Sierra de Guanajuato (fotografías 3.1 a 3.3). Está formada por serpentinitas, peridotitas, clinopiroxenitas serpentinizadas y gabros con texturas de acumulación. Por su posición y naturaleza alóctona, al igual que las demás rocas del Arco de Guanajuato, se le asigna una edad tentativa del Jurásico Superior (Martínez Reyes *et al.*, 1992).

La unidad aflora en la Sierra de Guanajuato, al norte del poblado San Juan de Otates y en el arroyo del mismo nombre, en el extremo NE de la Subcuenca. Existen otros afloramientos en las rancherías El Jitomatal y El Paxtle. La roca presenta color gris verdoso claro a oscuro con tonos parduscos. Muestra intenso fracturamiento, aunque las múltiples discontinuidades son cerradas. Superficialmente la unidad se muestra bastante intemperizada y con intenso fracturamiento, aunque en

algunas zonas más sanas se presenta masiva y compacta. El espesor de la cubierta muy intemperizada es variable y puede ir desde un par hasta probablemente algunas decenas de metros.

Las características geoquímicas de la formación muestran similitudes con las ofiolitas que se consideran son formadas en un ambiente de arco insular (Pearce *et al.* 1984, en Ortiz *et al.*, 1993). Inicialmente la unidad San Juan de Otates había sido denominada *Ofiolita Barbosa* (Quintero Legorreta, 1922). Al igual que todas las rocas ígneas del Arco de Guanajuato, la Formación San Juan de Otates corresponde a un magmatismo toleítico, con empobrecimiento en TiO₂, K₂O y tierras raras, generado en un contexto orogénico de arco intraoceánico (Ortiz, 1988).

3.1.2 *Diorita Tuna Mansa (JsD)*

La Diorita Tuna Mansa designa a diversas fases cristalinas de composición diorítica, esencialmente granítica y ocasionalmente gabrítica, que constituye una serie de testigos tectónicos. La unidad es cortada por numerosos diques granofídeos, doleríticos y basálticos que en conjunto forman un enjambre complejo de filones. En la zona la Luz-El Cubilete-Guanajuato este enjambre ha sido denominado Complejo Filoniano Santana. COREMI ha cartografiado a estas unidades como un conjunto denominado Diorita Tuna Mansa. Afloran en diversas localidades a lo largo de la Sierra de Guanajuato, donde se observa a la Diorita descansar sobre una unidad volcanosedimentaria y otra basáltica. Se han reportado edades radiométricas que sitúan a la unidad en el Cretácico Inferior.

La unidad Tuna Mansa tiene sus afloramientos más extensos al NW de la ciudad de Guanajuato, 1.5 Km al oriente del poblado de Tuna Mansa y en las cercanías de Jitomatal. Existen también algunos colgantes de la diorita en la cima del Cerro Gordo de la Aldana, en el monte de San Nicolás y en la zona central de la Veta Madre Valenciana-Sirena (Echegoyen, et al., 1970). En la Subcuenca del Río Turbio la Diorita Tuna Mansa aflora escasamente en la sierra, a unos 14 km hacia el NE de la ciudad de León, en las cercanías del rancho El Garabatillo.

La roca se presenta masiva, cristalina, de tonos claros y oscuros; desde el ocre amarillo y blanco grisáceo, al verde y al azul oscuro. La unidad presenta un intemperismo alto a moderado y se encuentra intensamente fracturada; las discontinuidades son cerradas a entreabiertas, con relleno de arcillas de alteración. La mineralogía consiste de plagioclasa, hornblenda, clinopiroxeno y cuarzo.

El Complejo Filoniano Santana intrusión claramente a la F. Esperanza y se encuentra en contacto tectónico con el Conglomerado Guanajuato a lo largo de la Falla de Aldana. Lateralmente se

encuentra en contacto transicional con la Tonalita Cerro Pelón, con el que está estrechamente relacionado (García y Aguirre, 1990).

3.1.3 *Basaltos La Luz (JsBa)*

Como Basaltos La Luz (Wandke y Martínez, 1928; Randall, 1982; Monod, *et al.*, 1990) se reconoce a una sucesión de derrames de lava basáltica y andesitas basálticas, con estructura masiva y almohadillada, de 1,000 m de espesor, distribuida a lo largo de la Sierra Guanajuato. La unidad tiene sus mejores afloramientos en los alrededores de la localidad de La Luz, a unos 10 Km al NW de la Ciudad de Guanajuato y a lo largo del camino que la une con el Cerro del Cubilete. En la Subcuenca del Turbio esta unidad aflora en varios puntos a lo largo de la sierra al NE de la ciudad de León; sus afloramientos más extensos en esta zona se encuentran entre las poblaciones de El Xoconoxtle y El Saucillo de Ávalos.

La unidad está constituida principalmente por lavas y brechas compactas de colores que varían del verde oscuro al verde manzana; con estructuras masivas o almohadilladas; éstas últimas cementadas ocasionalmente por material calcáreo. Las brechas están constituidas por fragmentos angulosos en matriz afanítica o ligeramente cristalina. Son frecuentes las amígdalas de calcita y epidota tanto en las lavas como en las brechas.

La unidad muestra intensa alteración, manifiesta en la cloritización, oxidación y propilitización; está afectada por metamorfismo regional de bajo grado de la *facies* esquistos verdes. Aunque se le reconocen múltiples discontinuidades, éstas se manifiestan como fisuras o fracturas cerradas o rellenas por minerales de alteración. La porosidad primaria de estos basaltos es muy escasa.

Los Basaltos La Luz cabalgan a la secuencia volcano-sedimentaria de la Formación Esperanza; el contacto es subhorizontal y está caracterizado por la presencia de milonitas (Monod *op. cit.*). Tal contacto no ha sido reconocido en superficie sino a través de perforaciones y obras mineras (Mina Bolañitos). Una edad radiométrica por K/Ar asigna 108.4 ± 6.2 m.a. (Ortiz y Monod, 1990) a una roca basáltica intercalada con pedernal y piroclásticos pertenecientes a la Formación La Luz, esto sitúa a la unidad en el intervalo Aptiano-Albiano.

Las características geoquímicas e isotópicas de las lavas basálticas asociadas al complejo basal de la Sierra de Guanajuato muestran que se trata de toleitas de arco insular inmaduro. Este tipo de rocas representa las primeras manifestaciones magmáticas de un arco insular instalado sobre una corteza oceánica (Monod, *et al.*, 1988; Ortiz H., *et al.*, 1991).

3.1.4 Unidad Volcanosedimentaria (JsVs)

La Unidad Volcanosedimentaria, también denominada informalmente como Formación Esperanza (Echegoyen *et al.*, 1970), se encuentra ampliamente distribuida en toda la Sierra de Guanajuato. Aflora a lo largo de la Sierra de Comanja y en gran parte de la sierra al NE de León, en los alrededores de las poblaciones de Buenos Aires, Santiago y Cerro Alto, entre otras (fotografías 3.4 a 3.6).

La unidad consiste en lutitas, limolitas, areniscas, abundante pedernal negro y calizas micríticas con laminaciones de limolita y ocasionales bancos de conglomerado. La formación incluye algunas lavas y brechas, basálticas y andesíticas, de estructura masiva o almohadillada. Toda la unidad está afectada por metamorfismo regional de bajo grado y en ocasiones alteración hidrotermal. La unidad es de carácter predominantemente arcilloso.

La edad de esta unidad no ha sido fijada con precisión, aunque se le han asignado edades del Jurásico Inferior al Superior (Chauvé *et al.*, 1985; Ortiz Hernández *et al.*, 1990, Dávila y Martínez, 1987) le asignaron una edad correspondiente al Jurásico Inferior (Berrasiano). Se le relaciona con la Formación San Juan de la Rosa (Jurásico Superior) que aflora en el área de Tolimán, Querétaro. Por su similitud litológica se le asocia también con los sedimentos de edad triásica de Zacatecas.

El espesor total de la unidad no se conoce pues no aflora la base de la unidad, aunque por los trabajos en las minas de Valenciana, Rayas y Monte de San Nicolás, se estima que el espesor de la formación es superior a los 500m.

En la zona se observa una superposición tectónica de todas las unidades anteriormente descritas, cabalgando sobre la unidad volcanosedimentaria y no está muy claro el orden estratigráfico de todas ellas; es decir, de las unidades San Juan de Otates, Diorita Tuna Mansa, Tonalita Cerro Pelón, F. La Luz y F. Esperanza. Esta formación se asigna al Jurásico Superior - Cretácico Inferior y representa condiciones de deposición en aguas marinas someras.

3.1.5 Conglomerados Duarte – Cenicera (TpaeCgp)

Se trata de conglomerados tipo molasa análogos a la Formación Guanajuato (Bostford, 1909; Wandke, 1928; Guiza, 1949 y Edwards, 1956); son similares y correlacionables con ésta. Se compone de conglomerado polimíctico mal clasificado, constituido por fragmentos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, con fragmentos de cuarzo, caliza, granito y andesita, cementados por una matriz

arcillosa. Se ha descrito la presencia de un horizonte de andesita intercalada con el conglomerado (fotografías 3.7 a 3.9).

El conglomerado Duarte-Cenicera es de una coloración más clara que el Guanajuato y por lo menos superficialmente, luce un poco más intemperizado y menos fuertemente consolidado.

La matriz del conglomerado es preponderantemente arenosa, de color pardo rojizo característico, aunque a profundidad, en las obras mineras llega a presentarse de un color verde claro por los efectos de la alteración hidrotermal. Su espesor al N y NE de León se estima en unos 1,000 m. La edad de estos conglomerados varía del Paleoceno a la base del Oligoceno Inferior.

La formación representa la base del Terciario en el área. Descansa discordantemente sobre la secuencia volcanosedimentaria del Arco de Guanajuato y subyace de la misma forma a rocas volcánicas del Terciario Medio y Superior. Estos conglomerados, al igual que la Formación Guanajuato, representan depósitos tipo molasa que señalan las fases terminales del levantamiento laramídico.

En afloramientos del conglomerado pueden reconocerse planos de estratificación según la alineación de horizontes de gravillas o guijarros dentro de la roca; sin embargo, raramente se reconocen estratos de espesor definido, lo que sugiere un ritmo de depositación sin grandes interrupciones. Esto le confiere a la unidad un aspecto masivo, además de que se encuentra afectada por escasas y espaciadas discontinuidades. Al norte de León la estratificación de la unidad se observa en posición subhorizontal. La roca es escasamente porosa, su matriz arenosa se encuentra bien cementada por óxidos de hierro y, en general, acusa en sus afloramientos un grado de alteración bajo.

3.1.6 Rocas volcánicas del Oligoceno (ToR, ToR-Ig, ToTR, ToR-TR)

Con las claves **ToR** (riolita), **ToR-Ig** (riolita-ignimbrita), **ToTR** (toba riolítica), y **ToR-TR** (riolita-toba riolítica) se incluyen a una serie de rocas volcánicas ácidas del Oligoceno, que afloran en la sierra de Guanajuato, lo mismo que en extensas zonas hacia la parte poniente de León y al sur y poniente de Manuel Doblado. También existen afloramientos de estas unidades hacia el extremo oeste de la subcuenca, al W y SW de San Diego de Alejandría, en Jalisco, en una zona que incluye pequeñas poblaciones, como La Aurora, La Laguna, Valle de San Ignacio, carrizo de Rubios y Josefino de Allende, entre otras. En general, estas rocas presentan bajo grado de alteración y porosidad baja a media, y permeabilidad que puede llegar a alta dependiendo del grado de fracturamiento (Fotografías 3.10 a 3.17).

En el caso de estas unidades raramente existen nombres formacionales dado que se trata de un conjunto de emisiones volcánicas emplazadas en distintos momentos a lo largo del período Oligoceno-Mioceno, que implican diferencias en textura, tipo de emplazamiento, espesor, coloración, etc., siendo difícil establecer correlaciones precisas.

Con la clave **ToR**, se designa a una serie de afloramientos de riolita que forman parte de las zonas bajas de la vertiente SW de la sierra de Guanajuato, al N, NE y E de León. Otros afloramientos más extensos se observan en las lomas que limitan la misma ciudad en su zona poniente y a lo largo de la carretera que la une con Lagos de Moreno. La unidad es correlacionable con la *Riolita Chichíndaro* que aflora en el Distrito Minero Guanajuato, hacia el noreste de la capital estatal Fotografía 3.18.

Presenta generalmente estructura columnar, con textura variada: porfirítica a fluidal y vítrea, con formación de pliegues, en la que a menudo se pueden apreciar cristales de feldespato y cuarzo inmersos en una matriz vítrea. El color de la roca es gris claro con tonos rosados. El espesor que presenta varía de 150 a 400 m. Presenta alteración y fracturamiento moderados, con discontinuidades escasas y abiertas.

Este conjunto oligocénico de rocas preponderantemente riolíticas se encuentra cubierto por andesitas basálticas del Mioceno, de manera muy similar a la secuencia volcánica superior descrita para la Sierra Madre Occidental con la cual son correlacionables (Nieto, *et al.*, 1992).

Sólo en algunos casos se han asignado algunos nombres, como ocurre con la *Ignimbrita Cuatralba*, unidad **ToR-Ig**. Esta unidad aflora hacia la parte más alta de la Sierra de Guanajuato, en el extremo NE del área de estudio y en la Mesa Cuatralba (Fotografías 3.19 a 3.21). Consiste de tobas riolíticas soldadas, estratificadas en estratos de 10 a 40 cm de espesor, de color pardo a amarillo ocre con tonos rojizos. La textura de la ignimbrita es holocristalina, porfirítica y fluidal; forma estructuras columnares. El espesor de la unidad es variable debido a que sus emisiones rellenaron fosas y depresiones; aunque la altura de los mayores escarpes no supera los 200 m, sin embargo el espesor total puede ser mayor. La unidad presenta alteración y fracturamiento moderados y baja porosidad primaria, aunque las fracturas existentes son bastante continuas y llegan a ser entreabiertas. La Ignimbrita Cuatralba sobreyace discordantemente a las rocas mesozoicas del Arco de Guanajuato; su edad se estima entre 25 y 27 m.a.

Esta unidad conforma espectaculares escarpes que dominan el paisaje de la parte alta de la sierra, visibles claramente a lo largo de la carretera que comunica León con la Sierra de Lobos y San

Felipe. La roca presenta fenocristales de cuarzo y feldespatos en una matriz de ceniza vítrea, que llega a mostrar estructuras de flujo.

3.1.7 Rocas Volcánicas del Mioceno (TmA-B)

Durante el Mioceno continúa la actividad volcánica con la emisión de lavas andesíticas y riolíticas, cuyas edades son de 11 a 16 m.a. (Carrasco Núñez., *et al.*, 1989; Pérez V., *et al.*, 1996). En la subcuenca del río Turbio no se observan afloramientos de riolitas miocénicas, pero sí de andesitas y basaltos incluidos en la unidad **TmA-B**. Estas rocas tienen extensos afloramientos al SW de Cuerámaro y N y NW de Pénjamo en un gran macizo serrano de orientación general SW-NE, conocido como *Levantamiento Neotectónico de Pénjamo*. Este alto topográfico está constituido por un gran pilar (*horst*) que se alza cerca de 400 m por encima de los valles circundantes (Fotografías 3.22 a 3.29).

Existen también varios afloramientos de esta unidad en la zona centro-poniente de la subcuenca del Turbio, al sur de San Diego de Alejandría y en varios puntos en la porción jalisciense de la subcuenca. La unidad se presenta cubriendo a las rocas riolíticas.

Los productos basálticos se presentan de color gris oscuro a claro con tonos cafés ocres y rojizos de oxidación. Por lo general se encuentran muy fracturados, con múltiples discontinuidades que en su mayoría son semicerradas a entreabiertas, aunque parcialmente rellenas por arenas y arcillas, producto de erosión e intemperismo. Las andesitas presentan una condición de fracturamiento e intemperismo muy similar a la de los basaltos, aunque suelen presentar coloraciones de tonos marrones.

3.1.8 Unidades sedimentarias del Mioceno y Plioceno (TnAr-Cgp, TplCz).

Durante el Terciario Superior se verifica el relleno de la depresión del Bajío con sedimentos continentales: arenas, conglomerados y depósitos lacustres clásticos y químicos, además de algunos derrames de lava y depósitos de cenizas.

La unidad **TnAr-Cgp** (arenisca-conglomerado polimíctico) consiste en una secuencia de horizontes de arenas e intervalos conglomeráticos, frecuentemente con una matriz arcillo limosa o material tobáceo en la forma de ceniza fina. Los clastos están constituidos por fragmentos redondeados y subredondeados de rocas volcánicas y prácticamente de todas las rocas preexistentes en la vertiente sur de la Sierra de Guanajuato; el tamaño de los fragmentos varía desde arenas hasta guijarros de 10 a

15 cm de diámetro. El material se encuentra compacto pero, en general, sin consolidación. El color de los depósitos es gris claro con tonos cafés ocres claros.

Dentro del área de estudio, estos depósitos forman amplios abanicos aluviales y depósitos que circundan las partes bajas de los conjuntos de lomeríos que se extienden hacia el norte, este y noroeste de San Francisco del Rincón. Los depósitos presentan alta porosidad, si bien pueden contener proporciones variables de arcillas; en ocasiones se pueden apreciar pequeñas fallas normales que desplazan ligeramente a los estratos. Los depósitos son predominantemente arenosos, con abundante ceniza volcánica del tamaño de arenas y limos, que en ocasiones le confiere tonalidades ocres y verdosas. El espesor expuesto de la unidad es de aproximadamente un centenar de metros. En algunos cortes de pozos que se tienen del área, frecuentemente se describen horizontes clásticos muy similares a las características de esta unidad, en ocasiones alcanzando espesores de hasta un centenar de metros.

La unidad **TpICz** representa a cuerpos de caliza lacustre que afloran localmente al oriente de San José de la Calera, a una decena de kilómetros al sur de León, en las cercanías de los poblados de Jesús del Monte y el Sáuz de Armenta. La caliza es arcillosa y se presenta de color blanco con tonalidades ocre amarillo y café claro. En la zona de Jesús del Monte los estratos de caliza muestran espesor entre 20 cm y 1 m y se presentan en posición subhorizontal. La unidad se encuentra moderadamente fracturada, con discontinuidades entrecerradas, frecuentemente con relleno de limos y arcillas.

3.1.9 Rocas volcánicas intermedias a básicas del Reciente (QptA-B, QB, QptPc).

Durante el Plioceno y hasta el Pleistoceno se tiene actividad volcánica en la zona sur de la región, que corresponde al dominio de la Faja Volcánica Transmexicana, con numerosos aparatos que emiten brechas, tobas y flujos de composición intermedia a básica.

La unidad **QptA-B** (Basaltos y andesitas de edad cuaternaria) presenta escasos afloramientos hacia el extremo SE de la subcuenca, en las sierras bajas que se alzan al SE de Abasolo. Se trata de una serie de aparatos volcánicos formados por basaltos de olivino, lamprobolita y andesíticos, con textura afanítica y porfírica, de color negro a gris; ocasionalmente presenta matriz vítrea, parcialmente desvitrificada y alterada a clorita; exhibe abundantes vesículas y amígdalas de calcita. Los derrames son de tipo AA, en bloques. La roca se presenta muy fracturada, con discontinuidades relajadas y múltiples oquedades; es decir, con alta porosidad secundaria.

La unidad cubre discordantemente a todas las unidades precuaternarias. Se reconoce como cerros de laderas tendidas, a menudo con zonas de malpaís, coronados por conos cineríticos. El espesor de los materiales es variable; la acumulación de derrames puede alcanzar desde un par de decenas de metros, hasta aparatos de unas pocas decenas de metros de altura hasta más de 250 m.

Al este de Cuerámara en la localidad de Cerrito de Agua Caliente sobresale un pequeño domo andesítico de entre la planicie aluvial, aunque por sus reducidas dimensiones no es cartografiable a la escala de 1:250,000. Existe un pozo termal somero asociado a este domo, con una temperatura de 52°C. Este hecho y la morfología del domo sugieren una edad reciente por lo que se ha incluido también en la unidad Qpt A-B (Fotografía 3.30).

La unidad **QB** tiene afloramientos en la zona norte de la subcuenca, en algunas pequeñas zonas en la sierra de Guanajuato y principalmente al norte y noroeste de la ciudad de León, a lo largo de la carretera León – Lagos de Moreno. Los basaltos conforman zonas de suaves lomeríos y mesas. También pueden observarse rellenando algunas cañadas (Fotografía 3.31). Los basaltos muestran coloraciones que van del gris verdoso al pardo rojizo; se presentan bastante fracturados y con zonas de bloques.

La unidad **QptPc** (material piroclástico de composición basáltica, del Cuaternario) designa a los depósitos de cenizas tipo lapilli, arenas y bloques de escoria (*tezontle*) que forman los conos cineríticos. El material presenta tonalidades en gris oscuro a negro, así como pardo oscuro, café rojizo y ocre. Hay pocos de estos conos cineríticos en el área de estudio; éstos se localizan a medio trayecto entre las poblaciones de Abasolo y Pastor Ortiz. Se trata de material prácticamente suelto o parcialmente consolidado, de alta porosidad y bajo grado de alteración.

Aunque estos materiales se encuentran principalmente conformando los cuerpos de conos cineríticos, también llegan a extenderse formando importantes depósitos hacia los valles, donde se hallan intercalados e interdigitados con sedimentos aluviales, particularmente hacia la parte sur del área.

3.1.10 Depósitos sedimentarios recientes (Qal, Qal-Tb).

Los depósitos aluviales (unidad **Qal**) cubren la mayor parte de las zonas llanas de los valles de León, San Francisco del Rincón y Manuel Doblado. En esta unidad se engloban a sedimentos depositados durante el Cuaternario, consistentes en arenas, limos, arcillas y gravas, con espesor máximo aproximado menor al centenar de metros. Los depósitos constituyen el relleno superficial de los

valles; en ocasiones se encuentran intercalados con sedimentos lacustres, cenizas y/o derrames volcánicos. Dentro de la unidad se engloba también a la cubierta de suelo orgánico que sustenta a las zonas de cultivo.

Por lo general los sedimentos tienen colores claros, de blanco, café, ocre y gris. Las proporciones de los diferentes tamaños de las partículas son variables, se pueden presentar desde horizontes casi conglomeráticos hasta paquetes constituidos por arcillas. De la misma forma, la porosidad y permeabilidad de estos materiales puede ser de alta a baja.

Hacia la parte sur, en los valles de Cuerámara, Abasolo y Pénjamo se llegan a observar extensos depósitos de cenizas volcánicas basálticas finas y arenosas, así como de tipo lapilli, intercaladas con los sedimentos aluviales (**Qal-Tb**). Estos depósitos, de hasta algunas decenas de metros de espesor, han sido originados por la actividad reciente de aparatos volcánicos y conos cineríticos pertenecientes al dominio de la Faja Volcánica Transmexicana (Fotografías 3.32 y 3.33).

Estas cenizas son del tamaño de arena fina y gruesa, en color gris claro a oscuro con tonos rosados, verdosos y café rojizo. Forman capas y estratos subhorizontales de 10 a 50 cm de espesor, el material se presenta bien compactado o débilmente consolidado, formando depósitos de algunas decenas de metros de espesor total. Estos materiales recientes se presentan con bajo grado de alteración y alta porosidad. En las cercanías de Irapuato existen antiguos bancos de material en estratos de sedimentos aluviales intercalados y mezclados con abundante ceniza volcánica. Estos estratos aparecen en ocasiones cubiertos por derrames basálticos.

3.1.11 Intrusivos terciarios (TpgGr, ToGa)

Un gran cuerpo intrusivo denominado Granito Comanja (**TpgGr**) aflora en varias zonas a lo largo de la Sierra de Guanajuato. Los afloramientos más extensos se presentan hacia la parte norte de la subcuenca y al sur de la localidad tipo, el poblado de Comanja. La edad radiométrica reportada para el intrusivo es de 55 +/- 4 m.a. (Mújica y Jacobo, 1983). La unidad se sitúa en el límite Paleoceno-Eoceno; la roca es de color pardo y gris claro, forma lomas y peñas de perfil convexo (Fotografías 3.34 a 3.38, 2.40 y 3.41).

La unidad de granito presenta amplias zonas de alteración características de este tipo de plutones, consistentes en materiales granulares gruesos, conocidos también con el nombre de desintegrados *tucuruquay* (Fotografía 3.36). Estas zonas constituyen prácticamente depósitos de arenas, utilizadas incluso como material para agregados de concreto en la industria de la construcción.

La cubierta alterada suele tener pocas decenas de metros de espesor; a mayor profundidad la roca es masiva, cristalina y compacta con múltiples fracturas bien cerradas.

También en la Sierra de Guanajuato se observan afloramientos de un intrusivo de composición gabrónica (**ToGa**) que aflora en el extremo norte del área de estudio, aunque no se observan afloramientos dentro de la subcuenca del Turbio. El intrusivo es de color café oscuro a negro con cristales visibles de olivino, plagioclasa y piroxenos. En la cartografía del COREMI no se ha precisado la edad de este gabro, aunque se le ha ubicado en el Oligoceno, si bien es probable que corresponda a un cuerpo hipabisal, relacionado con las emisiones basálticas cuaternarias (Q(B)) que afloran en varios puntos de la sierra de Guanajuato

En algunas zonas la roca muestra variaciones en su coloración y composición debido probablemente a la absorción de otras rocas durante su emplazamiento. Algunas muestras presentan texturas de rocas extrusivas, principalmente hacia las márgenes de los afloramientos, con cristales de plagioclasa y piroxeno en una matriz vítrea. La roca se presenta muy fracturada y muestra alteración moderada a intensa en la porción superficial. El fracturamiento es en general semicerrado con relleno parcial de arcillas y material de alteración.

El gabro intrusiona a la Riolita Cuatralba lo que propició fuerte alteración de la unidad riolítica y dando origen a zonas de caolinización, argilización y silicificación. La mayoría de los afloramientos se ubican a lo largo de fallas asociadas a las márgenes de la fosa tectónica del *Graben Villa de Reyes*. No se ha precisado la edad del intrusivo; se le ubica en el Mioceno Medio, Plioceno e incluso Pleistoceno, pues algunos autores lo consideran una facies hipabisal de los basaltos cuaternarios que afloran en la zona.

3.2 Geología estructural

3.2.1 Estructuras regionales

Las rocas mesozoicas de la Sierra de Guanajuato están afectadas por deformación dúctil, con foliación, pliegues isoclinales y cabalgaduras que revelan esfuerzos compresivos de dirección suroeste-noreste SW-NE. En la región, sólo las rocas del Arco de Guanajuato están afectadas por este tipo de deformación. Es posible que el efecto deformacional pertenezca al que generó la acreción de los arcos magmáticos del sur de México durante el Cretácico Superior.

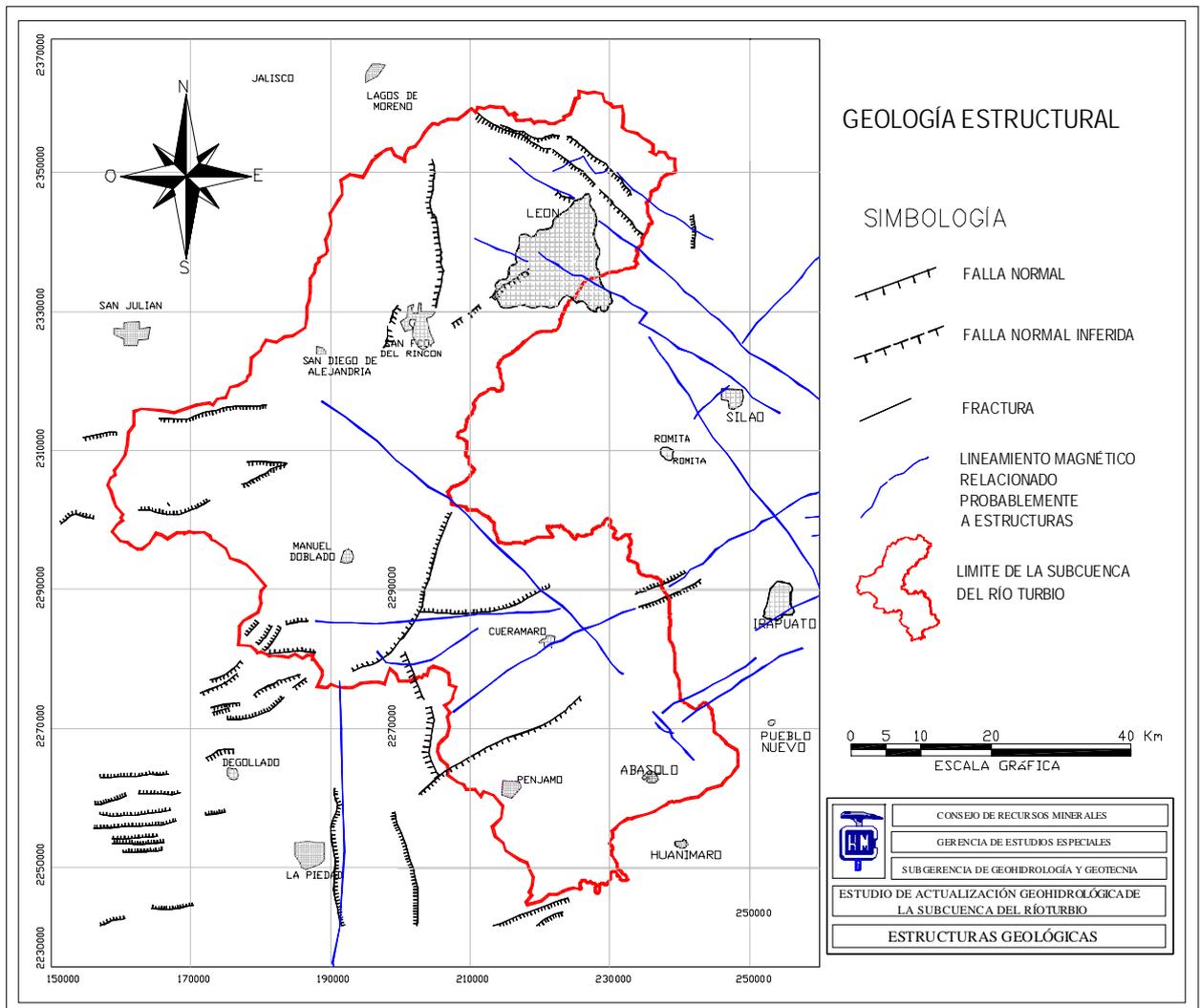


Figura 3.3 Geología Estructural

Durante el Cenozoico se presenta una fase distensiva que produjo una serie de fallas normales, dando origen a pilares y fosas tectónicas, entre las que destacan el Graben de Villa de Reyes, de orientación noreste suroeste NE-SW y el Horst de la Sierra de Guanajuato, limitado al pie de su vertiente SW por un gran fallamiento normal, de orientación NW-SE, conocido como Falla del Bajío (Fotografías 3.3 y 3.38).

Las estructuras más antiguas afectan a las rocas del complejo plutónico volcanosedimentario del Arco de Guanajuato. Estas estructuras consisten en foliación, microplegues, pliegues y cabalgaduras a escala de afloramiento, que se observan en todas las rocas volcanosedimentarias de

este complejo. La foliación tiene rumbo general NE 50° – 80° con 20° a 40° de inclinación en dirección al NW.

Las estructuras asociadas a las rocas mesozoicas se relacionan con la fase de deformación orogénica que afecta a las unidades de arco y su cubierta sedimentaria en la etapa de emplazamiento de las cobijaduras regionales. La interpretación clásica relaciona este fenómeno con la fase de deformación laramídica en el límite Mesozoico-Cenozoico.

Las fallas y fracturas de las rocas miocénicas se asocian al emplazamiento y evolución de las fajas volcánicas del occidente y centro del territorio mexicano (Sierra Madre Occidental) y la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Los lineamientos y enjambres de conos cineríticos están orientados según estructuras ENE – WSW y N – S, relacionadas a la actividad de la FVTM.

Los yacimientos minerales conocidos están distribuidos aisladamente; destacan las vetas de Au–Ag de rumbo NW y echados al SW que se localizan en el extremo opuesto del Distrito Minero Guanajuato.

Los rasgos estructurales mayores se muestran en los planos geológico y estructural de las figuras 3.1 y 3.3. Los rasgos estructurales fueron extraídos de la cartografía del COREMI, de los informes y archivos electrónicos facilitados por CEAG, previa revisión de ambos, de la interpretación de imágenes de satélite y de la interpretación cualitativa de las cartas de magnetometría aérea e información gravimétrica del COREMI.

3.2.1 Secciones Geológico – Hidrogeológicas

Se construyeron tres secciones donde se esquematiza la distribución y naturaleza de las unidades litológicas descritas anteriormente en el subsuelo. Además se ha clasificado a estas secciones por sus características geohidrológicas y se indica si se trata de material consolidado o material granular. Estos materiales se dividen a su vez según tres grados de permeabilidad general: baja, media y alta.

En la elaboración de estas secciones se ha integrado la geología superficial, perfiles de pozos proporcionados por la CEAG así como la información geofísica disponible.

- Sección Geológico - Hidrogeológica A – A'

La sección geológico-hidrogeológica A – A' tiene longitud de casi 60 Km y rumbo de 60° en dirección suroeste-noreste; se extiende desde San Diego de Alejandría hasta la parte norte de León y

hasta la Sierra de Guanajuato (figuras 3.1 y 3.4). La sección se construyó a partir de la información de 7 cortes de pozos y de la cartografía geológica a escala 1:250,000 elaborada por COREMI.

La profundidad de los perfiles de pozos utilizados varía desde 150 hasta un máximo de 410 m. En todos los casos los cortes muestran una sucesión de materiales volcánicos que incluyen material aluvial superficial de poco espesor (hasta un máximo de 60 m), riolitas, basaltos, tobas riolíticas y algunos horizontes de materiales arcillosos y aglomerados; los pseudoestratos volcánicos se encuentran dislocados por varias fallas normales de orientación general norte-sur. Esta sucesión de materiales se extiende hacia la mayor parte de la sección, desde su extremo suroeste hasta unos 43 Km hacia el noreste.

Un tercio de la sección, el extremo noreste, corresponde en su mayor parte a las rocas mesozoicas del Arco de Guanajuato. Este conjunto de rocas junto con las unidades de conglomerado del Paleoceno-Eoceno (Conglomerados Duarte-Cenicera) constituyen el basamento hidrogeológico del área.

El espesor de los intervalos de rocas volcánicas en los cortes de pozos, varía desde una decena hasta un centenar de metros aproximadamente, tanto en los materiales riolíticos como en los basaltos. Las rocas basálticas se han incluido dentro de la unidad TmA-B, a la que en esta zona se le ha atribuido una permeabilidad alta. Las rocas riolíticas quedan comprendidas en las unidades ToR-TR, ToR y ToTR. Los afloramientos de estas rocas riolíticas presentan grados de permeabilidad variable, casi siempre permeabilidad secundaria, dependiendo del grado de fracturamiento y alteración. Un alto grado de alteración generalmente redundará en el relleno arcilloso de las discontinuidades y, por consiguiente, una reducción de la permeabilidad. El grado de permeabilidad de estas rocas va desde alta a incluso baja, para las tobas riolíticas de grano fino, escasamente fracturadas; pero de manera general se ha atribuido permeabilidad media para este conjunto de rocas. Se ha observado que en varios pozos de la región las riolitas proporcionan un aporte de agua importante a los caudales de estos aprovechamientos.

Junto con las rocas riolíticas y basálticas hay intercalados horizontes de brechas, aglomerados y materiales granulares, consistentes en sedimentos con proporciones variables de gravas, arenas y arcillas, que se depositaron en las depresiones entre los sucesivos eventos volcánicos. El espesor de estos horizontes granulares, es también variable y puede ir desde un par, hasta varias decenas de metros.

Algunos pozos registran en sus perfiles algunas zonas arcillosas que pueden alcanzar cerca de medio centenar de metros de espesor. No hay evidencia de que estas zonas tengan gran continuidad como para propiciar una separación de acuíferos, si bien, de manera local se puede tener semiconfinamientos. Además, la presencia de las fallas favorece la comunicación vertical entre los diferentes estratos que son desplazados por ésta.

Las rocas mesozoicas de la Sierra de Guanajuato tienen relaciones estratigráficas complejas pues están afectadas por fallas de cabalgadura, intrusiones plutónicas y fallamientos normales escalonados. Las diferentes unidades mesozoicas se han indicado en la sección de manera muy simplificada y se han englobado en una sola unidad hidrogeológica: material consolidado con permeabilidad baja.

Aunque estas rocas son en general de escasa permeabilidad, existen fallas inversas y normales que las afectan y que se intersectan entre sí por lo que en forma local pueden constituir zonas favorables para la transmisión de importantes volúmenes de agua. Asimismo, la cubierta superficial de material intemperizado y relajado, particularmente en los granitos y otras rocas cristalinas tiene mayor permeabilidad que la roca madre intacta, lo que también favorece las infiltraciones. El espesor de esta cubierta superficial es variable y puede tener desde una decena hasta cerca de un centenar de metros.

El área de Geofísica del Consejo de Recursos Minerales (Ahora Servicio Geológico Mexicano), realizó una serie de líneas gravimétricas en varias zonas de la subcuenca del río Turbio. La distribución y resultados de dichos levantamientos se muestran con detalle en el capítulo 4 de este informe. En la construcción de las secciones geohidrológicas se utilizó la información del subsuelo arrojada por los tendidos geofísicos, así como los perfiles de 7 pozos.

En el caso de la sección A-A' las líneas gravimétricas L10, L17 y L6 (Figuras 4.2 y 4.5) proporcionaron información sobre la probable profundidad a la que se encuentra la superficie del basamento hidrogeológico. La información gravimétrica sugiere la existencia de bloques estructurales desplazados a profundidad y que forman una serie de pilares y fosas, en las que se estima que la superficie de las rocas del basamento se encuentra a una profundidad de entre 500 y 600m aproximadamente.

Algunas de las fallas normales que limitan estos bloques se han definido por los saltos gravimétricos observados en las líneas gravimétricas y por los lineamientos magnéticos derivados de la cartografía magnética de escala 1:250:000 del COREMI. (Figuras 3.3 y 4.2). Estas fallas no siempre

tienen una marcada expresión en superficie, debido a su escaso desplazamiento y a que están cubiertas por rocas y depósitos recientes.

En la sección se observan también, en color verde, intervalos arcillosos que pueden corresponder a zonas de alteración en las mismas rocas volcánicas o a depósitos lacustres. El espesor de estos intervalos varía desde escasos 5m hasta unos 40 m. Los intervalos parecen tener extensión considerable, en especial hacia la parte central de la sección, lo que puede dar origen a zonas bajo diferentes grados de confinamiento; sin embargo, la presencia de las fallas normales puede favorecer la comunicación hidráulica de los diferentes intervalos rocosos.

- Sección Geológico – Hidrogeológica B – B'

La sección tiene una longitud de casi 65 Km y un rumbo general suroeste-noreste de 60° (Figuras 3.1 y 3.5). Inicia en su extremo suroeste en las cercanías del rancho conocido como La Cantera de Moyas, situado a unos 20 Km al este de Arandas, Jalisco. Desde este punto, la línea de sección se extiende con una dirección de 54° hacia el noroeste, hasta el extremo norte de la Presa Silva, que se encuentra a unos 6 Km hacia el sur de San Francisco del Rincón. En este punto, la sección tiene una ligera inflexión de rumbo noreste con 70°, misma que mantiene hasta el extremo nororiental de la misma. La sección cruza por las localidades de Jalpa de Cánovas, San Roque de Torres y termina en las cercanías de San Pedro del Monte. Para la construcción del perfil se utilizó la información de 10 cortes de pozos con profundidades de 90 a 410 m.

La información de estos cortes muestra la presencia de un relleno de material granular de 150 a mas de 250 m de espesor, que se extiende desde la parte centro hasta el extremo noreste de la sección. El material clástico rellena una fosa tectónica formada por el desplazamiento de un substrato de rocas riolíticas a causa de fallamientos normales de orientación general norte-sur. El relleno consiste en un depósito aluvial formado por una mezcla de arcillas, arenas y gravas. Estos depósitos han sido clasificados como material granular de permeabilidad general media.

En el resto de la sección, según afloramientos superficiales, se revela la predominancia de rocas riolíticas con algunas intercalaciones de basaltos y lentes de material aluvial y lacustre de poco espesor, por lo menos hasta la profundidad de unos 500 m. Es notable que la mayoría de los pozos están perforados en las riolitas de donde se obtienen caudales importantes. Es común en esta área que en las perforaciones se busque encontrar riolitas fracturadas por su buen potencial acuífero.

Las rocas riolíticas muestran por lo general baja permeabilidad primaria, pero la permeabilidad secundaria debida al grado de fracturamiento puede ser bastante alta, por lo que de manera general estos materiales se han clasificado como material consolidado con permeabilidad media.

Para la configuración del basamento hidrogeológico se utilizó la información de las líneas gravimétricas L10, L15 y L13 descritas en el capítulo 4 de Geofísica. El basamento hidrogeológico está constituido por unidades de baja permeabilidad entre las que se incluyen a los cuerpos cristalinos intrusivos, las rocas mesozoicas que afloran en la Sierra de Guanajuato y los conglomerados tipo molasa del Terciario Inferior (conglomerados Duarte-Cenicera).

La sección muestra a dicho basamento formado por una serie de bloques desplazados por fallamientos normales que forman una serie de grabens y horsts de tamaño y desplazamiento variables. La mayor profundidad a la que se encuentra el basamento se estima en aproximadamente 1000 m, hacia el extremo noreste de la sección y que corresponde a la zona central del valle aluvial que se extiende al oriente de San Francisco del Rincón.

- Sección Geológico-Hidrogeológica C – C'

Se ubica en la parte sur de la subcuenca, tiene longitud de 57 Km y se extiende desde unos 10 Km al sur de Pénjamo hasta unos 3 Km al norte de Monte de Hoyos. La sección se construyó con la geología superficial y la información de 5 cortes de pozos con profundidades de entre 120 y 250 m.

La información disponible sugiere la presencia en el área de un substrato de rocas volcánicas riolíticas con menores intercalaciones de basalto, aglomerados, toba y algunos pequeños lentes de gravas y arcillas. El conjunto rocoso está afectado por varias fallas normales que dan origen a pilares y fosas (*horsts* y *grabens*) así como bloques escalonados. En la parte centro sur de la sección se aprecia un gran alto topográfico y estructural que se conoce como *Levantamiento Tectónico de Pénjamo*. La base de este macizo serrano está formado por rocas riolíticas y se encuentra coronado por lavas y tobas andesítico-basálticas. El espesor del paquete riolítico observado en la sierra mencionada y en los cortes de pozos suma por lo menos 500 m y puede aún ser considerablemente mayor.

Intercalados con los estratos riolíticos existen intervalos y lentes de rocas basálticas, aglomerado, material arcilloso y aluvial que pueden tener varias decenas de metros de espesor. Con ayuda de la información gravimétrica, en particular la línea L12 (Figuras 4.2 y 4.5) se estimó una profundidad al basamento de aproximadamente 300m desde la base de la sierra de Pénjamo y de hasta 800m en el valle que se extiende al sur de la ciudad del mismo nombre. En esta zona se infiere con la

gravimetría y la geología superficial, un relleno constituido principalmente por horizontes de riolitas, andesitas y basaltos intercalados con sedimentos, así como una cubierta granular superficial de unos 200m de espesor.

La mayor profundidad hasta el basamento se presenta en el extremo norte de la sección, que ya corresponde a la subcuenca vecina del Río Guanajuato, con aproximadamente 1000m. Una gran proporción de los materiales que descansan sobre las rocas mesozoicas del basamento corresponde a lavas y tobas riolíticas con subordinados volúmenes de basaltos y andesitas. Por referencias de estudios previos (COREMI-CEAG, 2004 "Potencial Geohidrológico del Graben de León") se sabe que en esta zona la cubierta de material granular reciente es de al menos 300m, pudiendo alcanzar hasta 500m.

En el estrecho valle que se extiende desde Cuerámaro hasta el límite norte de la subcuenca del río Turbio (en el Km 43.5 de la sección) los perfiles de pozos y la geología superficial sugieren que el relleno granular superficial no tiene un gran espesor en esta zona, que puede ser hasta de unos 300m aproximadamente.

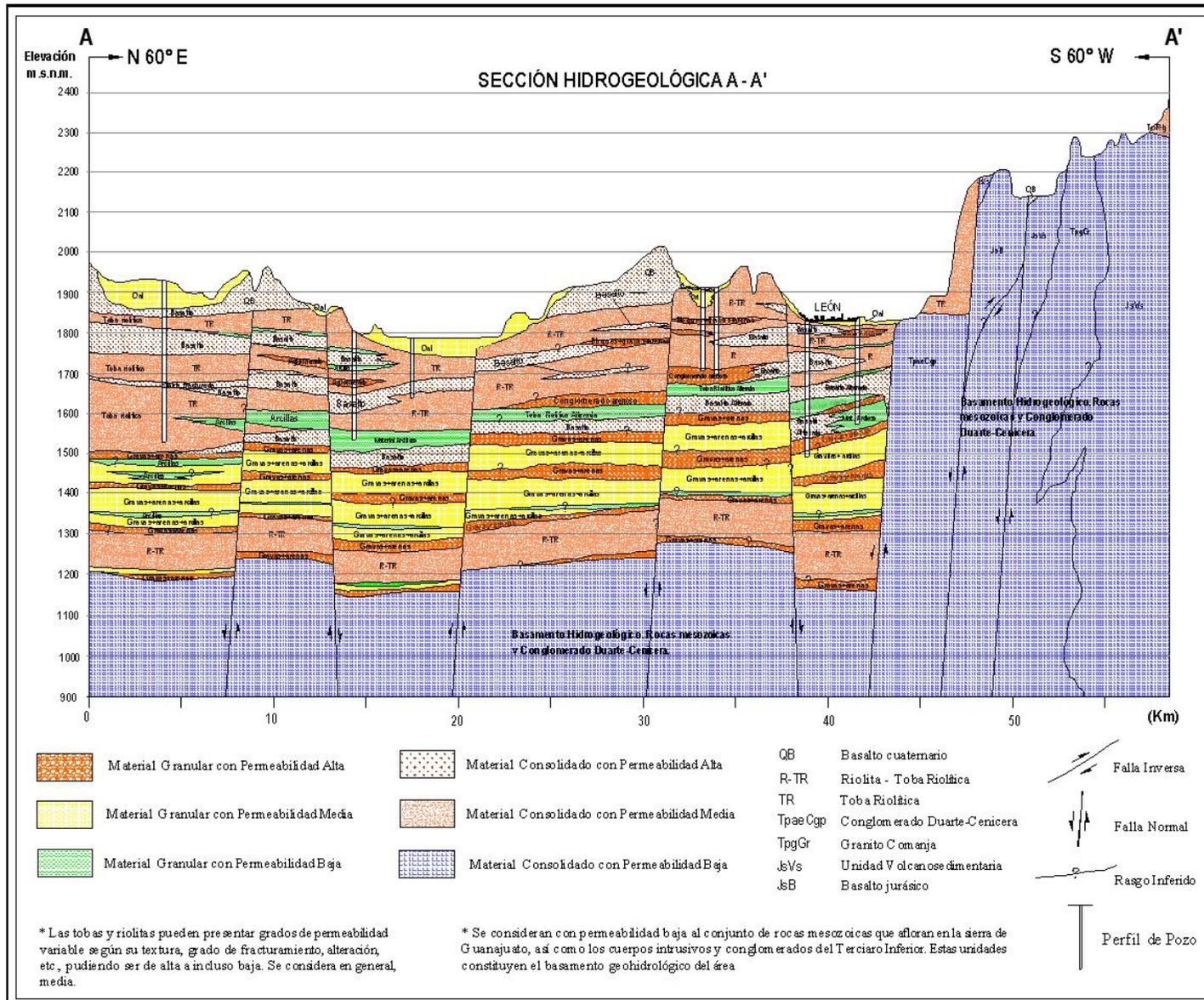


Figura 3.4 Sección Geológico - Hidrogeológica A - A'

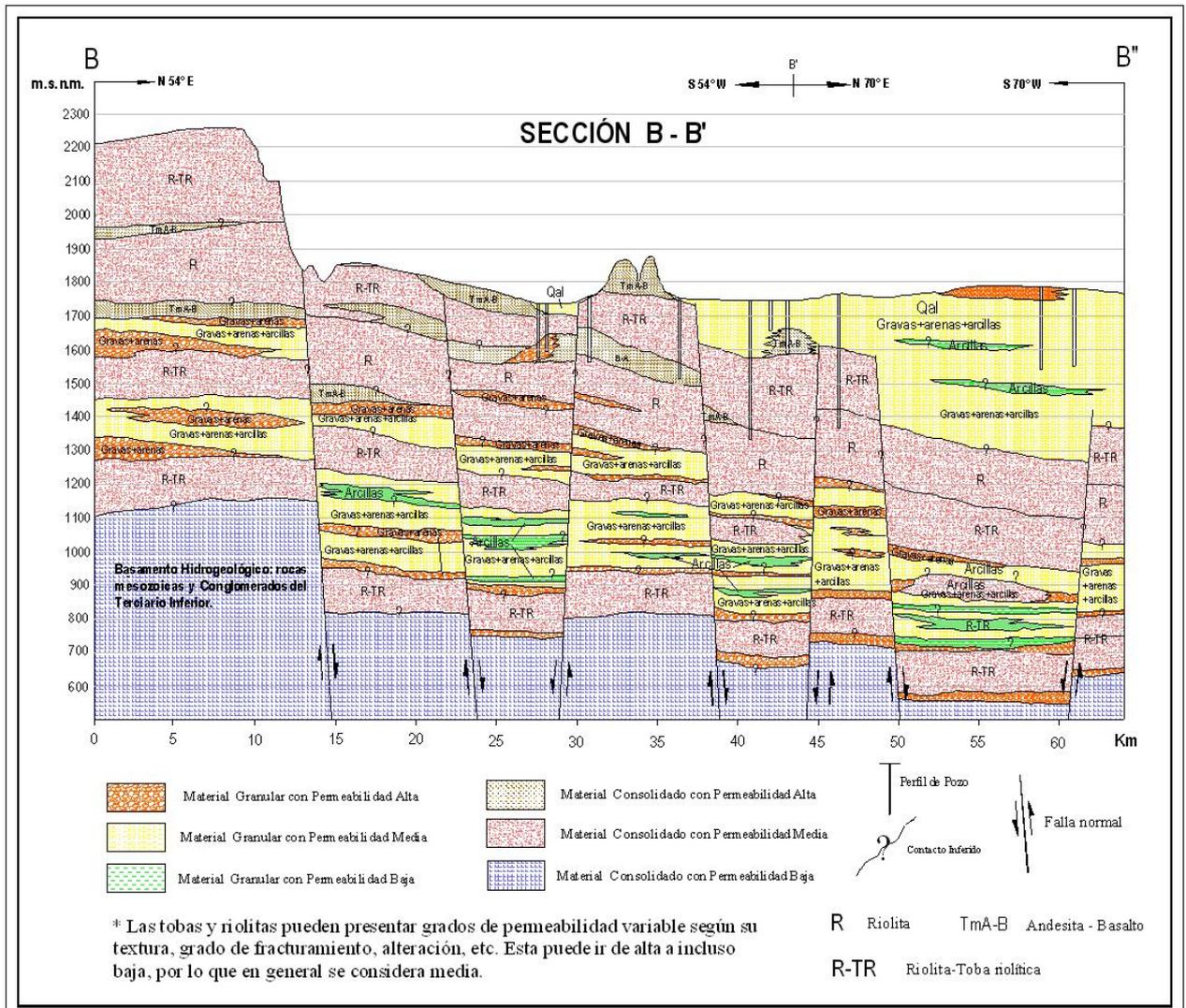


Figura 3.5 Sección Geológico - Hidrogeológica B - B'

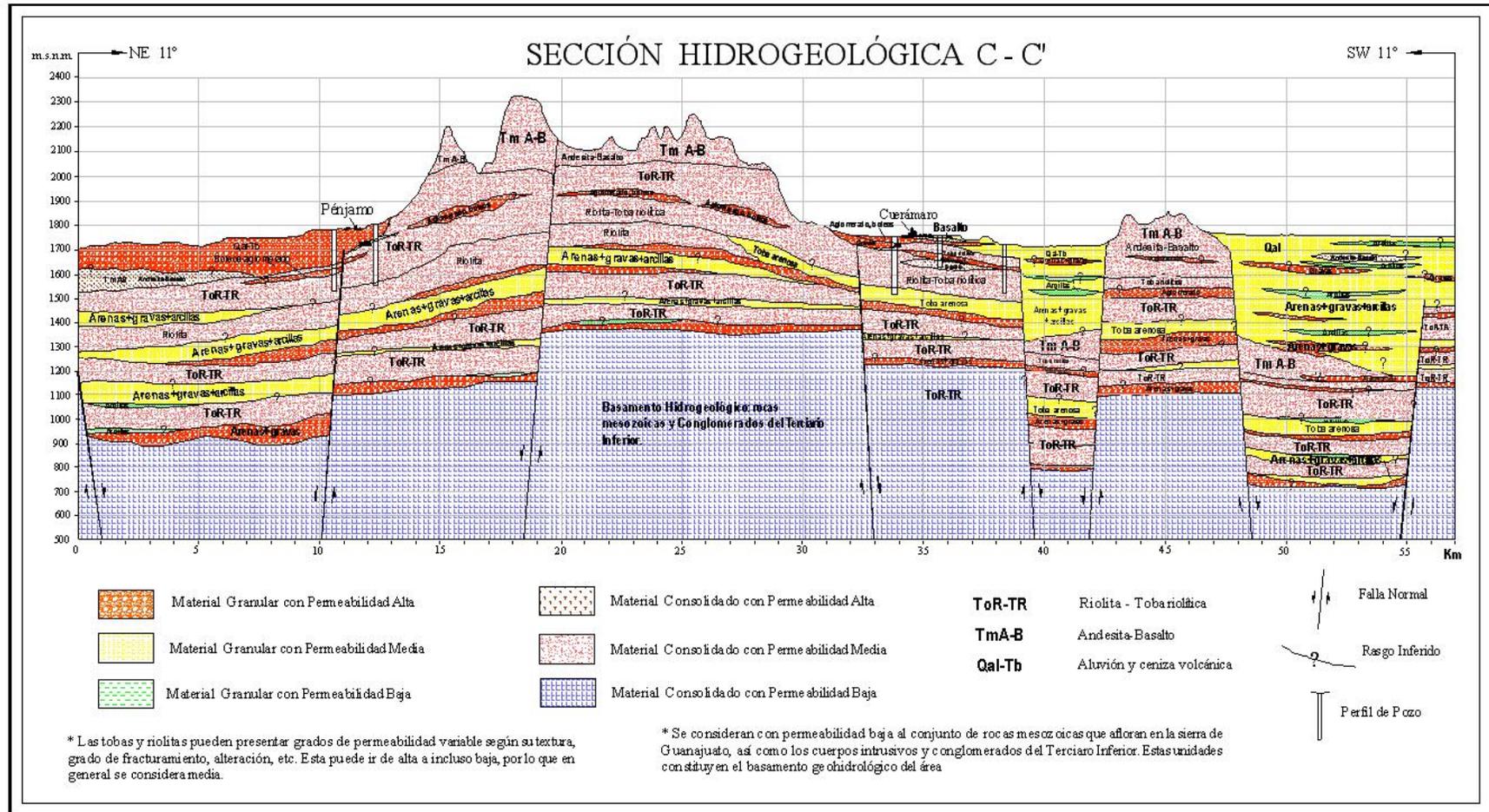


Figura 3.6 Sección Geológica - Hidrogeológica C - C'

5 GEOHIDROLOGÍA

5.1 Piezometría

La piezometría se refiere a la medición y estudio de los niveles o profundidades a las que se encuentra el agua subterránea en una zona determinada. Con el análisis de los niveles piezométricos se pueden detectar las áreas donde el acuífero se encuentra sobreexplotado, zonas de recuperación, de recarga y descarga. La piezometría es una herramienta muy útil para conocer el estado actual, evolución y dinámica de los acuíferos, así como para ayudar a delimitar zonas de frontera.

Para este fin, debe contarse con una red de monitoreo piezométrico, constituida por una serie de pozos bien distribuida en el área de interés. Estos pozos deben ser susceptibles de ser sondeados con facilidad y permanecer inactivos en períodos de tiempo considerables, que garanticen la medición de niveles representativos del acuífero sin sufrir perturbaciones por el bombeo de pozos próximos. Deben conocerse las elevaciones precisas de los brocales de los pozos, referidas al nivel medio del mar.

En la medida de lo posible, siempre deben medirse los niveles de los mismos pozos año con año, para contar con datos comparables y detectar la magnitud de los descensos o posibles ascensos de los niveles. Si no se comparan los mismos pozos cada año, no es posible tener certeza sobre la magnitud de los abatimientos o niveles de recuperación.

Redes de Monitoreo y datos piezométricos.

En la subcuenca del Río Turbio se utilizaron 197 pozos contenidos en las redes de monitoreo piezométrico consideradas por la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato o CEAG. La mayoría de los estudios geohidrológicos realizados en la zona de estudio se limitan a los acuíferos definidos por la Comisión Nacional del Agua (CNA, ahora CONAGUA) o CEAG, mismos que fueron delimitados conforme a criterios más administrativos que hidrogeológicos. La subcuenca del Río Turbio incluye total o parcialmente a tres acuíferos considerados por la CEAG y CNA estos son: **Valle de León, Río Turbio y Pénjamo-Abasolo**. El primer acuífero ocupa la parte norte de la subcuenca; el segundo cubre la porción media mientras que el tercero comprende la porción sur.

Los límites de estos acuíferos no coinciden con los límites de la subcuenca del Río Turbio, por lo que sólo fueron sondeados los pozos que se ubican dentro de la subcuenca y no más allá de 5Km fuera del parteaguas.

La campaña de piezometría de este trabajo, corresponde al período de secas 2004. Al configurar las líneas de los valores piezométricos no se tomaron en cuenta las norias y pozos muy someros que

captan en varios casos pequeñas zonas acuíferas locales y que no constituyen las principales fuentes de abastecimiento del área, con el fin de que los mapas resultantes sean representativos del comportamiento general del acuífero. Con estos datos y la información histórica, se realizaron configuraciones de profundidad, elevación y evolución de los niveles piezométricos.

5.1.1 Piezometría Histórica

En la Subcuenca del Río Turbio se inicia la explotación del acuífero de una forma significativa en la década de los cuarentas del siglo pasado, a través de pozos someros. A partir de entonces las redes de flujo natural comienzan a cambiar. Para la década de los cincuentas se inicia la perforación de pozos a gran escala, misma que alcanza su mayor intensidad en los setentas (Guysa, 1999).

Para el Valle de León, Guysa (1998) reportó 1156 pozos activos: 797 de uso agrícola, 245 de uso potable, 100 para abrevadero, 12 industriales y 2 recreativos. Si el área aproximada del acuífero es de 1,100 Km², se tiene una densidad promedio de 1.05 pozos/Km², aunque este dato es engañoso, pues la mayoría de los aprovechamientos se concentran en los valles de cultivo.

Para 1998, en la parte oriente del Valle de León, las profundidades del nivel estático fluctuaban entre 10 y 60 m, mientras que en la parte central (donde existe la mayor densidad de pozos) las profundidades variaban entre 80 y 185 m. En cambio para la zona de La Muralla los niveles se encontraban entre 40 y 100 m y para los Altos de Jalisco los niveles superaban la profundidad de 130 m. El abatimiento medio anual se estimó en ese entonces en 1.6 m/año, con valores de hasta 6 m/año en zonas de mayor extracción, principalmente al centro del valle, donde se desarrolló un cono de abatimiento desde inicio de los cincuentas (Guysa, 1998).

En lo que respecta al acuífero Río Turbio, en 1979 la empresa Geohidrológica Mexicana S.A. reportó 415 aprovechamientos, mientras que en 1995, la empresa Ingeniería Geológica Computarizada S.A., registró un número de 851. Esto significa un incremento de 436 nuevos aprovechamientos que en 16 años (1979-1995). De 1995 a 1998 la cifra se incrementó en 185.

Geopsa (1998) contabilizó 1036 aprovechamientos, de los cuales 902 fueron pozos (734 activos), 111 norias, 9 manantiales, 2 represas, 3 rebombeos y 9 galerías filtrantes. Para este mismo año las profundidades piezométricas más someras del área se encontraban en la parte norte, particularmente en los alrededores de la Presa San Germán (niveles de hasta 10 m) y de San Francisco del Rincón (hasta 50 m), en pozos de hasta 100 metros de profundidad total. Para la zona de Peñuelas, al oriente del valle, los niveles alcanzaban profundidades de hasta 60m, mismos que se incrementaban hacia el oriente, llegando

a superar los 140 metros de profundidad. En la parte central las profundidades oscilaban entre 35 y 40 m, aumentando al poniente y sur hasta llegar a niveles del orden de 60 a 70 m.

Al menos desde la década de los noventa en la parte central del valle existía una gran depresión piezométrica provocada por la intensa extracción. Debido a este cono de abatimiento el flujo original del agua se modificó, por lo que ya no fluye de manera natural hacia el sur y sureste de la zona. Respecto a la zona oriente del valle, desde 1995 se identificó un fuerte cono de abatimiento, tan solo en el lapso de 4.5 años los niveles estáticos descendieron entre 10 y 15 m, lo cual da un abatimiento promedio de 2 a 3 m/año para esta zona. El abatimiento promedio de toda área correspondía a 1.85 m/año (Geopsa, 1998).

En el acuífero de Pénjamo-Abasolo, se han generado también zonas de abatimiento por la intensa extracción. Para 1997 los niveles estáticos promedio fluctuaban entre 50 y 70 m, llegando a alcanzar los 90m al norte de Abasolo y hasta 125m en las cercanías de Pénjamo. La empresa Lesser y Asociados, S.A de C.V., en 1997 (informe de 1998) registró 2,926 aprovechamientos en la zona, de los cuales 2,769 son pozos (2,519 activos), 152 norias y 5 manantiales. Del total de pozos 83% son agrícolas, 12.7% para agua potable, 2.9% para abrevadero y 1.4% para el sector industrial.

El abatimiento promedio anual para esta zona era de 3 m/año (Lesser y Asociados, S.A. de C.V., 1998), con valores máximos de 4 m/año, al suroeste de Pénjamo, y mínimos de 0.5 m/año, en la parte central del valle sobre las márgenes del Río Turbio. Los valores mínimos pudieran estar relacionados con una fuerte interacción río-acuífero, donde el primero cede agua al segundo (principalmente en época de lluvias), además de que parte de la Sierra de Pénjamo es una zona de recarga que puede estar ayudando a que se mantengan estos bajos niveles de abatimiento.

A nivel de la subcuenca del Río Turbio, para 1998 el abatimiento promedio anual era de 2.15 m/año, con valores máximos de hasta 4m en el extremo sur del área y mínimos de 0.5 m al sur de la ciudad de León, así como al oriente de Manuel Doblado. Las mayores profundidades de nivel estático fluctuaban entre 120 a 150 m al poniente del poblado La Muralla y en los alrededores de Pénjamo. Por el contrario, los niveles más someros se encontraban entre 10 y 30 m, en las cercanías a San Francisco del Rincón y en el pequeño valle que se forma entre las ciudades de Cuerámara y Manuel Doblado.

Aunque al sumar los aprovechamientos de cada uno de los acuíferos mencionados anteriormente se tiene un total de 4,435 pozos activos; muchos de estos se encuentran fuera de los límites de la subcuenca del Río Turbio. Según el censo proporcionado por CEAG para el desarrollo del presente estudio, son 2,945 pozos que caen dentro de la subcuenca, con una densidad general de 0.63 pozos/Km² (al considerar una superficie total de 4,635 Km²), aunque hacia las zonas de cultivo se presentan densidades de entre 1.76 a 7.88 pozos/Km², que son desde luego bastante más altas de lo recomendable.

Asimismo, CEAG proporcionó el historial piezométrico de sus redes de monitoreo para los periodos de secas 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003, con los datos históricos se generaron configuraciones para los años 1999 y 2002 (Figuras 5.1 y 5.2).

Para 1999 las mayores profundidades al nivel estático se registraban en las inmediaciones de Pénjamo con valores de hasta 125 m, al igual que para la parte centro oriental del área, con profundidades que varían entre 135 y 145 m. Es precisamente en las zonas anteriores (curvas en rojo en la Figura 5.1), donde se desarrollan los conos de abatimiento más profundos, los cuales casualmente no están relacionados con altas densidades de pozos, ya que el promedio de la misma es de 0.53 pozo/km², tampoco se les puede relacionar con fuertes gastos, ya que al menos dentro de la subcuenca en estudio son muy variables (de 4 a 35 l/s), lo más probable es que en esas zonas tanto el coeficiente de almacenamiento como los valores de conductividad y transmisividad sean muy bajos; lo anterior se aborda más adelante dentro del apartado correspondiente a Parámetros Hidráulicos.

Las zonas con niveles más someros para dicho periodo se localizaban al noroeste y sureste de Cuerámara, donde se reconocieron domos positivos a lo largo del cauce del Río Turbio, con profundidades de niveles estáticos de entre 20 y 30 m. Esta zona en particular se presentaba como una de las menos afectadas por la extracción de agua subterránea.

En tan solo 3 años (1999-2002) las condiciones piezométricas de la zona cambiaron significativamente. Para el año 2002 (Figura 5.2) se formó un nuevo cono de abatimiento en los alrededores de San Francisco del Rincón con profundidades que variaban entre 60 y 65 m. De manera semejante, el cono que ya existía en el norte de la Ciudad de León se profundizó más, alcanzando niveles de hasta 110 m. Lo anterior indica que, al no cambiar las condiciones de extracción y recarga, a futuro se formaría un solo cono con dimensiones mucho mayores.

En ese mismo lapso de tiempo, el domo que existía en 1999 al noroeste de Cuerámara se redujo, para formar en el 2002 una zona de equilibrio. Al sur de Manuel Doblado se formó un nuevo cono de abatimiento con niveles piezométricos de entre 55 y 60 m. Al norte de la misma localidad, tres años atrás existía la evidencia de la nueva formación de una zona de abatimiento, misma que para el 2002, ya se había desarrollado completamente con niveles hasta de 80 m de profundidad.

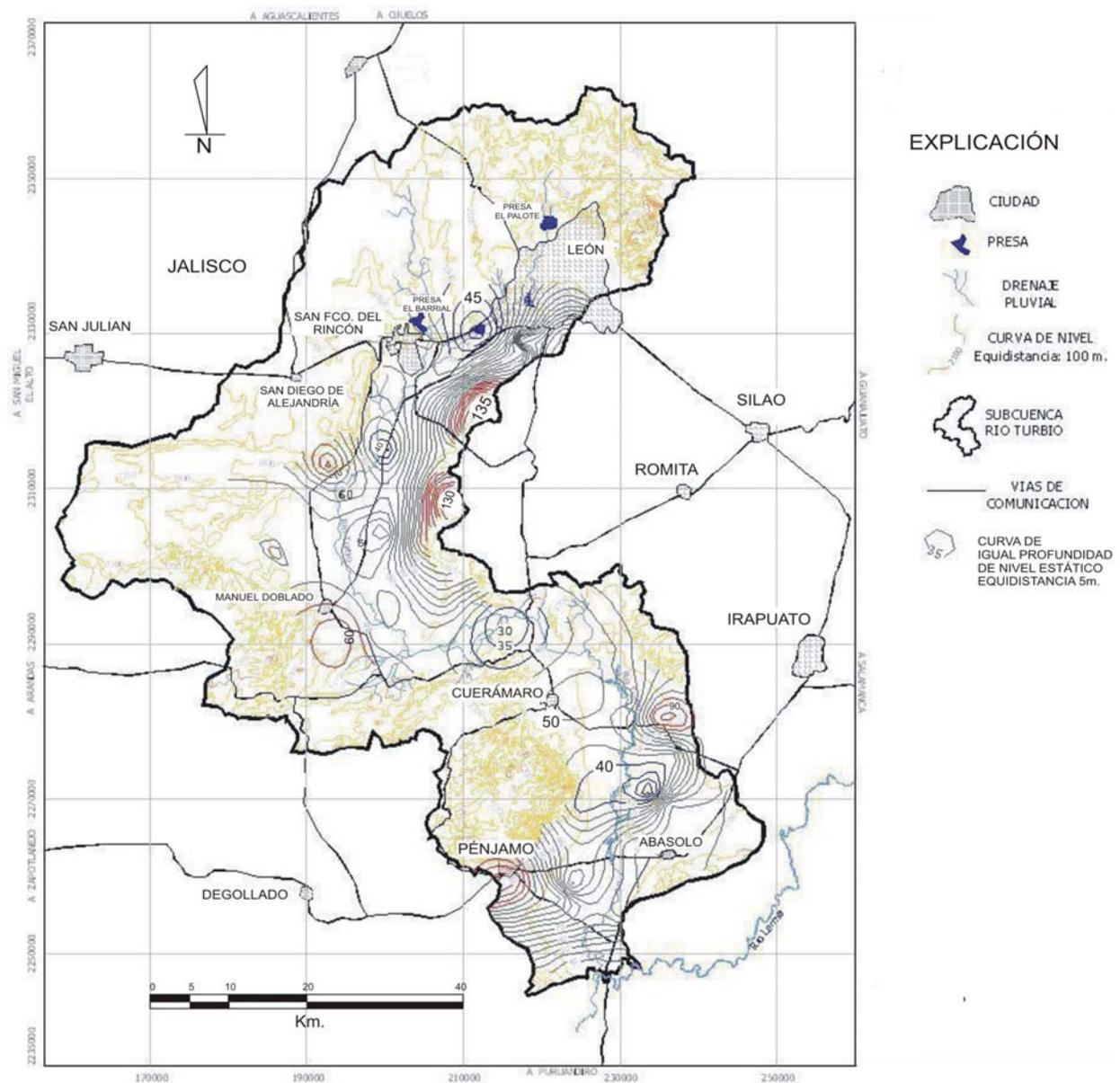


Figura 5.1 Configuración de la profundidad del nivel estático para el año 1999.

Los conos más profundos en 1999, en los alrededores de Pénjamo y sureste de San Francisco del Rincón recuperaron su nivel en un promedio de 7 a 10, metros lo cual sólo significa que la situación mejoró un poco; sin embargo la sobreexplotación continúa. Al oriente de la ciudad de San Francisco del Rincón continúa existiendo el domo que se definía a fines de la década de los noventas, lo anterior puede ser efecto de una fuerte recarga proveniente de la parte norte de la misma ciudad. Este punto se retoma en el apartado de zonas de recarga y descarga que se aborda más adelante.

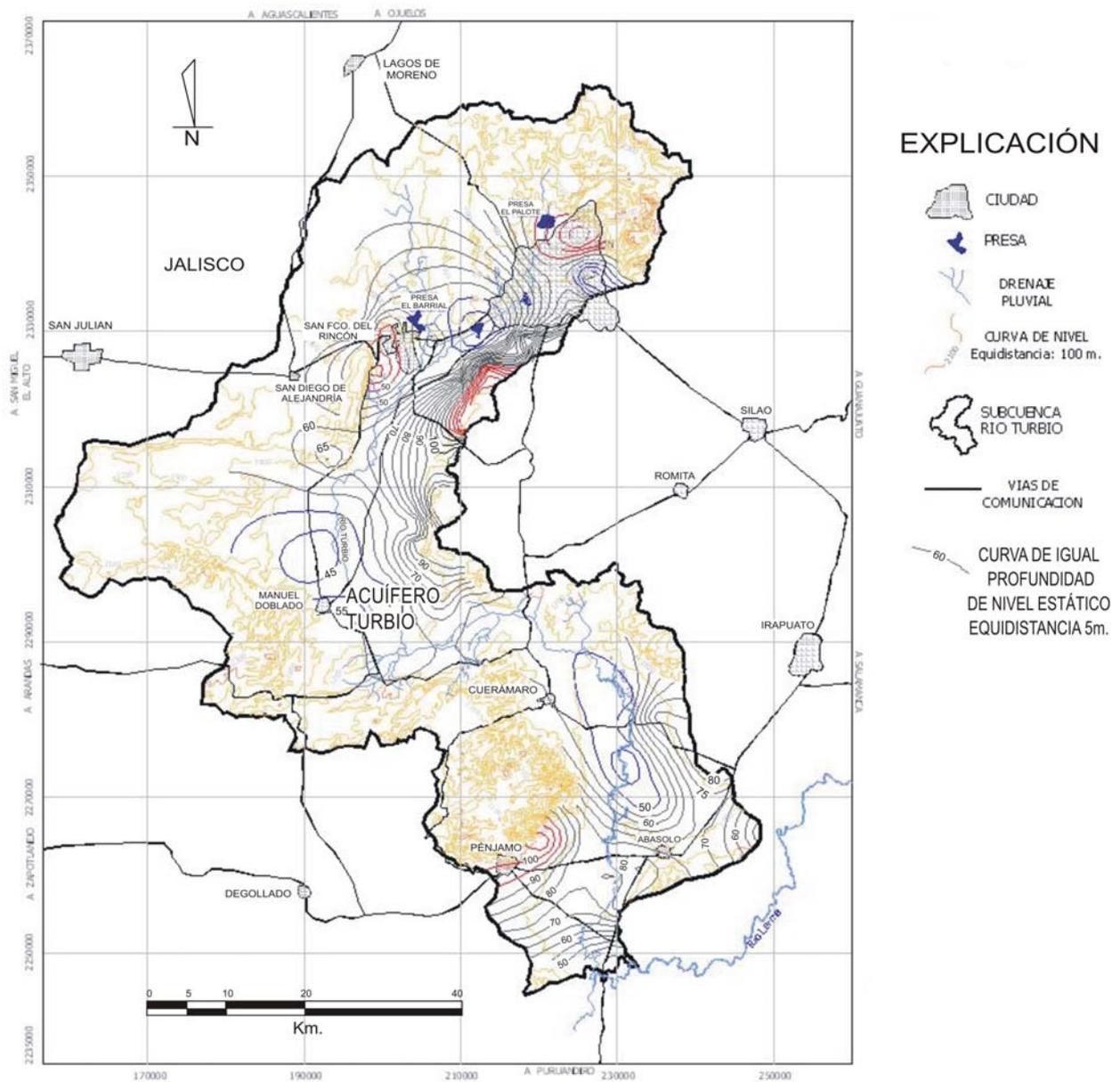


Figura 5.2 Configuración de la profundidad del nivel estático para 2002.

Para el año 2002, existían al oriente y suroeste de la ciudad de León dos domos positivos (Figura 5.2), que sugieren una rápida recarga en estas zonas, alimentadas presumiblemente por aportes desde la sierra de Guanajuato cuyo flujo se ve favorecido por la presencia de fallas. Sin embargo, el historial piezométrico de esta área muestra fuertes ritmos de abatimiento, pues los niveles estáticos descendieron de entre 3 y 22m en 1948, hasta 40 y 90m para 1999 (Guysa, *op. cit.*). Ya para el 2002 los niveles se encontraban entre 50 y 100 m, lo cual indica que la tendencia al abatimiento no se ha detenido y los niveles siguen descendiendo.

5.1.2 Piezometría Actual

Para el análisis y configuración de la piezometría actual se utilizaron los datos de los pozos sondeados para el periodo secas 2004. Estos pozos corresponden a las redes de monitoreo de los tres acuíferos considerados por CEAG y CNA comprendidos dentro de la subcuenca (Figura 5.3).

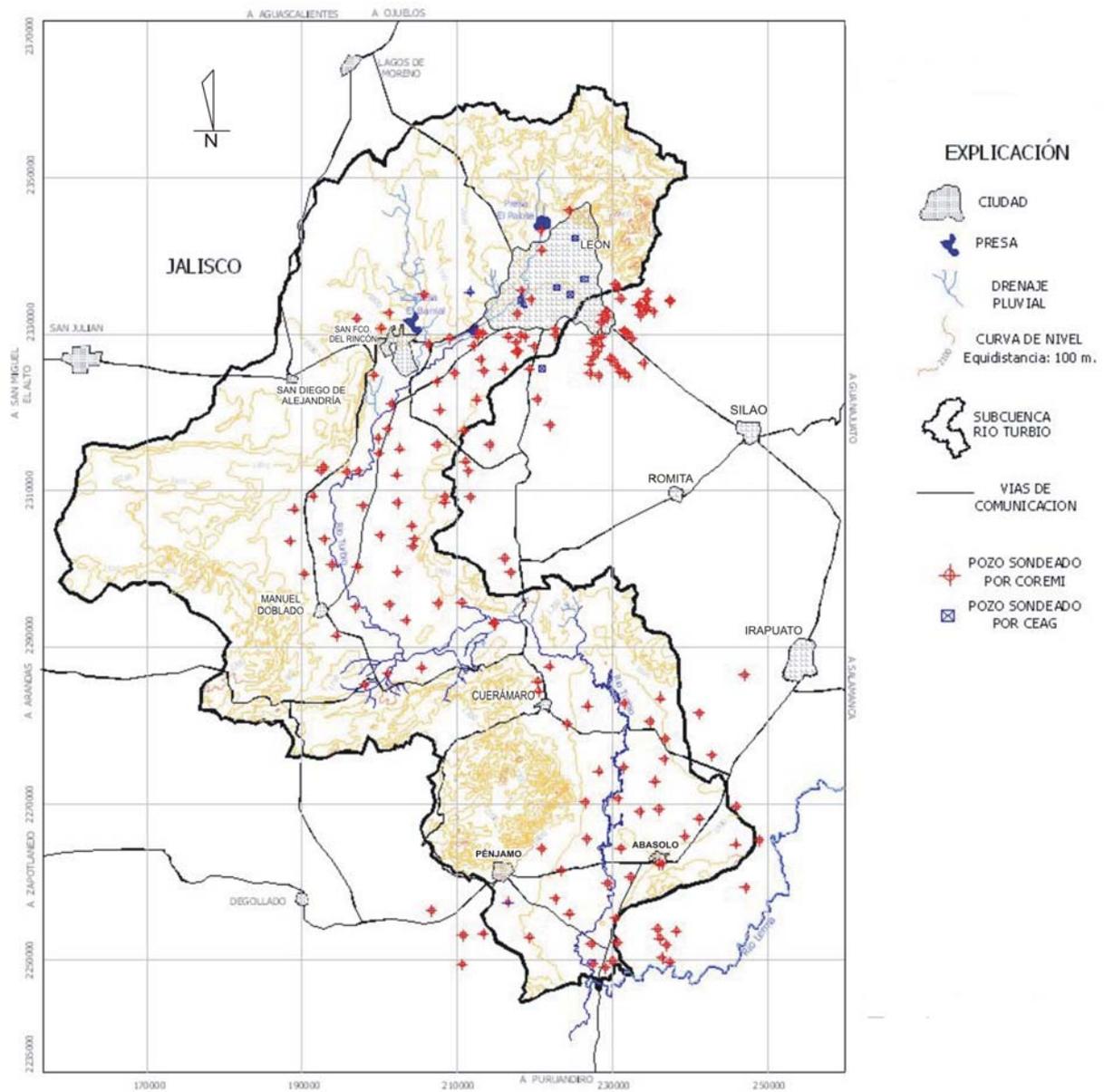


Figura 5.3 Pozos de las redes de monitoreo de CEAG sondeados durante el periodo de sequías 2004.

En la subcuenca del Río Turbio se efectuaron mediciones piezométricas con profundidades de entre 5 hasta 150m. Las mediciones más someras corresponden a algunas norias y pozos de poca

profundidad (30-50m) que sugieren la presencia de niveles acuíferos locales o "colgados", dada la presencia de intervalos arcillosos intercalados en el relleno granular.

En la configuración de líneas de profundidad y elevación al nivel estático no se han considerado niveles muy someros (menores a 30m), sobre todo cuando coexisten con niveles aledaños más profundos. Esto es con la intención de representar la condición de la zona acuífera principal y de mayor potencial, que sostiene a la mayoría de los aprovechamientos.

Según los datos disponibles, en la parte sur de la zona, en los alrededores de Pénjamo, los niveles de 2004 se mantienen similares a los que prevalecían en el año 1999. Sin embargo, los datos de 2002 sugieren una recuperación extraordinaria de casi 15m con respecto a 1999, para abatirse la misma cantidad de metros en los dos últimos años.

Comportamiento similar al anterior se registra al norte de Abasolo, en la zona del cauce del Río Turbio, donde este sigue una dirección general norte-sur. Los niveles de 2004 se comportan de igual manera que los de 1999, sólo que en el 2002 éstos habían descendido aparentemente, hasta 15 metros, para recuperarse de manera sorprendente en los últimos 2.5 años e igualar a las condiciones de hace 5 años.

Tales variaciones en tan breve lapso de tiempo, despierta dudas sobre la exactitud de las mediciones, particularmente las realizadas en el año de 2002; pues además de la magnitud de variación, ésta no se manifiesta en el mismo sentido en ambas zonas mencionadas, sino que mientras existe una aparente recuperación en la zona de Pénjamo, al norte de Abasolo se presenta un fuerte abatimiento.

Sin embargo, se han observado variaciones considerables en varios sitios, relacionadas con los fuertes períodos de lluvias ocurridos durante 2002 y 2003, que se manifiestan como recuperaciones del orden de 2 a 5m. Debe señalarse aquí, que aunque tales magnitudes de recuperación no son comunes en tan leve lapso de tiempo, las mediciones sugieren altas velocidades de infiltración en algunas zonas del acuífero (particularmente en el medio fracturado) favorecidas por la presencia de fallas y el intenso fracturamiento de riolitas y tobas riolíticas. De ser así, esto implica que el sistema acuífero es susceptible de recargarse (y también contaminarse) con relativa facilidad a través de estas zonas.

En este sentido es importante tomar en cuenta este antecedente y elaborar un monitoreo preciso y cuidadoso de las redes piezométricas, que permitan corroborar o descartar estas observaciones.

La parte central de la subcuenca mantiene condiciones piezométricas favorables; la presencia de dos domos de recuperación, al norte de Cuerámara y de Manuel Doblado, hacen que esta parte del acuífero no sea considerada sobreexplotada.

En esta misma zona también prevalece la piezometría que muestra un dinamismo importante en el sistema acuífero. Lo más significativo es un domo de recuperación localizado al norte de Cuerámara, el cual no existía en el año 2002, ya que esa zona se encontraba en equilibrio, a diferencia de 1999, en que se manifestaba un domo con características similares a las actuales. Nótese que se presenta la misma situación que en la parte sur del área; es decir que las variaciones muestran los mismos patrones o ciclos de cambio. El domo positivo localizado al norte de Manuel Doblado ya existía en el 2002 y para 1999 apenas se mostraban indicios de su formación, este domo pudiese estar alimentado principalmente por medio de un sistema de recarga horizontal proveniente de la parte centro occidental del área y en una menor proporción por recarga proveniente del retorno de riego.

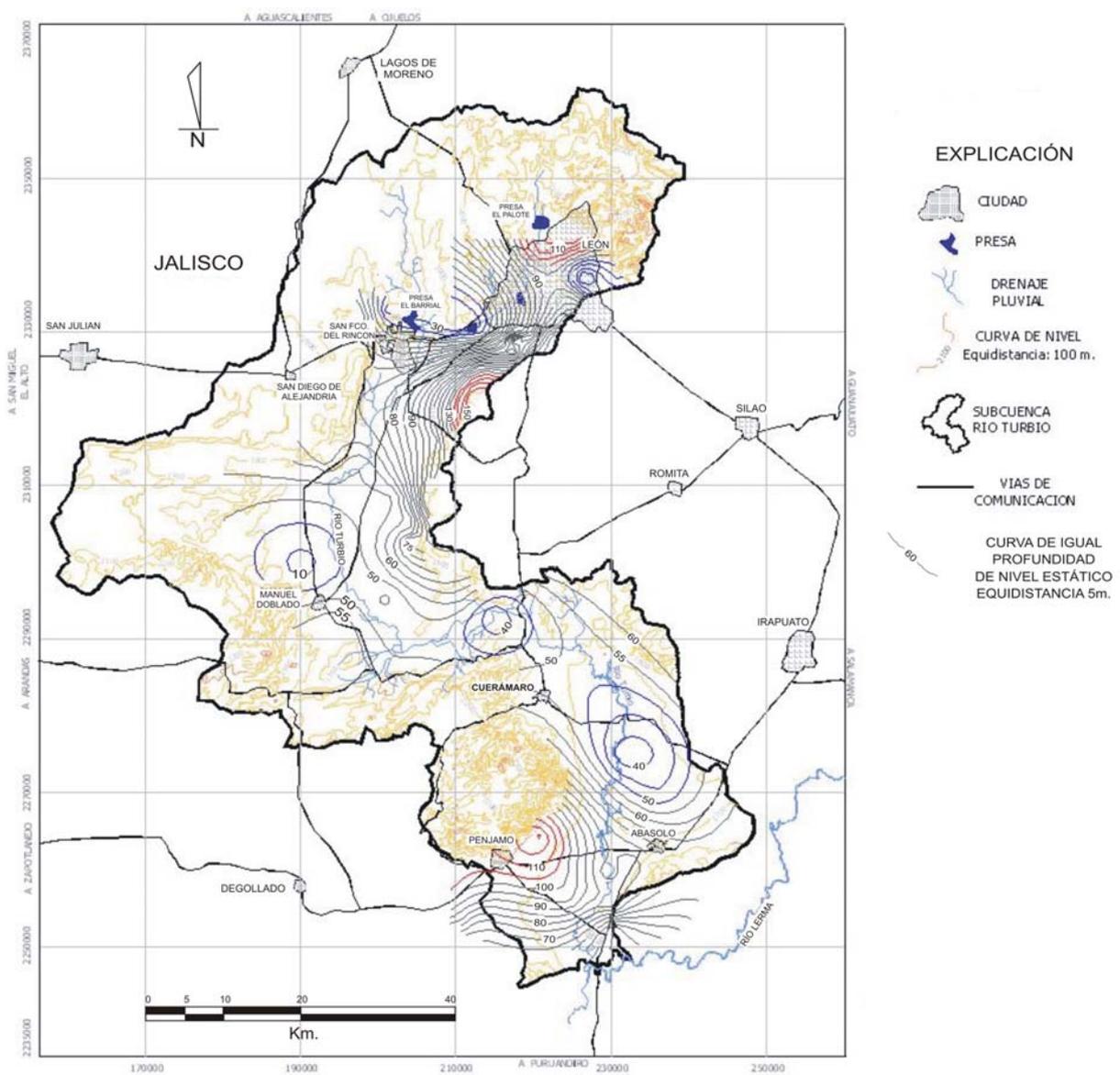


Figura 5.4 Configuración de la profundidad del nivel estático para el año 2004.

La parte norte del área de estudio es sin duda la más afectada. Al sureste de San Francisco del Rincón se manifiesta un gran cono de abatimiento con profundidades de hasta 155 metros (líneas rojas en la Figura 5.4). Este cono ya se manifestaba al menos desde 1999 y en tan solo 5 años su abatimiento ha sido de 25 m. El origen de éste puede estar relacionado con la batería de pozos de SAPAL, que es el sistema operador de agua potable del Municipio de León. Esta batería incluye varios pozos de alto rendimiento y con profundidades de más de 300m, que se distribuyen en la zona de la localidad de La Muralla y alrededores, en el extremo centro oriental de la subcuenca. Este sistema de pozos ha operado en la zona en por lo menos los últimos 20 años.

Los pozos de alto rendimiento localizados en La Muralla proveen a León un gasto aproximado de 0.7 m³/s. A pesar de que esta es una zona de recarga natural, el volumen de extracción sobrepasa considerablemente al volumen de recarga. Conforme a la estimación de Durazo (2001), el ritmo de extracción provocaría que para el año 2009 los niveles se abatan por completo. El mismo investigador señala que para el mismo año la concentración promedio de cloruros del agua subterránea será igual a la que se tiene en la precipitación, lo que significa que la infiltración directa será la única fuente de agua para el acuífero en la zona.

El cono de abatimiento de La Muralla afecta a toda el área circundante; la zona norte del valle del Río Turbio está cediendo agua subterránea a ese sistema de pozos al menos desde 1999. Lamentablemente en la realización de este estudio no se contó con datos piezométricos más antiguos para establecer desde cuando se presenta este fenómeno.

La situación descrita es también evidente al sur de San Francisco del Rincón, sobre las márgenes del Río Turbio. Las equipotenciales muestran como en 1999 la profundidad del agua subterránea oscilaba entre 55 y 60 metros; para el 2002 ésta ya se encontraba a una profundidad entre 65 y 70m y actualmente su nivel piezométrico fluctúa entre 75 y 80m. Bajo condiciones normales ya se hubiese formado un cono de abatimiento, sin embargo éste no se ha generado debido a que el agua subterránea está viajando al oriente para alimentar el cono ubicado en la zona de La Muralla.

Las comunidades rurales asentadas a los alrededores de la batería de pozos de SAPAL son las más afectadas. Al ritmo de extracción actual los pozos del sistema abatirán sus niveles piezométricos al grado de suprimir el riego agrícola por bombeo en la zona.

Al suroeste de León, en los alrededores de la Presa El Barrial se encuentra un domo positivo que ya se evidenciaba en 1999 y que a la fecha ha crecido en dimensiones y su nivel piezométrico se ha hecho más somero. Con la información analizada es difícil determinar el potencial real de este domo, es difícil ver

si el comportamiento o tendencia de éste representa las condiciones de la parte profunda del acuífero, o si sólo se ha mantenido gracias a que se extrae poca agua de los niveles superiores del acuífero. Lo que es muy significativo es la idea de que este domo se mantiene gracias a una fuente de recarga proveniente de la parte norte del área de estudio, desde la Sierra de Guanajuato, favorecida probablemente por la presencia de fallas.

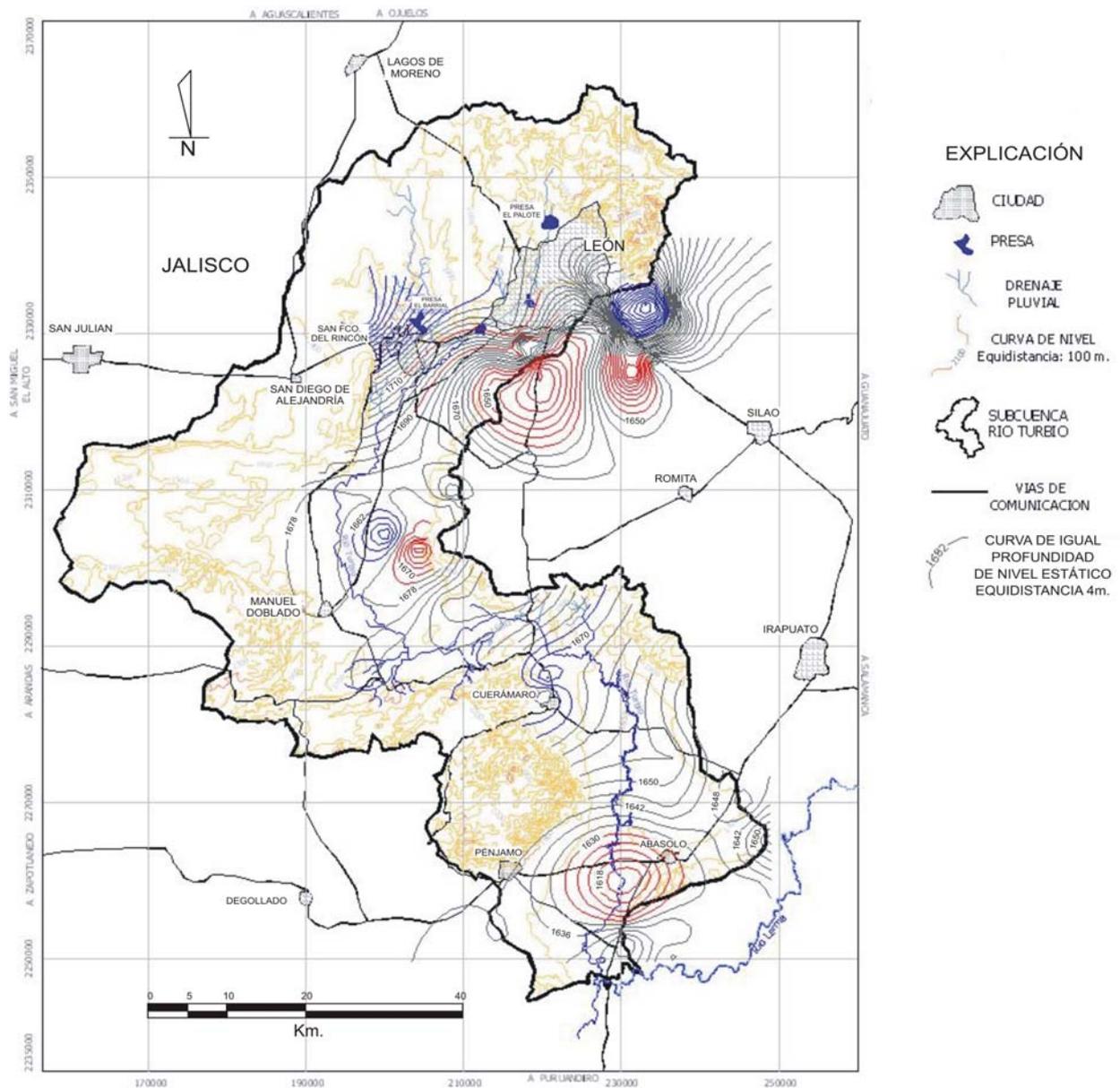


Figura 5.5 Configuración de elevación del nivel estático para el año 2004.

Las condiciones piezométricas que imperan en los alrededores de la ciudad de León son muy variables, mientras que al norte existe un cono con marcada tendencia al abatimiento continuo, al oriente

se ha mantenido un domo estable al menos desde el año 2002. En cuanto la parte sur y sur-poniente, los niveles tienden a descender continuamente un promedio de 3 m/año y si bien, hasta el momento no han logrado formar un cono que se considere significativo, es probable que con el ritmo actual de extracciones los niveles se integrarán a los que prevalecen en la parte norte formándose un solo cono de abatimiento con dimensiones y profundidades mayores.

Respecto a las elevaciones de los niveles estáticos, las menores se localizan al sur, específicamente en la parte central del valle que forman las comunidades de Pénjamo y Abasolo, con valores de 1,614 metros sobre el nivel del mar (msnm) y 1,642 msnm en límite entre el valle y Sierra de Pénjamo. En la parte central de la subcuenca los valores oscilan entre 1,690msnm al noreste de Cuerámara y 1,654 msnm al noroeste de Manuel Doblado, asimismo, en la parte norte se presentan valores de 1,726 msnm, mientras que los valores máximos ocurren al poniente de León con cotas de hasta 1,800 msnm.

5.1.3 Evolución piezométrica.

El ritmo al que se recupera o explota un acuífero está determinado por la evolución piezométrica del mismo con respecto al tiempo. Para el caso de la zona de estudio, la evolución se determinó para los periodos 1999-2004 y 2003-2004 (figuras 5.6 y 5.7). La falta de datos piezométricos históricos más relevantes hizo que no fuera posible analizar el comportamiento del acuífero en un lapso de tiempo mayor.

No existen datos precisos de cuando inició la sobreexplotación del acuífero en el área de estudio; Geopsa, en 1998 (*op. cit.*), reporta evoluciones negativas de los niveles estáticos desde la década de los ochentas para el Valle del Río Turbio, con valores promedio de dos m/año. Ariel Construcciones, en 1982, reporta evoluciones del mismo carácter, con promedio de 2.35 m/año, para la misma zona en el período de 1979 a 1982.

Referente al Valle de León, Guysa en 1998 indicó evoluciones negativas en la parte central del valle de hasta 1.5 m/año las cuales disminuían hacia las márgenes del mismo y de -2.7 m/año para 1999. Asimismo, la misma empresa reporta evoluciones en domos de recuperación en la zona del poblado El Camaleón, al sur de La Muralla, entre otros.

Respecto a la zona de Pénjamo-Abasolo, Lesser, en 1997, reporta evoluciones negativas de 2 m/año en la zona de laderas de montaña, - 0.5 m/año en las cercanía del cauce del Río Turbio y de hasta - 4 m/año al poniente de la ciudad de Pénjamo.

Es importante señalar que al igual que en el análisis piezométrico, al elaborar las configuraciones actuales de la evolución de niveles estáticos no se tomaron en cuenta valores que excedieran a cinco

metros entre los años 2003 y 2004, ya que por su magnitud se considera que pudo haber anomalías en las mediciones de uno u otro año, de cualquier manera queda registrada la profundidad de las campañas utilizadas a fin de que puedan ser aprovechadas en campañas posteriores (anexo Tabla 5.1). En las figuras 5.6 y 5.7, se han resaltado las líneas que indican una evolución positiva en color azul, mientras que las de color rojo señalan una evolución de orden negativo.

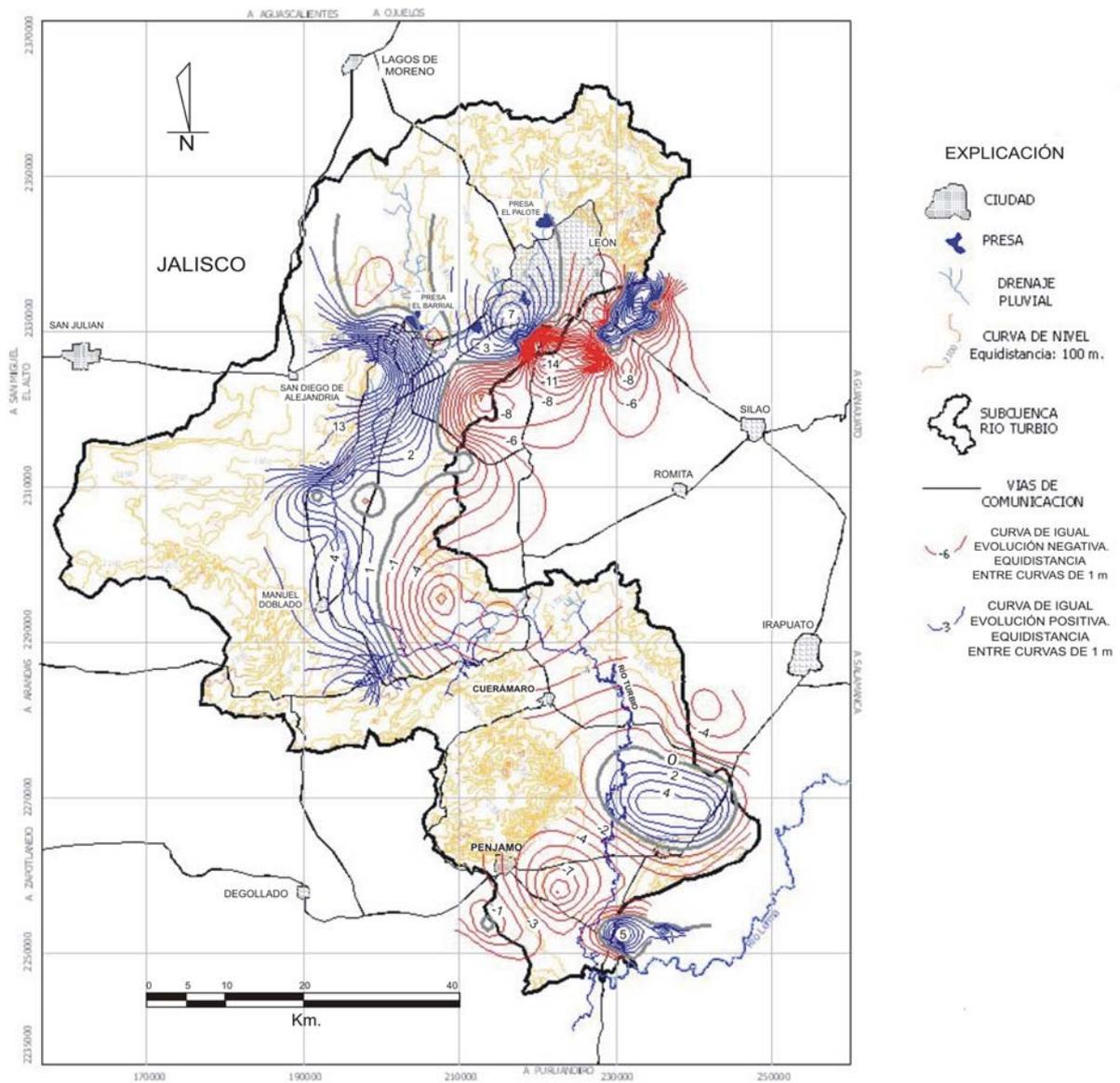


Figura 5.6 Evolución de niveles estáticos para el período 1999-2004

La evolución de niveles en el período 1999-2004 indica, de manera general, dos tendencias muy claras respecto al comportamiento de los niveles estáticos, una se comporta de manera positiva en la parte

norte y poniente de la zona de estudio, representada por valores entre 18 y 7 metros al suroeste de San Francisco del Rincón y de la Ciudad de León, asimismo, esta tendencia positiva continúa en dirección norte-sur sobre las márgenes y parte del valle de la zona poniente. El comportamiento anterior está directamente relacionado con la definición de las zonas de recarga que se abordan más adelante (capítulo 5.2.2), de momento estas se evidencian en la parte norte y poniente del valle.

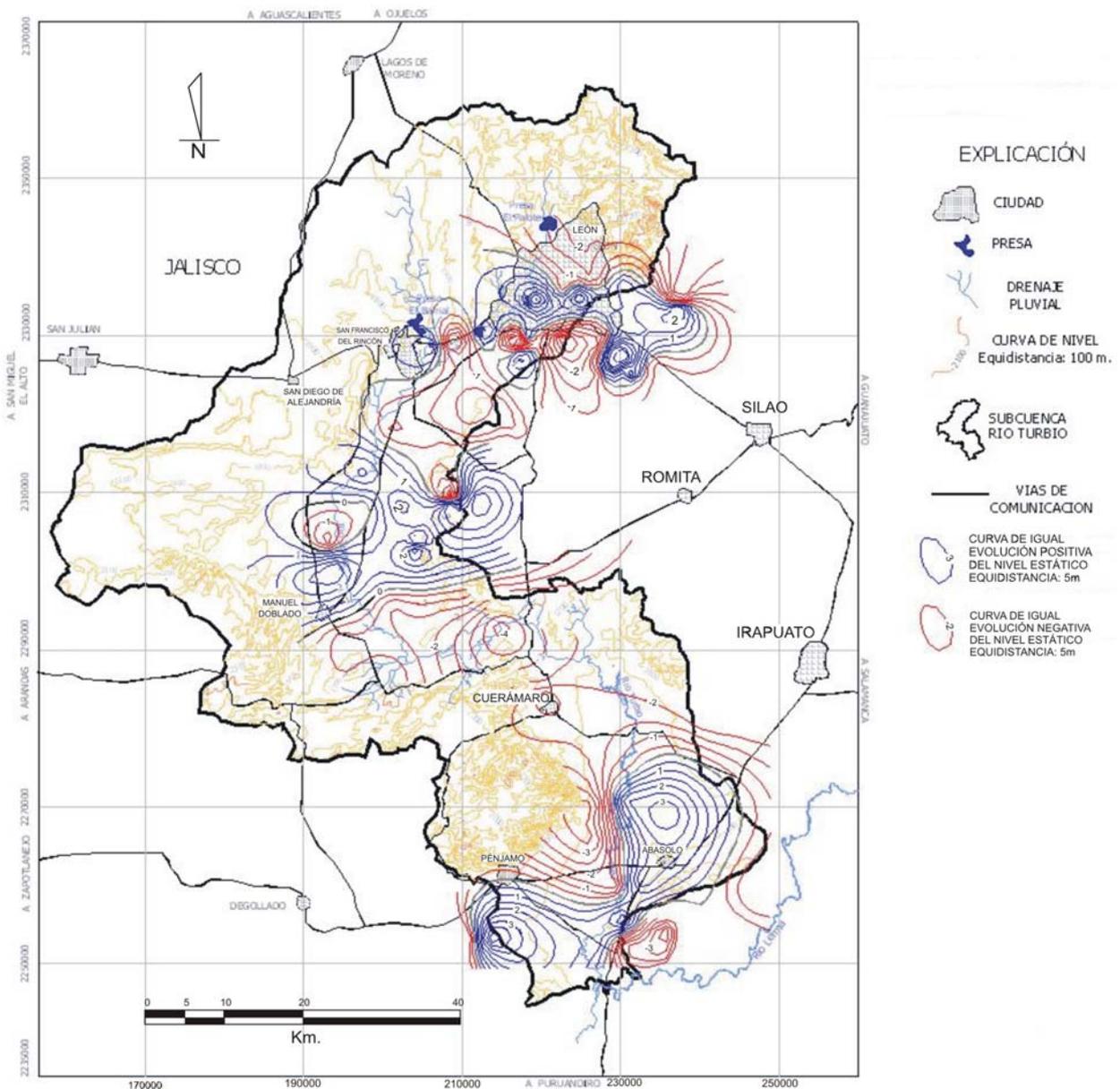


Figura 5.7 Evolución de la profundidad del nivel estático para el periodo 2003-2004

Al oriente de León y norte de Abasolo existen dos zonas cuyos niveles estáticos se han visto favorecidos en el transcurso de los últimos 5 años, ambas zonas con evoluciones positivas pueden estar

relacionadas a sistemas de recarga natural provenientes de las sierras cercanas (al noreste de León y Cuerámara), las cuales tienen las condiciones hidrológicas necesarias para transportar hacia los valles el agua de lluvia que se infiltra sobre ellas; se recomienda consultar el capítulo 5.2.1, relacionado con la distribución de las unidades hidrogeológicas.

La zona más afectada es el Valle de León, con descenso de niveles de hasta 20 m en sólo cinco años, la zona conocida como La Muralla también ha evolucionado de manera negativa alcanzando valores entre 8 y 10 m, asimismo, la parte centro oriental de la subcuenca presenta con cifras negativas entre 1 y 7 m. En los alrededores de Cuerámara y Pénjamo se han alcanzado valores máximos de descenso de los niveles de 4 y 9 m, respectivamente. La situación anterior es preocupante, ya que en gran parte del área donde se manifiesta dicha tendencia está directamente relacionada con los centros de mayor población y mayor actividad económica. Sin duda esta parte del acuífero adolece de una recarga natural suficiente para remediar el efecto que causan los volúmenes de extracción.

Nuevamente las condiciones piezométricas reflejan una dinámica ágil para el acuífero, las tendencias generales que se observan al analizar la evolución para el periodo 1999-2004 no se prevalecen de la misma manera para el periodo 2003-2004. Para este último lapso de tiempo se observa algunas zonas del acuífero tienen la capacidad de evolucionar ya sea positiva o negativamente, hasta 4 metros en tan sólo un año.

Las zonas más afectadas se ubican al sur de León, noreste de Cuerámara y Pénjamo con evoluciones negativas de hasta 4 m/año. Con cifras negativas pero de un orden menor están las zonas ubicadas al sureste de Manuel Doblado, Cuerámara y San Francisco del Rincón, así como el norte de León, con valores que fluctúan entre 0.5 y 2 m/año.

Destaca un área que comprende desde Manuel Doblado hasta el sur de Cuerámara, en esta zona las configuraciones actuales tanto de profundidad como de elevación de niveles estáticos muestran como una parte del acuífero prevalece en equilibrio, e inclusive se observa la presencia de domos de recuperación. Al observar la configuración de evoluciones para el periodo 2003-2004 se nota como la misma zona ha evolucionado de forma negativa, por lo que de continuar esa tendencia seguramente desaparecerán tanto las áreas en equilibrio como los domos positivos que se observan actualmente. Una situación similar ocurre al oriente y sur de San Francisco del Rincón, las mismas configuraciones actuales de niveles estáticos muestran a la zona aparentemente no sobreexplotada e inclusive con tendencia a la recuperación; además en el apartado 5.2.2 se observa como prevalece una importante zona de recarga natural, sin embargo, la figura de evolución de niveles muestra como éstos han descendido en el último

año entre 1 y 2.5 m. por la extracción excesiva del agua subterránea, que no ha permitido que la recarga natural representativa en ese lugar.

Las zonas que muestran evolución de carácter positivo se ubican al sur de Pénjamo, norte de Abasolo, la parte central de la subcuenca, además de una zona orientada E-W y que pasa prácticamente por el centro de la Ciudad de León. No cabe duda que estas evoluciones positivas son el reflejo de varios sistemas de recarga natural que se han visto favorecidos por las copiosas y extraordinarias lluvias ocurridas en los años 2002 y 2003. Si bien la parte oriente del valle de León se ha visto beneficiada con la recuperación de sus niveles estáticos, esto no significa que el acuífero deja de estar sobreexplotado, ya que la tendencia general de los niveles es a evolucionar de una forma negativa.

De manera general, la principal actividad económica de la zona de estudio es la industria seguida de la agricultura. Ambas actividades requieren de un abastecimiento continuo de agua subterránea y, casualmente, es el desarrollo no controlado de estas actividades lo que propicia la contaminación y el agotamiento de los acuíferos. Durante la campaña de piezometría se tomaron fotografías de la totalidad de los pozos visitados, sondeados o no; algunas de ellas se muestran en el anexo fotográfico, al final del texto.

5.2 Funcionamiento hidráulico del acuífero

5.2.1 Zonas de recarga y descarga

De manera general, un acuífero es una unidad o conjunto de unidades geológicas capaces de almacenar agua suficiente para ser extraída y aprovechada por el ser humano. La recarga de un acuífero puede provenir en sentido horizontal y vertical (misma que puede ser de carácter natural o inducida). La cuantificación de las mismas se determina en el balance de aguas subterráneas.

En el área de estudio la componente vertical ingresa al sistema de varias formas:

1) Producto de la lluvia precipitada en la subcuenca y que se infiltra hasta alcanzar las zonas saturadas en los valles a consecuencia del escurrimiento en las serranías; su velocidad y tiempo de tránsito están directamente relacionados con la litología y con la profundidad del nivel estático.

2) Volúmenes menores por infiltración que ocurre en los ríos y arroyos en época de lluvias, además de varias presas (El Barrial y El Palote, entre otras) y pequeños bordos de almacenamiento.

3) Infiltración (inducida) por medio de la red hidroagrícola, ya que la mayoría de sus canales carecen de revestimiento, y por retorno de riego producto de la actividad agrícola. La cantidad de agua aportada al acuífero por este último sistema es importante, ya que está directamente relacionado con el transporte de contaminantes, principalmente a la parte somera del acuífero.

En cuanto al componente horizontal, se genera a partir del agua de lluvia que precipita en las partes topográficamente altas de la subcuenca, siempre y cuando las rocas tengan permeabilidad por fracturamiento que permite el flujo. Este flujo horizontal se identifica al analizar las equipotenciales resultantes de la elevación del nivel estático.

En la zona en estudio se identifican 3 zonas principales de recarga natural, la primera se localiza en la porción norte y noroeste de la subcuenca, particularmente al noreste de la Sierra de León y al norte y noroeste de San Francisco del Rincón, en la zona conocida como Altos de Jalisco, ocurre a través de areniscas y conglomerados del Terciario, así como por riolitas de la misma edad (Figura 5.8).

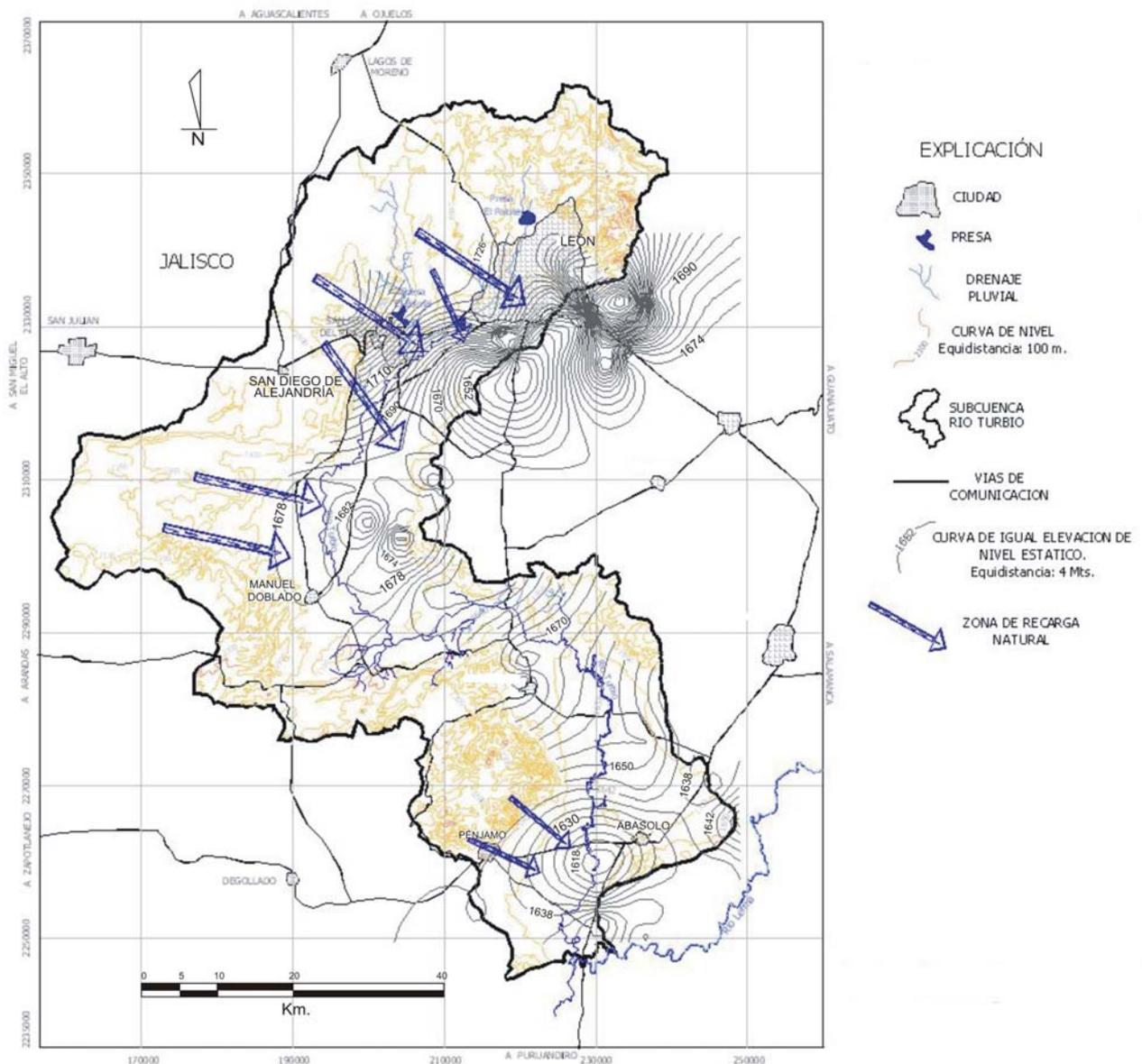


Figura 5.8 Delimitación de las principales zonas de recarga natural.

La segunda y más importante zona de recarga se localiza hacia el extremo poniente del área de estudio, entre las localidades de Manuel Doblado y San Diego de Alejandría; varios estudios previos la refieren (Geopsa, *op. cit.*; Ramos, 2003, entre otros). Actualmente, en esta zona se observa un pequeño domo de recuperación y probablemente esté relacionado con esta fuente de recarga, la cual ocurre por medio de andesitas y basaltos terciarios, además de tobas riolíticas de la misma edad.

La tercer zona de recarga natural se ubica al sur del área de estudio en las inmediaciones de la ciudad de Pénjamo, donde afloran tobas riolíticas terciarias, por donde se infiltra el agua que alimenta a esta parte del acuífero. Cabe mencionar que este fenómeno sólo se presenta en la parte sur de la Sierra de Pénjamo, ya que el resto de la misma se compone por Andesitas y Basaltos del Terciario, donde la configuración de las curvas equipotenciales sugieren permeabilidad baja, probablemente debido a la presencia de horizontes de tobas finas intercalados con las rocas volcánicas mencionadas.

De manera general, la zona de estudio tiene varias y muy importantes zonas de recarga natural, las copiosas lluvias que se han presentando en los últimos años sin duda alguna se han visto reflejadas en la mayoría de las márgenes de las sierras, así como en los pies de montes, ya que es en estos lugares donde la recarga se refleja de una manera más rápida (Figura 5.6). Contrario a lo anterior, en gran parte de los valles es menor la influencia de este sistema de recarga, pues ésta se ve superada en gran medida por los volúmenes de extracción.

Así como el acuífero tiende a ser alimentado por un sistema de recargas ya sea natural o inducido, es de la misma forma como éste descarga sus aguas. Un sistema ideal sería que las extracciones fuesen de un orden similar a las recargas.

Hasta finales de la década de los sesentas el acuífero descargaba sus aguas de una forma natural, el sistema de descarga tendía a comportarse de forma similar a la topografía y con orientación paralela al Río Turbio, hasta descargar sus aguas al conectarse al sistema del Río Lerma. En la década de los setentas las salidas naturales disminuyeron por el inicio de una extracción de agua subterránea que comenzó a superar a la recarga. Debido a que en la mayor parte de la zona de estudio las actuales condiciones del acuífero son de sobreexplotación, éste ya no tiene descarga natural, por consiguiente el flujo natural se invirtió hacia los valles donde se presentan los conos de abatimiento.

Actualmente el principal sistema de descarga del acuífero es a través de pozos. El fenómeno de la evapotranspiración es una forma de descarga natural; sin embargo, el agua que se pierde con este proceso no se encuentra directamente en el acuífero sino en la superficie, para este estudio se realizó un balance de aguas superficiales que comprende a la Subcuenca del Río Turbio (capítulo 6.6), el cual arrojó

un resultado de 2,754 Hm³ que pierde el sistema por el fenómeno. Al definir y cuantificar las zonas de recarga y descarga de un acuífero se contribuye a determinar el estado del mismo.

5.2.2 Dirección de flujo subterráneo.

En condiciones iniciales, el flujo subterráneo en el acuífero estaba directamente relacionado con las zonas de descarga natural, éste se desplazaba horizontalmente a través de los depósitos granular y fracturado con una dirección preferente norte-sur siguiendo aproximadamente el curso del Río Turbio hasta su confluencia con el Río Lerma.

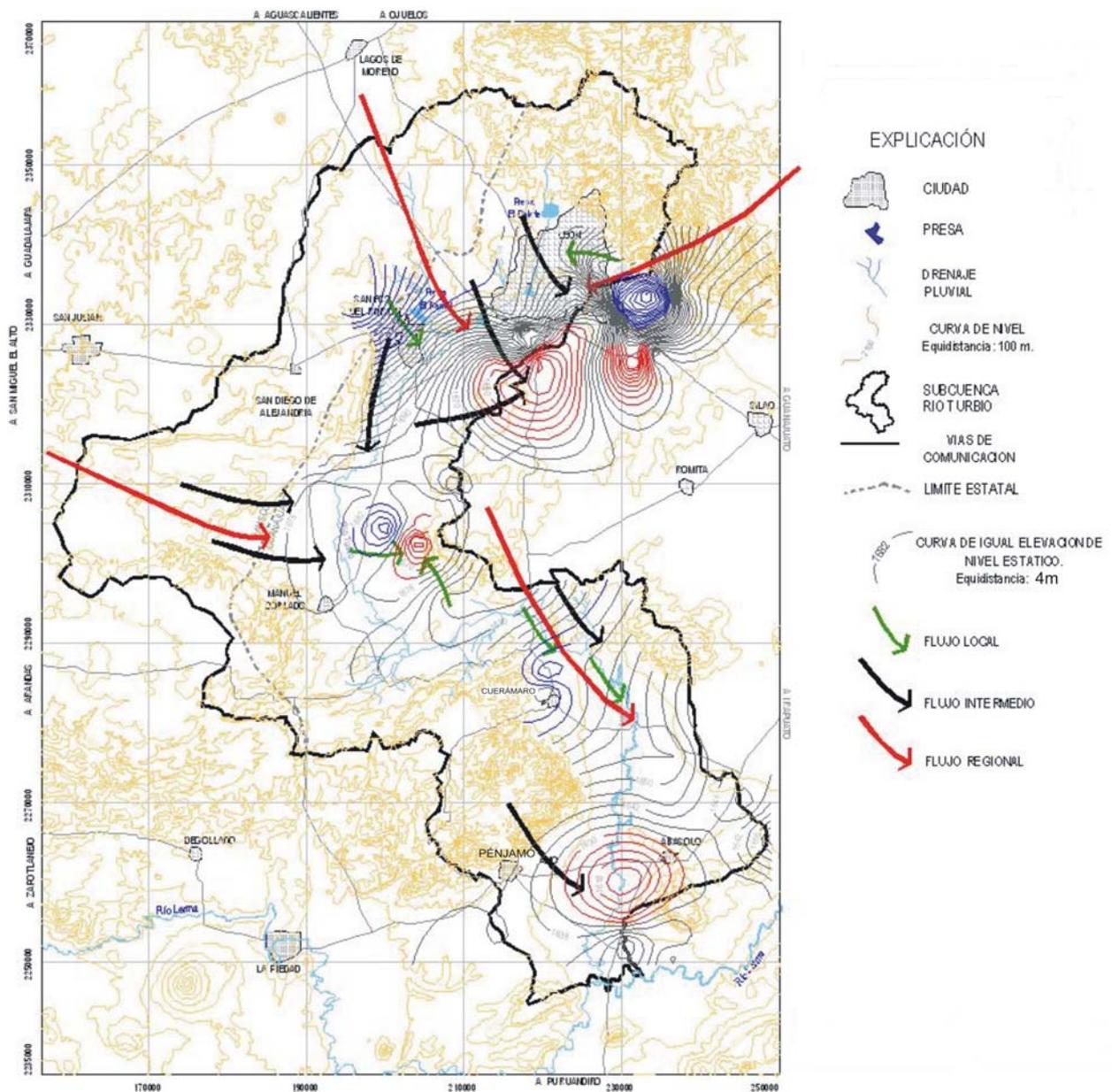


Figura 5.9 Direcciones de flujo subterráneo.

Las direcciones actuales de flujo subterráneo para la subcuenca del Río Turbio fueron determinadas de forma cualitativa (analizando la piezometría y topografía), para posteriormente ser cuantificadas en el balance de aguas subterráneas tomando en cuenta el concepto de "red de flujo" así como la "Ley de Darcy".

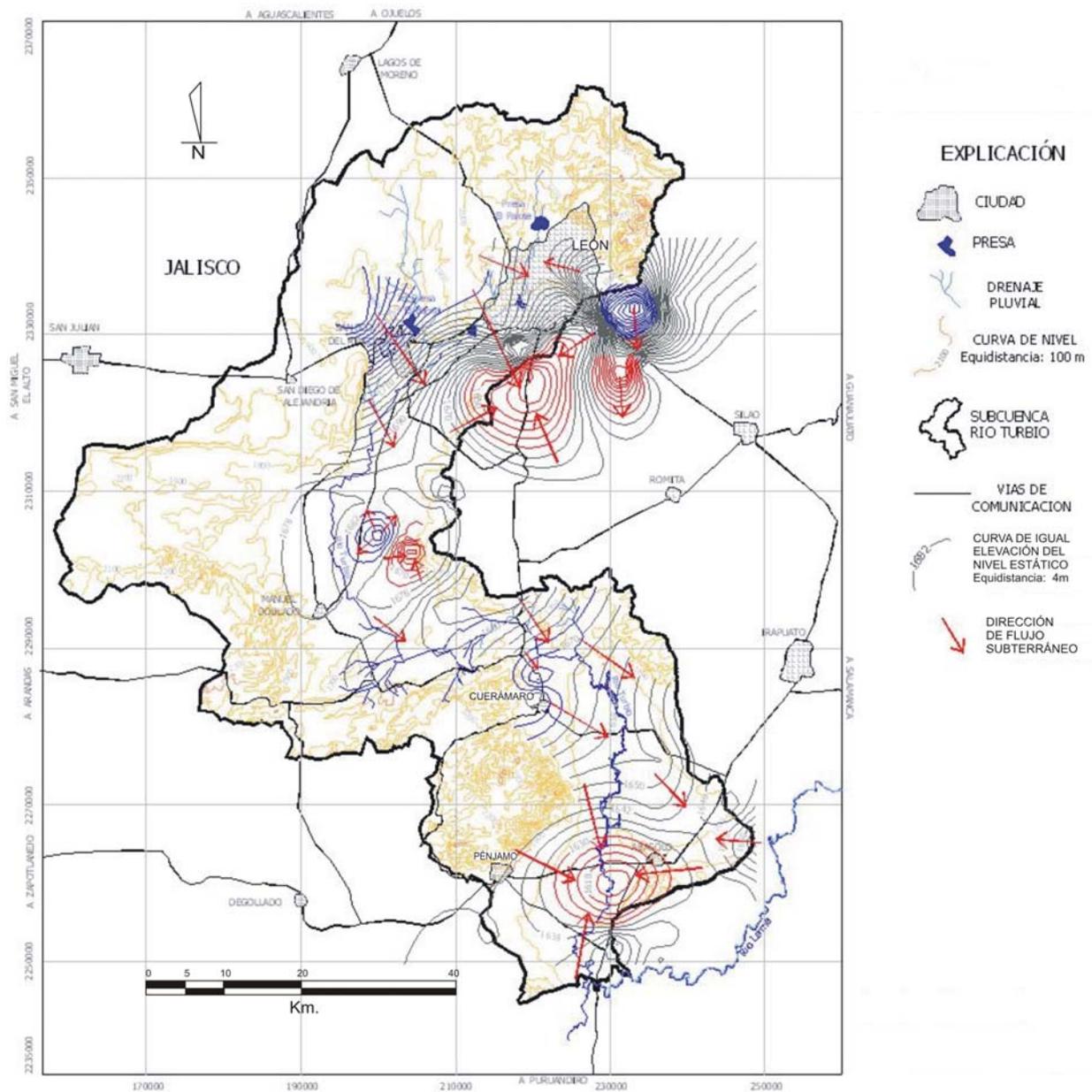


Figura 5.10 Sistemas de flujo subterráneo.

En condiciones normales el nivel estático tiende a comportarse de forma similar a la topografía. Las elevaciones del nivel estático para el período secas 2004 ponen en evidencia como las direcciones de flujo subterráneo se han invertido en la mayor parte de los valles de la zona excepto al norte y oriente de

Cuerámara y en las inmediaciones de San Francisco del Rincón. Ambas zonas, (Figura 5.10) tal como se mencionó anteriormente, constituyen una de las entradas más importantes de agua al acuífero.

La disposición espacial de los depósitos aluviales así como la alteración, fracturamiento y fallamiento de las unidades consolidadas controlan los regímenes de flujo subterráneo. Para el caso de la Subcuenca del Río Turbio se observan tres sistemas de flujo (Figura 5.9).

-Flujo Local. Es generado por agua meteórica de reciente infiltración, la cual viaja en forma vertical y se ve reflejada en una recarga prácticamente instantánea de los acuíferos someros. Este flujo representaba la descarga natural del sistema antes de que se generaran los conos de abatimiento.

-Flujo Intermedio. Su origen está relacionado a las partes topográficamente altas en donde existen las condiciones apropiadas de permeabilidad para su infiltración. Son las curvas equipotenciales de la elevación de niveles estáticos las que ponen en evidencia este sistema de flujo. La infiltración que no es interrumpida por barreras naturales y que viaja hacia el acuífero profundo lo hace a través de un sistema de este orden. Es importante mencionar que este tipo de flujo sustenta la mayor parte del volumen de agua que se extrae del acuífero.

-Flujo Regional, Dadas las condiciones geológicas y estructurales de la zona, además de algunas manifestaciones hidráulicas superficiales como el termalismo, se propone la presencia de este tipo de flujo, cuyo medio de circulación posiblemente se relaciona con rocas fracturadas que tienen profundidades entre 800 y 1,000 m. Otra evidencia de este sistema de flujo se discute en un estudio isotópico elaborado por el Instituto de Geofísica (1999) en la zona La Muralla, donde se propone la existencia de una recarga horizontal alimentada por un flujo de carácter regional cuyo origen es externo a la subcuenca.

Es probable que las zonas de recarga ubicadas al poniente de la subcuenca y al noroeste de San Francisco del Rincón estén influenciadas por este tipo de flujo regional. Lo anterior también se hace evidente al observar la distribución de familias de agua subterránea donde para ambas zonas se presenta una familia con características diferentes (Capítulo 6).

5.2.3 Distribución de unidades hidrogeológicas

Tomando como base los mapas geológicos de COREMI, la verificación hidrogeológica de campo, las características de respuesta hidráulica de los distintos materiales de la zona, además de estudios previos, se definieron y cartografiaron de manera general 5 unidades hidrogeológicas (Figura 5.11). Las características de las unidades geológicas consideradas se explican con detalle en el capítulo 3.

UNIDAD I. Material no consolidado (granular) con permeabilidad alta. Se incluye en esta unidad a sedimentos aluviales recientes con altas proporciones de arenas y gravas Q(al). GUYSA (1998) le

atribuye a este material un espesor que varía de unos centímetros hasta 15 m, aunque advierte que es posible que llegue a 30 m. Se incluyen también sedimentos conglomeráticos y cenizas volcánicas tipo lapilli y aglomerados (Qal-Tb y Qpt-Pc), que en ocasiones pueden alcanzar espesores mayores a 50 m. Horizontes permeables de este tipo se encuentran intercalados con el relleno granular hasta profundidades superiores a 200m. Si el agua infiltrada a través de esta unidad es obstruida en su descenso por lentes arcillosos, se forma un acuífero superior o "colgado". Este horizonte acuífero ocurre de manera local y tiene importante potencial geohidrológico debido a que es poco explotado (sólo por algunas norias), además de que recibe recarga constante a través del agua infiltrada por el retorno de riego agrícola y por las precipitaciones.

UNIDAD II. Material no consolidado (granular) con permeabilidad media. Se considera dentro de esta categoría a la unidad geológica de arenas y conglomerados terciarios (TmAr-Cgp). Las arenas son finas a gruesas con horizontes de material heterogéneo en el que se incluyen gravas; se presentan semicompactas o fácilmente delesnables, con moderado contenido de cuarzo. Se incluyen también en la unidad II, sedimentos de abanicos aluviales, los cuales forman parte importante del relleno de las depresiones paleotopográficas y fosas tectónicas. Estos sedimentos están mal clasificados e incluyen material conglomerático con una matriz areno arcillosa. Se presentan frecuentemente como alternancia de horizontes de espesor variable (desde 10 cm hasta pocos metros) con preponderancia de gravas, arenas o limos. La edad de los materiales va desde el Terciario Medio al Cuaternario. A profundidad conforma el medio granular por donde circula la mayor cantidad de agua subterránea y donde está perforada la mayor parte de los pozos. La granulometría que presenta es variada, desde material grueso hasta muy fino; éste último tiende a formar lentes de arcilla que, a su vez, provocan fenómenos locales de semiconfinamiento estáticos. Superficialmente se distribuye al norte y noroeste de San Francisco del Rincón; a profundidad se le encuentra prácticamente en todos los valles del área, con espesores de entre 100 hasta cerca de 400 m.

UNIDAD III. Material consolidado con permeabilidad alta. Dentro de esta unidad se considera un conjunto variado de rocas que constituyen la Geología del área. Se incluyen aquí principalmente a basaltos cuaternarios (QB) intensamente fracturados y a la Ignimbrita Cuatralba (ToR-Ig) del Terciario. Estas unidades muestran en sus afloramientos un grado de fracturamiento alto a moderado, en donde las fracturas presentan apertura y continuidad notorias, lo que facilita la infiltración. Esto es particularmente importante en zonas donde los basaltos recientes afloran por sobre los valles o cubren a otras rocas de permeabilidad significativa, lo que redundaría en aportaciones a la recarga del acuífero. Este factor pudiera ser

menos importante en el caso de la Ignimbrita Cuatralba, pues esta descansa mayormente sobre unidades mesozoicas consideradas de baja permeabilidad, en la parte alta de la sierra de Guanajuato, donde bien puede favorecer la existencia de pequeños acuíferos "colgados". El espesor de esta unidad puede ir desde pocas decenas de metros, hasta más de 200m

Aunque en la subcuenca de estudio afloran ampliamente otras rocas riolíticas de clara importancia acuífera y que localmente presentan permeabilidad alta, estas se han incluido en forma general dentro de la unidad hidrogeológica.IV, que describe a continuación.

UNIDAD IV. Material consolidado con permeabilidad media. Aunque localmente, algunos afloramientos de riolita y toba riolítica de las unidades ToR-TR y ToR, muestran fracturamiento importante, en otros afloramientos estas rocas se muestran masivas y con fracturas cerradas. Asimismo, hay evidencia en la región de que las unidades riolíticas mencionadas, proporcionan aportes importantes en el caudal de varios pozos, además de que constituyen el medio por el que se transmite un volumen importante de la recarga en el área, particularmente hacia la zona occidental. Estas rocas están afectadas por fallamientos normales y constituyen bloques y volúmenes considerables dentro de toda la subcuenca, y por supuesto del acuífero.

Sin embargo, la permeabilidad de estas rocas riolíticas es heterogénea y puede variar localmente de alta a incluso baja, por lo que de manera general, se ha señalado en el mapa hidrogeológico (Figura 5.11) con permeabilidad media.

Esta unidad geohidrológica se distribuye al norte, poniente y centro del área de estudio, con algunas exposiciones hacia el extremo sureste. En el subsuelo se le encuentra prácticamente a todo lo largo y ancho del área de la subcuenca. Se considera como una fuente potencial de recarga para el acuífero. A profundidad se comporta como un medio saturado por debajo de la Unidad II. Debido a la poca profundidad de los pozos, la explotación de esta unidad es mucho menor que la anterior, por lo que su potencial acuífero es atractivo, El espesor de total de esta unidad puede ir desde pocas decenas de metros hasta más de 400m.

Se incluye también en esta categoría, a basalto y andesita del Terciario Medio (TmA-B, ToA), con fracturamiento e intemperismo moderados. El fracturamiento se aprecia cerrado a semicerrado y entreabierto aunque frecuentemente con relleno de material intemperizado. Aunque se observan variaciones locales, se le ha asignado a esta roca una permeabilidad general media.

El análisis piezométrico soporta estas consideraciones, especialmente hacia la parte oriente de la sierra de Pénjamo, donde la unidad parece funcionar como una barrera para el flujo subterráneo,

probablemente por la presencia de horizontes de tobas finas (apartado 5.1). GUYSA (*op. cit.*) le asigna a este material permeabilidad baja. Se distribuye en superficie principalmente hacia el sur y poniente del área de estudio; el espesor medio de esta unidad es de aproximadamente 300m.

Se considera también en esta unidad a calizas lacustres del Plioceno (TplCz), que se presentan moderadamente fracturadas, con vetillas de calcita y en estratos delgados (10-70cm); su matriz varía de microcristalina a arenosa. Estas calizas afloran hacia el extremo centro oriental de la subcuenca.

UNIDAD V. Material consolidado con permeabilidad baja. Esta unidad geohidrológica incluye a todas las unidades mesozoicas e intrusivas terciarias que afloran en la sierra de Guanajuato, así como a los conglomerados rojos de la base del Terciario, que afloran también hacia la base de la misma sierra. Se incluyen aquí a las unidades JsVs, Js?D, JsTn, JsB, JsUm, TpgGr y TpaeCgp.

Esta unidad hidrogeológica constituye el basamento hidrogeológico de la región. La profundidad y morfología de éste se interpreta a través de diversas secciones geológicas regionales elaboradas en base a perfiles de pozos y a resultados geofísicos. El espesor total se desconoce aunque según la información mencionada, éste se infiere superior a los 1500m.

Superficialmente, varias de las unidades geológicas mencionadas presentan en algunas zonas, un grado de intemperismo y fracturamiento intensos, por lo que son susceptibles de permitir infiltraciones en su porción superior hasta una profundidad de algunas decenas de metros, particularmente el granito. A mayor profundidad, las fracturas y poros se cierran o se ven selladas por minerales arcillosos de alteración, por lo que de manera general se les atribuye en conjunto, un grado de permeabilidad baja

5.2.4 Modelo conceptual de funcionamiento acuífero

La elaboración de un modelo conceptual representa un importante paso durante el desarrollo e implementación de esquemas de planeación y aprovechamiento de agua subterránea. Se trata de un esquema simplificado, de las características físicas del acuífero y de los procesos que sufre el agua subterránea dentro de él. El modelo se plantea a partir del análisis conjunto de la información geofísica, geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica.

El modelo sugerido comprende a toda la Subcuenca del Río Turbio ya que las condiciones hidrológicas a profundidad tienen características y comportamientos similares en toda el área. GUYSA (*op. cit.*) señala para la parte norte de la subcuenca (Acuífero León), que la dinámica del agua subterránea ocurre en un sistema acuífero libre, heterogéneo, de continuidad hidráulica regional; además establece que el agua se desplaza a través de tres medios físicos: granular, fracturado y granular-fracturado.

Referente a la parte central de la subcuenca (Acuífero Río Turbio), GEOPSA (*op. cit*) advierte la presencia de un sistema acuífero integrado por unidades litológicas de tipo granular y fracturadas, asimismo indica que el acuífero es de tipo libre con fenómenos locales de semiconfinamiento.

Según las observaciones de campo y la información proporcionada por la Geología y Geofísica, así como por algunos perfiles de pozos, en el presente estudio se coincide con la idea general de un acuífero libre con algunas zonas que pueden mostrar fenómenos locales de semiconfinamiento, dada la presencia de horizontes arcillosos, que sin embargo, no tienen la continuidad suficiente como para establecer una división de acuíferos.

Para la parte sur de la subcuenca (Acuífero Pénjamo-Abasolo), con el apoyo de secciones geológicas elaboradas a partir de la información mencionada, se propone un modelo de funcionamiento similar a que se tiene en la parte central y norte de la subcuenca (ver las secciones geológico-hidrogeológicas; Capítulo 3).

Al igual que en algunos estudios previos, se propone la existencia de un sistema acuífero donde el agua circula por dos medios, uno integrado por unidades de tipo granular y otro por rocas fracturadas; el primero tiene características heterogéneas y su granulometría varía desde gravas a arcillas, mientras que el segundo medio está formado por rocas volcánicas de composición riolítica, basáltica y andesítica; las particularidades de ambos medios de circulación son discutidas y descritas ampliamente en el capítulo de Geología.

El basamento hidrológico está constituido por una secuencia de unidades metasedimentarias mesozoicas y por el Conglomerado Guanajuato del Terciario Inferior, las rocas anteriores afloran en la parte norte de la Subcuenca del Río Turbio, en la Sierra de Guanajuato. Lo anterior sugiere que la sierra de Guanajuato estaría funcionando como una barrera impermeable al flujo del agua; sin embargo, existen varios indicios sobre el aporte de agua desde la sierra (Figura 5.12).

Al pie de la sierra existen grandes volúmenes de rocas volcánicas riolíticas, andesíticas y basálticas del Terciario al Cuaternario, con fracturamiento y permeabilidad importantes. Asimismo la presencia de domos positivos de la superficie piezométrica en la parte norte de la subcuenca y hacia el pie de la sierra, son evidencia del aporte de volúmenes considerables de agua, si bien estos no parecen verificarse a todo lo largo de sierra. El flujo puede estar favorecido también por la presencia de grandes fallas de tipo normal que afectan transversalmente la sierra, como pareciera ocurrir hacia la prolongación suroeste del graben de Villa de Reyes, al noreste de la subcuenca.

Las bajas concentraciones de sólidos totales disueltos en las muestras de algunos manantiales y pozos tomadas al pie de la sierra (como se verá mas adelante en el apartado de hidrogeoquímica), señalan

la presencia de agua de reciente infiltración. Varias de las unidades cristalinas de la sierra muestran un fuerte intemperismo en su parte superficial, típico de estas rocas, particularmente los granitos (Granito Comanja); en que se presentan grandes depósitos de material reducidos prácticamente a arena suelta y gránulos, conocido también como "tucuruquay".

El espesor de estas zonas intemperizadas puede tener varias decenas de metros, lo que le confiere gran capacidad para captar infiltraciones. Lo mismo es válido, aunque en menor medida, para otras unidades que a mayor profundidad pueden considerarse como prácticamente impermeables. La unidad ultramáfica San Juan de Otates muestra un grado de intemperismo superficial similar al del Granito Comanja. Las curvas de igual elevación del nivel estático se muestran paralelas al tren de la sierra en algunos puntos de la misma, lo que es indicativo de aporte de agua de la sierra al acuífero.

5.2.4.1 Geometría y tipo de funcionamiento del acuífero

Como resultado del análisis geohidrológico de la zona, se propone la existencia de un sistema acuífero de tipo libre, que presenta condiciones locales de semiconfinamiento. En algunas zonas, en los primeros 30 metros de profundidad, se encuentra un acuífero superior y por debajo de este se encuentra un acuífero regional, de amplia extensión y de composición variable, cuyo espesor puede llegar hasta 800 m (Figura 5.12).

El funcionamiento hidráulico del acuífero ha cambiado significativamente a raíz de que la recarga natural se ha visto sobrepasada considerablemente por los volúmenes de extracción de agua subterránea, provocando que las direcciones de flujo subterráneo no sigan su tendencia original y éstas se invirtieran hacia el interior de los valles, además de la formación de conos de abatimiento.

Al existir dos medios por donde circula el agua subterránea (granular y fracturado), se podría pensar en la existencia de dos acuíferos; sin embargo existe comunicación hidráulica entre ambos a través de zonas permeables por porosidad y fracturamiento, así como también por fallas profundas. Lo anterior es evidenciado, tanto en la Subcuenca del Río Turbio como en la vecina Subcuenca del Guanajuato, por la presencia de pozos con termalismo en la proximidad de fallas, además de que no existe una barrera natural al flujo de agua entre un medio y otro.

En varios sitios de la subcuenca del río Turbio existen fallas que parecen jugar un papel importante en la transmisión de agua. Se observan hacia la parte sur y media del área, sistemas de orientación E-W y NE-SW y sistemas N-S y NE-SW hacia la parte norte, que favorecen la recarga subterránea del sistema acuífero. En esa misma zona y con dirección preferente NW-SE, se localiza el Graben de León (consultar

apartado de geofísica), controlado por una serie de fallas de tipo normal, constituye una estructura con un alto potencial geohidrológico el cual no ha sido explotado debido a su profundidad (hasta 800 m).

5.2.4.2 Condiciones de frontera

El acuífero de la subcuenca del río Turbio carece de fronteras horizontales en varias direcciones y presenta comunicación hidráulica con amplias zonas aledañas. Hacia todo su límite oriente, tiene comunicación hidráulica con la vecina subcuenca del Río Guanajuato; desde el noroeste y poniente recibe aportes desde el Estado de Jalisco. Lo anterior se evidencia con la presencia de varios sistemas de flujo subterráneo (Figura 5.9), particularmente por el sistema de flujo regional que proviene del poniente, noroeste y noreste de la subcuenca. La subcuenca del río Guanajuato está cediendo también agua hacia la subcuenca del río Turbio, como se muestra en las Figuras 5.9 y 5.10, particularmente en la zona de La Muralla.

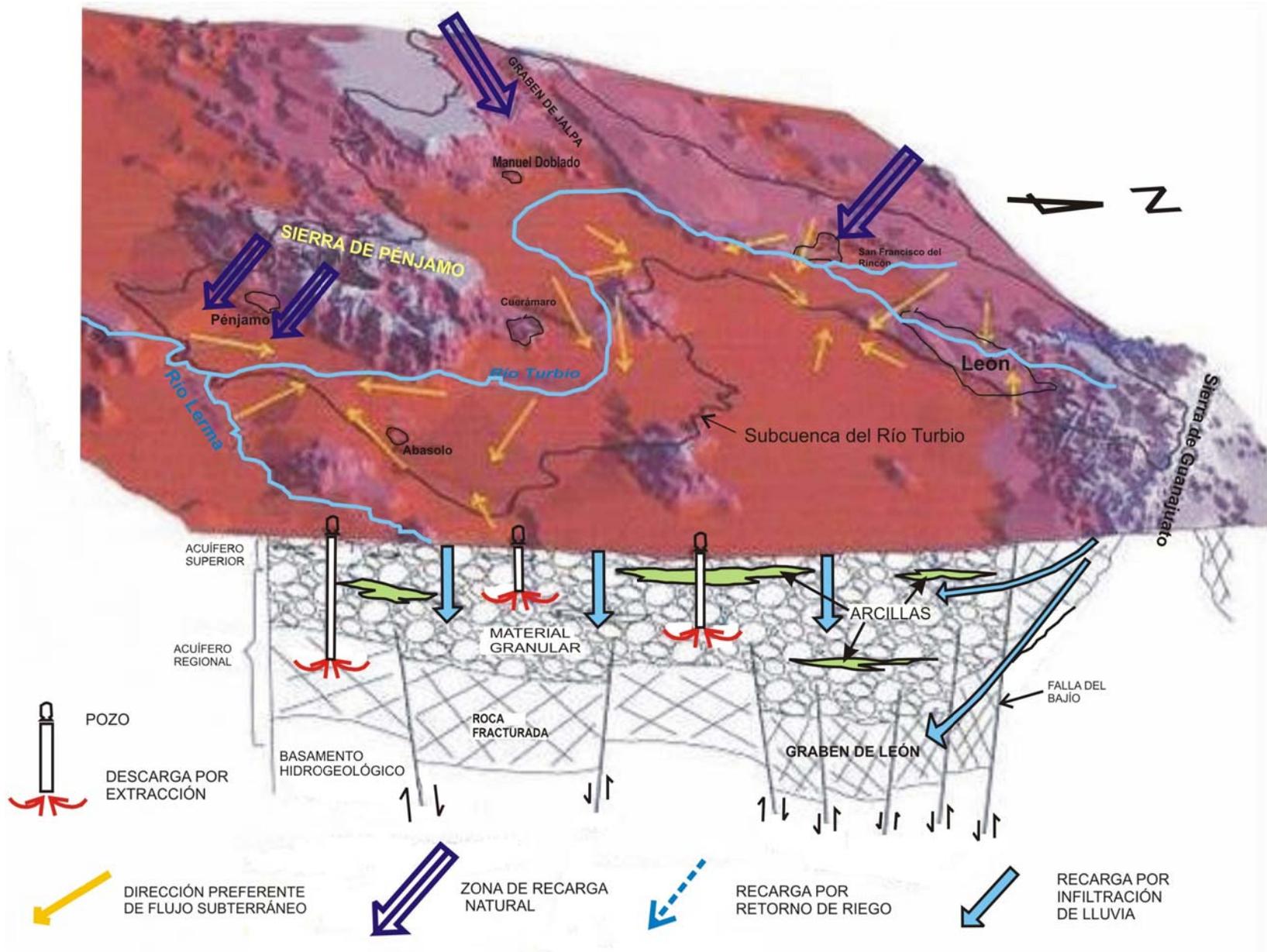
La frontera vertical está representada por el basamento hidrogeológico, descrito en el apartado de Geología y cuya morfología se muestra a través de secciones geológicas regionales elaboradas en este estudio. Este basamento está representado por las unidades de edad mesozoica y cuerpos intrusivos terciarios que afloran en la Sierra de Guanajuato, junto con los conglomerados tipo molasa de la base del Terciario, como los conglomerados Duarte-Cenicera y Guanajuato.

Estas mismas unidades constituyen la frontera norte del sistema acuífero, agrupadas en la unidad hidrogeológica V (Figura 5.11), que corresponde a material consolidado con permeabilidad baja. Sin embargo, como se comentó anteriormente, existen evidencias de que hay algún aporte de agua desde esta frontera norte, a través de zonas superficiales intemperizadas y a través de fallas normales.

Otras fronteras verticales se presentan entre los dos niveles acuíferos observados en la subcuenca. En gran parte de la misma no existe tal división. Estas fronteras de carácter local, entre dos zonas acuíferas que se proponen en el modelo conceptual, se manifiestan por varios lentes y horizontes de arcilla, los cuales pueden observarse en los perfiles geológicos. El origen de los lentes está relacionado con facies distales de abanicos aluviales y antiguas zonas lagunares. Al formarse un gran número de abanicos también se formaron varias zonas con lentes arcillosos con espesores y orientaciones variables, cuya peculiaridad es la discontinuidad entre los mismos.

Hacia la parte suroeste la sierra de Pénjamo actúa, por lo menos en parte, como una frontera horizontal. La sierra está constituida por andesitas y basaltos terciarios que se han clasificado con una permeabilidad general media y que se comportan como una barrera poco permeable para el flujo del agua, particularmente hacia su parte norte y noreste.

Figura 5.12 Modelo conceptual esquemático de funcionamiento acuífero en la Subcuenca del Río Turbio.



6 HIDROGEOQUÍMICA

6.1 Muestreo y laboratorios

El objetivo del capítulo es interpretar e integrar los resultados físico-químicos e isotópicos de las muestras de agua a fin de apoyar a que el modelo conceptual hidrogeológico describa con la mayor certidumbre la dinámica del flujo subterráneo, calidad del agua, origen de la misma y el de diversos contaminantes.

Se elaboraron configuraciones de la distribución de varios parámetros, iones y otros elementos, con ayuda de los programas Surfer 8.0 y ArcView 8.3. De la misma forma, con el programa Aquachem 4.0 se realizó la caracterización de la calidad del agua, utilizando diagramas de Piper, Stiff, Schoeller y Box and Whisker.

En el desarrollo de este capítulo se hace referencia a números de muestra para cada aprovechamiento hidráulico. El listado de muestras y sus resultados de análisis se presenta en el anexo 6.1.

Selección de aprovechamientos y protocolo de muestreo.

Para el muestreo se consideró la red de monitoreo de la CEAG, además de muestras adicionales para tener un cubrimiento completo del área. Se muestrearon 168 aprovechamientos (Figura 6.1), de los cuales 147 son pozos, ocho manantiales, seis norias, cinco presas y dos muestras de río. El muestreo se realizó en dos etapas, la primera del 20 de Marzo al 31 de Mayo del 2004 para las primeras 139 muestras, mientras que la segunda fue del 4 al 16 de Julio para el resto de ellas. A fin de cumplir con los requerimientos oficiales de calidad para el muestreo de agua, se consideró la Guía de Muestreo de Aguas Subterráneas y el Manual de Equipamiento de Pozos de Monitoreo (CNA, 1999).

Se obtuvieron muestras de norias y pozos someros, así como pozos más profundos (con niveles estáticos de casi 200m. Se procuró cubrir zonas de riego y zonas altas que pudieran estar funcionando como zonas de recarga.

Del total de muestras, 33 fueron analizadas también por Oxígeno-18, Deuterio y Tritio. Se siguieron los mismos criterios que para las muestras de análisis físico-químicos, además de que se consideró que los sitios a muestrear tuviesen una representación regional.

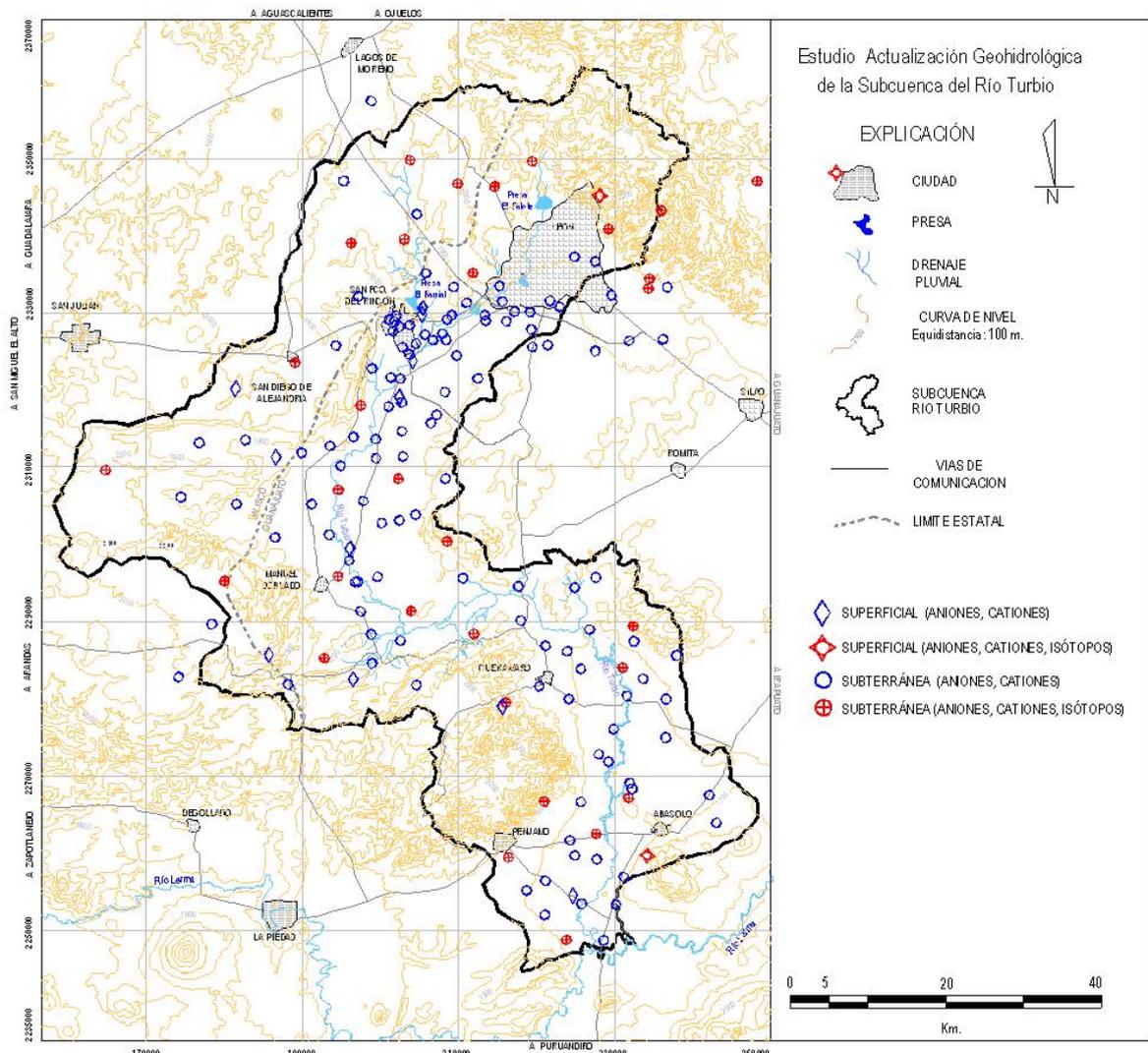


Figura 6.1 Ubicación de los aprovechamientos muestreados

Toma de muestras y parámetros obtenidos en campo para cada aprovechamiento.

En la totalidad de los aprovechamientos muestreados y a fin de cuantificar diversos parámetros físicos del agua *in situ*, se utilizaron dos equipos portátiles, Potenciómetro digital marca Conductronic, modelo PC18, y marca Hach y modelo Sension-156. Al mismo tiempo que se tomaron muestras de agua para cada aprovechamiento, se determinaron los parámetros: potencial de hidrógeno (pH), potencial de óxido reducción (Eh), conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), salinidad, temperatura del agua, titulación por contenido de carbonatos y bicarbonatos, se tomó nota de turbiedad, olor y color, así como de las coordenadas UTM (tomadas con GPS Garmin, modelo V). Los

datos anteriores, así como la localidad, clave del pozo y algunas observaciones adicionales, fueron registrados en fichas de campo, para posteriormente ser anexadas a una base de datos, en conjunto con los resultados de los análisis.

El contenido de carbonatos y bicarbonatos se determinó en el mismo lugar del muestreo a por titulación con ácido sulfúrico. Para efectuar este proceso, se obtiene una muestra de agua (alícuota) de 50ml y se aplican dos gotas de fenoftaleína; si el agua toma una coloración rosada estará indicando la presencia de carbonatos, paso seguido, se añade ácido sulfúrico ultrapuro (0.02N) hasta lograr que la muestra se torne incolora, se registra el consumo de ácido, es importante mencionar que el contenido de carbonatos está relacionado con el pH, si éste es mayor o igual a 8.3, la muestra tendrá carbonatos. Para determinar el contenido de bicarbonatos, sobre la misma muestra se agrega un par de gotas de naranja de metilo, la muestra tomará un color amarillo pálido, se vierte ácido sulfúrico hasta obtener un color naranja pálido, se registra nuevamente el consumo de ácido.

Una vez determinado el consumo de ácido sulfúrico para ambos casos, se procede a calcular el contenido de carbonatos y bicarbonatos de la muestra, en base a la siguiente ecuación:

$$\text{CO}_3 = [2A(\text{Normalidad H}_2\text{SO}_4)1000] / \text{Vol. de muestra.}$$

$$\text{HCO}_3 = [B (\text{Normalidad H}_2\text{SO}_4) 1000] / \text{Volumen de muestra.}$$

Donde:

CO_3 = contenido de carbonatos en miliequivalentes por litro.

HCO_3 = contenido de bicarbonatos en miliequivalentes por litro.

A = Volumen consumido de ácido sulfúrico durante la titulación de carbonatos.

B = Volumen consumido de ácido sulfúrico durante la titulación de bicarbonatos.

Normalidad H_2SO_4 : 0.02 N.

Manejo de muestras y laboratorios

Las muestras fueron preservadas a temperatura aproximada de 4°C. A fin de reducir el tiempo de traslado y de análisis se utilizó un servicio de mensajería con envíos a los centros de análisis una o dos veces por semana. Para prevenir que las muestras aumentaran su temperatura durante el traslado, se empaquetaron en hieleras de poliestireno, agregando hielo a las mismas y en bolsas de plástico para prevenir derrames por el deshielo.

Las muestras fueron analizadas por iones mayores: cloruros, sulfatos, nitritos, nitratos, y varios otros metales y elementos: Plata, Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Calcio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Potasio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Sodio, Níquel, Fósforo, Plomo, Antimonio, Escandio, Selenio, Estaño, Estroncio, Telurio, Titanio, Uranio, Wolframio, Zinc, además de los isótopos Oxígeno-18, Deuterio y Tritio.

Los aniones se analizaron en el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), ubicado en el *campus* Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Los cationes fueron analizados por COREMI, en su Centro Experimental Oaxaca; asimismo, las determinaciones isotópicas fueron llevadas a cabo por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en Jiutepec, Morelos. Los diferentes laboratorios se apegan a normas oficiales mexicanas e internacionales para las determinaciones efectuadas.

Antes de procesar e interpretar los resultados arrojados por los diversos laboratorios, se calculó su balance iónico, de tal forma que sólo se utilizaron para el análisis los resultados de las muestras cuyo error en el balance fuese $< |7.5|$ %. Solo se encontraron nueve muestras por encima este rango (ver Anexo de resultados de laboratorio).

6.2 Distribución de parámetros físicos y químicos

Distribución de Sólidos Totales Disueltos (STD)

El valor de STD es uno de los principales parámetros para describir la calidad del agua, pues proporciona una idea inmediata y preliminar del grado de afectación o contaminación de una fuente de agua, así como del tiempo de residencia y transporte del agua a través del subsuelo, presencia de sedimentos, rocas susceptibles a la disolución, fuentes hidrotermales, etc. Un valor bastante aproximado del total de sólidos disueltos puede estimarse en campo en forma indirecta midiendo la conductividad eléctrica (CE) del agua, expresada comúnmente en microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Existe una relación muy cercana entre ambos parámetros, pues al incrementarse la cantidad de sales disueltas en el agua, se incrementa proporcionalmente la conductividad eléctrica de la misma. Ambos parámetros son proporcionados por aparatos especializados para ello, como los ya mencionados con anterioridad.

De manera muy general, se considera agua dulce y apropiada para casi cualquier uso, aquella con un contenido de STD por debajo de 500mg/l o ppm (miligramos por litro o partes por millón). Por encima de este valor y hasta 1000 ppm, se considera agua salobre; que es sin embargo, aceptable para muchos usos e incluso agua potable en varias regiones con escasa disponibilidad. Por encima de los 1000 mg/l de STD, el agua ya no se considera apropiada, en especial para el consumo humano, según la mayoría de las normas establecidas.

De la configuración de isolíneas de igual concentración de sólidos totales disueltos (Figura 6.2.1) se observa que las mayores concentraciones ocurren en aprovechamientos cercanos al curso del río Turbio, particularmente en el tramo que se extiende desde la parte SW de León hasta la parte sur de San Francisco del Rincón. La muestra registrada con los valores más altos de STD medidos en campo, se obtuvo de una noria en el rancho La Escondida (muestra 144; STD=2720 mg/l), al suroeste de San Francisco del Rincón

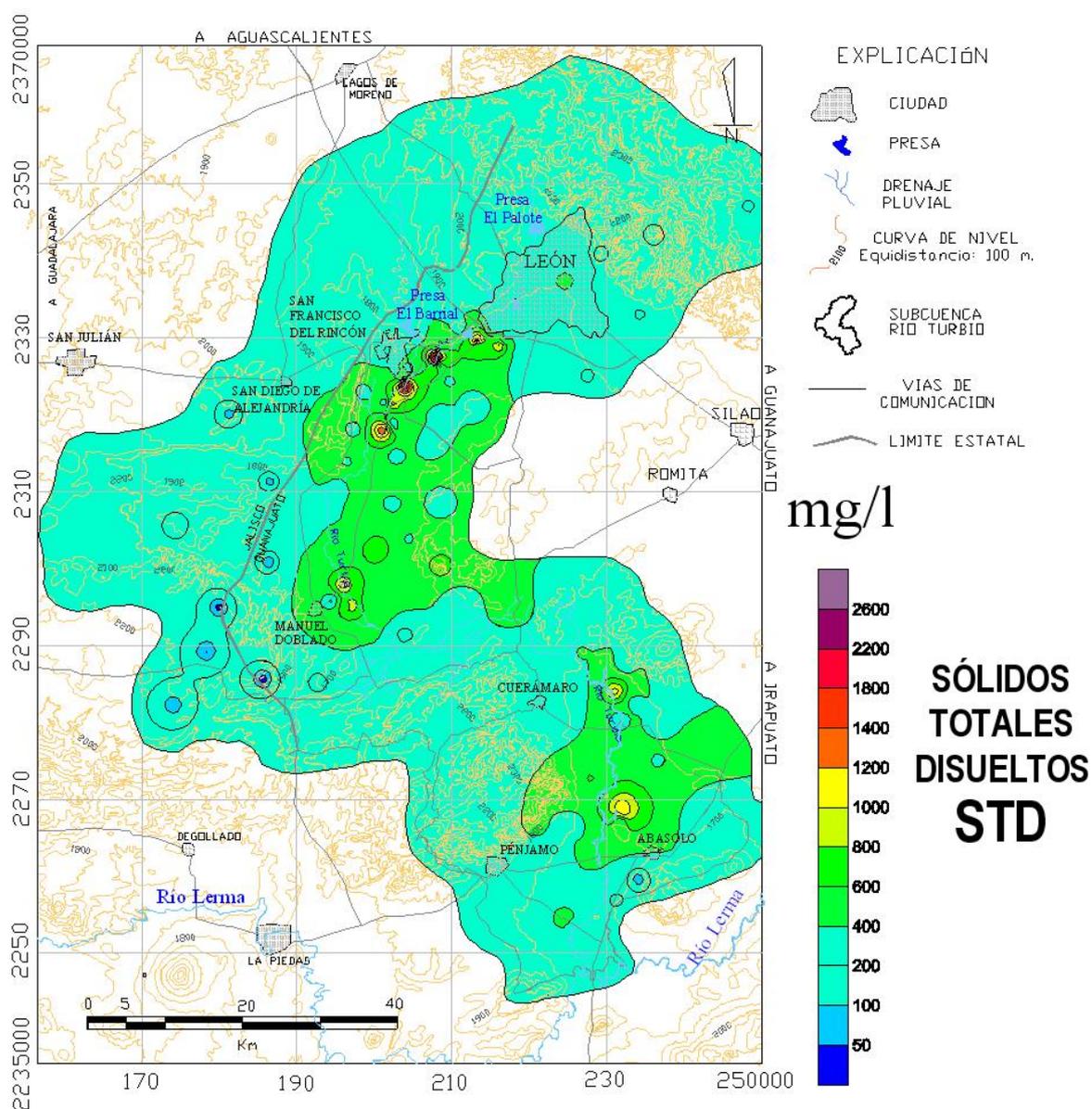


Figura 6.2.1 Configuración de sólidos totales disueltos (STD) en la Subcuenca del Río Turbio.

La mayoría de los aprovechamientos con altos valores de STD mencionados, corresponden a pozos y un par de norias que representan niveles estáticos relativamente someros y cercanos al cauce del río Turbio, por lo que deben estar afectados por infiltraciones del mismo. Sin embargo en la mayoría de los casos, el contenido de STD para la subcuenca se encuentra por debajo de los 500 mg/l y en general puede clasificarse como de buena calidad, por lo menos en lo que respecta a este parámetro.

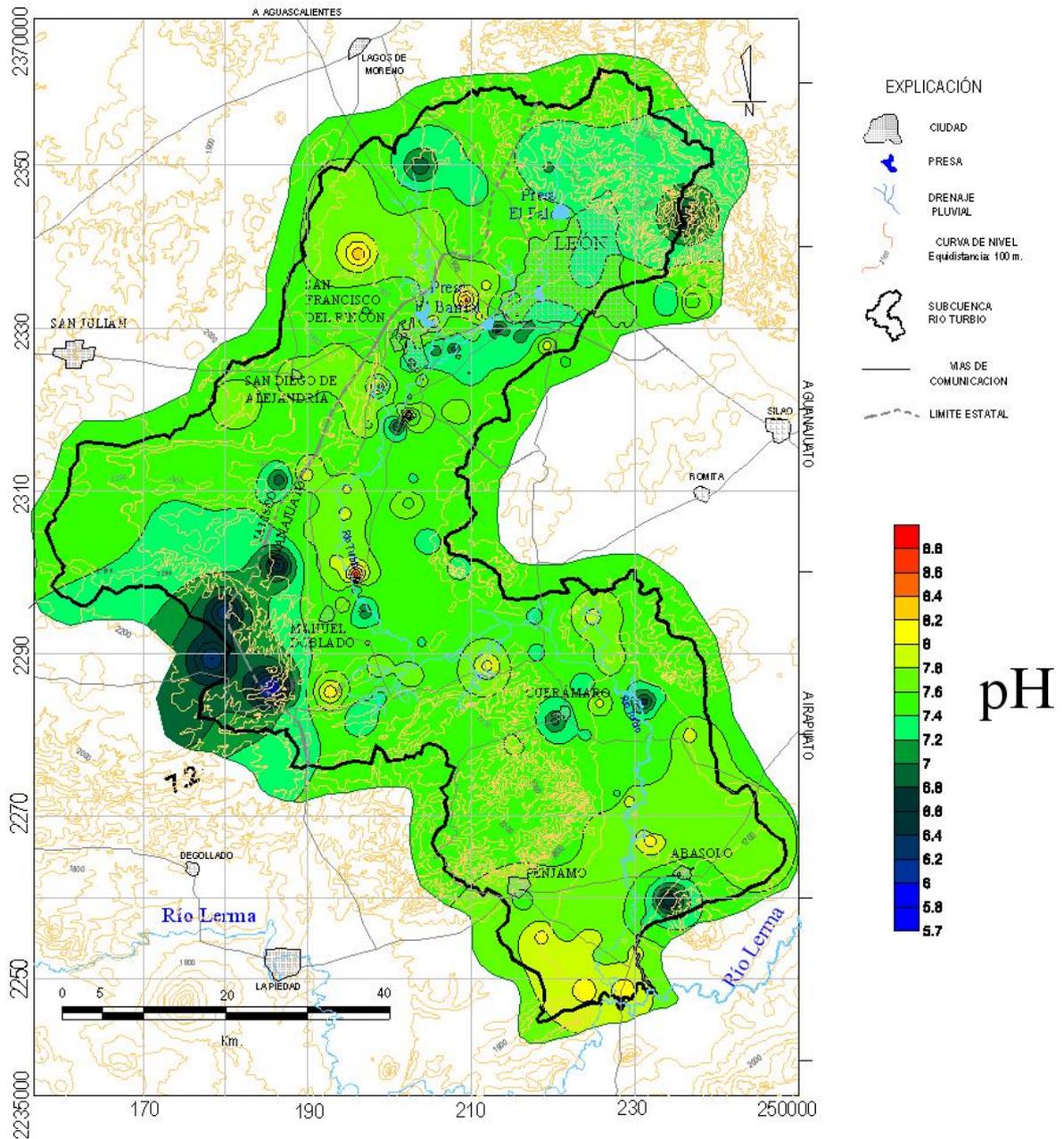


Figura 6.2.2 Configuración de valores de pH en la subcuenca del río Turbio.

Distribución de pH

El pH o potencial de hidrógeno está definido como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno en una sustancia; se expresa como: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$. Este parámetro señala el grado de acidéz o basicidad de la misma, en un rango de 1 a 14. El agua pura tiene un pH neutro, con un valor de 7. Valores menores a 7 señalan una creciente acidéz y mayores a 7 indican una mayor basicidad. Para el agua potable se recomienda un rango admisible de pH de entre 6.5 y 8.5. El carácter de las sustancias disueltas en el agua, puede modificar su pH.

Los mayores valores de pH medidos en el muestreo se encontraron en muestras superficiales, en las presas de El Sitio y De Silva, con valores de 8.73 y 8.84, respectivamente. La ausencia de importantes formaciones carbonatadas, puede explicar en parte que la mayoría de los valores de pH de las muestras se encuentre por debajo de 8.0; son mucho más frecuentes los valores de pH por debajo de 7.5 e incluso 7.0. Los valores bajos, ligeramente ácidos son más frecuentes hacia las zonas serranas y de lomeríos, como ocurre en la parte norte de la Subcuenca, hacia las elevaciones que se sitúan al SW de Manuel Doblado, sur de Abasolo y en la parte oeste del área, ya en el Estado de Jalisco. Estos aprovechamientos corresponden a menudo a manantiales, aunque también a pozos e incluso una presa (Presa Nueva de Jalpa). La distribución de valores de pH puede observarse en la Figura 6.2.2.

Oxígeno Disuelto. (OD)

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua, es un buen indicador del grado de interacción que ha tenido el agua desde el momento de la precipitación, hasta el momento del muestreo, dado que el oxígeno como elemento activo, se combinará con otros compuestos con los que entre en contacto en el subsuelo. La actividad microbiana afecta también la cantidad de oxígeno disuelto en el agua; de manera que aguas empobrecidas en este parámetro, sobre todo en fuentes superficiales, sugieren algún tipo de contaminación orgánica.

La Figura 6.2.3 muestra la configuración de las concentraciones de oxígeno disuelto en los aprovechamientos muestreados. En este caso las altas concentraciones (>70%) se muestran en tonos de azul, mientras que las concentraciones más bajas (<50%) están representadas en rojo.

del sur de Abasolo y las zonas de lomas y mesetas que se extienden al W y NW de Manuel Doblado. La muestra 090 del poblado de Maritas, en el extremo sur de la Subcuenca mostró un alto contenido de OD (5.3mg/l) a pesar de situarse muy cerca de la confluencia entre los ríos Turbio y Lerma. Este hecho puede atribuirse a la existencia de una zona de recarga a escasos 3km al W del lugar, en los cerros que se alzan al poniente de Atarjea de Crucitas y La Calle.

Por otra parte, los “focos” con OD bajo, se sitúan todos prácticamente sobre las márgenes del río Turbio, especialmente en el extremo SW de León, al sur de San Francisco del Rincón, en la zona comprendida entre Cerrito de Agua Caliente y La Carroza, al E de Cuerámara y entre los poblados de San Gabriel y Capilla de Márquez, al SW de Abasolo.

Temperatura

En toda el área de estudio no son raras las manifestaciones de termalismo en algunos aprovechamientos de agua subterránea, particularmente en pozos. Las temperaturas registradas oscilaron entre los 17°C y un máximo de 51°C. De 168 muestras, en 34 mostraron temperaturas mayores a 30°C, 11 muestras arriba de 35°C y 5 muestras arrojaron temperaturas superiores a los 40°C. Los aprovechamientos con mayores lecturas se verificaron en las localidades de Cerritos de Agua Caliente ubicado a unos 10 Km al oriente de Cuerámara y en el Ejido paso de Piedra que se localiza en el extremo sur del área, 5 Km al norte del punto de confluencia entre los ríos Turbio y Lerma.

En el primer caso se registró una temperatura de 51.50 °C en un pozo somero de agua potable (nivel estático = 25m; profundidad total= 180) que se encuentra perforado a escasos 50m de un pequeño domo riolítico cuaternario. En este sitio existió hasta principios de la década de los ochentas, un manantial termal que precisamente dio nombre al lugar, pero este se extinguió al descender los niveles estáticos en la zona. En el segundo caso, se obtuvo una lectura de 51.20 °C; se trata de un pozo de riego ubicado en medio de un campo de cultivo en una zona cercana a materiales volcánicos recientes.

En toda el área de estudio existen manifestaciones de termalismo, particularmente en pozos. Destaca aquí la localidad de Cerrito de Agua Caliente (51°C), ubicado a unos 10 Km al oriente de Cuerámara, donde se registró una temperatura de 51.50 °C en un pozo somero de agua potable (nivel estático = 25m; profundidad total= 180m), que se encuentra perforado a escasos 50m de un pequeño domo riolítico cuaternario. En este sitio existió hasta principios de la década de los ochentas, un

manantial termal que precisamente dio nombre al lugar, pero este se extinguió al descender los niveles estáticos en la zona

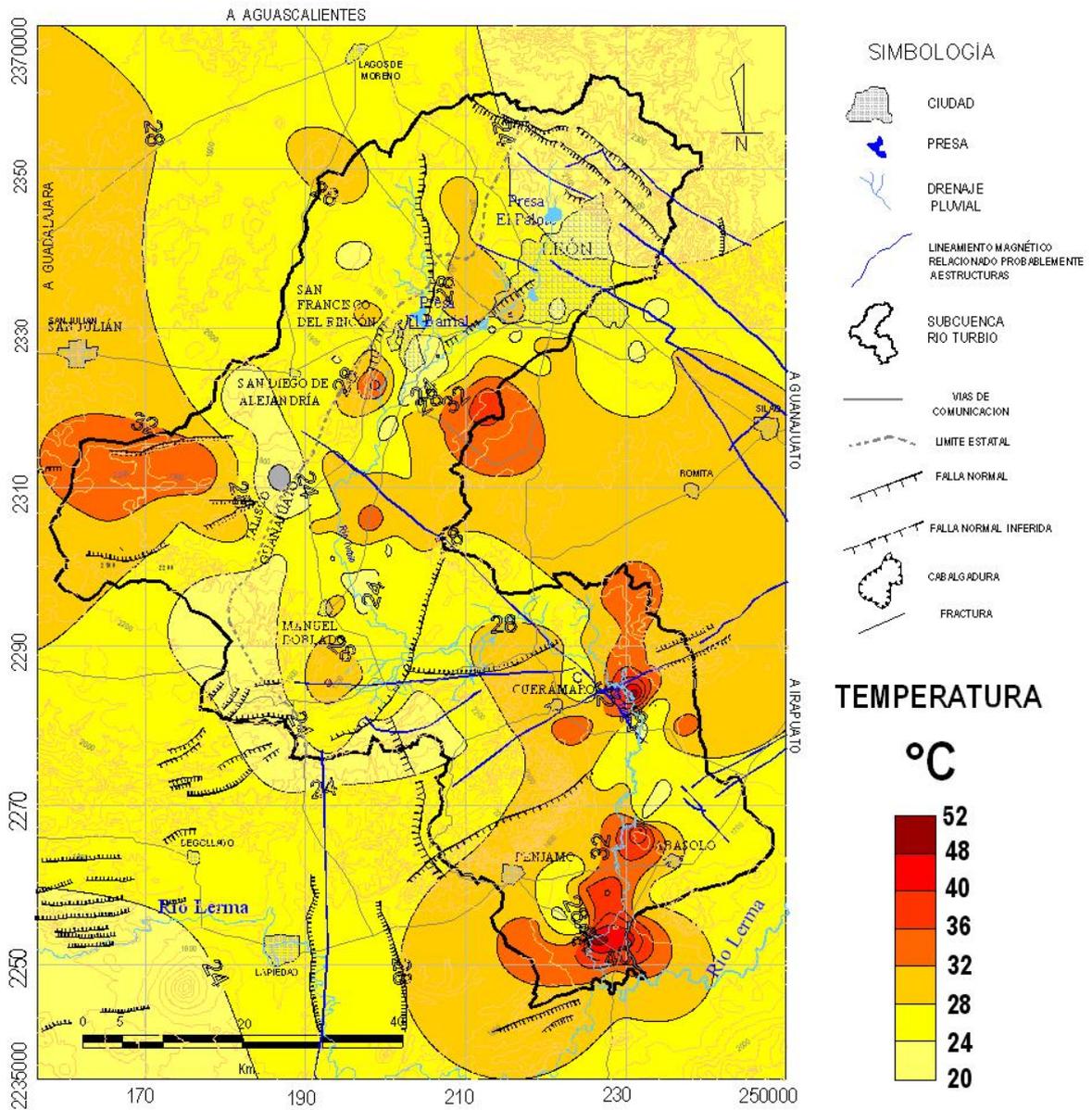


Figura 6.2.4 Temperatura del agua subterránea en la subcuenca del río Turbio.

La Figura 6.2.4 muestra una configuración de la distribución de temperatura de los aprovechamientos muestreados, a la que se le han sobrepuesto las estructuras señaladas en el plano geológico estructural (Figura 3.2). Es muy cercana la relación que muestra la ocurrencia de los focos termales con la presencia de zonas de fallamiento normal, como ocurre hacia la zona poniente (Graben

de Jalpa), en la comunidad de Silva al suroeste de San Francisco del Rincón y los fallamientos de la zona entre Cuerámara y el río Lerma, asociados con los aparatos y materiales volcánicos que afloran en el área. La muestra 011 de San José de la Calera (38.5°C) se localiza al pie de un conjunto volcánico de edad miocénica, que forma parte de una cadena de lomeríos alineada en dirección noreste-suroeste, que va desde los poblados de El Nacimiento, hasta San Cristóbal, en la zona oriental de la subcuenca. Esta cadena está asociada seguramente con una falla de tipo normal.

No se observó una relación clara entre la temperatura y el contenido de sólidos totales disueltos, sin embargo resalta el caso de la muestra 097 (Cerrito de Agua Caliente) con un contenido de STD de más de 1000 mg/l coincidentes también alto contenido de arsénico y valores significativos de varios metales, como manganeso, selenio, titanio, así como calcio, sodio, potasio cloruros y sulfatos (ver anexo de análisis de laboratorio).

Iones Mayores

Los iones mayores son aquellos con mayor presencia en la generalidad de las aguas subterráneas y que permiten caracterizarlas y clasificarlas por familias. Los iones negativos (o aniones) más abundantes son: cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, aunque también se puede incluir a los nitratos y nitritos. Los iones positivos o cationes más comunes en las aguas subterráneas son: sodio y potasio, calcio y magnesio.

Cloruros

Las fuentes naturales de cloruros en el agua subterránea son principalmente la disolución de minerales evaporíticos, como la halita (NaCl), la intrusión salina en zonas costeras y la precipitación (el agua de lluvia es ligeramente clorurada, con contenidos de hasta 10 ppm). Otras fuentes menos frecuentes son las salmueras intercontinentales y remanentes hidrotermales. Las fuentes no naturales incluyen a las descargas urbanas e industriales.

Los cloruros son sales en general muy solubles y estables en disolución. En aguas dulces las concentraciones suelen encontrarse entre 10 y 250 ppm, aunque no son raras concentraciones mayores. El agua de mar tiene entre 18,000 y 21,000 ppm; las salmueras naturales pueden llegar a tener 220,000 ppm.

La presencia de cloruros en el agua natural no suele ser perjudicial para la salud; más de 300 ppm le confieren sabor salado, pero no es perjudicial por lo menos hasta algunos miles de ppm; es

esencial para la vida, pero contenidos elevados son nocivos para muchas plantas. Las aguas fuertemente cloruradas pueden ser corrosivas o combinarse con ciertos materiales, ya que ciertas sales son mucho más solubles en esta agua, que en agua pura.

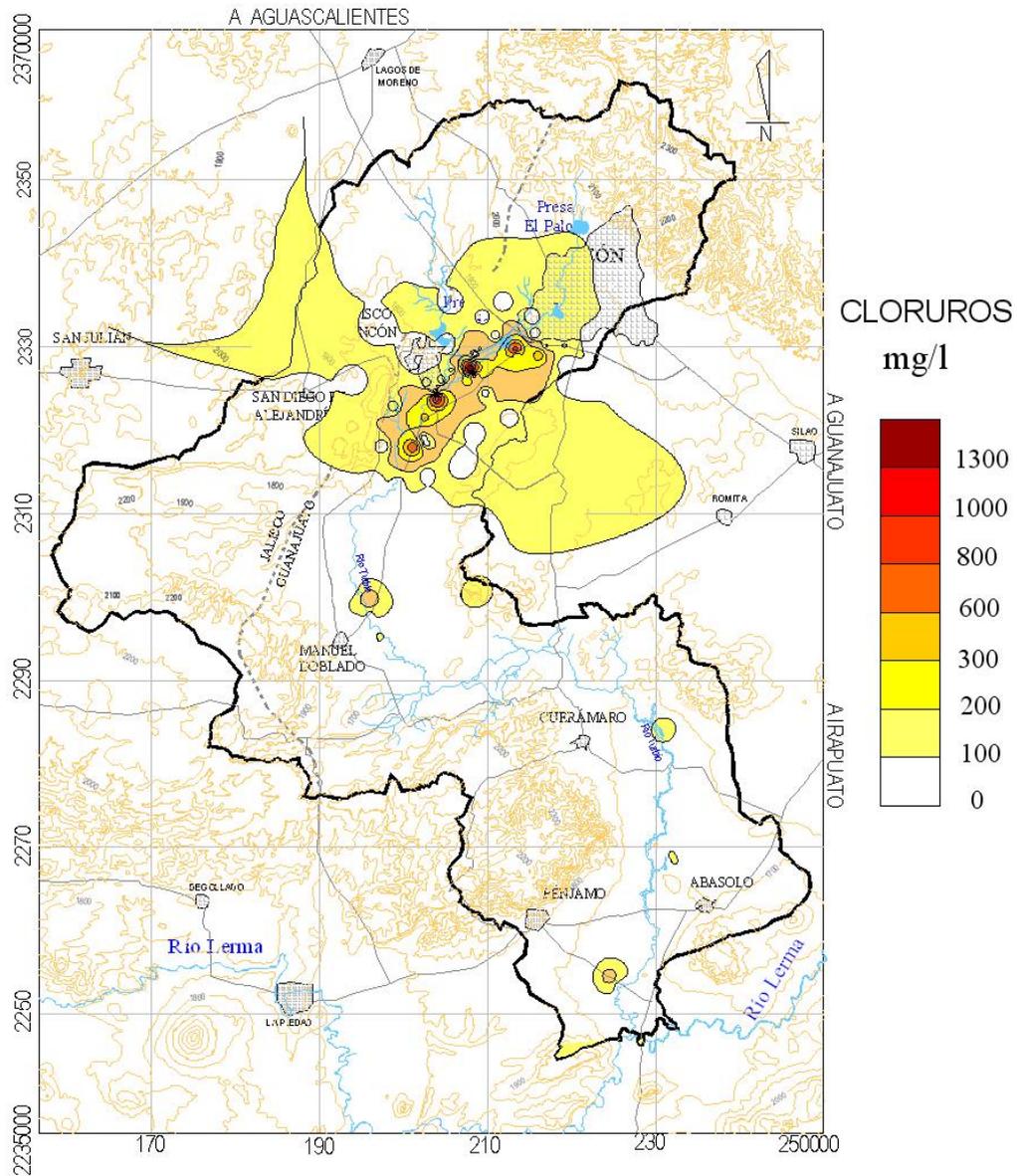


Figura 6.2.5 Distribución de cloruros en la subcuenca del río Turbio.

En zonas donde no existen fuentes naturales de cloruros como las rocas evaporíticas, las altas concentraciones de cloruros suelen indicar algún grado de contaminación antropogénica; las aguas residuales tienen un contenido mayor de cloruros.

En la subcuenca del río Turbio, la geología no muestra la presencia de depósitos ni rocas evaporíticas cuya extensión y volumen sea relevante. Las mayores concentraciones de cloruros en el agua subterránea se restringen a escasos focos cercanos a algunos centros poblacionales, como León, San Francisco del Rincón y Pénjamo, por lo que estas son atribuibles a descargas urbanas e industriales, cuya principal vía de salida es el río Turbio. En el resto del área varios aprovechamientos resultaron con contenidos de cloruros por encima de las 10–15 ppm que serían atribuibles al agua de precipitación.

En una muestra del poblado de San Juan de Otates, se obtuvo un contenido de 72 ppm de cloruros. Este poblado se localiza en el extremo centro oriental de la subcuenca, en la vertiente oriental de la mesa La Colmena. En este caso se trata de un pozo de agua potable ubicado en el centro de la comunidad, por lo que hay la posibilidad que se encuentre afectado por descargas del mismo lugar, sin embargo es probable también que el origen de los cloruros pueda provenir de la geología local.

En la parte baja poniente del mismo conjunto serrano está el poblado de La Playa, donde pueden observarse depósitos de travertino de un antiguo manantial, ahora extinto por el abatimiento general de niveles y el aumento de captaciones. Aunque en estas localidades solo afloran rocas riolíticas y basálticas; muy cerca del lugar (10 Km al noreste), aflora caliza lacustre del Plioceno, lo cual resulta interesante, pues sugiere que podría existir un fenómeno de lixiviación de pequeños cuerpos de sedimentos evaporíticos, cercanos a la zona.

La misma muestra, registró un contenido de Tritio de 1.06 T.U. lo cual señala que el agua muestreada en San José de Otates, es una mezcla de agua vieja y agua de reciente infiltración (El Tritio solo existe en el ambiente, a partir de la primer detonación de una bomba de Hidrógeno, en el año de 1956. No existe Tritio de origen natural en la Tierra). Otro rasgo interesante es la presencia en la zona de importantes fallas de tipo normal de orientación general norte sur, cuya traza pasa prácticamente por el poblado de la Playa, donde además se observó un ligero termalismo. Este hecho apoya la idea de que las fallas existentes en el área, juegan un papel importante en la transmisión y movimiento del agua subterránea.

Otra muestra interesante es el aprovechamiento termal de la localidad de Cerrito de Agua Caliente, que también resultó con un contenido significativo de cloruros (94 ppm) y con altos contenidos de sulfatos, sodio, arsénico, estroncio y notables valores de selenio, manganeso y titanio. Este aprovechamiento señala la existencia de un aporte de cloruros de origen natural, que se relaciona con remanentes de actividad volcánica e hidrotermal.

Sulfatos

Los sulfatos se encuentran en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones. Las aguas de minas y las descargas industriales contienen grandes cantidades de sulfatos provenientes de la oxidación de la pirita y del uso de ácido sulfúrico. De manera natural la principal fuente de sulfatos es la disolución de sedimentos evaporíticos, particularmente el yeso y la anhidrita. La intrusión salina marina y las fuentes hidrotermales son también fuentes de sulfatos. La intensa actividad agrícola puede aportar también sulfatos mediante el uso de abonos.

Los sulfatos son sales moderadamente solubles a muy solubles, precipitan difícilmente. Se encuentran en concentraciones entre 2 y 150 ppm en aguas dulces, pudiendo llegar a 5000 ppm, en ciertas salmueras. El agua de mar contiene alrededor de 3000 ppm.

Las aguas selenitosas (elevado contenido de sulfato) no quitan la sed y tienen un sabor poco agradable y amargo. Por si mismo o si va asociado a Mg o Na en cantidades importantes (por arriba de las 250 ppm), puede producir efectos laxantes. En cantidades elevadas puede ser perjudicial a las plantas. Más de algunos centenares de ppm perjudican a la resistencia del hormigón y cemento. Los estándares para agua potable tienen un límite máximo de 250 ppm. Los límites de concentración, arriba de los cuales se percibe un sabor amargo en el agua son de 400 a 600 ppm, para el sulfato de magnesio y de 250 a 400 ppm para el sulfato de calcio.

En la subcuenca del Río Turbio no se han reconocido fuentes naturales de sulfatos con un impacto regional, si bien se han identificado en algunos sitios manifestaciones termales que están aportando pequeñas cantidades de estas sales. Los valores obtenidos van desde trazas hasta un máximo de 347ppm. Las mayores concentraciones de sulfatos se presentan en aprovechamientos muy cercanos al cauce del río Turbio

Sobresalen tres zonas con valores significativos. La primera de ellas se extiende a lo largo de las márgenes del río Turbio, entre San Francisco del Rincón y la ciudad de León, lo mismo que hacia el sur y al sureste de la primer localidad. Esta zona presenta concentraciones moderadas de hasta 180 pmm. La segunda zona se extiende hacia el oriente de Manuel Doblado y presenta valores de hasta 347 ppm. La tercer zona se localiza hacia el norte de Abasolo, a lo largo del curso del río Turbio.

En todos los casos descritos, existe la posibilidad de que en parte el origen de los sulfatos provenga del empleo de agroquímicos, particularmente fertilizantes. Otra fuente la constituyen las descargas urbanas e industriales, como puede ocurrir en la zona sureste de la ciudad de León. Otra

componente importante está representada por el pozo de Cerrito de Agua Caliente, que señala fuentes locales de origen termal.

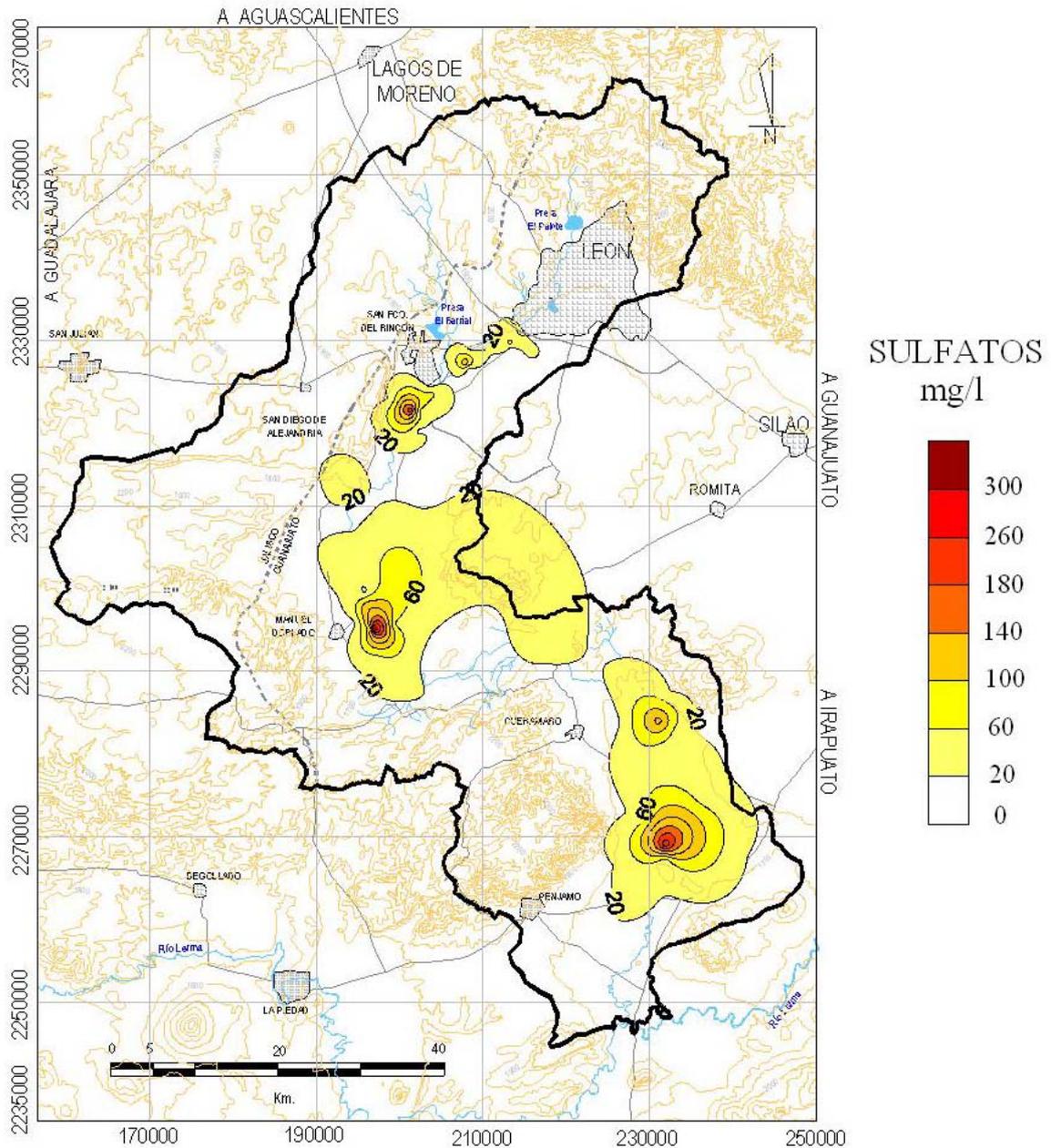


Figura 6.2.6 Configuración de contenidos de sulfatos en el agua subterránea

En la zona de Manuel Doblado puede existir, además de las fuentes mencionadas anteriormente, la influencia de uno de los únicos depósitos de rocas sedimentarias químicas en el área. La geología superficial solo revela afloramientos de calizas lacustres hacia el extremo este de la

subcuenca. Si bien estas calizas se encuentran ya en la vertiente del parteaguas que corresponde a la subcuenca del río Guanajuato, los depósitos de travertino de la localidad de las Playas (del lado de la subcuenca del Turbio), sugieren un fenómeno de lixiviación de materiales evaporíticos que no son visibles en superficie, así como la existencia de aportes laterales hacia la subcuenca desde la zona vecina del río Guanajuato.

Carbonatos

Por lo común, la principal fuente de carbonatos del agua subterránea son las calizas, dolomías y depósitos evaporíticos. En la subcuenca del río Turbio no hay una presencia importante de carbonatos en las agua subterráneas, con excepción de algunos aprovechamientos aislados que presentan valores más bien bajos. La geología del área está dominada por rocas volcánicas y solo existen dos zonas donde afloran pequeños cuerpos de caliza lacustre; en el límite centro oriental de la subcuenca.

Solamente 11 de las 168 muestras analizadas reportaron contenidos de carbonatos que van desde 4.8 a 33.6 mg/l, muy por debajo de los límites máximos permisibles recomendados para uso agrícola y consumo humano. Casi todas las muestras resultantes con algún contenido de carbonatos se localizan en las cercanías del cauce del río Turbio y ninguna de ellas parece estar asociada a los escasos afloramientos de caliza del área, con excepción probablemente de la muestra 135 tomada en la Presa de Silva, a unos 5km al sur de San Francisco del Rincón y que recibe los escurrimientos de las lomas cercanas a San José de la Calera, donde existen algunos afloramientos de caliza.

Bicarbonatos

Los bicarbonatos son de las sales más abundantes en las aguas subterráneas, pues se generan en gran parte por la disolución del CO₂ atmosférico. Son sales muy solubles, por lo que difícilmente precipitan; comúnmente pueden encontrarse en concentraciones de hasta 300 ppm y en algunos casos 800 ppm o más. La disolución de rocas carbonatadas como calizas y dolomías es también fuente importante de bicarbonatos (y carbonatos principalmente), aunque en general el ácido carbónico del agua meteórica ataca en alguna medida a la mayoría de las rocas, incluyendo a las rocas volcánicas que predominan en la subcuenca del río Turbio.

Altas concentraciones de bicarbonatos no representan problemas para la salud, si bien pueden llegar a representar riesgo de alcalinizar los suelos, particularmente los bicarbonatos de sodio. En la

mayor parte del área de estudio se encontraron concentraciones de bicarbonatos, por debajo de los 400 mg/l con algunos sitios que mostraron concentraciones bastante mayores.

Todos los pozos descritos, son someros y están ubicados en las cercanías del Río Turbio, por lo que es muy probable que se encuentren influenciados por éste, ya que recibe las descargas industriales y urbanas de una importante zona poblacional que incluye a las ciudades de León y San Francisco del Rincón, así como varios poblados menores.

Las aguas subterráneas en la subcuenca del Río Turbio, involucran mezclas de agua meteórica de reciente infiltración con aguas más profundas y de mayor tiempo de residencia, proveniente de zonas más alejadas. Estas últimas dan evidencia de la existencia de flujos regionales que afloran localmente. A estos fenómenos se suma la afectación que ocasionan las actividades humanas en el área, la intensa agricultura y las descargas urbanas e industriales.

Nitratos

Los nitratos son un contaminante común en el agua subterránea; son producto de la oxidación del nitrógeno orgánico. El nitrógeno orgánico contenido en fertilizantes y materia orgánica es transformado en NH_4 por microorganismos. En el suelo, cuando existen condiciones de oxidación, el amonio es convertido en nitratos, este es un proceso al que se le llama nitrificación.

Las principales fuentes de nitratos incluyen a las aguas residuales, desechos de granjas, la existencia de fosas sépticas, basureros y el extensivo empleo de fertilizantes en la agricultura. Los nitratos tienen una alta solubilidad en agua y no son adsorbidos en el suelo, por lo que pasan fácilmente al agua.

En grandes cantidades en el agua potable pueden representar algún riesgo en la salud, especialmente cuando estos se convierten en Nitritos, causando metahemoglobinemia, que es una condición de deficiencia de oxígeno en la sangre y que puede ser mortal para niños menores de 6 meses. Debido a que este padecimiento es más frecuente en bebés, se le ha llamado síndrome de los niños azules. La norma NOM-127 para agua potable en México establece un límite permisible de 10mg/l de nitrógeno como nitratos (NO_3), lo que equivale a 44.3 mg/l de nitratos totales.

Contrariamente a lo esperado, la presencia de nitratos en las aguas subterráneas de la subcuenca es muy baja. Solamente una noria, de la comunidad de La Escondida, al oriente de San Francisco del Rincón, fue el aprovechamiento que resultó con mayor contenido de nitratos. En la misma zona se localizan otros aprovechamientos con valores elevados, si bien, se encuentran por debajo del

límite máximo permisible. Por su ubicación, entre las ciudades de León y San Francisco del Rincón, con el cauce del río Turbio al centro, puede pensarse en las descargas urbanas e industriales como la principal fuente del contaminante, sin dejar de considerar la influencia de los fertilizantes.

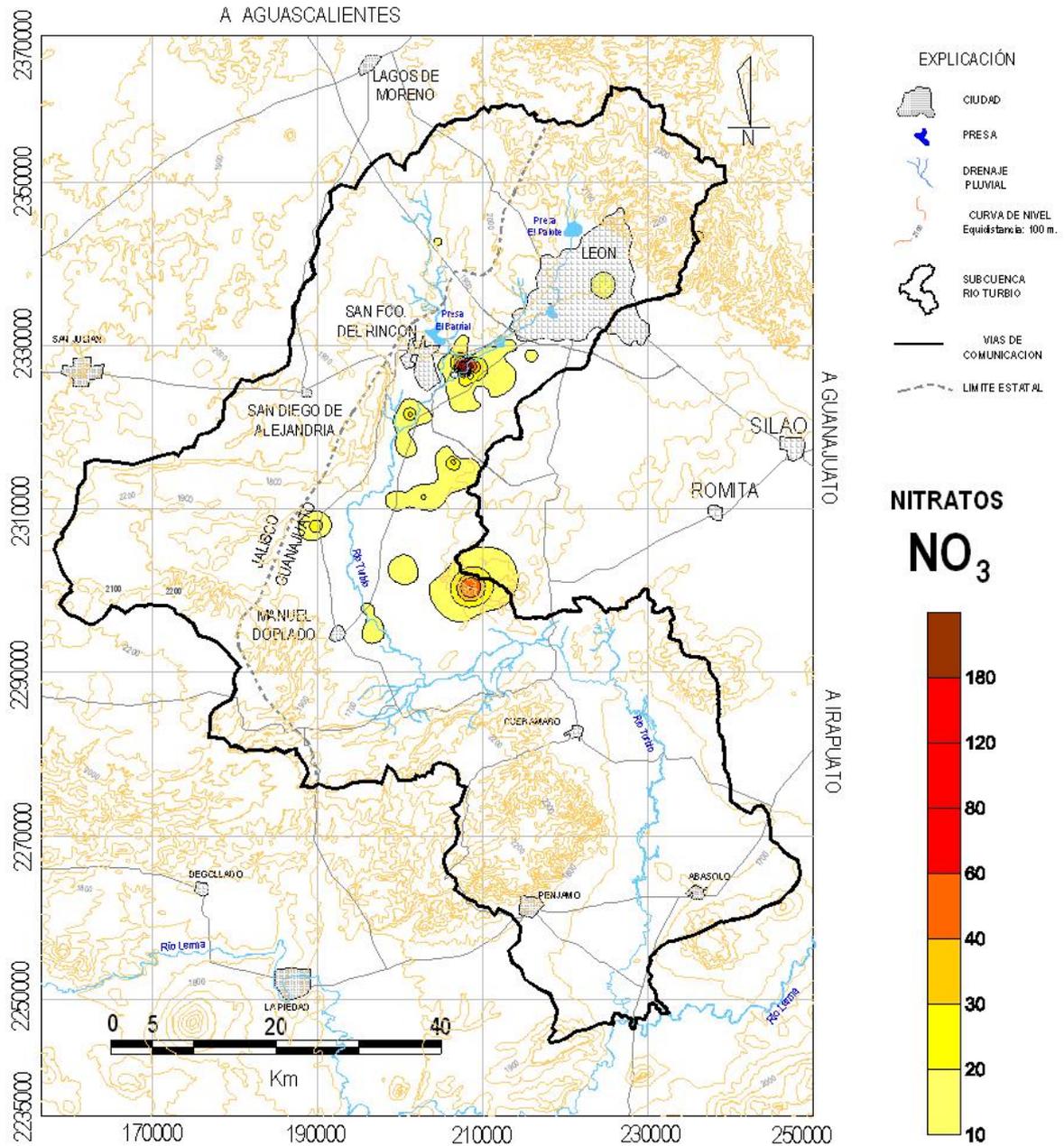


Figura 6.2.7 Configuración de contenidos de nitratos en el agua subterránea.

En la zona descrita existe importante actividad industrial, que en algunos casos representa fuentes de contaminación. Por este motivo se hace necesario un monitoreo cuidadoso del estado de

sus descargas. Lo anterior no solo por las concentraciones de nitratos; en zonas cercanas se ha verificado la presencia de varios elementos, en concentraciones importantes. El pozo de agua potable de la comunidad de San José de Otates en el extremo oriental de la subcuenca se mostró también alto en nitratos. Se trata de un punto aislado por lo que se puede pensar en un caso de contaminación local por descarga de aguas residuales. En esta zona afloran rocas basálticas de permeabilidad importante, lo que es un factor favorable para la infiltración y recarga, pero que también favorece la introducción y circulación de contaminantes.

Sodio

El sodio es el más abundante de los metales alcalinos (Li, Na, K, Rb, Cs y Fr); junto con el potasio constituyen los elementos del grupo más abundantes en las rocas ígneas. Las sales de sodio más importantes que se encuentran en la naturaleza son: el cloruro de sodio, el carbonato de sodio, el borato de sodio (bórax), el nitrato de sodio y el sulfato de sodio. Estas sales son bastante solubles; se encuentran en el agua de mar, lagos salados, lagos alcalinos y manantiales minerales.

El agua de lluvia contiene en promedio 2 ppm de sodio. En las aguas subterráneas puede presentarse en concentraciones por encima de dos hasta decenas o centenares de ppm y en casos extremos, hasta algunos miles de ppm; en aguas dulces son comunes concentraciones de entre 2 y 150 ppm. El agua de mar contiene cerca de 10,000 ppm y algunas salmueras pueden superar por mucho este valor (hasta 100,000 ppm). Las principales fuentes de sodio en la naturaleza son: el agua de mar, la disolución de evaporitas, la descomposición de feldespatos, feldespatoideos y otros silicatos. Asimismo, cantidades importantes de sodio pueden provenir del lavado de sedimentos y cambios de base con arcillas de origen marino. Otra fuente no menos importante son las descargas urbanas e industriales.

Las aguas con concentraciones elevadas en sodio, son perjudiciales a las plantas al reducir la permeabilidad del suelo; son especialmente nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas. La norma oficial mexicana de la SSA para agua de consumo humano, señala un límite máximo permisible de 200 ppm.

La Figura 6.2.8 presenta una configuración de la distribución de valores de sodio en las aguas subterráneas de la subcuenca del río Turbio. Los contenidos promedio de sodio no superan las 200

ppm, aunque algunas muestras alcanzaron casi las 700 ppm. Las mayores concentraciones se ubican hacia la parte sur de San Francisco del Rincón, con focos notorios al oriente de Manuel Doblado, al este de Cuernámaro y norte de Abasolo.

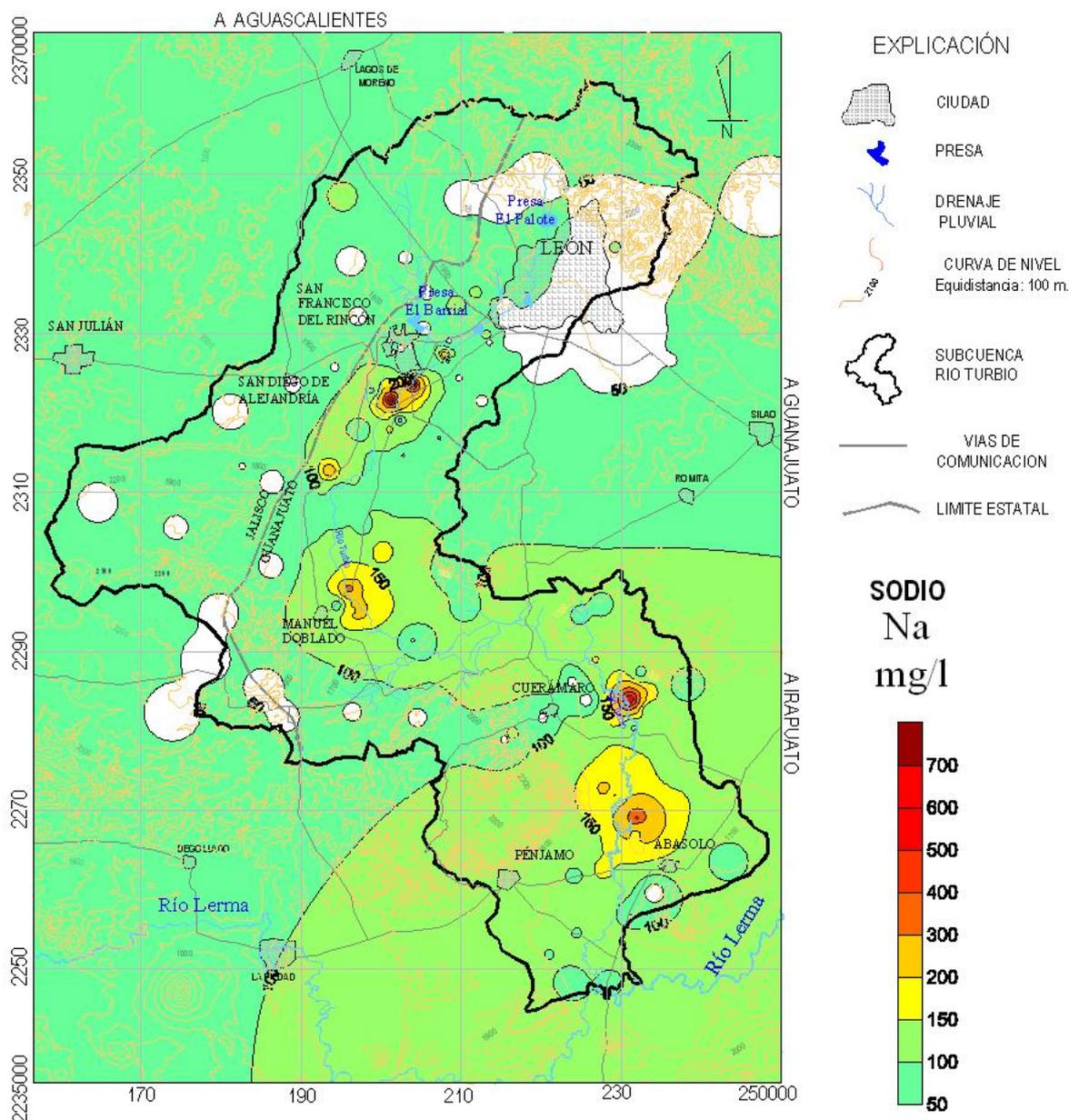


Figura 6.2.8 Configuración de valores de sodio en la subcuena del río Turbio.

Los valores promedio de sodio, entre 2 y 180 ppm o mg/l tienen relación directa con el intemperismo de feldespatos sódicos muy abundantes en las rocas predominantemente riolíticas del

área. Es probable que algo de este sodio sea aportado en forma local por la lixiviación de los escasos depósitos de rocas químicas que afloran en la subcuenca. Del total de muestras, doce de ellas resultaron con valores de sodio por encima de las 200 ppm. Los casos extremos son una de las muestras colectada en el río Turbio, y las muestras colectadas en la comunidad de San Bernardo y en Cerrito de Agua Caliente. Curiosamente todas estas anomalías se ubican a lo largo del curso del río Turbio, por lo que es muy probable que representen zonas de sedimentos muy permeables, que permiten una fácil difusión de los contaminantes.

Los dos primeros casos mencionados son claramente atribuibles a contaminación proveniente de las descargas urbanas e industriales, que se difunden en zonas permeables desde el cauce del río Turbio. El último caso corresponde a un pozo termal somero donde antaño (20 años) brotaba un manantial. Este aprovechamiento está relacionado a fenómenos remanentes de hidrotermalismo, asociado a grandes estructuras. El análisis químico de esta muestra reveló anomalías en casi todos los parámetros analizados.

Las zonas con anomalías de sodio al oriente de Manuel Doblado y norte de Abasolo, pueden tener influencia del río Turbio, aunque no se descarta la influencia de soluciones salinas provenientes de zonas más profundas, como en el caso de Cerrito de Agua Caliente.

Potasio

La concentración de potasio en el agua de lluvia es menor de 1ppm, en aguas dulces varía entre 1 y 10, aunque excepcionalmente alcanza varios cientos de ppm. El agua de mar contiene cerca de 390 mg/l y en salmueras su contenido puede aumentar hasta varios miles de ppm. Las principales fuentes de potasio son las evaporitas, los feldespatos potásicos y otros silicatos, así como las arcillas y algunas micas. También pueden aportar potasio las descargas industriales y el uso de fertilizantes. La vegetación muerta o las cenizas de la vegetación quemada aportan también potasio al suelo y al agua.

El cloruro de potasio se utiliza principalmente en mezclas fertilizantes. El hidróxido de potasio se emplea en la manufactura de jabones líquidos y el carbonato de potasio para jabones blandos. El carbonato de potasio se utiliza también en la industria del vidrio. El nitrato de potasio se utiliza en fósforos, fuegos pirotécnicos y en artículos afines que requieren un agente oxidante.

Junto con el nitrógeno y el fósforo, el potasio es uno de los macronutrientes esenciales para la supervivencia de las plantas. Su presencia es de gran importancia para la salud del suelo, el crecimiento de las plantas y la nutrición animal. Por otra parte, elevados niveles de potasio soluble en el agua, pueden causar daños a las semillas en germinación, inhiben la toma de otros minerales y reducen la calidad del cultivo. Diferentes normas señalan un límite máximo de potasio entre 15 y 20 ppm para agua de consumo humano.

Al sur de San Francisco del Rincón se observaron las mayores concentraciones de potasio (y otros elementos); estas sugieren contaminación por el uso de agroquímicos y descargas urbanas e industriales. Las anomalías de K en la zona de Abasolo coinciden con valores significativos de sodio, bicarbonatos, magnesio, arsénico y bismuto. En el pozo "El Carrión" el potasio ocurre junto con valores de calcio, bismuto, selenio y bario. En este caso puede existir una mezcla de remanentes hidrotermales con agua de reciente infiltración, sin descontar la influencia de actividades humanas.

Calcio

La distribución del calcio es muy amplia al igual que el magnesio; se encuentran en casi todas las áreas terrestres del mundo, distribuidos tanto en rocas ígneas como sedimentarias. Es el catión más abundante en muchas aguas naturales, es soluble y precipita con facilidad como carbonato de calcio, al variar el pH o la presión de CO₂. Junto con el magnesio contribuye a la dureza del agua.

En el agua de lluvia su concentración es menor de 1 ppm; en aguas dulces alcanza comúnmente valores de 250 ppm. En aguas que contienen yeso puede alcanzar concentraciones de hasta 600 ppm; en salmueras puede estar contenido en hasta 50,000 ppm.

Las fuentes principales de calcio son las rocas carbonatadas como la caliza y la dolomita; rocas y depósitos evaporíticos como yeso y anhidrita, así como otras rocas sedimentarias con calcita como cementante. Está presente también en minerales como la fluorita (CaF₂) y el fosfato de calcio (Ca₃(PO₄)₂). Fuentes de menor importancia son varios minerales de las rocas ígneas particularmente aquellas de composición máfica. Estos minerales incluyen feldespatos cálcicos, piroxenos anfíboles, wollastonita, etc. El calcio es esencial para la vida de las plantas y animales, está presente en el esqueleto de los animales, en los dientes, en la cáscara de los huevos, en el coral y en muchos suelos.

La mayoría de muestras analizadas en la subcuenca del río Turbio, no presentaron un contenido de calcio muy elevado si bien, de la configuración de valores (Figura 6.2.9), resalta una zona a lo largo del cauce del río Turbio, que se extiende desde la ciudad de León hasta unos 8 Km al sur de

San Francisco del Rincón, por lo que las anomalías apuntan a fuentes antropogénicas. Otros focos con valores significativos, resultaron en el pozo de la comunidad de San José de Otates y La Gloria, Municipio de Manuel Doblado.

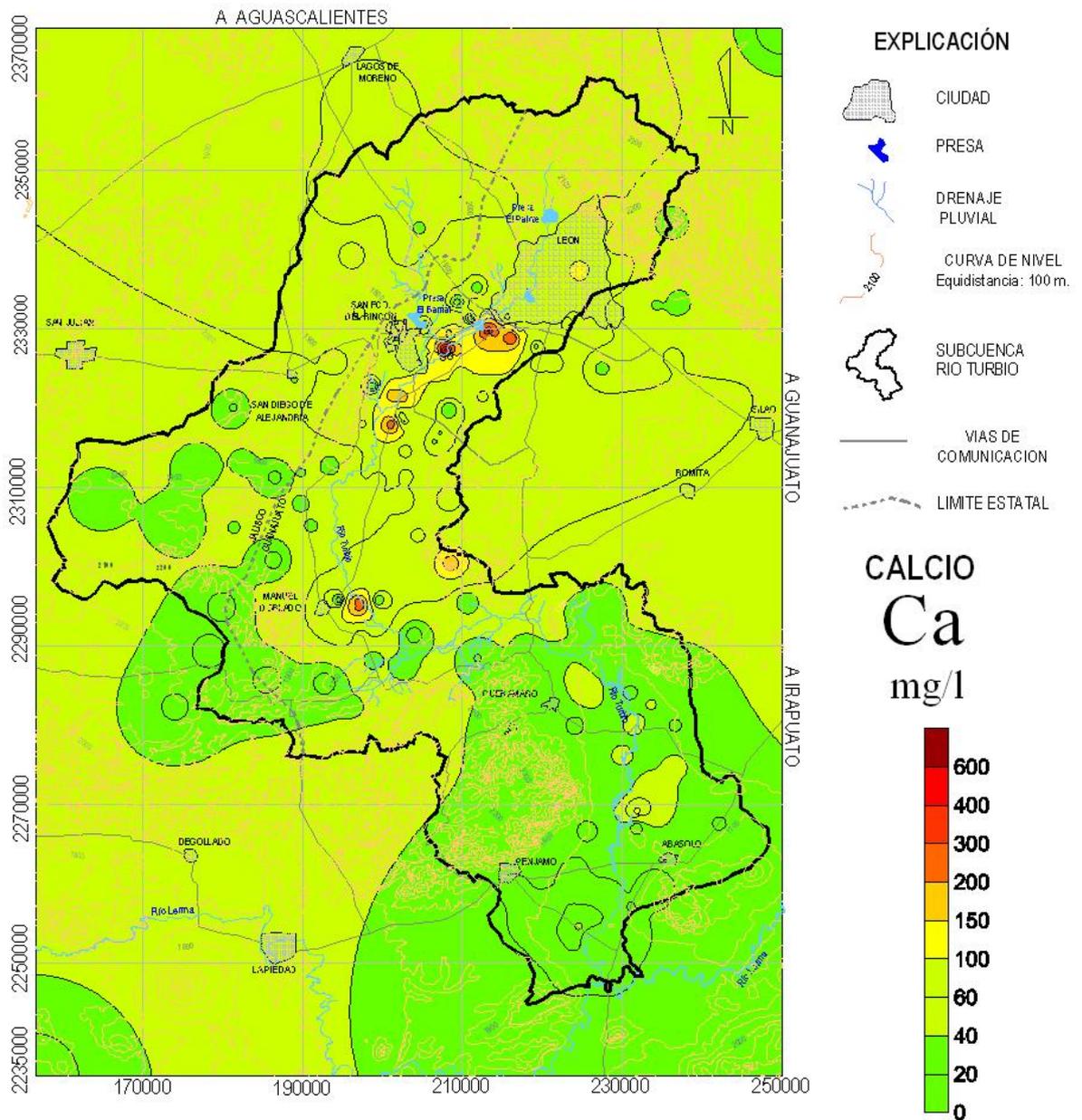


Figura 6.2.9 Configuración de la distribución de calcio en el agua subterránea

El pozo de San José de Otates (en el extremo centro oriental de la subcuenca) ya había sido identificado por presentar características peculiares, pues su agua sugiere una mezcla de agua reciente con agua de mayor tiempo de residencia y que puede estar lixiviando parte de las rocas químicas

(calizas) lacustres, que afloran al norte del poblado, aunque ya en la cuenca del río Guanajuato. El pozo la Gloria puede estar recibiendo influencia de estos mismos afloramientos, además de la posibilidad de recibir descargas de Manuel Doblado y del río Turbio.

Magnesio

Es muy abundante en la naturaleza; se halla en cantidades importantes en muchos minerales formadores de roca como la dolomita, magnesita, olivino y serpentina. Es un constituyente fundamental de las rocas ígneas, principalmente basaltos y otras rocas máficas. Es también común en rocas sedimentarias y metamórficas; puede ser aportado por la contaminación industrial y minera. Se encuentra también abundantemente en el agua de mar, salmueras subterráneas y lechos salinos. Los compuestos de magnesio se utilizan mucho en la industria y la agricultura. No se ha identificado al magnesio como un elemento dañino al medio ambiente y la salud, aún en cantidades importantes.

El magnesio es un poco más soluble que el calcio, por ende precipita con menos facilidad. Su concentración en el agua de lluvia es menor de 1 ppm y en aguas naturales su concentración generalmente varía entre 1 y 100 ppm. El agua de mar contiene alrededor de 1300 ppm, mientras que las salmueras pueden contener varios miles. Durante la formación de evaporitas, cristalizan las sales menos solubles, mientras las aguas resultantes se enriquecen en magnesio, más soluble.

En la subcuenca del río Turbio la presencia de magnesio se mantiene en general, en valores moderados que van de 0 a 80 ppm que pueden ser atribuidos a la geología del área, con abundantes rocas de composición basáltica e intermedia. El comportamiento o distribución de los mayores valores de magnesio es similar al que presentan el calcio y el potasio, con distribuciones hacia el área de san Francisco del Rincón, Manuel Doblado y Abasolo.

Otros Metales y Cationes.

Además de los iones mayores tradicionales, en la subcuenca del río Turbio se analizaron 26 metales y cationes más. De estos se encontró una presencia significativa en 7 casos: As, Se, Ba, P, Ni, Sr, Ti y Bi. De forma menos importante y muy local se detectó también la presencia de Cr, Mn, Mo y Al. Un número menor de muestras (de 10 a 25) fueron analizadas también por Hg, Li, B y Si; revelando su presencia en el área, si bien en estos últimos casos no fue posible realizar configuraciones de su distribución para toda la subcuenca.

Arsénico

El arsénico es el caso más importante de los elementos traza, identificados en las aguas subterráneas de la subcuenca del río Turbio. Se detectó en 154 de las 168 muestras analizadas y en 44 de estos casos, los valores resultantes son mayores a 0.05 ppm. En la tabla 6.2.1 se incluyen algunos datos de las 12 muestras que resultaron con más alto contenido de arsénico.

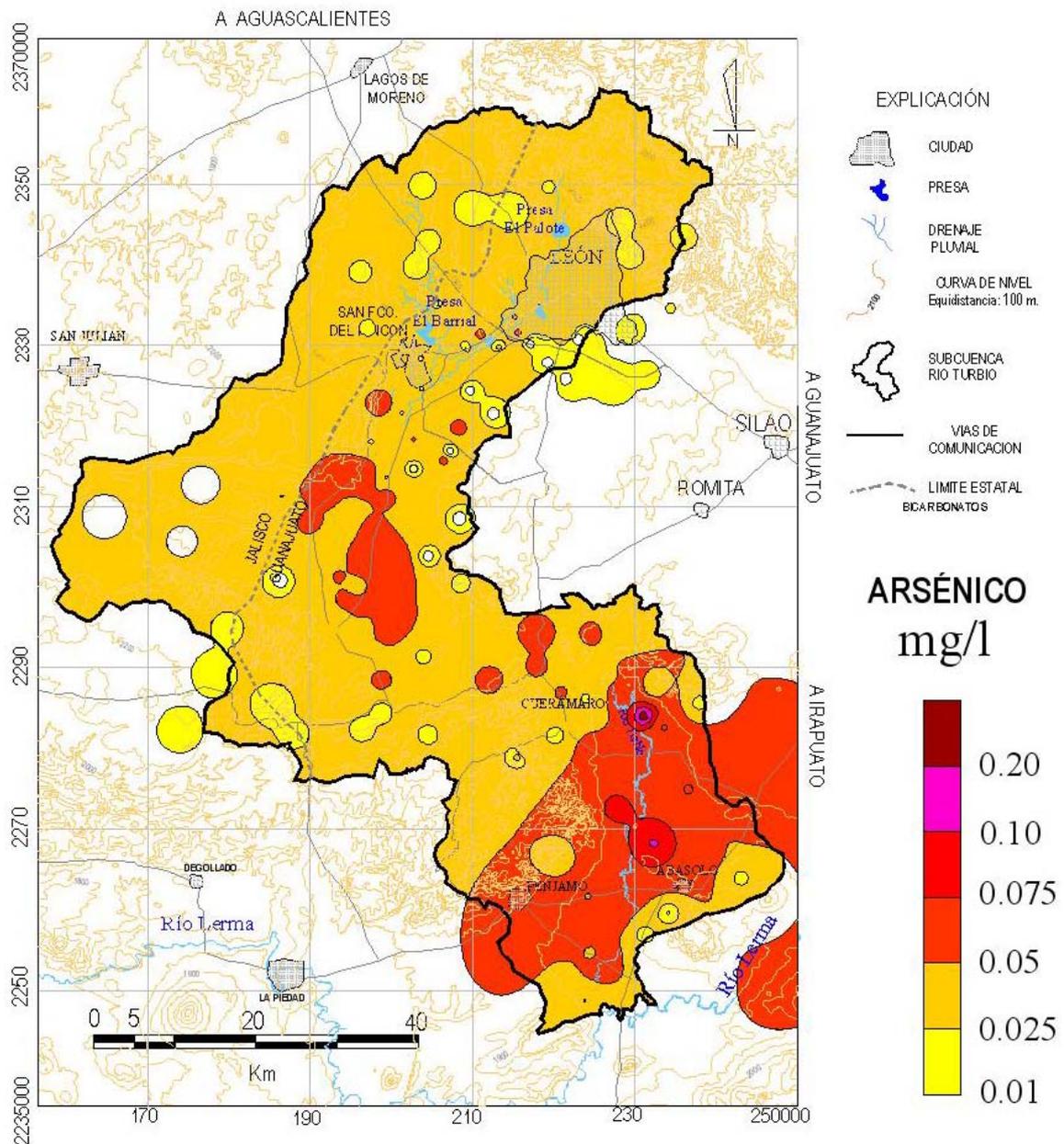


Figura 6.2.10 Configuración de valores de arsénico en el agua subterránea

No es rara la presencia de arsénico en los suelos y aguas subterráneas en varias zonas de nuestro país. El análisis geoquímico expresado en la cartografía del COREMI a partir de sedimentos de arroyo, muestra valores importantes de arsénico en prácticamente toda el área de estudio, con concentraciones típicas de aproximadamente 10 ppm y alcanzando en no pocos casos cerca de 30 ppm. En general, la existencia de arsénico en las aguas subterráneas ha sido atribuida a la actividad hidrotermal o a procesos sedimentarios. Una de las fuentes naturales de arsénico en los acuíferos se relaciona con la existencia de piritita, arsenopiritita y medios reductores. En este tipo de ambiente, el arsénico se moviliza en forma de trióxido de arsénico (As_2O_3).

En algunos casos la presencia de arsénico en los suelos se atribuye a la utilización indiscriminada de fungicidas y plaguicidas que incluyen arsénico en su composición. Tal caso fue documentado décadas atrás en algunas plantaciones de algodón en los Estados Unidos. Asimismo, el As puede llegar al ambiente a través de la producción industrial de Cu, Pb y Zn, pues se presenta como mineral accesorio en las vetas de sulfuros metálicos.

MUESTRA	COORD. X	COORD. Y	pH	TEMP °C	As (ppm)	LOCALIDAD
4	200203	2302748	7.65	23.3	0.080	Ejido Los Salados
87	225673	2266664	7.65	30.20	0.088	Rancho El carrizo
164	198824	2322814	8.47	38.20	0.089	El palenque, Purísima
3	200197	2302759	7.28	26.1	0.100	San José de Bellavista
8	196009	2297941	7.28	20.00	0.100	Granja La Villa Rica
16	196506	2313908	7.48	24.7	0.100	San Ángel
17	193520	2312762	7.56	30.6	0.100	El Pedernal
19	199528	2295755	7.49	26.9	0.100	Calzada del Tepozán
153	229187	2271885	7.90	31.00	0.102	El Tule, Abasolo
130	231930	2269072	7.75	24.20	0.117	Estación Abasolo
122	231863	2267136	8.20	45.10	0.122	Huitzatarito, Abasolo
36	227906	2272776	7.35	25.8	0.136	Bordito Blanco, Cuerámaro
152	232249	2268303	7.66	23.20	0.174	Huitzatarito (Sta. Cecilia), Abasolo
97	231101	2284030	6.72	51.50	0.226	Cerrito de Agua Caliente

Tabla 6.2.1 Aprovechamientos con mayor contenido de arsénico en la subcuenca del río Turbio.

En el caso del área de estudio, si bien los factores mencionados anteriormente pueden tener alguna influencia en la aportación de arsénico (se ha detectado As en antiguos jales dentro del distrito minero de Guanajuato), es evidente que el ambiente geológico del área y de hecho, de prácticamente toda la mesa central y centro norte del país, es propicio para la ocurrencia de este metal. Particularmente las rocas volcánicas terciarias y los magmas que las originaron, parecen ser las fuentes principales de este metaloide.

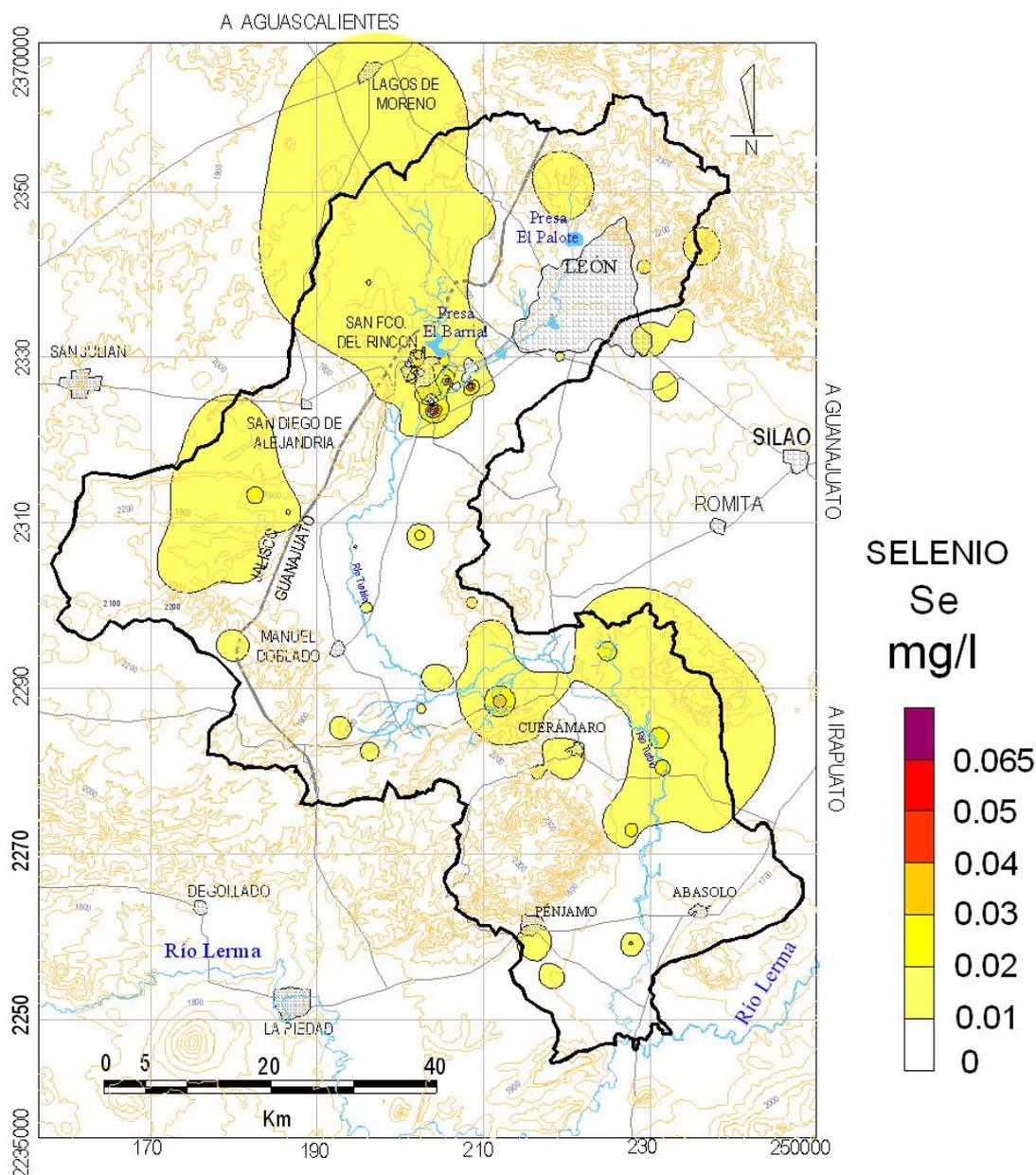


Figura 6.2.11 Configuración de contenidos de selenio en el agua subterránea.

De esta manera los fluidos hidrotermales serían los encargados de lixiviar y transportar el arsénico a través de las fallas y fracturas, así como medios porosos. Los aprovechamientos con arsénico se han encontrado tanto en roca como en material granular.

Esta idea se ve sustentada en el hecho de que dentro del área existen algunos manantiales termales asociados a grandes fallas normales, que presentan altos contenidos de As (Cerrito de Agua Caliente). Las evidencias de mineralización son muy conocidas en la sierra de Guanajuato y prácticamente se reconocen anomalías de algunos metales en toda el área.

Como puede apreciarse en la tabla 1, algunos valores altos de arsénico coinciden también con temperaturas altas, pero igualmente pueden presentarse a temperaturas más bajas, es decir, no se observa una correlación directa con los incrementos en ambos parámetros. Algo similar ocurre con el As y el pH; si bien el valor más ácido coincide con la mayor concentración de As analizada. La mayoría de las muestras anómalas del metaloide, presentaron un pH cercano a neutro e incluso alcalino.

La distribución de valores de arsénico puede verse en la configuración de la Figura 6.2.10 Se aprecia que la mayor parte del área presenta valores por encima de 0.025 ppm con zonas que exceden las 0.05 ppm hacia el centro y sureste de la subcuenca.

Selenio

El selenio es un metal accesorio en algunos yacimientos de sulfuros de origen hidrotermal. Está presente en el distrito minero de Guanajuato donde incluso constituye minerales exclusivos de la zona, como la guanajuatita ($\text{Bi}_2\text{Se}_2\text{S}$). En lo que respecta al agua subterránea, se detectó selenio en 69 de los 168 aprovechamientos muestreados. En la mayoría de los casos los valores registrados son muy bajos; se encuentran entre 0.01 y 0.03 ppm. En la tabla 6.2.2 se proporcionan algunos datos de los aprovechamientos que arrojaron los valores más altos. Para mayores detalles consultar el anexo de análisis de laboratorio.

En la Figura 6.2.11 se muestra también la configuración de contenidos de selenio en la subcuenca; misma en la que se aprecia que la ocurrencia de los mayores valores se ubica al sur y oriente de San Francisco del Rincón, hacia las afueras de la zona urbana y en las inmediaciones del cauce del río Turbio. La muestra que reportó mayor concentración de selenio corresponde a una muestra colectada del mismo río Turbio, entre las localidades de El Maguey y San Francisco del Rincón.

Es curioso que no se encontraron concentraciones importantes de Se hacia la sierra de Guanajuato, ni hacia su base y sí se presentaron en las cercanías de las zonas urbanas mencionadas. La distribución descrita apunta más a un origen relacionado con descargas de tipo industrial local, que a la actividad minera del área. Es de notar también, que en esta misma zona, se han observado anomalías de otros elementos.

MUESTRA No.	COORD. X	COORD. Y	SELENIO ppm	APROVECHAMIENTO	LOCALIDAD
126	201971	2329678	0.033	POZO (AGUA POTABLE)	LOS MANANTIALES, SAN FCO. DEL RINCON
127	201703	2328907	0.034	POZO (AGUA POTABLE)	SAN FRANCISCO DEL RINCON
046	211940	2288445	0.035	POZO (AGUA POTABLE)	RANCHO NUEVO DE CERRITOS
125	205658	2327173	0.045	POZO (AGUA POTABLE)	BARRIO DE GUADALUPE, SN. FCO. DEL R.INCÓN
124	208388	2326522	0.049	POZO (AGUA POTABLE)	SAN ROQUE DE MONTES
123	203940	2323729	0.069	RÍO TURBIO	ENTRE EL MAGUEY Y SAN FCO. DEL RINCÓN.

Tabla 6.2.2 *Valores más altos de selenio registrados en muestras.*

El selenio se considera un elemento traza esencial en la nutrición humana, en cantidades de 0.001 mg/l al día. Sin embargo, dosis altas de selenio se manifiestan en daños al hígado, uñas y pelo. Algunos estudios mencionan síntomas patológicos notables en pacientes expuestos a dosis de hasta 0.25 mg al día. La EPA (Environmental Protection Agency) y la OMS señala como límite máximo permisible para aguas de consumo humano un contenido de 0.01 ppm.

Cromo

El cromo es un elemento asociado a rocas ultramáficas como peridotita y serpentina, aunque se puede presentar en muy pequeña proporción en varias rocas ígneas. El cromo es usado en varias aplicaciones industriales, principalmente en la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor, así como para recubrimientos para galvanizados. Se emplea también en la elaboración de colorantes y pinturas, así como en la curtiduría de pieles. En la industria de la curtiduría se emplea el denominado "curtido al cromo" con hidroxisulfato de cromo (III) ($\text{Cr}(\text{OH})(\text{SO}_4)$). El cromo se utiliza también para la elaboración de cintas magnéticas, en la síntesis de amoníaco, para la preservación de maderas y en la industria del vidrio, entre otras aplicaciones.

El cromo puede presentarse en sus compuestos con diferentes grados de oxidación. Su estado de oxidación más alto es el +6, aunque estos compuestos son muy oxidantes. Los estados de

oxidación +4 y +5 son poco frecuentes, mientras que los estados más estables son +2 y +3. El cromo (+3) o (III) es solo tóxico en grandes cantidades, e incluso se considera que como traza tiene influencia favorable en algunas funciones del organismo, como el metabolismo de los azúcares.

MUESTRA No.	COORD. X	COORD. Y	CROMO ppm	APROVECHAMIENTO	LOCALIDAD
109	22747 2	2325023	0.012	Pozo (Agua potable)	San Francisco. de Duran, León
134	19590 0	2299653	0.013	Presa El Sitio	Rancho El Rincón, M. Doblado
133	18131 8	2320057	0.050	Presa San José	Rancho El Toril, San. Diego de Alejandría
123	20394 0	2323729	0.174	Río Turbio	Entre El Maguey y San Fco. Del Rincón.
107	20903 4	2329699	1.647	Pozo (Agrícola)	El Ratón, Purísima Del Rincón

Tabla 6.2.3 *Aprovechamientos con mayores anomalías de cromo (la cifra se refiere a Cromo total).*

El cromo hexavalente (+6) o (VI) es bastante tóxico, la ingesta de unos pocos gramos es letal y se ha identificado claramente como carcinógeno. La exposición prolongada puede causar también daños permanentes en los ojos. La Norma Oficial Mexicana para agua de consumo humano, establece un límite para cromo total de 0.05 mg/l.

En la subcuenca del río Turbio se detectó cromo en escasos aprovechamientos tanto de agua subterránea como superficial. La tabla 6.2.3 presenta la lista de estos aprovechamientos, mientras que su distribución puede observarse en la Figura 6.2.12.

Manganeso

Aunque en la sierra de Guanajuato existen rocas ultramáficas (Unidad San Juan de Otates) que podrían aportar trazas de cromo, níquel y otros metales. La distribución y tipo de fuentes que resultaron con valores significativos de cromo, sugieren contaminación industrial. Es sabida la importancia de la industria peletera en la zona. Curiosamente el aprovechamiento que registró mayores valores de cromo (pozo de riego El Ratón, muestra 107) se ubica en las inmediaciones de una de estas plantas. Tal situación amerita un monitoreo detallado de las descargas de estas industrias.

El manganeso está presente en una gran variedad de rocas ígneas y metamórficas; está también presente en dolomitas y calizas sustituyendo al calcio. Se cree que los minerales de manganeso son originalmente de carácter coloidal y han tomado forma cristalina después de depositados. Algunos manantiales termales pueden también tener contenidos significativos de manganeso.

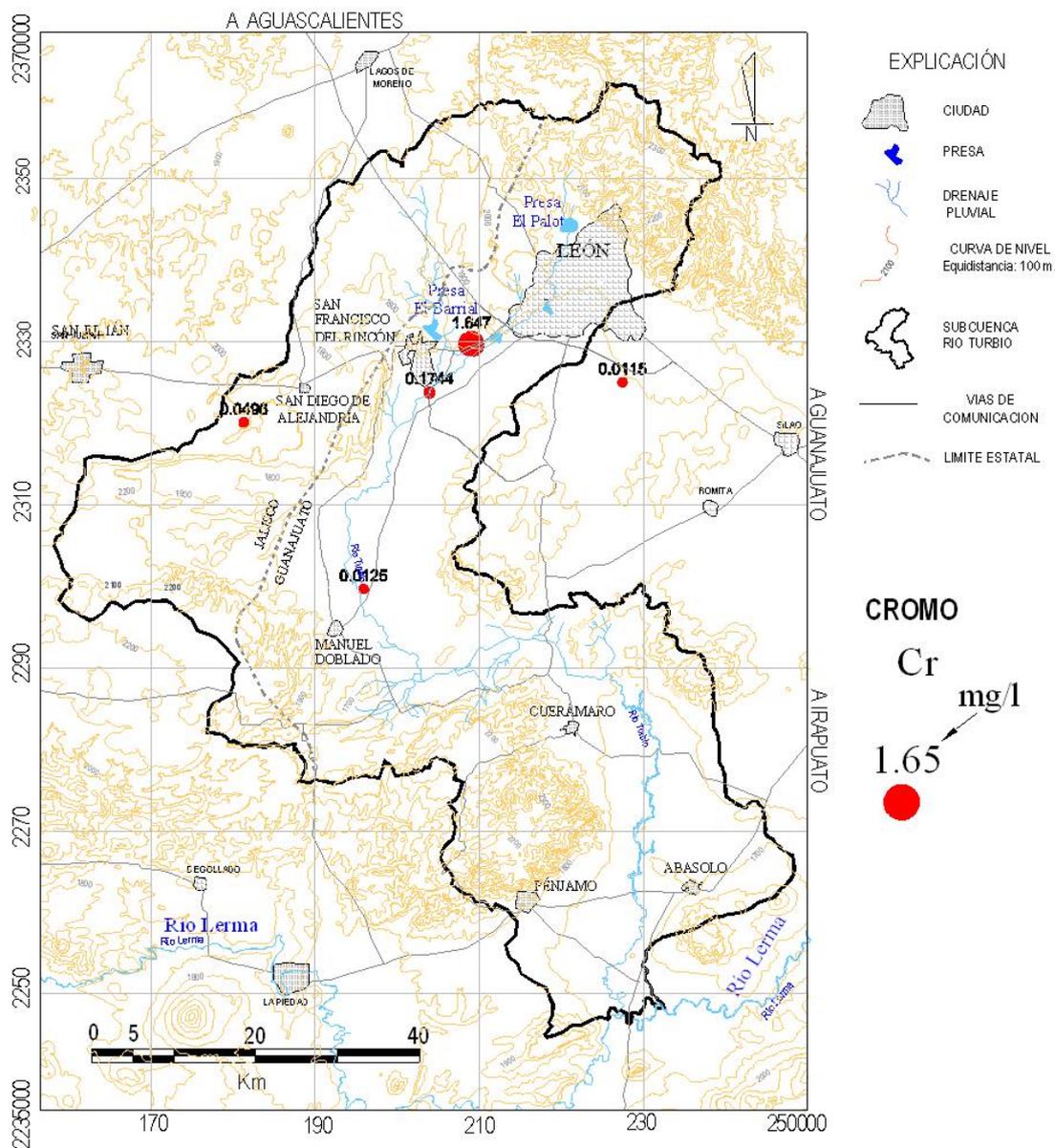


Figura 6.2.12 Aprovechamientos y valores de cromo en al agua subterránea.

Como otros metales, es necesario en el organismo en cantidades traza, pero en cantidades mayores resulta tóxico y puede ocasionar problemas de salud. La Norma Oficial Mexicana para agua de consumo humano, señala un límite de 0.15 ppm. Otras normas son más estrictas y disminuyen este límite hasta 0.05 ppm. En cantidades por encima de 0.1 ppm puede formar depósitos de óxidos en tuberías. Los niveles promedio de este elemento en aguas naturales se encuentran entre 0.001 y 0.1 mg/l.

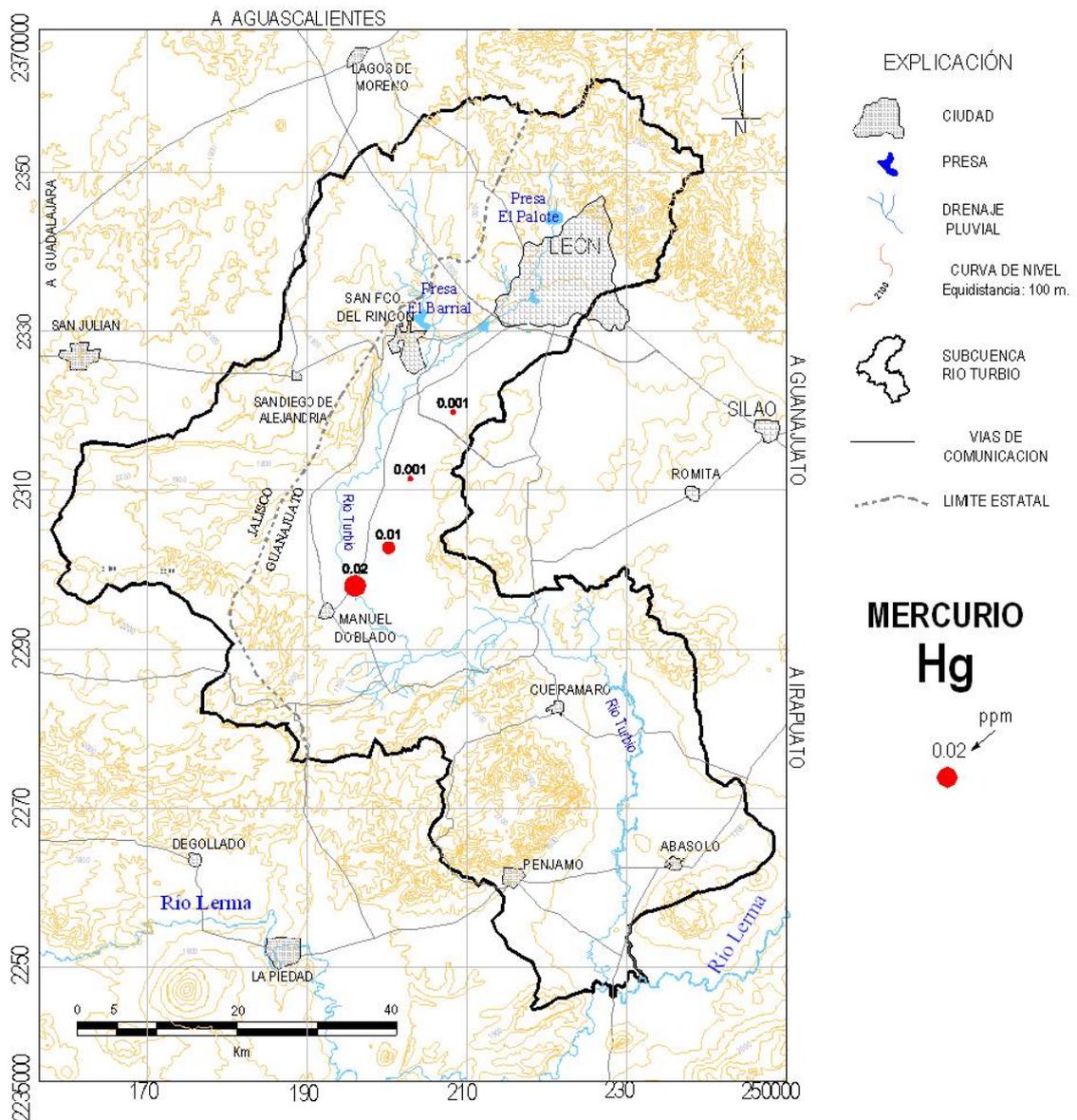


Figura 6.2.13 Configuración de contenidos de mercurio en el agua subterránea

Se detectó la presencia de manganeso en solo 18 aprovechamientos, con valores que oscilan entre 0.017 y 2.18 ppm. Los niveles promedio de este elemento en aguas naturales se encuentran entre 0.001 y 0.1 mg/l. Los mayores contenidos de Mn obtenidos se registraron en las cercanías del río Turbio, hacia el sur de San Francisco del Rincón, así como en algunas presas. La distribución de los altos contenidos de manganeso en la zona, apunta a un origen por contaminación industrial.

Mercurio

El mercurio es uno de los metales considerado como más nocivo para la salud. La OMS recomienda un límite máximo permisible para agua potable de 0.001 mg/l, mismo que es reconocido por la Norma Oficial Mexicana. El mercurio llega a presentarse en aguas subterráneas y superficiales en concentraciones que por lo general, se encuentran por debajo de 0.005 mg/l, aunque la presencia de yacimientos minerales puede incrementar estos valores en el agua. Algunos manantiales termales pueden presentar concentraciones de algunos microgramos por litro.

El mercurio se emplea en la producción electrolítica de cloro, en la manufactura de aparatos, electrodomésticos y como constituyente en varios compuestos. Solamente se ensayaron 25 muestras por mercurio, de las cuales solo 4 reportaron trazas de este metal Figura 6.2.13.

Se analizaron muy pocas muestras por mercurio, por lo que no es posible establecer una zona fuente de este metal. Los valores obtenidos son muy bajos, si bien dos de ellos superan las normas recomendadas, y revelan la presencia del contaminante en el área, por lo que se requiere un monitoreo más detallado de esta situación. La distribución de las escasas muestras con mercurio sugiere una procedencia de la zona de lomeríos que constituye el parteaguas centro oriente de la subcuenca, desde Jesús del Monte, hasta la comunidad de Las Playas, aproximadamente.

Litio, Boro y Sílice

La presencia de concentraciones importantes de estos elementos en el agua subterránea sugiere aportes de agua proveniente de mayores profundidades, con mayor tiempo de residencia y mayores distancias de transporte, asociadas a menudo con fuentes termales. Estos elementos son de importancia en prospección geotérmica. Se analizaron solo 25 muestras de estos componentes.

Se analizaron 25 muestras por litio, de las cuales 24 reportaron contenidos de entre 0.01 y 0.27 mg/l. Los contenidos de litio observados son ligeramente superiores a los valores típicos de fondo

mencionados en la literatura. Estos valores sugieren aportes de litio desde unidades geológicas e incluso la mezcla de agua meteórica con fuentes termales más profundas.

El boro es importante en la agricultura; pequeñas cantidades son esenciales para el crecimiento de las plantas, aunque en cantidades mayores puede tornarse perjudicial. Concentraciones de hasta 1 mg/l puede ser perjudicial para los cítricos. Es también mineral accesorio de la biotita y anfíboles.

El boro puede liberarse en gases volcánicos y en manantiales termales. El agua de mar contiene cerca de 4.6 mg/l. Algunos depósitos evaporíticos en cuencas cerradas pueden contener boro, que llega a formar depósitos de valor comercial. El borax (tetraborato de sodio) se utiliza frecuentemente como aditivo en detergentes y jabones, se utiliza también en la fabricación del vidrio, por lo que el boro puede estar también presente en descargas urbanas e industriales.

No hay un límite rígido para el contenido máximo de boro en agua de consumo humano, pero se recomienda un valor provisional de 0.5 mg/l. De 25 muestras analizadas por boro, en 22 de ellas se registraron valores de entre 0.003 y 0.427 mg/l. Tales concentraciones no representan problema alguno para el consumo humano ni la agricultura.

El sílice (SiO_2) se presenta generalmente en concentraciones de entre 1 y 30 mg/l en aguas naturales y en algunos casos hasta 100 mg/l en aguas subterráneas. Las mayores concentraciones en los acuíferos se relacionan con el tipo de roca y la temperatura del agua; a mayor temperatura, tiende a presentarse una mayor cantidad de sílice. Dadas las concentraciones relativamente bajas en que suele presentarse este componente y su nula toxicidad, al momento no hay una norma que establezca un límite máximo permisible para el contenido de sílice en el agua potable.

En general los silicatos tienden a ser resistentes al ataque químico, en particular el cuarzo, aunque algunas variedades como los minerales ferromagnesianos son más susceptibles al intemperismo. Las formas criptocristalinas y amorfas del sílice como el ópalo, la calcedonia y el pedernal son más solubles. La mayor parte del sílice en el agua subterránea proviene del rompimiento e intemperismo de los silicatos en general.

Se analizaron 10 muestras por sílice en la subcuenca del río Turbio. Los valores obtenidos fluctúan entre 39 y 79 ppm. Estos contenidos observados son atribuibles a la litología circundante, aunque algunos resultados se encuentran ligeramente sobre los promedios generales del agua subterránea para otras zonas, por lo que se apoya la idea de que existe una mezcla con aguas termales más profundas con mayores concentraciones de este componente.

Otros metales

Se detectaron varios metales y otros elementos en las aguas subterráneas y superficiales de la Subcuenca del Turbio; generalmente en muy bajas concentraciones. Algunos de ellos como el Fósforo, Bario, Titanio, Níquel y el Bismuto tienen una distribución amplia. Otros metales como el Hierro, Aluminio, Zinc y el Cobre tienen presencia significativa en el área. La ocurrencia de estos elementos es en gran parte atribuible al intemperismo de las unidades que constituyen el entorno geológico y afortunadamente no son tóxicos aún hasta cantidades importantes.

Sin embargo, es de notar que se reconocieron concentraciones anómalas de varios de estos elementos en algunos aprovechamientos superficiales como pequeñas presas y el río Turbio. Es de mención particular, el caso de la presa San José, en el Municipio de San Diego de Alejandría, Jalisco, que registró concentraciones significativas de Al, As, Bi, Co, Cr, Cu, Mn, Fe, Se, P, Ni y Zn.

Particularmente los valores de Fe y Al y Cu, resultaron muy por encima del promedio observado en el área muestreada, lo que es un indicador de que existe una fuente de contaminación antrópica importante hacia dicha presa y que puede estar afectando a algunos aprovechamientos cercanos. Desafortunadamente, dicha fuente, o fuentes no fueron identificadas en este estudio. El hecho anterior sugiere fuertemente que las actividades relacionadas con el beneficio y explotación de minerales y otras actividades, industriales tienen influencia en la calidad del agua en el área, aunque el impacto de esta solo es evidente en casos específicos y no haya sido claramente reconocible en toda la subcuenca.

6.3 Familias y calidad del agua

El establecimiento del comportamiento y calidad del agua subterránea se basa en su comparación con indicadores comunes que vayan de acuerdo con los requerimientos de uso de dicha agua, sin embargo, cuando se trata de analizar un acuífero es necesario tener en cuenta la evolución de la calidad de agua y en caso necesario tomar medidas para frenar e incluso invertir alguna tendencia negativa que afecte las condiciones naturales del acuífero.

Para la zona de estudio resulta difícil determinar una secuencia evolutiva de las condiciones hidrogeoquímicas del agua a nivel de subcuenca, ya que la mayor parte de los estudios se han delimitado por acuíferos. A continuación se presenta una breve reseña de las condiciones hidrogeoquímicas a nivel de acuífero, determinadas éstas por diversos autores y dependencias.

Guysa 1998, con el objeto de determinar calidad y comportamiento del agua subterránea en el Acuífero León, tomó 20 muestras de diversos aprovechamientos, además de que incorporó a sus

análisis los reportados previamente por CNA-BGS (1996). Entre los resultados más relevantes resalta la identificación de cuatro grupos de aguas subterráneas: agua termal, agua fría, mezcla de aguas y agua contaminada; además, en base a la temperatura del agua subterránea, gradiente geotérmico, aplicación de geotermómetros y/a concentración de sílice, se define de 900 a 1000 m la profundidad máxima de circulación del agua subterránea. Referente a la calidad del agua para consumo humano, asevera que en cuanto a los parámetros analizados (sin especificar los mismos) es apta para consumo humano y recomienda analizar todos los parámetros señalados en la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SS1-1994) y que no fueron analizados en ese trabajo. De una manera particular hace referencia a la contaminación por cromo, donde se establece que se tomaron cinco muestras adicionales de pozos, de los cuales tres están por debajo de la norma (0.05mg/lit), uno se encuentra en el límite permisible y otro más rebasa la dicha norma. Respecto a la calidad de agua para uso agrícola, refiere que 85% de las muestras presentan peligro por efectos de contaminación por magnesio.

Geopsa, en 1998 establece que para el Acuífero Río Turbio, es el propio río el principal agente contaminante del valle, por lo que recomienda establecer políticas de control y saneamiento de descargas. Refiere la probabilidad de que la contaminación manifestada en la zona de la presa San Germán se extienda vertical y lateralmente sobre el cauce de la presa. Establece un antecedente de contaminación por coliformes fecales en pozos de pequeñas poblaciones situadas cerca de las márgenes del río, lo cual reafirma lo vulnerable que es el acuífero superior ante los agentes contaminantes transportados por el río.

Lesser, en 1998 establece que la mayor parte del agua subterránea en el valle de Pénjamo-Abasolo se clasifica dentro de la familia sódico bicarbonatada y que está relacionada con los productos volcánicos de la zona. Establece cierto grado de contaminación del acuífero superior, cuyo origen es atribuido a infiltraciones de aguas transportadas por el río, lo anterior debido a que al oriente de Pénjamo y sureste de Cuerámara se presentan familias de agua con componentes sulfatadas. Llama la atención que de los pozos con clave 255 y 1095, ubicados sobre las márgenes del Río Turbio, a la altura de Cuerámara, que extraen agua del acuífero regional, se obtuvieron valores de 1,272 y 1,190 ppm de sólidos totales disueltos, mismos que el autor atribuye a la influencia de la contaminación de aguas superficiales. Cabe mencionar que en la parte central del Valle de Pénjamo-Abasolo Lesser (*op cit*) encontró nueve pozos con concentraciones mayores al límite permisible de Arsénico (0.05mg/lit) por lo que es importante analizar la evolución de éste y otros elementos que hayan sido reportado en estudios pasados.

En la Figura 6.3.1 se muestra un diagrama de Piper con las muestras del agua subterránea y superficial del área de estudio, donde se observan las concentraciones de los iones mayores así como un panorama global de las principales familias de agua.

La mayoría del agua de los aprovechamientos muestreados tiene comportamiento sodico-bicarbonatado, mientras que en menor proporción se encuentran tendencias a cálcica-bicarbonatada y magnésica-bicarbonatada. Los cuatro elementos antes mencionados sobresalen en la mayoría de las muestras, por lo que son los más comunes del área; en una proporción aún menor se encuentra el ion cloruro, relacionado sólo con diez muestras, de las cuales cinco son superficiales.

El comportamiento generalizado que refleja la hidrogeoquímica de la subcuenca en estudio es parecido al de la Subcuenca del Río Guanajuato, donde COREMI (2004) establece que la mayoría del agua de los pozos tiene comportamiento del tipo sodico-bicarbonatado, además el Ca, Mg, Na y HCO_3 son los componentes principales y más abundantes para la clasificación de aguas subterráneas, mientras que en una menor proporción se encuentran los sulfatos.

La recarga natural para las subcuencas de los ríos Guanajuato y Turbio, se da a través de unidades hidrogeológicas con permeabilidades altas y medias, donde sedimentos cuaternarios de composición variable, Areniscas y Conglomerados Terciarios (TmAr-Cgp), además de Basaltos Cuaternarios (QB), Ignimbritas y Riolitas (Tolg-TR; ToR) terciarias, constituyen el medio geológico por donde circula el agua subterránea y que particularizan la composición hidrogeoquímica al sistema acuífero.

Por la evidente similitud de la composición química del agua subterránea de las dos subcuencas mencionadas en el párrafo anterior y la carencia de una obvia barrera natural entre ambas, se refuerza la hipótesis de que están comunicadas hidráulicamente, al menos en las zonas norte y sur, específicamente al oriente de las comunidades San Francisco del Rincón y Abasolo (Figura 5.9).

Con el programa Aquachem 4.0 se elaboraron diagramas de Stiff y a cada aprovechamiento muestreado se le determinó el tipo de agua que lo caracteriza. Se identificaron 18 tipos de agua diferentes en toda la zona de estudio, incluyendo muestras de agua subterránea y superficial (Figura 6.3.2), la gran variedad de clasificaciones de agua que hay en la zona permite sugerir una intensa relación entre la geología de la zona y el agua que fluye a través de la misma, donde procesos y reacciones naturales, además de la contaminación antropogénica, hace que aumenten o disminuyan las concentraciones de iones principales.

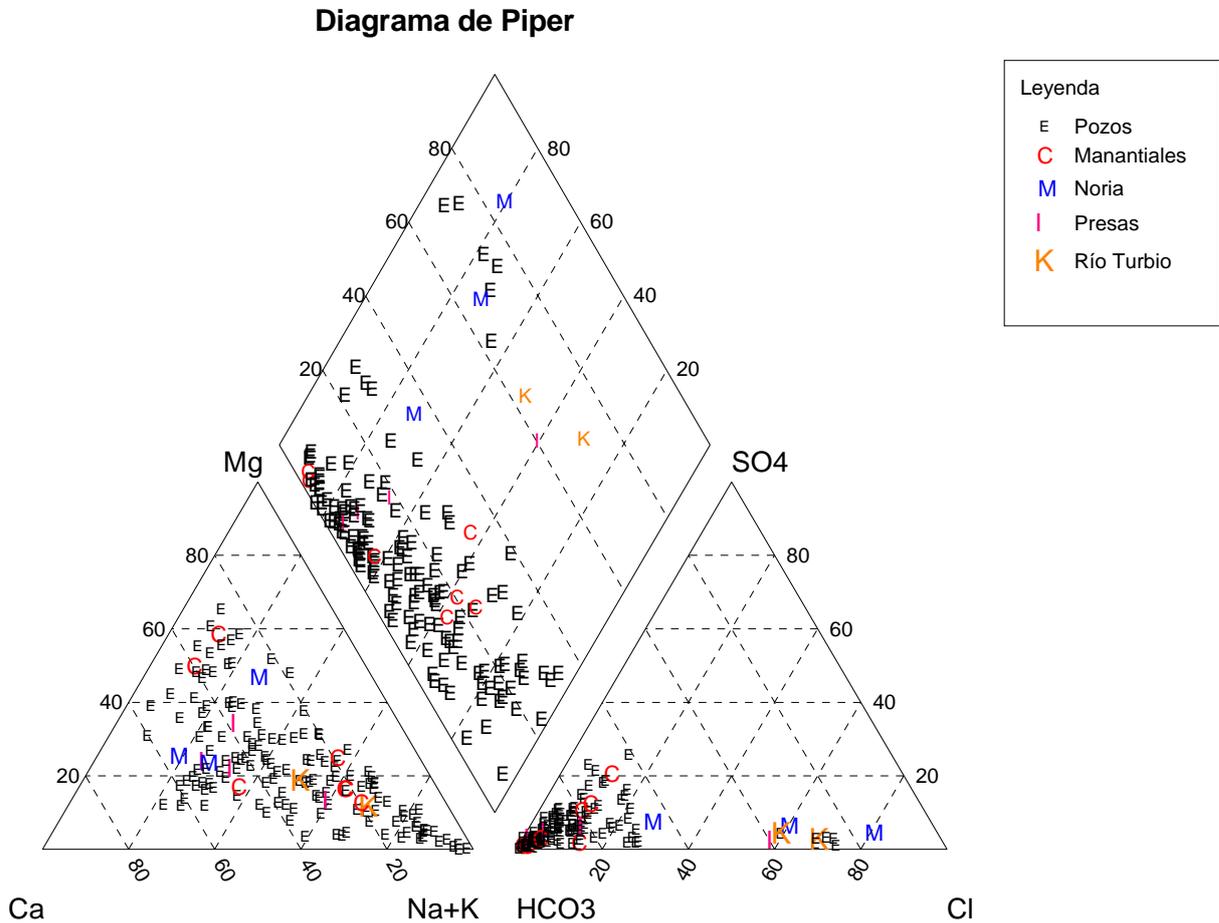


Figura 6.3.1 Comportamiento hidrogeoquímico de los aprovechamientos muestreados

Dada la diversidad de tipos de agua y para fines prácticos de interpretación, se optó por integrarlos y agruparlos en familias y subfamilias (Figura 6.3.3). A continuación se hace una breve descripción de las principales familias de agua subterránea que predominan en la zona de estudio.

Cálcica-Magnésica-Bicarbonatada (Ca-Mg-HCO₃), se ubica al norte de la subcuenca, desde el pie de la Sierra de Guanajuato, al norte de León, extendiéndose al sur y suroeste de la misma ciudad con orientación preferente noreste-suroeste. Se compone de dos subfamilias, Ca-Mg-Cl- HCO₃ y Ca-Mg-Na- HCO₃, donde a la primera se integra el ion Cloruro debido a la afectación que ejercen las zonas urbanas, en específico al suroeste de León, donde cuerpos de agua como el represo San Germán provocan que se infiltren agentes contaminantes al subsuelo y el movimiento del flujo subterráneo, en

dirección sureste atraído por el cono de abatimiento de la zona La Muralla (Figura 5.9), se encargue de esparcirlos y transportarlos a otras zonas del acuífero.

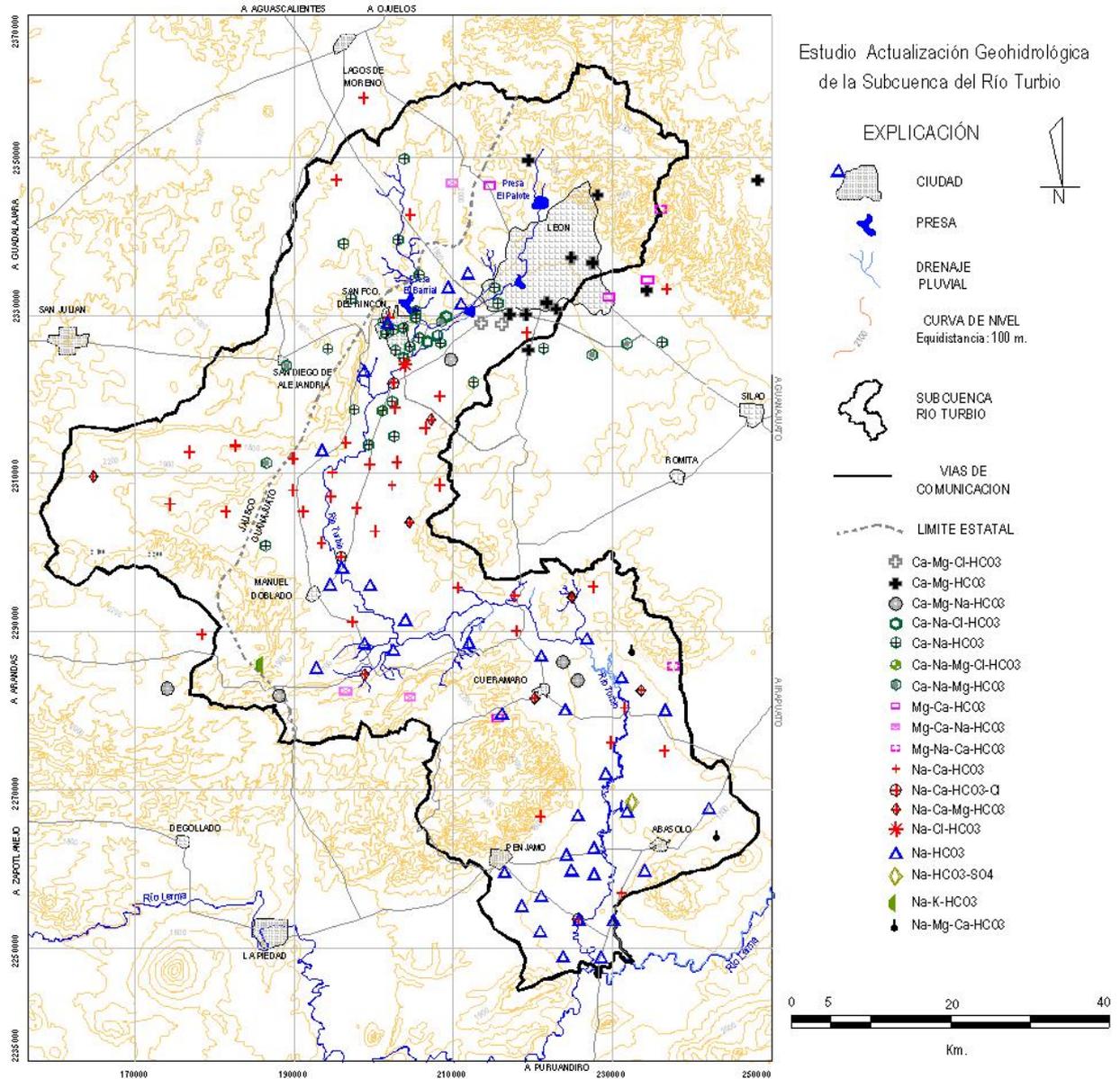


Figura 6.3.2 Aprovechamientos muestreados y tipo de agua correspondiente.

Cálcica-Sódica-Bicarbonatada (Ca-Na-HCO₃), esta familia se distribuye principalmente al norte, sur y este de la Ciudad de San Francisco del Rincón, además en una franja que se extiende desde San Diego de Alejandría en dirección noreste hasta el norte de la Presa el Barrial. Son tres las subfamilias que la integran, Ca-Na-Cl-HCO₃, Ca-Na-Mg-Cl- HCO₃ y Ca-Na-Mg- HCO₃, donde los iones Cloruro y

Magnesio se integran a la tendencia principal; al igual que con la familia anterior, la ubicación geográfica de la subfamilia que incluye al ion Cloruro coincide con las márgenes del Río Turbio al oriente y sur de San Francisco del Rincón (Figura 6.3.3).

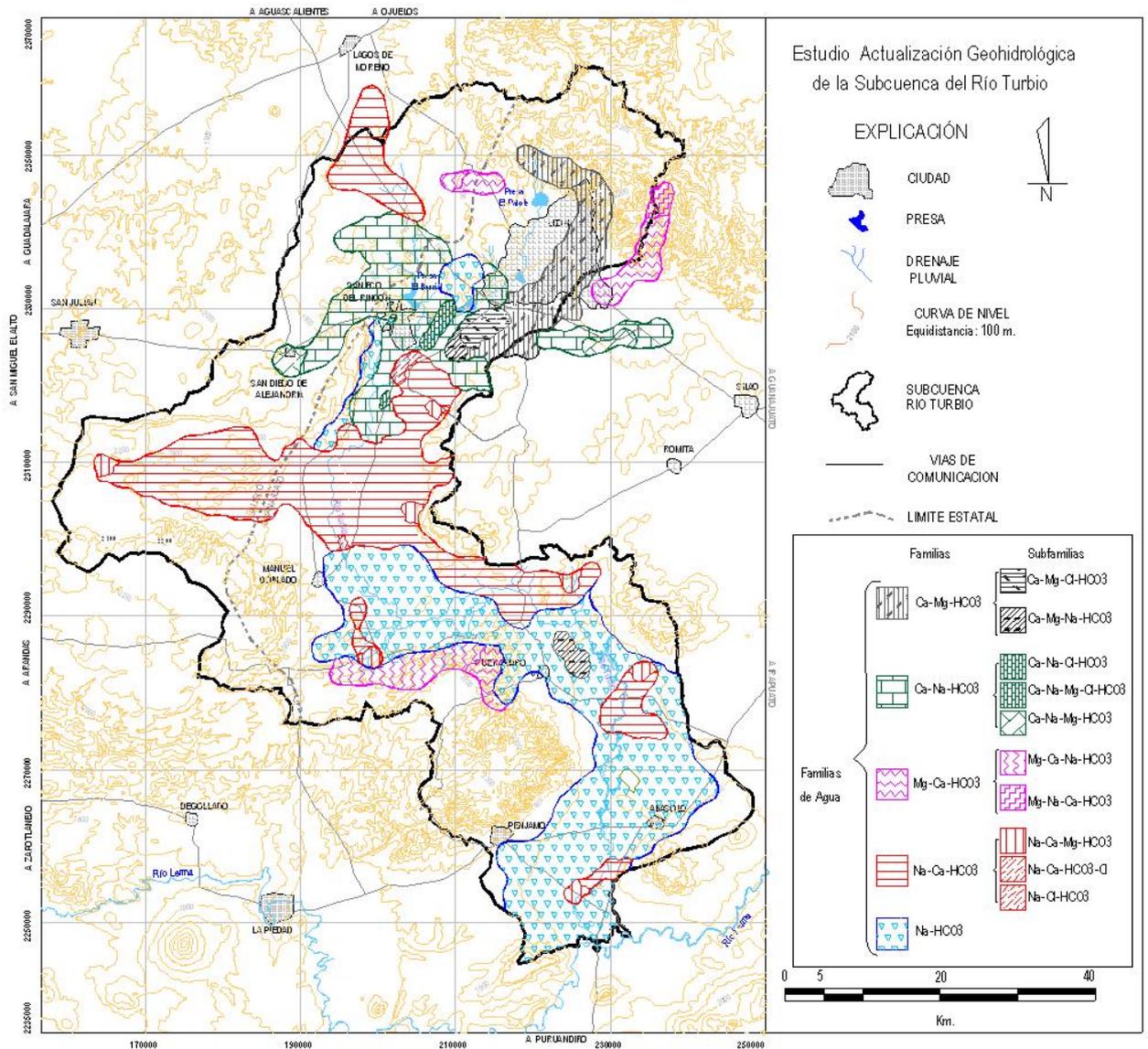


Figura 6.3.3 Distribución de las principales familias de agua.

Usualmente, el origen de esta familia se atribuye a la presencia de rocas carbonatadas, sin embargo, para la zona de estudio y como se muestra en el Plano Geológico, tales rocas son poco comunes en el área, por lo que el origen de los carbonatos puede estar relacionado a rocas volcánicas

donde ocurre disolución de plagioclasas cálcicas en concentraciones bajas, pero relativamente elevadas respecto a sodio y el magnesio. Cabe mencionar que cuando los componentes principales de una familia son el Ca y HCO_3 , ésta será típica de agua que fluye a través de sedimentos aluviales, tal es el caso de areniscas y conglomerados terciarios que afloran en la parte norte y noroeste de San Francisco del Rincón. Esta zona constituye una de las principales zonas de recarga natural que aporta agua al acuífero.

Magnésica Cálcica Bicarbonatada (Mg-Ca-HCO_3), tiene menor distribución que el resto de las familias y se concentra principalmente al norte de la subcuenca, al noreste de León, donde forma una franja con orientación NE-SW, al poniente de la Presa El Palote y de Cuerámara, en ésta última zona formando una franja con dirección E-W, coincidiendo con la zona de ladera de montaña. A la familia la integran dos subfamilias (Mg-Ca-Na-HCO_3 , Mg-Na-Ca-HCO_3), las cuales sólo tienen pequeñas variaciones entre el calcio y el sodio en relación a los componentes principales, a diferencia de las familias anteriores, el ion Cloruro no está presente por ser de reciente infiltración.

Sódica Cálcica Bicarbonatada (Na-Ca-HCO_3), se concentra en la zona centro occidental del área, está compuesta por tres subfamilias (Na-Ca-Mg-HCO_3 , $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ y Na-Cl-HCO_3), que al igual que en los casos anteriores se ubican en los alrededores de la familia principal, cubriendo zonas pequeñas. La distribución de esta familia coincide con una de las principales zonas de recarga de la subcuenca, la cual es abastecida por medio de sistemas de flujo intermedios y regionales, mismos que se transportan a través de riolitas y tobas riolíticas del Terciario, además de andesitas basálticas, también terciarias. La predominancia del Sodio en esta familia puede ser atribuido a la disolución de feldespatos sódicos, particularmente albita y oligoclasa, minerales abundantes en rocas riolíticas, que tienen amplia distribución en la zona (ver Plano Geológico, Plano 3.1), además de que tienen una gran presencia en el subsuelo, constituyendo en su mayoría la parte fracturada del acuífero regional, con grosores que alcanzan algunas centenas de metros (figuras 3.4 a 3.6).

El ion Cloruro forma parte de los componentes principales de dos subfamilias, si bien es cierto que éste no necesariamente involucra contaminación antropogénica, para la zona de estudio la distribución del mismo está limitada a las márgenes del Río Turbio, lo que hace permite suponer un origen no natural.

Sódico Bicarbonatada (Na-HCO_3), la familia tiene amplia distribución en la subcuenca, desde Manuel Doblado hasta la confluencia de los Ríos Turbio y Lerma. El origen de ésta agua se relaciona con un sistema de recarga de ladera, tomando su composición al pasar como agua infiltrada a través de

rocas volcánicas; es probable que este tipo de agua se relacione a un medio de circulación profunda ó intermedia relacionado a altas temperaturas del agua subterránea (Figura 6.2.4), que al circular a través de unidades riolíticas incrementa su concentración de sodio.

Por otro lado, al igual que el agua subterránea, la hidrogeoquímica del agua superficial presenta tendencias variadas, así, se optó por distinguir el comportamiento de los principales aniones y cationes de manera independiente para diversos aprovechamientos superficiales: presas, manantiales, ríos y norias, a través de diagramas de Schoeller.

En el estudio se muestrearon 5 presas o bordos. En lo que se refiere a los principales aniones y cationes (Ca, Mg, Na, Cl, SO₄ y HCO₃), dos presas muestran comportamiento similar: El Barrial (M-137) y De Jalpa (M-131), ubicadas al noreste de San Francisco del Rincón y sur de San Diego de Alejandría, respectivamente. Se encontraron bajos valores de cloruros y sulfatos, que junto con valores bajos en STD (85 mg/l para El Barrial y 67 mg/l para Jalpa), evidencian agua de reciente precipitación (Figura 6.3.4).

Las Presas De Silva (M-135) y El Sitio (M-134) muestran comportamiento distinto a las anteriores, la primera ubicada al sur de San Francisco del Rincón, aprox. 3 km al oriente del Río Turbio, tiene valores por encima de los reportados para las presas anteriores; aunque dentro de los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana (NOM-S127-SS1-1994), con excepción del pH.

La Presa El Sitio arrojó los máximos valores de aniones y cationes; así, en Cloruros contiene 185.45 mg/l, si bien por debajo del límite permisible por la NOM, una concentración mayor a 15 mg/l indica la presencia de contaminación antropogénica (COREMI, 2004).

Se tomaron muestras de ocho manantiales, la mayoría ubicados sobre zonas de ladera. En estos aprovechamientos los valores de los principales aniones y cationes están por debajo de la NOM, su común denominador son las bajas concentraciones en Cloruros, donde el valor máximo fue de 4.95 mg/l para el localizado al oriente de San Francisco del Rincón, aguas abajo de la presa el Barrial, muestra M-138 (Figura 6.3.5).

Con el fin de correlacionar las características del agua entre la cabecera norte de la Subcuenca del Río Turbio y la del Guanajuato, se tomó la muestra M-151, que corresponde a un manantial ubicado en la comunidad La Lagunita, al noreste del área de estudio. Sus resultados no presentan alguna tendencia especial y se comporta en la misma forma general que los manantiales. Esto permite sugerir la presencia de agua con un mismo origen y donde actúan procesos naturales similares en la parte norte de ambas subcuencas.

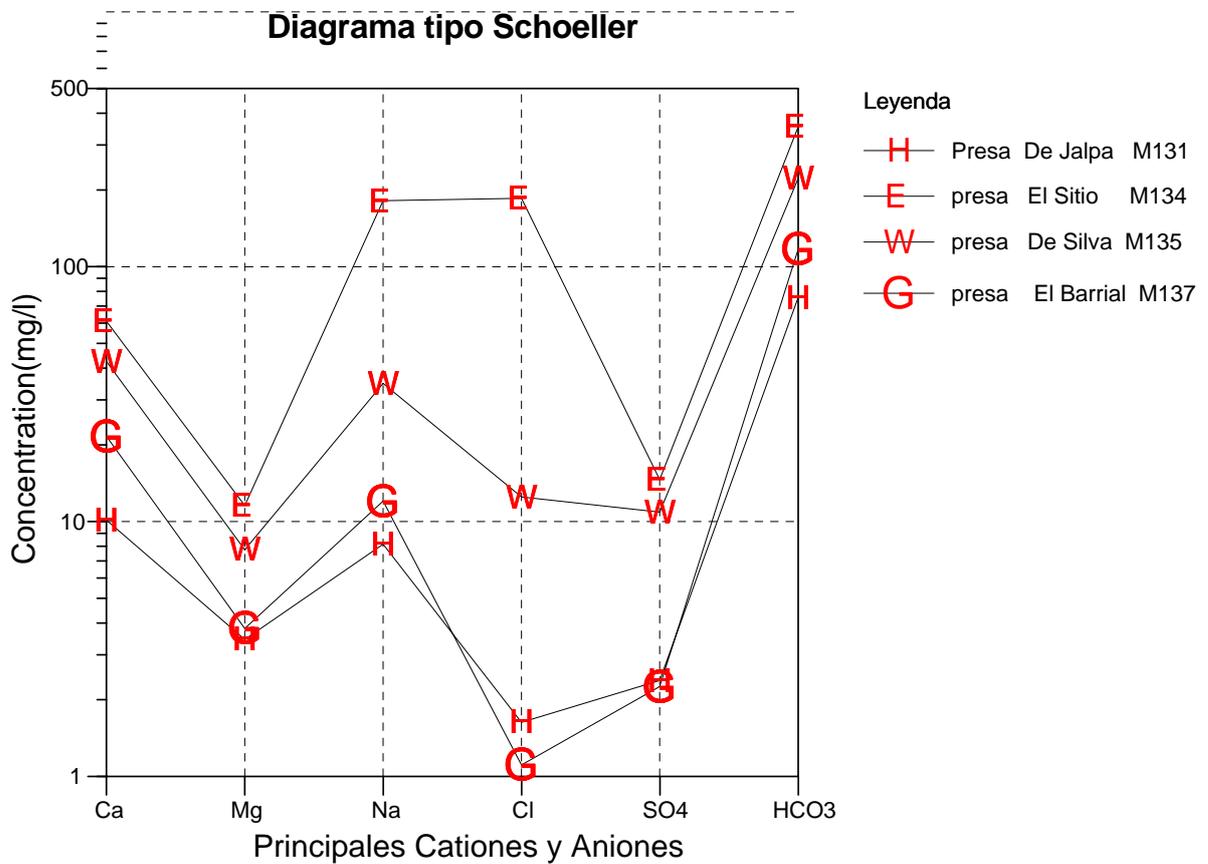


Figura 6.3.4 Diagrama Schoeller para iones principales de las presas.

De manera general el agua de los manantiales es de buena calidad (con excepción del pH para las muestras M-076, M-080, M-088 y M-151 donde es ácido, así como el Al y Fe de la muestra M-080, para el manantial ubicado en El Amarradero, Estado de Jalisco), su contenido de STD es bajo (de 27 mg/l para la muestra M-080 a 500 mg/l para la M-151) y, tal como se pudiese esperar para aguas de reciente infiltración, los contenidos de oxígeno disuelto son altos, hasta 91% mg/l para la muestra M-080.

Se tomaron muestras de seis norias, dos de las cuales arrojaron balance iónico superior a +/- 7.5% por lo que solo se indican 4 de ellas en la Figura 6.3.6, en la que se observa el comportamiento de

los iones principales. La M-101, ubicada al noroeste de León, presentó las concentraciones más bajas con respecto a las demás, evidenciando agua de reciente infiltración.

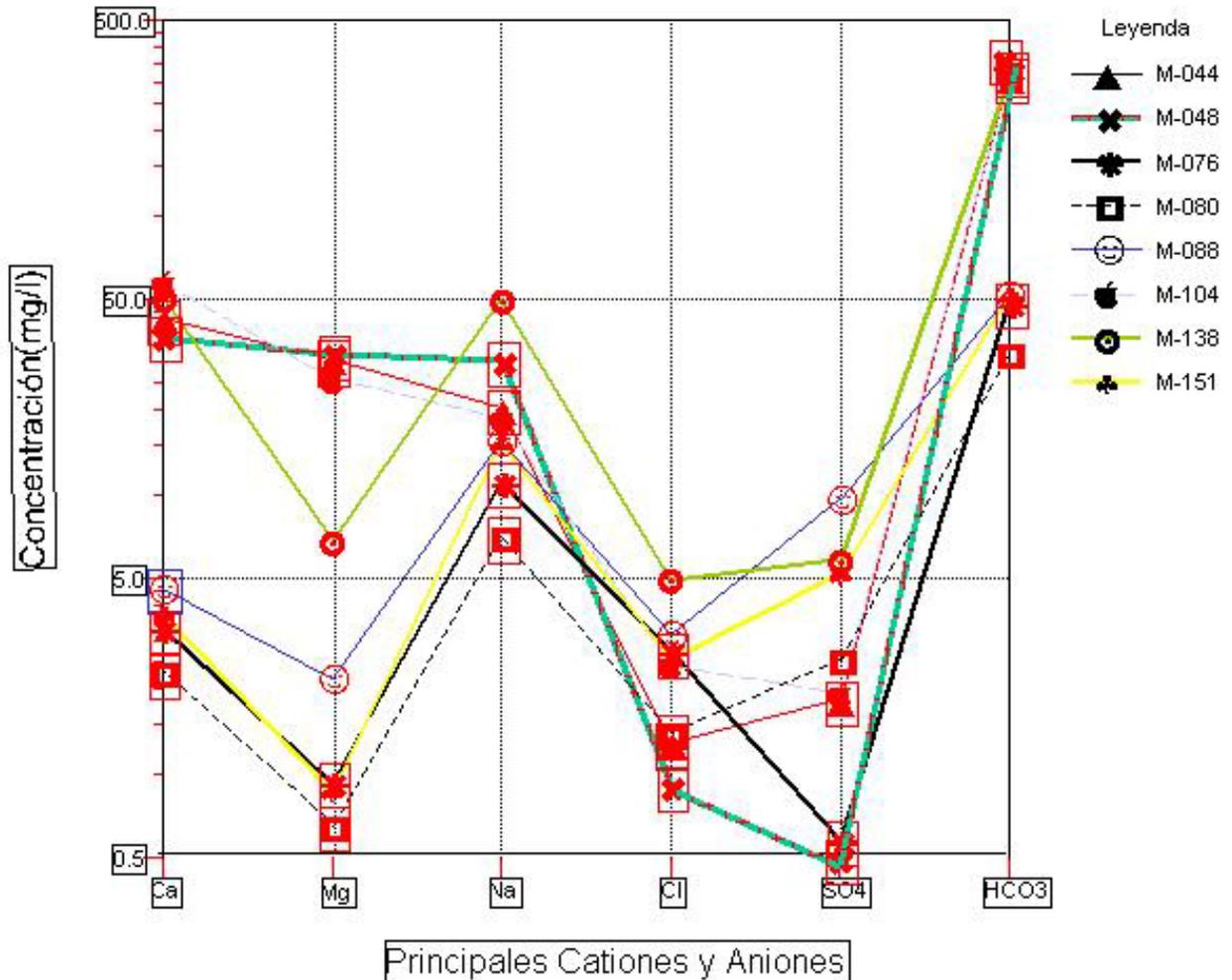


Figura 6.3.5 Diagrama Schoeller para los iones principales de manantiales.

Dos de las norias muestran tendencia típica aunque con concentraciones distintas, se trata de norias ubicadas al oriente de San Francisco del Rincón y con clave de muestra M-143 y M-144 (con claves oficiales de aprovechamiento 455 y 788), mismas que en la Figura 6.3.6 muestran líneas de comportamiento paralelas, aunque la M-143, ubicada en San Roque de Montes, tiene concentraciones menores que la ubicada en La Escondida. Las líneas de tendencia paralelas se pueden explicar por la cercanía entre ellas. Además se ubican sobre las márgenes del Río Turbio, con niveles estáticos someros, entre 5 y 6 m, lo que permite se incremente su vulnerabilidad ante los diversos productos que se vierten al el río.

Al observar la Figura 5.7, correspondiente a la evolución de niveles estáticos para el periodo 2003-2004, se aprecia como la noria con clave de muestra M-143 se ubica sobre una zona con evoluciones positivas de hasta un metro por año, mientras que la muestra M-144 se localiza en un área que ha evolucionado negativamente dos metros en el último año. Se sugiere que la noria menos contaminada (M-143) ha recibido aportes de agua de reciente infiltración, lo cual ha permitido la disminución en la concentración de sus constituyentes.

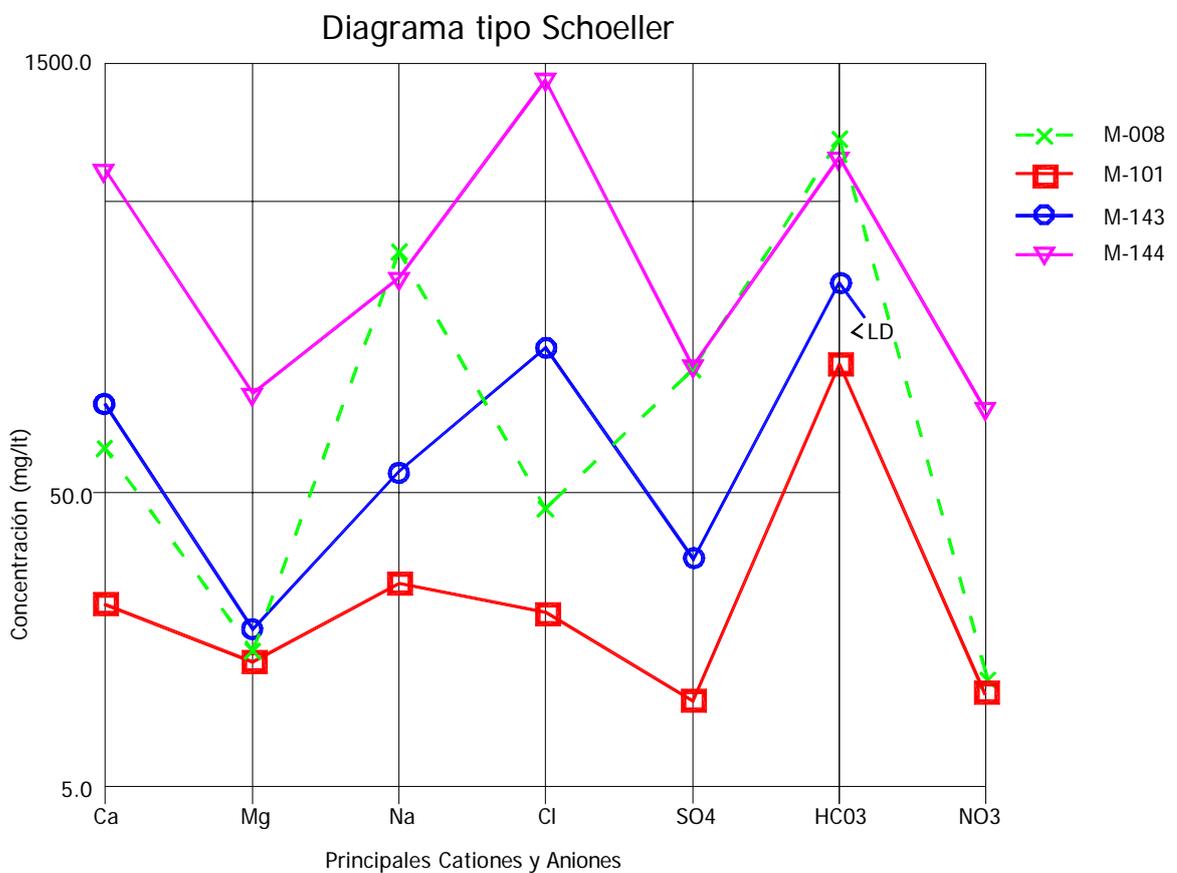


Figura 6.3.6 Diagrama Schoeller para iones principales de norias.

Si bien es cierto que la Figura 5.7 es representativa de zonas profundas del acuífero, representa un fenómeno similar en superficie, donde los escurrimientos de la parte noroeste de la subcuenca benefician y depuran de contaminantes a los aprovechamientos de la zona, mientras que otros están directamente relacionados con el Río Turbio, o con zonas con poco aporte de agua superficial.

Para el caso de las norias, los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana se han visto rebasados por algunos elementos, tal es el caso de la muestra M-144 donde los sólidos totales disueltos son del orden de 2,720 mg/lit (máximo permisible 1,000 mg/lit); la noria de la muestra M-008 presentó concentración de sólidos de 1,153 mg/lit, ambas sobre las márgenes del Río Turbio. Cabe mencionar que ésta última también rebasa el límite para Cloruros (250 mg/lit) al tener concentración de 1,302 mg/lit.

Valores bajos de Calcio permiten definir zonas potenciales de recarga con valores entre 10 y 100 mg/lit (Monreal, 2001), tal es el caso de la noria con la muestra M-101, con valores de 22 mg/lit y que por su ubicación (al noroeste de León) permite apoyar la existencia de flujo subterráneo proveniente de la parte norte de la subcuenca a través de un régimen de tipo local.

El Río Turbio se muestreó en dos ocasiones, la primera al concluir la época de secas (M-123) al sur de San Francisco del Rincón, mientras que la segunda se obtuvo cuando la temporada de lluvias estaba en pleno desarrollo, M-155, ubicada aproximadamente a 6 km al norte de la confluencia de los Ríos Turbio y Lerma.

En la Figura 6.3.7 se observa el comportamiento de los iones mayores para ambas muestras del río, arrojando éstas una tendencia similar pero con concentraciones diferentes, tal como sucedió con dos norias vecinas (M-143 y M-144). Las concentraciones sugieren que el río transporta los mismos elementos en época de secas y lluvias, sólo que para ésta última el agua de lluvia integrada al río a través de sus afluentes permite que disminuyan las concentraciones de algunos elementos.

La muestra M-123 excede en lo permisible por la NOM, al mostrar una concentración de sólidos totales disueltos de 2,470 mg/l, 678 mg/l de Sodio (límite permisible 200 mg/l) y 934 mg/l de Cloruros. Referente a los nitratos tres norias con claves de muestra M008, M101 y M144 exceden el límite permisible para nitratos por la NOM (10mg/l), la concentración del mismo elemento para la noria con clave M-143 fue menor al límite de detección utilizado por el laboratorio.

Los resultados de las muestras apoyan la teoría de que el acuífero tiene mayor vulnerabilidad a los contaminantes que transporta el río durante la época de secas, además de que la mayor parte de las márgenes del mismo, a partir de León y hasta su desembocadura con el Río Lerma, han sido afectadas por los contaminantes que transporta el río.

El comportamiento del ión Magnesio permite abundar sobre lo expresado en el párrafo anterior, cuando éste se presenta en concentraciones de 2 a 10 mg/lit puede representar una potencial zona de recarga, mientras que concentraciones por arriba de 20 mg/lit expresarían la presencia de aguas

residuales (Monreal, 2001). En la muestra M-123, tomada en secas, la concentración es 32 mg/lt, mientras que para la muestra M-155, tomada en época de lluvias, se determinó un contenido de 10 mg/lt, lo cual evidencia la presencia de agua de reciente precipitación.

Una vez mostrado el comportamiento de los iones principales en aprovechamientos de agua superficial, se discute el comportamiento general de los pozos muestreados, lo cual se apoyó en un diagrama Box and Whiker (Figura 6.3.8).

De 147 pozos muestreados, siete arrojaron balance iónico por arriba de +/- 7.5%, por lo que no se tomaron en cuenta en el diagrama. La tendencia general que se observa indica que aproximadamente 25% de los pozos han sido afectados por contaminación generada por el hombre, de la misma forma se deduce que el agua de al menos el 50% de éstos está relacionada a zonas de recarga, con agua de buena calidad.

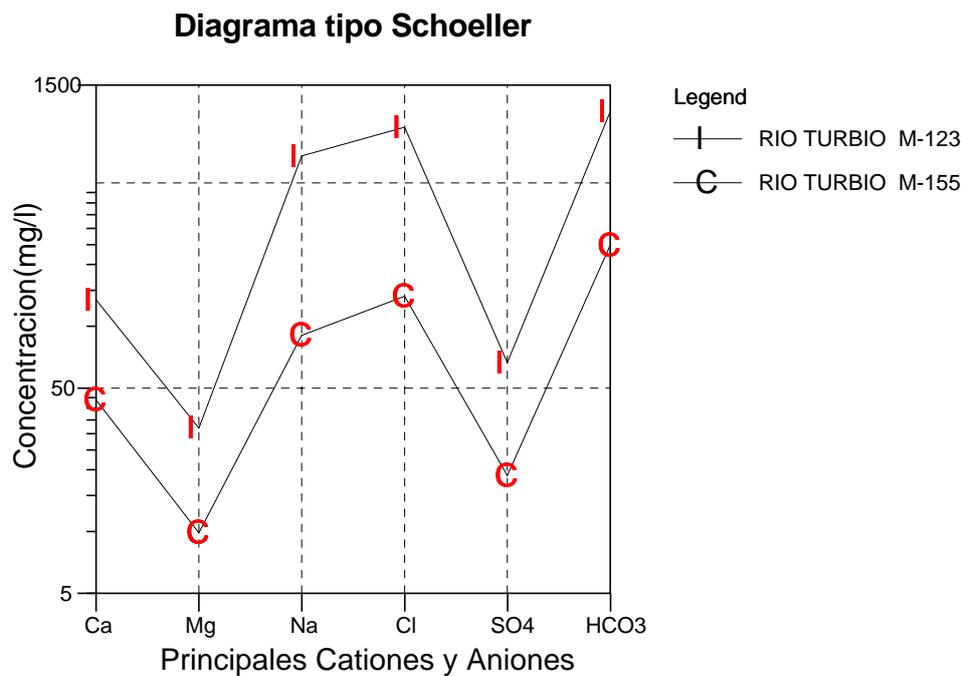


Figura 6.3.7 Diagrama Schoeller para iones principales en muestras del Río Turbio.

Lo anterior se desprende al analizar elementos como el Calcio, donde un poco más del 75% de las muestras se ubican por debajo de los 100 mg/lt, que habla de agua sana, posiblemente relacionadas a zonas de recarga. Aproximadamente 50% las muestras presenta valores del ión Magnesio por debajo 10 mg/lt, lo que también implica agua relacionada con zonas de recarga.

Diagrama tipo Box and Whisker

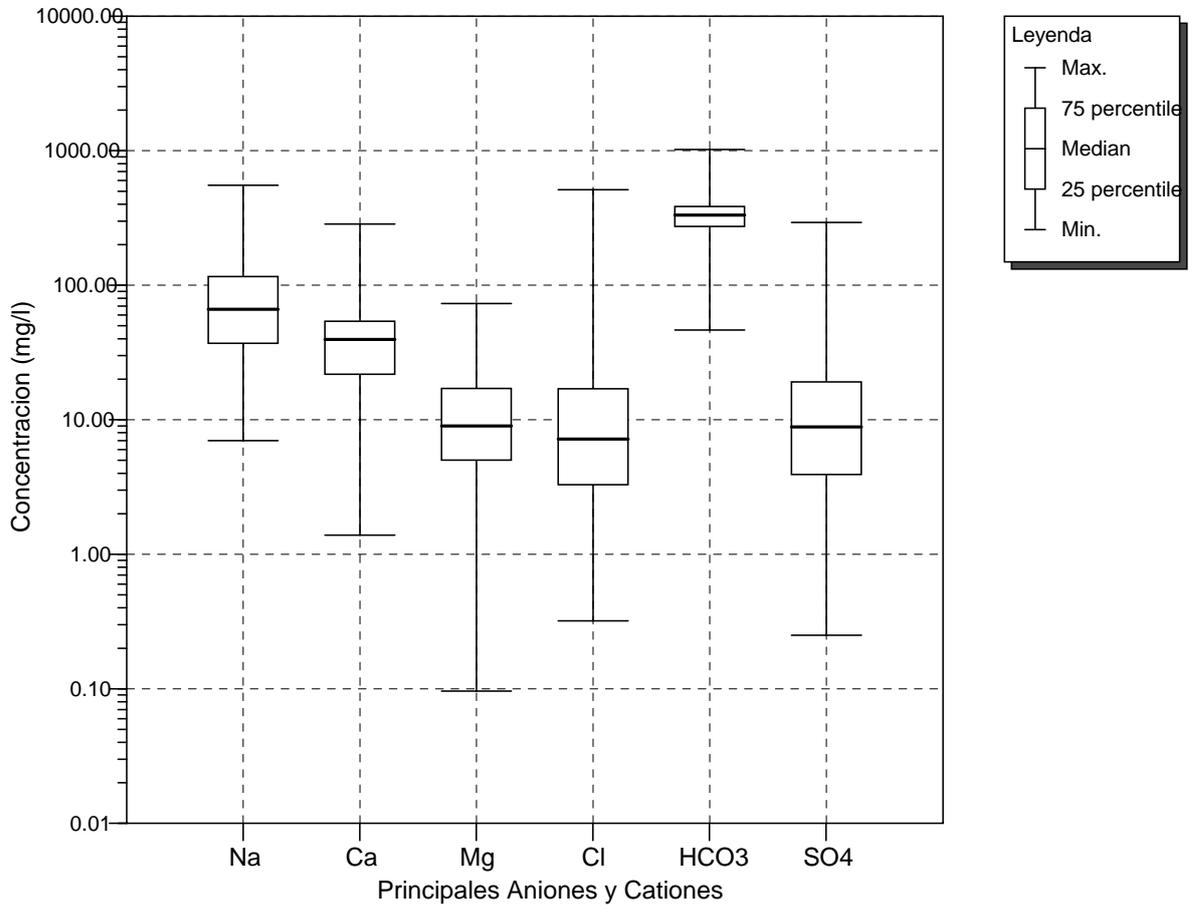


Figura 6.3.8 Diagrama Box and Whisker que muestra el comportamiento general de los pozos muestreados.

De la totalidad de los aprovechamientos muestreados son varios los que sobrepasan, en uno o varios parámetros de los determinados en este estudio, el límite permisible por la Norma Oficial Mexicana para calidad de agua (NOM-127-SSA1-1994).

6.4 Balances de agua superficial y subterránea.

El área de estudio forma parte de la Región Hidrológico-Administrativa VIII *Lerma – Santiago - Pacifico*, que incluye a la Subcuenca del Río Turbio y parte de los acuíferos: 1113 *Valle de León*, 1114

Río Turbio y 1120 Pénjamo-Abasolo. Los límites de los acuíferos, así como su disponibilidad media anual, se publicaron en el Diario Oficial de la Federación el 31 de Enero de 2003.

El 17 de abril de 2002 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del Recurso Agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de aguas nacionales. En esta norma se considera como unidad de gestión a la unidad hidrogeológica (que corresponde en nombre y clave al acuífero), con el propósito de considerar no sólo a los acuíferos sino también a sus zonas de recarga y descarga.

Balance de Aguas Superficiales.

La norma NOM-011-CNA-2000 de la Comisión Nacional del Agua, establece una serie de puntos a considerar para la elaboración de un balance de aguas superficiales. Para el área de estudio, dados los alcances del mismo, no fue posible contar con toda la información demandada en dicha norma, por lo que se recurrió a una fórmula simplificada para efectuar dicho balance

$$\text{VOLUMEN DE PRECIPITACIÓN} = \text{ESCURRIMIENTO} + \text{EVAPOTRANSPIRACIÓN} + \text{LLUVIA INFILTRADA}$$

Volumen de Precipitación :

Existen diferentes métodos para calcular el volumen de precipitación, en este estudio se utilizaron los métodos Thiessen e Isoyetas, para un área total de 4,635.101 km², determinada en base a la digitalización de la subcuenca con el programa ArcView.

Método de Thiessen.

De la página web de Comisión Nacional del Agua (www.smn.cna.gob.mx) se consultaron y obtuvieron datos de 12 estaciones climatológicas (Tabla 6.4.1) que se encuentran distribuidas a lo largo de la subcuenca, cubriendo toda su extensión. El periodo de análisis de los datos cubre desde 1963 a 1990 dado que no se encontró información actualizada. Una vez conocida la ubicación de las estaciones, se determinó la zona de influencia de las mismas a través de polígonos de Thiessen (Figura 6.4.1), de tal manera que se pudiese aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Si } V_p = H_{pm} \cdot A; \text{ Entonces } H_{pm} = \sum H_{pi} \cdot A_i / A$$

Donde:

Vp: Volumen de precipitación

Hpm: lamina de precipitación media

A: Área de la subcuenca

Hpi: Lámina de precipitación anual

Ai: Área de influencia del polígono

Tabla 6.4.1 Datos utilizados para obtener el volumen de precipitación por Thiessen

ESTACIÓN		COORDENADAS UTM		LÁMINA DE PRECIPITACIÓN ANUAL Hpi (mm)	ÁREA DEL POLÍGONO EN Km ² (Ai)	% DE ÁREA DE LA SUBCUENCA	Hpi Ai (mm·Km ²)
CLAVE	NOMBRE	X	Y				
11001	ABASOLO, ABASOLO	235691	2263188	702.2	266.68	5.75	187262.70
11003	AGUA TIBIA, PENJAMO	225371	2270735	693.1	298.39	6.44	206814.11
11014	CUERAMARO, CUERAMARO	220336	2281896	662.9	397.17	8.57	263283.99
11019	EL HUIZACHE	210225	2300531	673.1	226.78	4.89	152645.62
11020	EL PALOTE, LEÓN	221292	2339120	569.3	264.37	5.70	150505.84
11023	GUANAJAL, S. FCO. RINCÓN	202105	2332068	613.2	690.651	14.90	423507.19
11025	HACIENDA DE ARRIBA, LEÓN	219686	2346533	673.4	372.97	8.05	251158.00
11029	JALPA, P. DEL RINCÓN	189595	2311981	745.1	850.09	18.34	633402.06
11036	LAS ADJUNTAS	203085	2289576	697.3	304.25	6.56	212153.53
11045	MEDIA LUNA, LEÓN	237027	2348093	810.1	152.58	3.29	123605.06
11091	PENJAMO, PENJAMO	216522	2261648	677.2	372.29	8.03	252114.79
11112	MANUEL DOBLADO	192727	2293455	580.43	438.88	9.47	254739.12
SUMA					4635.101	100.00	3,111,192.00

Por lo tanto: $V_p = H_{pm} \cdot A = (0.671224 \text{ m}) (4635101210 \text{ m}^2) = \underline{3,111,191,174.58 \text{ m}^3}$

Método de Isoyetas.

El método de Isoyetas utiliza la misma ecuación que Thiessen, lo único que varía es el procedimiento para determinar el área de influencia de las estaciones climatológicas. En este caso se interpolan los valores de precipitación media anual a intervalos de 10 mm (Figura 6.4.1), las isoyetas fueron construidas con información obtenida de la misma fuente usada en el desarrollo del método Thiessen y su información se resume en la Tabla 6.4.2.

Utilizando la formula de volumen precipitado:

$$h_{pm} = \frac{\sum H_{pi} \cdot A_i}{A} = \frac{3,106,599.40 \text{ mm} \cdot \text{km}^2}{4,635.101210 \text{ km}^2} = 670.233 \text{ mm}$$

$$A = 4,635.101210 \text{ km}^2$$

$$\text{Entonces: } V_p = H_{pm} \cdot A = (0.670233 \text{ m}) (4635101210 \text{ m}^2) = \underline{3,106,597,789.28193 \text{ m}^3}$$

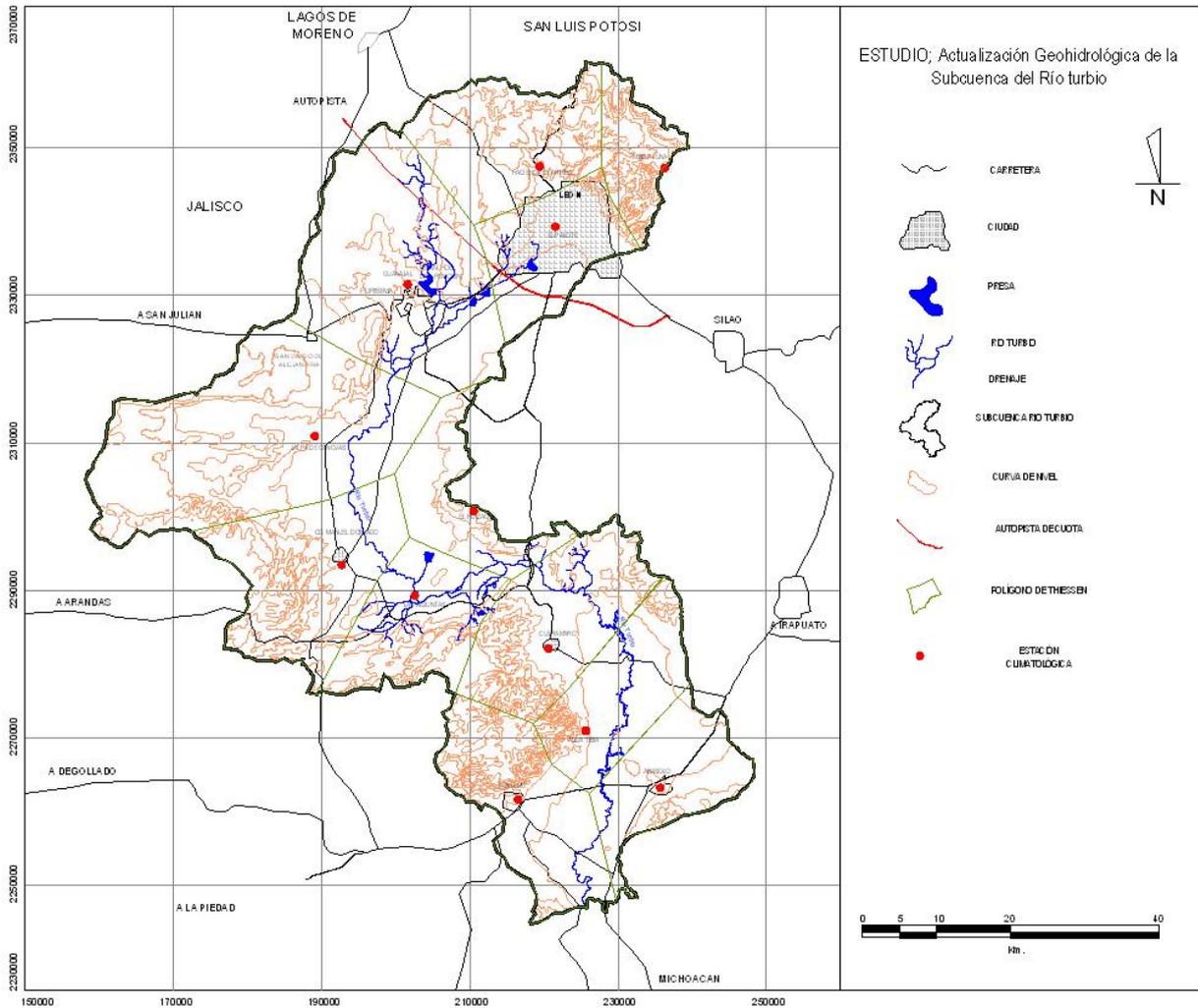


Figura 6.4.1 Polígonos de Thiessen para la Subcuenca del Río Turbio.

Las cantidades de volumen precipitado anual para la subcuenca son similares por ambos métodos, por lo que se les considera un valores confiables. Cabe mencionar que para efectos del balance se utilizó el resultado obtenido con el método de Thiessen y sólo se presenta el de Isoyetas con fines comparativos.

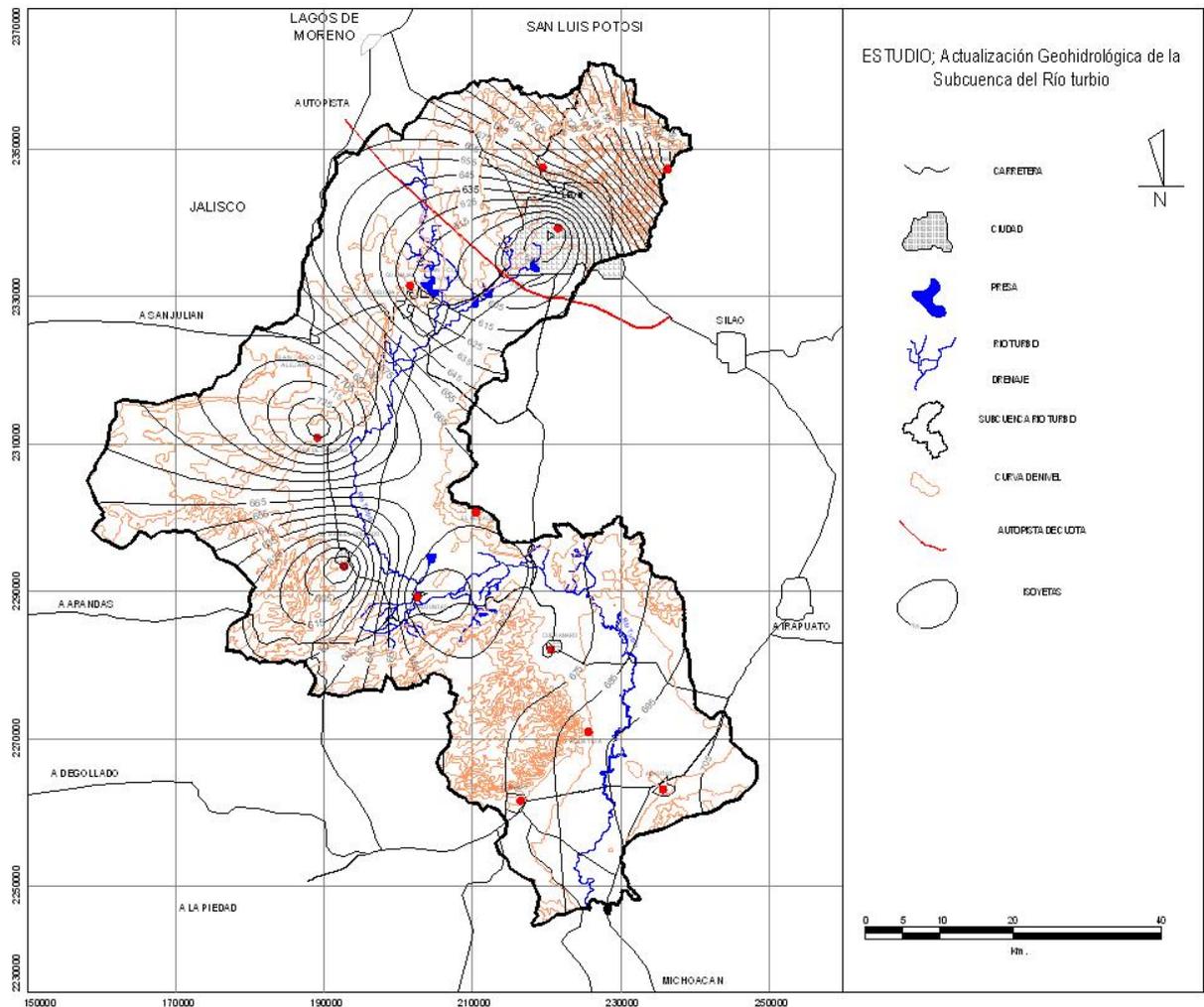


Figura 6.4.2 Isoyetas para el área de estudio.

Escorrento

La Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 establece en su apéndice informativo “A” el método para determinar el escurrimiento medio anual. En el presente trabajo no se contó con la suficiente información para aplicar esta norma, por lo que se utilizó el valor reportado por GUYSA (1999), en el estudio para CEAG, denominado: *Desarrollo de un modelo integral para el análisis coordinado de las aguas subterráneas y superficiales en las subcuencas de los ríos Turbio y Guanajuato*.

En dicho estudio el valor medio anual de escurrimiento calculado para un área de 3,277,950,000 m², que comprende la porción norte de la Subcuenca del Río Turbio, fue de 89,877,600

m³. De manera proporcional se obtuvo un valor de 37,211,517 m³ de escurrimiento para la parte sur (Pénjamo - Abasolo), y noroeste (Estado de Jalisco) con un área de 1,357,151,210 m², resultando un valor total de escurrimiento para la zona de estudio de 127,089,117 m³.

Tabla 6.2 Datos utilizados en el cálculo del volumen de precipitación, método de Isoyetas.

ISOYETAS	LÁMINA DE PRECIPITACIÓN	ÁREA ENTRE ISOYETAS	Hpy.Ai/(mm.Km ²)
565 - 575	570	0.577	328.89
575 - 585	580	21.199	12295.42
585 - 595	590	61.712	36410.08
595 - 605	600	117.358	70414.8
605 - 615	610	188.569	115027.09
615 - 625	620	231.460	143505.20
625 - 635	630	192.076	121007.88
635 - 645	640	212.208	135813.12
645 - 655	650	239.446	155639.9
655 - 665	660	348.936	230297.76
665 - 675	670	795.679	533104.93
675 - 685	680	767.596	521965.28
685 - 695	690	563.226	388625.94
695 - 705	700	408.148	285703.6
705 - 715	710	190.741	135426.11
715 - 725	720	83.856	60376.32
725 - 735	730	53.336	38935.28
735 - 745	740	31.246	23122.04
745 - 755	750	26.256	19692.00
755 - 765	760	28.456	21626.56
765 - 775	770	24.766	19069.82
775 - 785	780	17.356	13537.68
785 - 795	790	12.526	9895.54
795 - 805	800	10.316	8252.80
805 - 815	810	8.056	6525.36
TOTALES		4635.101	3,106,599.40

Evapotranspiración.

La evapotranspiración es la suma de evaporación y transpiración de una determinada área de terreno cubierta por vegetación. La vegetación pasa por un proceso físico - biológico, cambiando el agua que anteriormente había absorbido en forma líquida a vapor (transpiración); además la radiación solar genera otro proceso físico que cambia el agua almacenada de diferentes maneras en la superficie terrestre en vapor (evaporación).

Para el cálculo de la evapotranspiración, se aplicó la ecuación de L. Turc, la cual se expresa a continuación:

$$Er = P / [0.9 + (P^2 / L^2)]^{1/2}$$

Donde:

Er = Evapotranspiración Media Anual

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T = Temperatura Media Anual de Aire en °C

P = Lámina de Precipitación Media Anual en mm (Método de Thiessen).

$$L = 300 + 25 (18.705) + 0.05 (18.705)^3$$

$$L = 300 + 467.625 + (0.05 * 6544.45)$$

$$L = 1094.8475$$

Sustituyendo los valores de L y P en la ecuación de L. Turc, tenemos:

$$Er = 671.224 [0.9 + ((671.224)^2 / (1094.8475)^2)]^{1/2}$$

$$Er = 671.224 / [0.9 + (450541.658176 / 1198691.0482)]^{1/2}$$

$$Er = 671.224 / 1.12954$$

$$Er = 594.245 \text{ mm}$$

Por tanto, el volumen medio anual evapotranspirado en la subcuenca del Río Turbio es:

$$Etr = At * Er$$

$$Etr = 4635101210 \text{ m}^2 * 0.594245 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{Etr = 2,754,385,718.54 \text{ m}^3}}$$

Lluvia Infiltrada.

En base en la ecuación planteada inicialmente, para el Balance de Aguas Superficiales

$$\text{VOLUMEN DE PRECIPITACIÓN} = \text{ESCURRIMIENTO} + \text{EVAPOTRANSPIRACIÓN} + \text{LLUVIA INFILTRADA}$$

Por lo que Lluvia Infiltrada = Volumen de precipitación – Evapotranspiración - Escurrimiento

$$\text{Lluvia Infiltrada} = 3,111,191,174.5 \text{ m}^3 - 2,754,385,718.5 \text{ m}^3 - 127,089,117 \text{ m}^3$$

Lluvia Infiltrada = 229,716,339 m³.

En la Subcuenca del Río Turbio la lluvia que anualmente se infiltra es 229.7 Hm³. Volumen del orden reportado por estudios diversos para la misma subcuenca.

Balance de Aguas Suterráneas.

La Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, publicada el 31 de enero de 2003, apartado 4.3, establece el procedimiento para determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrológica o acuífero:

En la misma publicación en que aparece la NOM-011-CNA-2000 se definen los límites de 188 acuíferos, entre ellos los tres ubicados en la zona de estudio y se presenta el cálculo de disponibilidad de agua subterránea para los mismos (Tabla 6.4.3.). Conforme al cálculo oficial, para los tres acuíferos existe disponibilidad media anual de agua subterránea igual a cero, con déficit conjunto de 273.9 Hm³, lo cual indica sobreexplotación para la zona de estudio.

Tabla 6.4.3 Disponibilidad de agua subterránea para los acuíferos de la zona de estudio

Clave	Unidad Hidrológica (Acuífero)	R	DNCOM	VCAS	DAS	DÉFICIT
	Valle de León	156.3	0	285.2	0	-128.0
1113	Río Turbio	110	0	162.8	0	-52.8
1114	Pénjamo - Abasolo	225	0	317.3	0	-92.3

*Cifras en millones de metros cúbicos

Donde: R = **Recarga Media Anual**

DNCOM = Descarga Natural Comprometida

VCAS = Volumen concesionado de aguas subterráneas

VEXTET = Volumen de extracción consignado en estudios técnicos

DAS = Disponibilidad media anual de aguas subterráneas

Por otro lado, cabe señalar que la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 establece que los estudios de disponibilidad de agua sean por unidades acuíferas, a continuación se presenta una breve reseña del varios balances de aguas suterráneas elaborados para los acuíferos de la zona de

estudio, cabe mencionar que una de las principales zonas de recarga natural ocurre a través de la zona noroeste del área de estudio (Estado de Jalisco), que no está incluida dentro de los límites de acuíferos, por lo que parte del agua que entra al sistema por esa zona no fué contemplada en los balances de los acuíferos León y Río Turbio.

En 1998 Guysa elabora un balance de aguas subterráneas para el Acuífero León, los resultados más importantes se resumen en la Tabla 6.4.4

Al desarrollar de manera general la formula de cambio de almacenamiento se tiene lo siguiente:

Cambio de Almacenamiento = Entradas – Salidas

Cambio de Almacenamiento = 264.3 Mm³ – 312.5 Mm³

Cambio de Almacenamiento = - 48.2 Mm³

Tabla 6.4.4 Balance de aguas subterráneas para el Acuífero León.

SALIDAS	VOLUMEN Mm³/año
EXTRACCIÓN AGRÍCOLA	213.2
EXTRACCIÓN POTABLE	79.8
EXTRACCIÓN INDUSTRIAL	1.7
EXTRACCIÓN- ABREVADERO	11.3
SALIDAS LATERALES DE LA MURALLA	3.6
EVAPORACIÓN DE ALMACENAMIENTOS	3.0
SALIDAS TOTALES	312.6
ENTRADAS	
ENTRADA LATERAL RECARGA SUBTERRÁNEA	83.3
AGUAS RESIDUALES DESCARGAS DE LEÓN	90.0
INFILTRACIÓN POR LLUVIA	51.0
RETORNOS DE RIEGO	32.0
FUGAS DE AGUA POTABLE	8.0
ENTRADAS TOTALES	264.3

Para el Acuífero Río Turbio, Geopsa (1998) elaboró un balance de aguas subterráneas que se resume en la siguiente operación:

Cambio de Almacenamiento = Entradas – Salidas

Cambio de Almacenamiento = 150.6 Mm³ – 191.3 Mm³

Cambio de Almacenamiento = - 40.7 Mm³

De la misma forma, Lesser (1998), elaboró un balance de aguas subterráneas para el Acuífero Pénjamo-Abasolo, del cual se presentan las cifras finales a continuación:

Cambio de Almacenamiento = Entradas – Salidas

Cambio de Almacenamiento = 426.5 Mm³ – 503.3 Mm³

Cambio de Almacenamiento = - 76.8 Mm³

Para los tres acuíferos los balances arrojan déficit conjunto de 165 Hm³, cantidad menor a la referida en el Diario Oficial de la Federación respecto a los mismos acuíferos (273 Hm³), sin embargo no hay duda de que la zona de estudio tiene balance negativo.

6.5 Características isotópicas de la zona de estudio.

Para toma de muestras analizadas por isótopos se utilizó el protocolo definido por el Instituto Mexicano de Tecnología del agua (IMTA), el cual está regido por la Organización Internacional de Energía Atómica. Las concentraciones isotópicas del oxígeno y deuterio las reporta IMTA como abundancia relativa en partes por millar (‰), de acuerdo al estándar *Viena Standar Mean Ocean Water* (V-SMOW), mientras que para el tritio se maneja unidades de tritio (T.U.). Los resultados se reportan con un error experimental asociado con el análisis de 0.1‰ para el oxígeno-18 y de 1.2 ‰ para el deuterio, el análisis instrumental se realizó mediante un espectrómetro de masas Finnigan Mat Delta-S, mientras que para el tritio se utilizó un contador de centelleo líquido Packard 2560TR/XL.

Craig (1961), configuró datos isotópicos de la precipitación mundial y reportó que la composición isotópica de casi toda el agua meteórica mundial queda sujeta a la ecuación:

$$\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$$

el mismo autor adoptó universalmente la utilización del (V-SMOW) para las determinaciones de Oxígeno y Deuterio en el agua.

A partir de la relación expresada es posible discernir entre los orígenes de distintas aguas para cualquier localización geográfica a través del sistema de coordenadas compuesto por

$$\delta^2\text{H} \text{ vs } \delta^{18}\text{O}$$

independientemente de su composición, el agua se ubicará sobre una línea individual la cual intersecta a la línea meteórica obtenida de la ecuación general, en un valor característico de la precipitación local.

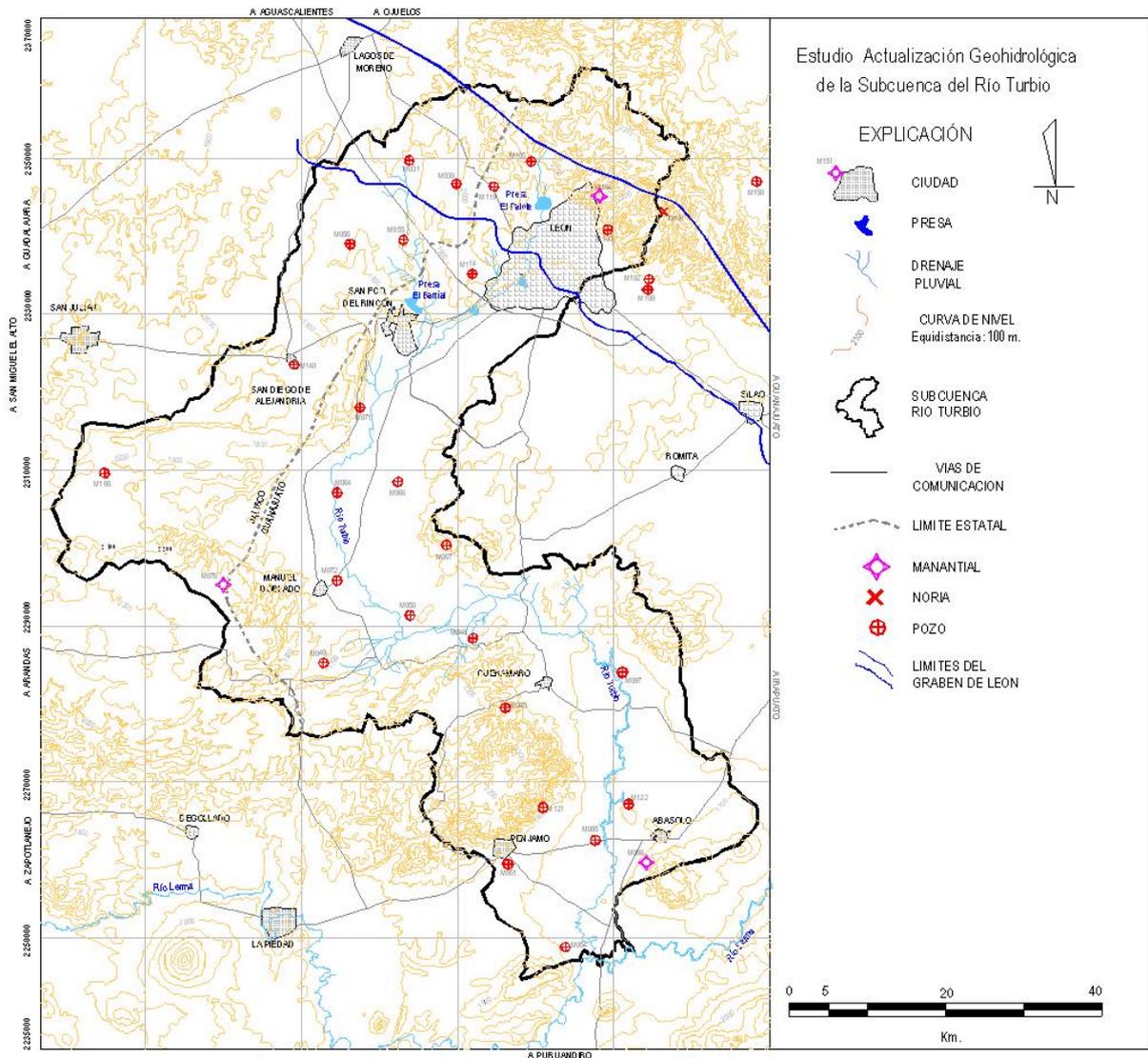


Figura 6.5.1. Localización de las muestras analizadas por isótopos.

Una vez que el agua se infiltre en un medio poroso o fracturado de una zona de recarga donde no exista evaporación alguna, la concentración isotópica no cambiará, excepto donde exista mezcla de otras aguas con diferente composición isotópica o donde predominen condiciones termales.

En el presente estudio se tomaron 35 muestras para ser analizadas por los isótopos O18, Deuterio y Tritio, de las cuales dos son estaciones de lluvia, cuatro manantiales, una noria y 28 muestras de pozos. La ubicación de las muestras para análisis isotópicos se observa en la Figura 6.5.1, para la distribución de las mismas se tomaron en cuenta factores como: a) que estuviesen incluidas

todas las regiones geográficas del acuífero, b) que se captara el acuífero superior y el regional, c) que el muestreo fuese lo suficientemente denso como para determinar particularidades isotópicas del mismo.

Oxígeno-18 y Deuterio

Ubicar en una grafica parejas ordenadas de $\delta^{18}\text{O}$ vs deuterio sobre una línea meteórica es de gran apoyo para determinar la evolución isotópica del agua, ya que el agua de lluvia generalmente tiene características isotópicas distintas al agua subterránea y superficial

De manera general, los valores que se ubiquen sobre la línea meteórica serán representativos de agua meteórica reciente, cuando estos se encuentren fuera de la línea significa que el agua original fue alterada por diversos efectos, los cuales se observan en la Figura 6.5.2.

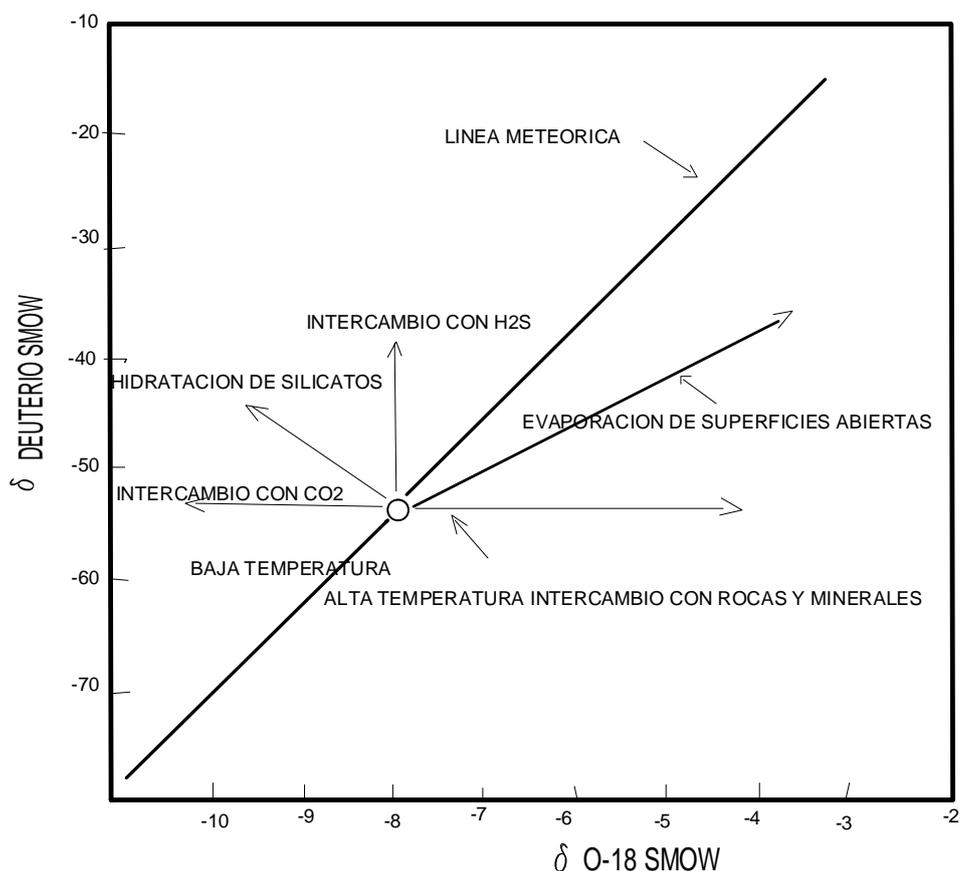


Figura 6.5.2 Efectos que alteran la composición isotópica del agua.

Para el desarrollo del estudio se utilizó la línea meteórica regional desarrollada para la porción central de México definida por la ecuación

$$\delta D^* = 8 \delta^{18}O^* + 11 \text{ (Cortés et al., 1997)}$$

la cual es válida para la zona de estudio según lo muestra la Figura 6.5.3, donde el agua de once estaciones de lluvia recolectadas para este estudio y para el estudio Potencial Geohidrológico del Graben de León (COREMI, 2004) se ubican sobre la línea meteórica.

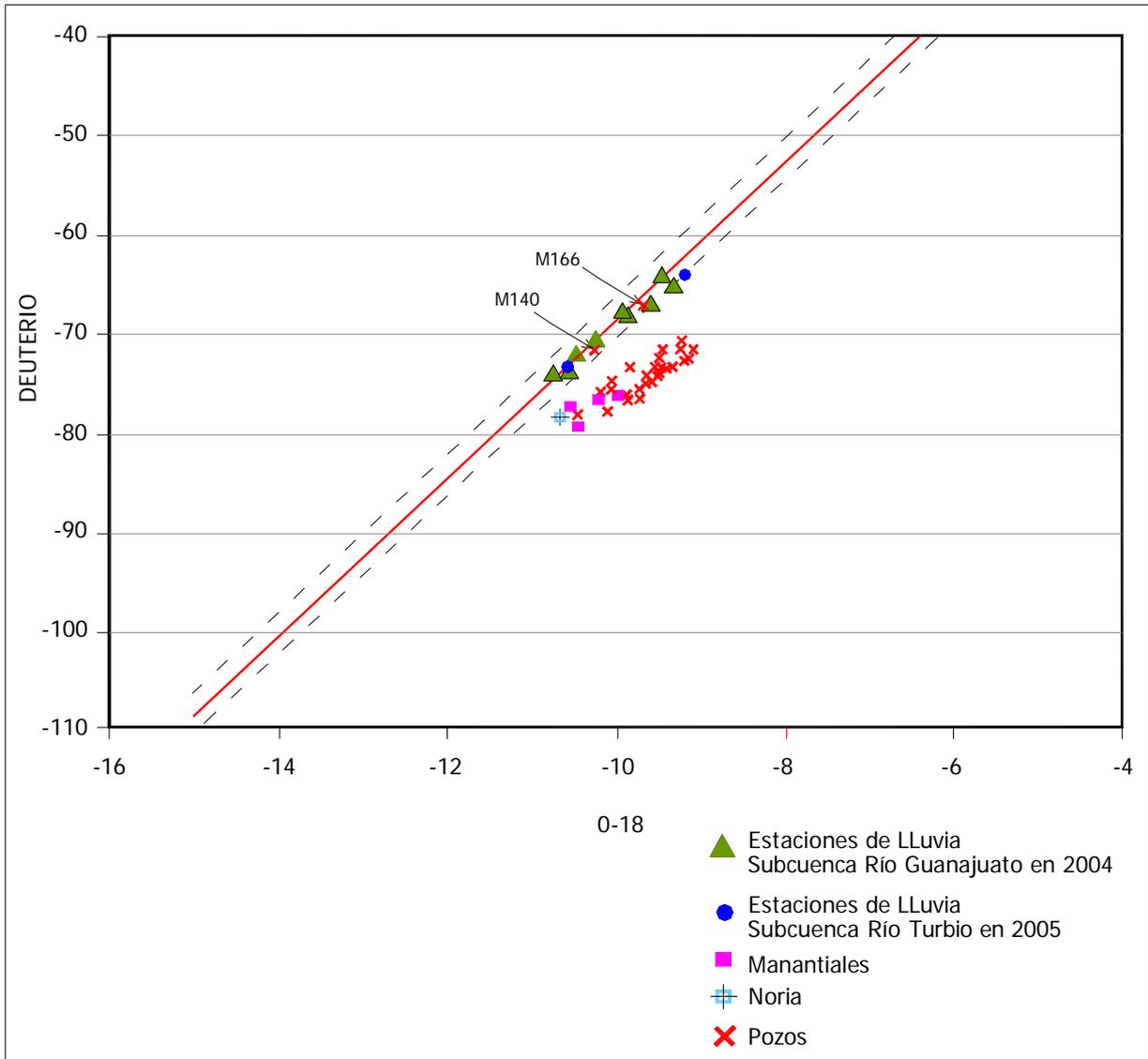


Figura 6.5.3 Ubicación de las muestras analizadas por oxígeno-18 y deuterio sobre la línea meteórica regional.

En la zona de estudio la mayoría de los datos graficados ($\delta^{18}O$ y δD) caen distintivamente por debajo de la línea meteórica local (Figura 6.22), lo cual indica que ha ocurrido un fraccionamiento

secundario o que la mayoría del agua es antigua y fue recargada en un régimen climático distinto que el caracterizado por la línea meteórica definida para la misma zona.

En la región de estudio los valores de Oxígeno y Deuterio de la mayoría de las muestras se agrupan en un intervalo estrecho, por lo que se infiere cierta consistencia de los valores isotópicos, lo cual tipifica el agua de la zona de estudio para el año 2004 por sus promedios isotópicos de $-9.81 \delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ y de $-74.2 \delta\text{D}/\text{‰}$.

La ubicación de la mayoría de los aprovechamientos muestreados cae bajo la línea meteórica, lo cual pone en evidencia la presencia de agua profunda, así como de agua proveniente de retornos de riego, lo anterior debido a un empobrecimiento de isótopos aunado a efectos de alteración producido por la evaporación.

Cabe mencionar que las muestras de agua somera no tienen características isotópicas distintas al agua más profunda, por lo que el modelo conceptual propuesto en el Capítulo 5 no se reafirma ni se contradice isotópicamente, lo cual posiblemente se deba a que el agua del acuífero somero que no es detenida por lentes de arcilla viaja a mayores profundidades, conservando sus características isotópicas, según se explica más adelante.

Es de resaltar el comportamiento isotópico de dos muestras (M140, M166) ya que su ubicación con respecto a la línea meteórica regional (Figura 6.5.3) permite suponer se trata de agua meteórica con características similares a la reciente. Sin embargo por su nulo contenido de tritio se deduce que para ambos casos el agua precipitó antes de 1953 y no experimentó importantes procesos de evaporación antes de su infiltración, que tampoco ha sufrido intercambio isotópico con aguas de características isotópicas distintas, ni con minerales oxigenados de rocas (silicatos o carbonatos), esto último por efecto de temperaturas altas (mayores a 120 °C)

Estas dos muestras se localizan al poniente de la subcuenca en las comunidades San Diego de Alejandría y La Vaquera en el Estado de Jalisco; dado que esta área coincide con unas de las principales zonas de recarga natural al acuífero, se infiere que ésta sólo es somera y generada por velocidades de infiltración altas a través de riolitas y tobas riolíticas terciarias alimentadas por un régimen de flujo tipo intermedio.

Si bien es cierto que para confirmar lo anterior sería interesante hacer una comparación entre los resultados isotópicos de dos campañas distintas en la misma zona, ya existen evidencias isotópicas y físico químicas a nivel regional de infiltraciones rápidas, como en el caso de la Subcuenca del Río Guanajuato, donde COREMI (2004) evidenció isotópicamente una recuperación del sistema acuífero en

la parte norte de la subcuenca producto de las copiosas lluvias de los últimos años que proveen de recargas frescas y rápidas con poco o nada de alteración isotópica. Otro caso similar está reportado en la zona de La Muralla, donde se refieren fuertes variaciones bimestrales en la composición química y temperatura de aguas subterráneas, lo anterior en aguas extraídas al mismo nivel de un pozo, así como a nivel regional (UNAM, 1999; Ramos, 2003).

Lo expresado dos párrafos atrás es necesario tomarlo con las reservas debido a que varios especialistas en isótopos recomiendan a fin de dar una mayor certidumbre a los análisis, basar la interpretación en resultados intercomparables de diferentes laboratorios, lo cual no se aplicó al presente estudio debido a que no se contó con resultados isotópicos de campañas pasadas, sin embargo en el Anexo 6.1 se presentan los resultados isotópicos de la presente campaña, por lo que en estudios posteriores en la misma zona podrán determinar la posible evolución isotópica a nivel de subcuenca.

Uno de los objetivos planteados para el actual estudio es tratar de determinar características isotópicas en las muestras ubicadas sobre el Graben de León, dentro de la subcuenca que nos ocupa. Debido a que la mayoría de las muestras se agrupan en un intervalo estrecho no es posible ver alguna particularidad que distinga las muestras captadas sobre el Graben de las tomadas fuera de éste, por lo que será recomendable analizar isotópicamente agua más profunda a través de pozos exploratorios y determinar así alguna particularidad que confirme la existencia de un sistema de flujo regional en la zona propuesto y esquematizado en la Figura 5.9, de tal forma que se reafirme el aporte de agua originado en subcuencas vecinas, evidenciado éste por contenido de tritio en la zona.

A través de la expresión:

$$\delta^{18}\text{O} = -2.13h - 3.3, \text{ donde } h \text{ es un factor de altura en Km}$$

es posible determinar un probable rango de altura topográfica de zonas de recarga. Dadas las concentraciones obtenidas para oxígeno-18 se infiere un probable rango de elevación de zonas de recarga entre 2,300 y 3,400 m. Cabe mencionar que la altura máxima de precipitación (3,400 m) no corresponde a la zona de estudio, por lo que es factible suponer entradas de agua de subcuencas vecinas, la cual posiblemente tenga las mismas características isotópicas de la Subcuenca del Río Turbio. Caso similar fue reportado por Cortés (1999) donde concentraciones de isótopos estables evidencian en la Subcuenca del Río Guanajuato, específicamente en la zona de La Muralla, una precipitación pluvial en cotas topográficas superiores a las existentes en la subcuenca.

Los resultados isotópicos sugieren que cuerpos de agua superficiales de la zona de estudio no manifiestan aportaciones considerables a la recarga del acuífero, esto debido a que muestras

influenciadas por dichos cuerpos de agua antes de recargar al acuífero tienen estancias prolongadas en superficie, donde actúa el fenómeno evaporación, que provoca que el agua remanente enriquezca ligeramente valores de O-18 y al dibujarlos en gráficas de líneas meteóricas generalmente se desplazan de la línea promedio de las demás muestras, colocándose a la derecha en sentido de la concentración de O-18.

Tritio.

El tritio es el isótopo radioactivo del hidrógeno, su formación puede ser natural (en la atmósfera) o artificial (ensayos termonucleares o industriales). Su distribución en la precipitación está condicionada por la latitud, proximidad al mar y distancia a fuentes artificiales o zonas de ensayos termonucleares. A inicios de la década de los cincuentas, como consecuencia de una intensa actividad termonuclear, apareció este isótopo de manera artificial, el cual se dispersó en toda la tierra debido a la acción del viento y la lluvia.

Factores anteriores, junto con la desintegración radioactiva, permiten utilizar los contenidos de tritio como indicadores de aguas recientes en los acuíferos y a la vez determinar posibles zonas de recarga natural.

Como ya se mencionó, la concentración de tritio se expresa en Unidades de Tritio (U.T.) donde $1 \text{ UT} = 1 \text{ átomo de tritio en } 10^{18} \text{ átomos de hidrógeno}$. El valor negativo indica que el resultado analítico es inferior al valor del estándar de referencia para agua sin tritio, lo cual implica que la muestra no contiene tritio ambiental.

Los contenidos de tritio en la zona indican de manera general la presencia de tres tipos de agua, a) con nulo contenido en tritio y por ende precipitada antes de 1953, b) con moderado contenido en tritio atribuible a agua con una determinada fracción procedente de precipitaciones antes de la década de los cincuentas, c) con mayor contenido en tritio relacionado con precipitaciones modernas como el agua de lluvia en el año 2004. Los anteriores tipos de agua tienen por origen los regímenes de flujo propuestos en el capítulo de Geohidrología (Figura 5.9).

Se tomaron muestras a cuatro manantiales, de los cuales dos presentaron concentraciones nulas de tritio (M076 y M104), lo anterior reafirma la hipótesis sobre la presencia de flujos regionales en la subcuenca. El agua que emerge a través de estos manantiales precipitó antes de 1953 y posiblemente utilice como medio de ascenso fallas y grandes discontinuidades regionales, los aprovechamientos se localizan al poniente de Cuerámara y norte de León (Figura 6.5.4), ambas zonas

con fuerte presencia estructural ya sea inferidas por medios magnéticos o delimitadas y cartografiadas en campo (figuras 3.1 y 3.3). A diferencia de lo anterior, los manantiales con clave de muestra M088 y M151 evidencian agua prácticamente reciente (2.6 y 3.38 U.T.), infiltrada al sur de Abasolo a través de riolitas y tobas riolíticas del Terciario, de igual forma al norte de la Subcuenca del Río Guanajuato en la comunidad La Lagunita, a través de riolitas terciarias.

Los manantiales ponen en evidencia dos tipos de agua, uno sin tritio con tiempo de residencia en el subsuelo mayor a 52 años y otro prácticamente reciente. Las características químicas del agua reciente en manantiales son similares, no así las características físicas ya que existe una diferencia notable en la temperatura y su contenido de sólidos totales y oxígeno disuelto. El agua sin tritio para ambos manantiales no presenta características físico-químicas similares, lo anterior pudiese ser por la diversidad geológica del subsuelo que enriquece o empobrece el agua en función de la litología característica del medio por donde fluye.

La temperatura del agua en manantiales muestreados por isótopos fluctúa entre 17.2 y 25.8 °C con un promedio de 21.2 °C, lo cual no está relacionado a termalismo, hecho que deja abierta la posibilidad que sean flujos con régimen intermedio generados posiblemente dentro de la subcuenca que alimenten a los manantiales, de ser así, el tiempo de infiltración para la zona de manantiales sin tritio es más lento de lo esperado.

A pesar de que en la zona no fueron muestreados manantiales termales por isótopos, éstos han sido reportados en la región por COREMI, 2004 donde el manantial Comanjilla representa flujos regionales evidenciado por su alta temperatura, así mismo, Ramos, (2004), reporta agua termal (tipo Comanjilla) relacionada a flujos verticales de carácter regional o intermedio conducidos por debajo del Conglomerado Guanajuato y canalizados a través de fallas que lo conectan hidráulicamente con el acuífero en explotación.

En la zona existe evidencia concreta de que flujos regionales son conducidos a niveles superficiales por fallas de carácter regional, tal es el caso del pozo con clave L-251, muestra M097, localizado en la comunidad Cerrito de Agua Caliente, oriente de Cuerámara, donde el nivel estático es de 25 m, la temperatura del agua es de 51.5 °C y no presenta contenido de tritio, por lo que la edad del agua al menos es de 52 años. A pesar que el aprovechamiento se localiza a 1 km del Río Turbio, éste no se ve influenciado por agua reciente debido a que posiblemente su única fuente de abastecimiento sea un flujo termal de carácter regional.

Un caso similar ocurre en la comunidad La Atarjea, al sur de la subcuenca casi en la confluencia Turbio - Lerma, donde el agua del pozo tiene nivel estático de 39 m, con temperatura de 33.3 °C y sin contenido de tritio. Si bien es cierto que la temperatura no es alta, a tan solo 5 km al noroeste en el Ejido Paso de Piedra se muestreó un pozo (M093) y el agua presentó temperatura de 51.2 °C.

Otra evidencia de que el fallamiento participa activamente en el aporte de agua al acuífero se discute en el capítulo de hidrogeología, específicamente en el apartado de parámetros hidráulicos, donde se refiere que al noroeste de Cuerámara piezométricamente no se observa una zona de recarga, sin embargo las evoluciones anuales son de carácter positivo además de valores de transmisividad y conductividad altos, por lo que posiblemente la fuente de recarga en esa zona sea vertical a través de una falla normal con dirección noreste-sureste (figuras 3.1 y 3.3), lo anterior debido a que sobre la misma las conductividades se mantienen altas, además que la muestra M050 que corresponde a un pozo que se ubica prácticamente sobre la falla no contiene tritio, de la misma forma el contenido de oxígeno-18 (-10.05 ‰) indica que el agua precipitó en una cota topográfica aproximada a 3,160 m, la cual no pertenece a la subcuenca del Río Turbio, por lo que el agua además de tener más de cinco décadas de circulación en el subsuelo viajó desde una subcuenca o cuenca vecina.

De las muestras analizadas por Tritio, 23 de 35 carecen del mismo, éstas se distribuyen en toda la zona de estudio y tienen influencia sobre todas las profundidades piezométricas. Si bien es cierto que gran parte del agua utilizada en la subcuenca ya sea para uso industrial o urbano es pre-moderna, difícilmente fue aportada en su totalidad a través de fallas que conducen un flujo regional, por consiguiente en gran parte del acuífero sobre todo donde no existen condiciones termales (16 aprovechamientos sin tritio carecen de condiciones termales) los niveles del acuífero no han sido renovados por agua de precipitaciones recientes, al menos desde los últimos cincuenta años. Los siete aprovechamientos sin tritio que presentan termalismo posiblemente reciban una recarga permanente de agua ascendente a través de las ya referidas fallas regionales.

Al ser pre-moderna (anterior a 1953) gran parte del agua que extrae en la zona de estudio, la implicación es que la recarga moderna en su mayoría queda limitada a los niveles superiores del acuífero, es decir, en profundidades mayores de donde se extrae la mayor parte del agua la influencia de la recarga es poca y el aporte de flujos regionales profundos es mayor. Lo anterior se puede relacionar con el flujo de agua tipo pistón, donde a profundidad a través de grandes discontinuidades

regionales se tienen entradas de agua laterales y verticales, mismas que por diferencia de presión hace que el agua antigua (sin tritio) tienda a emerger.

Concentraciones entre 0.1 y 2.1 U.T. se obtuvieron de ocho aprovechamientos (Figura 6.5.4), los cuales evidencian una mezcla de agua moderna con una determinada fracción de agua procedente de precipitaciones anteriores a 1953. Caso similar es reportado por Ramos (2004) en La Muralla, donde agua termal de flujos verticales profundos (tipo Comanjilla en dicho texto) se mezcla a profundidad con agua moderna originada en la Sierra de Pénjamo (tipo Tultitlan).

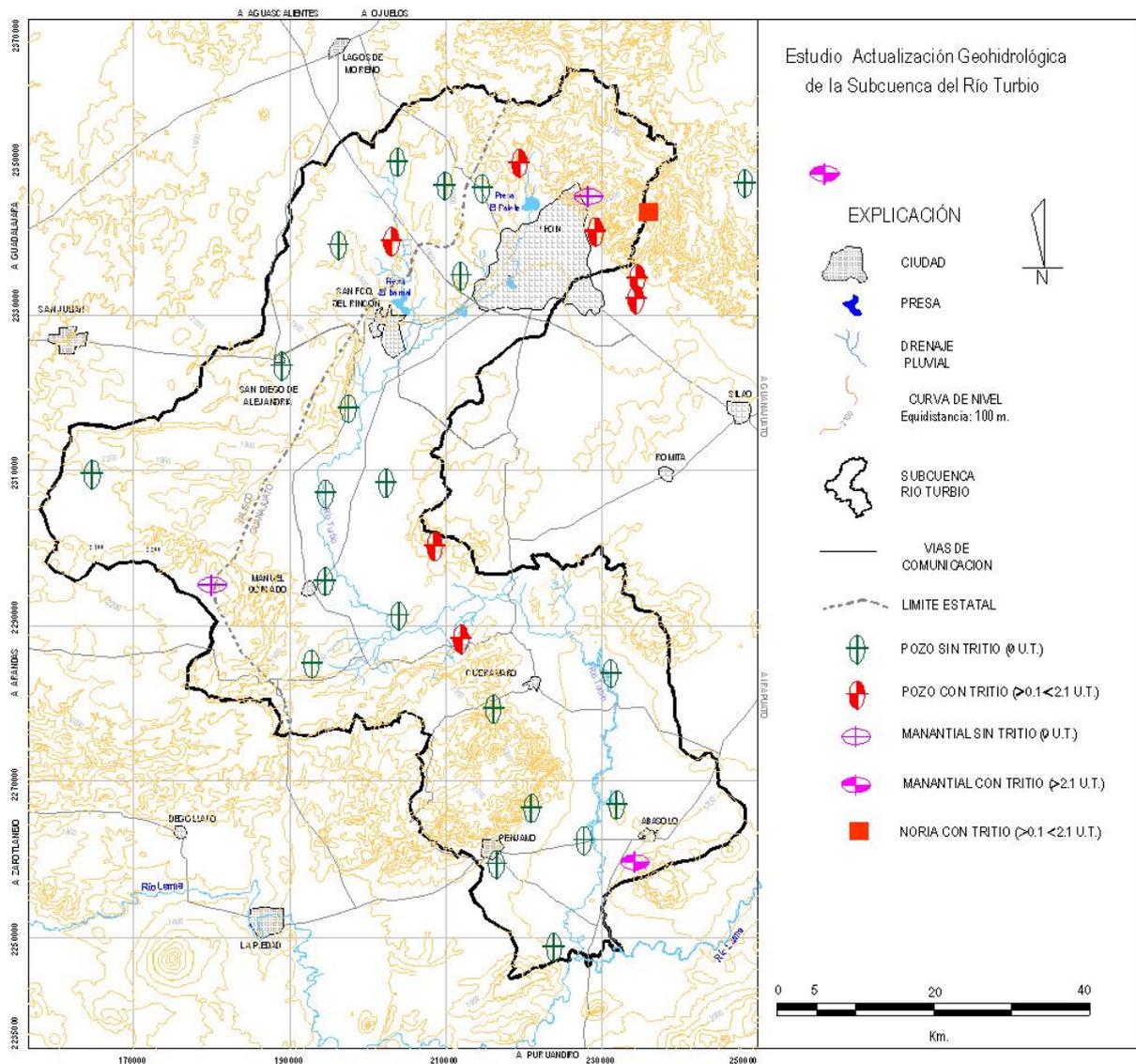


Figura 6.5.4 Ubicación de las muestras analizadas por tritio y contenido del mismo.

Al ocurrir la mezcla antes descrita no hubo variación isotópica en el agua ya que posiblemente ambas tenían las mismas características isotópicas, lo cual indica que se precipitaron bajo condiciones climáticas semejantes y no han sufrido variaciones importantes, es decir, al ocurrir una mezcla de dos aguas con distintos orígenes geográficos y características isotópicas (oxígeno-18 y deuterio), se produce una variación isotópica al momento de la mezcla la cual se refleja en la gráfica O-18 vs D. Para la zona de estudio, las evidencias de aporte de agua fuera de la subcuenca o cuenca son claras, en la Figura 6.22 se observa un agrupamiento estrecho indicando condiciones similares de precipitación para toda la zona.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se propone la existencia de un sistema acuífero de tipo libre a semiconfinado localmente. En los primeros 30 metros y en algunas zonas se verifica la presencia de un acuífero superior, agotado en la mayoría de los casos y que solo sustenta aprovechamientos de escaso gasto. Por debajo de este se encuentra un acuífero regional de amplia extensión y con una composición variable, cuyo espesor puede llegar hasta 800 o 1000m. Se trata de un sistema acuífero donde el agua circula por dos medios: uno granular con características heterogéneas y otro fracturado constituido por rocas volcánicas. Ambos medios están comunicados hidráulicamente entre sí y con subcuencas vecinas en forma directa o en forma parcial, a través de fallas y fracturas.
- Las formaciones acuíferas están representadas en general, por rellenos granulares recientes, en su parte superior y por rocas riolíticas fracturadas en su parte basal, así como basalto y andesita, con edades que van del Terciario Medio al Cuaternario. Estos materiales rellenan un sistema de depresiones tectónicas de hasta cerca de 1000 m de profundidad. fosas. El basamento hidrogeológico está constituido por rocas plutónicas y metasedimentarias de edad mesozóica y de la base del Terciario, que afloran en la sierra de Guanajuato.
- Los niveles estáticos varían desde 5 hasta poco más de 150m, con valores promedio de aproximadamente 60. Se observaron los mayores abatimientos en las zonas sur y sureste de San Francisco del Rincón, con 80 m y 155 m respectivamente y velocidades de abatimiento de casi 4 m anuales, alcanzado valores de 20m en los últimos cinco años. En el mismo período hubo abatimientos de entre ocho y diez metros en la zona de La Muralla y de cuatro a nueve metros para los alrededores de Cuerámaro y Pénjamo. Las partes norte, sur y suroeste de León, muestran abatimientos de hasta 3 m por año. En toda la parte medio oriental de la subcuenca, desde los alrededores de Cuarámaro, hasta la zona sur de León, existe una tendencia clara al abatimiento, con descensos de entre 1 y 20 m en los últimos 5 años.
- Es probable que la batería de pozos ubicada en La Muralla ocasione que el flujo subterráneo de la parte norte del Valle de León modificara su dirección original y ahora viaje al poniente atraído por el cono de abatimiento desarrollado.
- Se reconocieron también algunas zonas que se mantienen estables e incluso han mostrado tendencia a la recuperación, como ocurre hacia la parte media de la subcuenca, en una franja que va desde la parte oriente de San Diego de Alejandría, hasta Manuel Doblado, zona favorecida por las recargas provenientes desde el occidente del área. Al oriente de León existe

un domo que se ha mantenido estable al menos desde 2002, alimentado presumiblemente a través de una falla regional.

- Se observan al menos tres principales zonas de recarga natural, una localizada al norte y noroeste de la subcuenca, ocurre a través de areniscas y conglomerados terciarios; la segunda se ubica al poniente del área específicamente entre los poblados Manuel Doblado y San Diego de Alejandría, a través de andesitas y basaltos terciarios. La tercera zona se localiza en las inmediaciones de Pénjamo, donde afloran tobas riolíticas terciarias que favorecen la infiltración.
- Las direcciones de flujo subterráneo se han invertido en la mayor parte de los valles de la zona de estudio, excepto al norte y oriente de Cuerámaro, así como al noroeste de San Francisco del Rincón.
- En la subcuenca se tiene una recarga total anual de 279.6 Hm³, la cual es superada por extracciones de 436.6 Hm³, generando un déficit de 157 Hm³.
- La mayoría del agua de los pozos tiene comportamiento del tipo sódico-bicarbonatado, con calcio y magnesio y una menor proporción de sulfatos, aunque se reconocieron gran variedad de subtipos de agua. Las más comunes de estas clases de agua se relacionan directamente con el intemperismo del entorno geológico; sin embargo, se verifica también la influencia de actividades antrópicas y remanentes de actividad hidrotermal.
- Se reconoció afectación antropogénica en cerca de un 25% de los pozos. El resto de los mismos presenta agua de calidad general buena.
- La hidrogeoquímica de la zona permite concluir que el acuífero alcanza una mayor vulnerabilidad a los contaminantes que transporta el Río Turbio durante la época de secas. De los parámetros analizados, diez sobrepasan lo permitido por las normas oficiales actuales en algunos aprovechamientos: Mn, Fe, Cr, Al, As, Na, STD, Cl, Nitratos y Se (límite máximo de la OMS). Los casos críticos, por su número y carácter perjudicial corresponden a As y Se; su presencia se interpreta como respuesta al proceso natural de mineralización en la región, aunque no de manera clara a la minería. Contrariamente a lo esperado, solo dos aprovechamientos superaron la norma por nitratos, dada la intensa actividad agrícola del área. Se detectaron trazas de mercurio en 4 aprovechamientos de la zona central de la subcuenca.
- Se reconoce una zona que alberga varios aprovechamientos con altos valores en el contenido de STD, varios otros parámetros y elementos; entre ellos, metales nocivos como arsénico y cromo. Esta zona se extiende entre las ciudades de San Francisco del Rincón y León, hacia las cercanías del cauce del Río Turbio y hasta unos 10 Km al sur de la primer localidad.

Dentro de la subcuenca, es la zona que acusa mayores y más importantes indicios de afectación por descargas urbanas e industriales.

- Varias de las presas muestreadas revelaron concentraciones importantes de algunos metales, como Al, Mo, Cu, Fe, Mn, Ni, y Zn. La presa San José, cercana a el rancho El Toril, ya en la porción jalisciense, mostró las mayores anomalías, especialmente en Al y Fe, aunque también se reconocieron concentraciones significativas de los metales mencionados en las presas Jalpa, Silva y El Barrial. La presencia de algunos de estos metales y otros elementos puede explicarse en parte por el intemperismo de las rocas y zonas mineralizadas locales y a que los almacenamientos tienden a favorecer la concentración y acumulación de algunos elementos, pero otros valores sugieren algún tipo de contaminación por fuentes antropogénicas, probablemente actividades mineras o industriales. En este sentido destaca la presa San José, que pudiera tener alguna influencia en pozos cercanos, como en la localidad de San Diego de Alejandría.
- Los datos isotópicos e hidrogeoquímicos revelan que una gran proporción del agua extraída en el área es premoderna; es decir, que no es de reciente infiltración y que en algunos casos proviene de zonas profundas o alejadas de la subcuenca. En la circulación de estos flujos regionales juegan un papel importante las grandes estructuras geológicas. Esta aseveración se ve soportada también por la ocurrencia de manifestaciones termales.
- La información isotópica e hidrogeoquímica revela parte del funcionamiento acuífero en el área, aunque también es indicativo de sobreexplotación. Los datos también apoyan la idea de la existencia de fuentes de recarga importantes desde la región oriental de Jalisco.

7.2 Recomendaciones

- Fijar nuevos volúmenes de extracción en zonas de mayor abatimiento a fin de que éste reduzca su velocidad hasta alcanzar un estado de equilibrio.
- Generar, actualizar y aplicar políticas de cambios y rotación de cultivos a los que requieran una menor cantidad de agua. Incentivar a los productores que accedan al cambio para evitar que sigan utilizando cultivos de bajo rendimiento y alto consumo de agua.
- Fomentar e incentivar la modernización de sistemas de riego, que eviten el desperdicio y las pérdidas por evaporación, lo cual redundará en reducción de costos por consumo de electricidad. Estudiar las posibilidades de implementar nuevos cultivos que permitan un mejor aprovechamiento de menores volúmenes de agua de riego.

- Continuar con las políticas de utilización de aguas residuales. En su caso, sustituir la extracción de agua subterránea por volúmenes de aguas residuales que actualmente no se encuentren concesionados, particularmente en zonas con velocidades de abatimiento críticas.

- Mantener un monitoreo cuidadoso de las redes piezométricas; reubicar algunos de los pozos piloto que arrojen dudas o impresiones en su medición. En la medida de lo posible extender la instalación de piezómetros en zonas con escaso monitoreo.

- Actualizar el censo de aprovechamientos hidráulicos.

- Que la autoridad correspondiente vigile que exista en cada pozo el respectivo medidor de gasto y que se verifique su adecuado funcionamiento en todos los casos; lo anterior con el objeto de determinar con exactitud la cantidad de agua subterránea que es extraída, además de verificar que los usuarios no sobrepasen el volumen concesionado.

- Dado que se ha observado recuperación del acuífero superior (al haberse abandonado su explotación intensa con la profundización de pozos), llevar a cabo un estudio geohidrológico a detalle con el objeto de evaluar la posibilidad de que pueda ser usado nuevamente como fuente potencial de agua subterránea para la agricultura.

- Con el fin de aumentar el conocimiento del potencial geohidrológico de la zona, se recomienda además del uso de geotermómetros para definir la profundidad de circulación del agua, una serie de perforaciones profundas sobre los altos y bajos estructurales. Esto para determinar la factibilidad de extraer agua subterránea con fines de abastecimiento público urbano e industrial y reducir la pugna con el sector agrícola, al mismo tiempo de frenar el abatimiento acelerado en zonas críticas.

- Elaborar estudios que determinen la factibilidad de perforar nuevos pozos en zonas de fallas y donde se tenga la presencia de estructuras regionales que aporten agua al sistema acuífero.

- Realizar un monitoreo detallado de las descargas industriales y calidad de agua en los aprovechamientos, particularmente en la zona comprendida entre las ciudades de León y San Francisco del Rincón, así como hacia la zona sur de esta última localidad.

- Verificar la presencia de mercurio en los aprovechamientos de las redes de monitoreo, ya que se detectaron trazas de este metal en un reducido número de aprovechamientos analizados.

- Establecer políticas más estrictas para control y saneamiento de descargas de aguas residuales, lo anterior con el fin de disminuir en cantidad y concentración los elementos contaminantes que transporta el Río Turbio y por ende efectos negativos al agua subterránea.

- Elaborar análisis físico-químicos en años próximos y de preferencia en los mismos aprovechamientos, lo anterior con el fin de determinar la evolución de los principales elementos que exceden las normas oficiales a nivel de subcuenca.

- Desarrollar estudios detallados que determinen el origen, transporte y mecanismos de migración de diversos contaminantes presentes en la zona, particularmente del arsénico y selenio, así como determinar si en el área se manifiestan problemas de salud y en los cultivos debido a su presencia.

8. BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association (APHA), 1995. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 19th ed., New York, 769 pp.
- Anderson M.P., Woessner W.W., 1992, Applied Groundwater Modeling, Simulation, of Flow and Advective Transport. Academic press, Inc. 231 p.
- ARIEL Construcciones, 1969. Estudio Geohidrológico Formal en la zona del Valle de León y Río Turbio, SARH Reporte Técnico.
- Bostford C. W., 1909. Geology of Guanajuato district, México. Engineering and Mining Journal, v. 87. Briggs, Ian C., 1974. Machine contouring using minimum curvature (spline). Geophysics Vol. 39 No. 1 p. 34-42.
- Carrasco N., G., Milán M., Verma S., 1989. Geología del Volcán Zamorano, Edo. de Querétaro. U.N.A.M., Instituto de Geología, Revista 8, p. 194-201.
- CEASG, 1999. Plan Estatal Hidráulico del Estado de Guanajuato 2000-2025. Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de Guanajuato. Guanajuato, México.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), BGS, UACH, SAPAL, 1996. Effects of wastewater reuse on urban groundwater resources of Leon, México. BGS Technical Report WD/95/64.
- Comisión Nacional del Agua, 1999. Guía de Muestreo de Aguas Subterráneas y el Manual de Equipamiento de Pozos de Monitoreo. México, D.F.
- COREMI, 1997. Cartas Geológico-Mineras escala 1:250,000, hojas F14-7 (Guanajuato) y F14-10 (Querétaro). Pachuca, Hgo.
- COREMI, 1997. Informe de la carta Geológico-Minera y Geoquímica Guanajuato F14-7, 1:250,000.
- COREMI, 1999. Informe de la carta Geológico-Minera y Geoquímica Querétaro F14-10, 1:250,000.
- COREMI, 2004. Potencial Geohidrológico del Graben de León. Informe técnico.
- Cortés, A., Durazo, J. And Farvolden, R.N., 1997. Studies of isotopic hydrology of the basin of Mexico: annotated bibliography and interpretation. Journal of Hydrology 198: 346-376.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science vol. 133.
- Chauvé P., Fourcade E., y Carrillo M., M., 1985. Les rapports structuraux entre les domaines cordillérain et mésogéen dans la partie centrale du Mexique: Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. Paris, ser. 2, v. 301.
- Dávila A., V. M., y Martínez R., J., 1987. Una edad cretácica para las rocas basales de la Sierra de Guanajuato. Instituto de Geología, UNAM. Simposio sobre la geología de la región de la sierra de Guanajuato, Gto. México.

- Diario Oficial de la Federación, Enero de 2003. Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media anual de agua y sus planos de localización. México, D.F.
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W., 1988. Physical and Chemical Hydrogeology. New York; Wiley. 502 pp.
- Durazo, J., 2001. Tendencias del Oxígeno-18 en la precipitación del centro de México. Ingeniería Hidráulica en México, XVI (2): 93-102.
- Echegoyen S., J., Romero M., S., Velásquez S., S., 1970. Geología y yacimientos Minerales de la parte central del distrito minero de Pozos Guanajuato. Informe Técnico, Residencia Guanajuato. COREMI, México.
- Edwards, J. D., 1956. Estudios acerca de algunos conglomerados rojos del Terciario Inferior del centro de México. Congreso Geológico Internacional 20. México, D.F., Memoria.
- Freeze, R.A.; Cherry, J., 1979. Groundwater. Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. México, D.F.
- García D., Bueno J. E., y Aguirre M., A. L., 1990. Análisis Geomorfológico y Estructural de la región de la Luz, Sta. Rosa, Sierra de Guanajuato. Tesis Profesional Facultad de Minas, Metalurgia y Geología. Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Gto., Mex.
- Geofísica de Exploraciones Guysa, S.A. de C.V., Burgeap Ingenieros Consultores, 1999. Desarrollo de un modelo integral para el análisis coordinado de las aguas subterráneas y superficiales en las Subcuencas de los Ríos Turbio y Guanajuato. Plan Estatal Hidráulico de Guanajuato. Informe técnico.
- Geofísica de Exploraciones Guysa S.A. de C.V., 1998. Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del Valle de León, Gto.
- Geopsa, 1998. Seguimiento al estudio Hidrogeológico y Modelo Matemático del Acuífero del Valle del Río Turbio, Gto. Informe Técnico elaborado para CEAG.
- Guerrero V. (1999). Hacia una Gestión Integral, Descentralizada y Participativa del Agua: Experiencia y Propuestas del Estado de Guanajuato. Seminario sobre Enfoques Innovadores para el Manejo del Agua. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.
- Guiza, R., Rendón, F., Baltierra, J., 1949. Estudio Geológico del Distrito Minero de Guanajuato, Gto. (zona de veta Madre): México, Instituto Nacional para la investigación de Recursos Minerales, Boletín 22, 75p.
- Guysa, 1998. Estudio Hidrogeológico y Modelo Matemático del Acuífero Valle de León, Gto. Informe técnico elaborado para CEAG. Inédito.

- Ingeniería Geológica Computarizada S.A., 1995. Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados dentro del Valle del Río Turbio. Informe Técnico elaborado para CEAG. Inédito.
- Instituto de Geofísica, UNAM, 1999. Estudio isotópico para la caracterización del agua subterránea en la zona de La Muralla, Gto. Informe técnico, elaborado para CEAG, inédito.
- Instituto de Geofísica, UNAM, 2001. Definición de red para la caracterización de calidad físico-química del agua subterránea para el Acuífero Pénjamo – Abasolo. Informe técnico, inédito.
- Lesser y Asociados, S.A. de C.V., 1998. Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero Penjamo-Abasolo, Gto.
- López Vera L., 2003. La calidad del agua en grandes cuencas sedimentarias. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España.
- Martínez R., J., 1992. Mapa Geológico de la Sierra de Guanajuato. Esc. 1:100,000. Serie Cartas geológicas y mineras del Instituto de Geología, UNAM. México, D.F.
- Monod, O., Lapierre, H., Ortíz H., L. E., Chiodi, M., 1988. Alloctonie de l'arc de Guanajuato (Mexique): Societé Géologique de France, Réunion des Sciences de la Terre, 12, Lille, Francia. p. 100.
- Monod, O., Lapierre, H., Chiodi, M., Martínez, J., Calvet, P., Ortíz, E., Zimmerman, J. L., 1990, Reconstitution d'un arc insulaire intra-oceanique aun Mexique central: la séquence volcano plutonique de Guanajuato (Crétacé Inférieur): C.R. Acad. Sci. Paris t. 310 Série II.
- Monreal *et al.*, 2001 Estudio de cuantificación de la recarga del acuífero Costa de Hermosillo, Municipio de Hermosillo, Sonora. Informe técnico.
- Morelli, C., (ed.), 1974, The International Gravity Standardization Net 1971, International Assn. Geod. Spec. Publ. 4.
- Moreno *et al.*, (1979). Análisis de flúor y silicio de las aguas subterráneas del Terciario Detrítico. Hidrogeología y Recursos Hídricos. T-IV p. 702, Madrid, España.
- Mújica, M. R., y Jacobo A., J., 1983. Estudio Petrogenético de las Rocas ígneas y Metamórficas del Altiplano Mexicano: Instituto Mexicano del Petróleo. Reporte interno, inédito.
- Nettleton, L. L., 1939, Determination of Density for Reduction of Gravimetric Observations: Geophysics, 4, pp176-183
- Nieto S., A. F., Escobar G., J., Dobarganes B., y Aguirre M., 1992. Interpretación Estructural de los rasgos geomorfológicos principales de la Sierra de Guanajuato. UNAM. Instituto de Geología. México.

- NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Ortiz-Hernández L. E., 1988; L'arc intra-océanique crétacé de Guanajuato (Mexique central): caracteres pétrographiques et affinité magmatique du complexe filonien et des laves associées-implications métallogéniques et géodynamiques: Orléans, Université d'Orléans, memoria del D.E.A., 50p.
- Ortiz H., E., Lapierre, H. and Monod, O., 1990 El Arco Intraoceánico Alóctono (Cretácico Inferior) de Guanajuato- Características Petrográficas, Geoquímicas, estructurales e Isotópicas del Complejo Filoniano y de las lavas basálticas asociadas; Implicaciones Geodinámicas. UNAM., Instituto de Geología, Revista vol. 9, num. 2.
- Ortiz H., L.E., Yta, M., Talavera M., O., Lapierre, H., Monod, O., y Tardy, M., 1991. Origine Intraocéanique des formations volcano-plutoniques d'arc du Jurassique Supérieur-Cretacé Inférieur du Mexique centro-meridional: Comptes R Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Paris. Ser. 2. 312, p. 399-406.
- Ortiz H., L. E., Chodi, M., Lapierre, H., Monod, O., 1993. Arco Intraoceánico Alóctono de Guanajuato, Características petrográficas, geoquímicas estructurales e isotópicas del Complejo Filoniano y de las lavas basálticas asociadas. COREMI, Centro Minero Nacional. Pachuca, Hgo.
- Pérez V., J. A., Aranda G., J. J., McDowell, F., y Solorio M., J. G., 1996., Geology of the Palo Huérfano volcano, Guanajuato, México. Volumen 13, No. 2 Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.
- Quintero L., 1992. Geología de la Región de Comanja, estados de Guanajuato y Jalisco. U.N.A.M, Instituto de Geología. México.
- Ramos *et al.*, (2004) Evidencias de mezcla secuencial binaria en el acuífero de La Muralla, Guanajuato, México.
- Ramos, L., J. A., 2002. Validación de mapas de vulnerabilidad acuífera e impacto ambiental: caso Río Turbio, Guanajuato. Tesis de Doctorado. Postgrado en Ciencia de la Tierra. Instituto de Geología, UNAM. México.
- Ramos, L, J. A, Rodríguez C. R., 2002. Aquifer vulnerability mapping in the Turbio river valley, Mexico: A validation study. Geofísica Internacional (2003), Vol. 42, Num. 1, pp 141-156.

- Randall J. A., 1982. Contacto entre el Terciario y el Mesozoico, Distrito de Guanajuato, Gto. Sociedad Geológica Mexicana, Convención Geológica Nacional 6, México, D.F. Resúmenes.
- Salas M., M. A., 2004. Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea de las principales fuentes de abastecimiento de la Ciudad de León, Gto. Tesis Profesional, Ing. Geólogo. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- Servicio Meteorológico Nacional, dirección electrónica <http://smn.cna.gob.mx>
- Telford, W.W., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. Keys, D.A., 1976, Applied Geophysics. Cambridge University Press
- Toth, J., 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. Boletín Geológico y Minero. Vol. 111-4, 9-26.
- Wandke, A., and Martinez, J., 1928. The Guanajuato mining district, Guanajuato, Mexico: Economic Geology, v. 23, p. 1-44.
- Waterloo Hydrogeologic, Inc. 2002. Aquifer Test 3.5, User's Manual, Advanced Pumping Test & Slug Test Analysis Software. Waterloo, Ontario, Canada.



Fotografía 3.1 Expresión morfológica de la unidad ultramáfica San Juan de otates (JsUm) 7 Km. al N de la misma población; Sierra de Gto.



Fotografía 3.4 Unidad metasedimentaria (JsVs); se aprecian capas-bandas claras y oscuras arcillosas y calcáreas, también con sílice



Fotografía 3.2 Expresión morfológica de la unidad ultramáfica San Juan de Otates (JsUm), en forma de suaves lomeríos. Sierra de Gto.



Fotografía 3.5 Unidad metasedimentaria (JsVs), Sierra de Gto. Al N de León. Capas y bandas claras y oscuras arcillosas y calcáreas con sílice.



Fotografía 3.3 Falla Normal paralela a la falla del Bajío que pone en contacto tectónico a las unidades San Juan de Otates con rocas riolíticas Terciarias.



Fotografía 3.6 Unidad JsVs. Sedimentos arcillosos ligeramente metamorfoseados en las cercanías del rancho El Garabatillo, a unos 10 Km. al NE de León. Se aprecia foliación.



Fotografía 3.7 Conglomerado Duarte-Cenicera (unidad TpaeCgp). 1.5 Km. al N de Ibarrilla, Cd. De León, Gto.



Fotografía 3.10 Toba riolítica (ToR-TR) de aspecto lajeado en las cercanías de Pino Solo; 7 km. al Sureste de San José de la Paz, Jalisco.



Fotografía 3.8 Las partes bajas están constituidas por conglomerado rojo del Terciario Inferior (TpaeCgp). En la parte superior se aprecian mesas y pseudoestratos de roca riolítica (ToTR-ToR).



Fotografía 3.11 Afloramiento de riolita (ToR-TR) a lo largo del arroyo Pino Solo, a 2 Km al NW de San Felipe Del Chilarillo.



Fotografía 3.9 Conglomerado Duarte – Cenicera al N de Ibarrilla en la Cd. De León. Unidad TpaeCgp.



Fotografía 3.13 Afloramiento de riolita (ToR-TR) en la localidad de Pino Solo, a 1.5 km al oeste de San Felipe de Chilarillo.



Fotografía 3.14 Depósito de pómez, parte alta de la Sierra de Lobos. El material se incluye dentro de la unidad ToR-Ig.



Fotografía 3.17 Pseudoestratos de una secuencia ignimbrítica en la Mesa El Toro; NE de León, Gto. Unidad ToTR.



Fotografía 3.15 Vaso seco de la presa El Aguacate, a 5 Km. al SW de Cuerámbaro. En su entorno, afloran rocas riolíticas de la unidad ToR-TR.



Fotografía 3.18 Brechas y tobas riolíticas Terciarias incluidas en la unidad ToR, a un costado de la Presa Alfaro, Sierra de Gto.



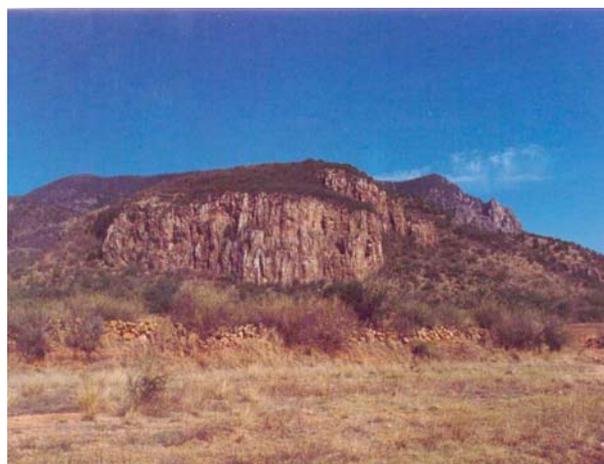
Fotografía 3.16 Afloramiento de Toba pumítica cerca de El Saucillo, Jal. A 10 Km. al este de Jesús María.



Fotografía 3.19 Grandes escarpes y mesas formadas por ignimbritas. Fm Cuatralba (ToR-Ig) Sierra de Lobos, Gto.



Fotografía 3.20 Escarpe de la parte superior corresponde al borde sur de la Mesa Cuatralba, localidad tipo de ignimbrita del mismo nombre.



Fotografía 3.23 Escarpes de andesita (unidad TmA-B) en extremo este del levantamiento tectónico de Pénjamo, al sureste de Cuerámara.



Fotografía 3.21 Pseudoestratos de ignimbritas (ToR-Ig) cubriendo discordantemente a la unidad volcanosedimentaria (JsVs); Sierra de lobos, al N de León.



Fotografía 3.24 Levantamiento tectónico de Pénjamo, vista al SE de Cuerámara, Guanajuato.



Fotografía 3.22 Toba pumicítica (Unidad ToR-TR) 4 Km. al este de Abasolo, Gto.



Fotografía 3.25 Basalto en bloques (Unidad TmA-B); en cercanías de San José de la Paz, Jalisco.



Fotografía 3.25 Basalto andesítico (TmB-A); Cerro Chato 5 km al norte de San Felipe Chilarillo.



Fotografía 3.28 Toba básica intercalada con basalto (TmA-B); parte alta del levantamiento geotectónico de Pénjamo.



Fotografía 3.26 Canal excavado en Basalto (TmA-B) entre las presas vieja y nueva de Jalpa, 10 Km. al SW de Manuel Doblado.



Fotografía 3.29 Basalto lajeado (TmA-B); parte superior del levantamiento Neotectónico de Pénjamo.



Fotografía 3.27 Afloramiento de Basalto (TmA-B) en la presa de Jalpa, 10 Km al suroeste de Manuel Doblado.



Fotografía 3.30 Pequeño Domo Andesítico (QptA-B?) en la localidad de Cerrito de Agua Caliente; en su borde existe un pozo termal con agua de 52° C.



Fotografía 3.31 Basalto cuaternario (QB) sobre el cauce del arroyo San Antonio, a mas de 2 Km. al norte de la presa El Palote.



Fotografía 3.34 Granito Comanja (TpgGr) muy cerca de la localidad tipo. La roca se muestra muy alterada y tectonizada; se aprecian bandas y nódulos oscuros formados por segregaciones máficas del mismo intrusivo.



Fotografía 3.32 Depósito de lapilli (Qal-Tb) cuaternario. 12 Km. al NE de Cuernavaca.



Fotografía 3.35 Expresión morfológica del Granito Comanja (TpgGr), en las cercanías del poblado del mismo nombre.



Fotografía 3.33 Depósito de lapilli (Qal-Tb) cuaternario. 12 Km. al noreste de Cuernavaca.



Fotografía 3.36 Banco de agregados en Granito alterado (Tpg Gr), en las cercanías de El Saúco.



Fotografía 3.37 Plano de falla que pone en contacto a un intrusivo granítico (Granito Comanja; TpgGr) con la unidad metasedimentaria (JsVs). En el cuerpo del granito se aprecian fragmentos silicificados de la roca intrusionada. Sierra de Gto. al noroeste de León.



Fotografía 3.40 Dique Granítico alojado a través de un plano de falla; intrusión un cuerpo calcáreo y sedimentos arcillosos de la unidad volcanosedimentaria JsVs. Sierra de Guanajuato.



Fotografía 3.38 Afloramiento del Granito Comanja (TpgGr) en las cercanías del rancho La Venta, 5 Km al Sur de Comanja, Jal.



Fotografía 3.41 Metasedimentos arcillosos y calcáreos de la unidad volcanosedimentaria (JsVs) intrusionados por Granito. A su vez todo el conjunto esta afectado por diques silícicos



Fotografía 3.39 Traza y brecha de falla normal, paralela a la falla del Bajío, hacia la vertiente SW de la Sierra de Guanajuato; 14 Km. al E de León.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TURBIO, ESTADOS DE GUAJUATO Y JALISCO
RESULTADOS DE LABORATORIO

RELACION DE MUESTRAS RECOLECTADAS

RELACION DE MUESTRAS RECOLECTADAS						Cc
METALES	ANIONES	ISÓTOPOS	APROVECHAMIENTO/CLAVE	LOCALIDAD	X	
TM - 001	TO - 001		POZO (agua potable)	EL MEZQUITILLO, GTO	208282	
TM - 002	TO - 002		POZO (agua potable)	PEÑUELAS, GTO.	202903	
TM - 003	TO - 003		POZO (riego)	SAN JOSE DE BELLAVISTA, GTO	200197	
TM - 004	TO - 004		POZO (agua potable) / 137	EJIDO LOS SALADOS	200203	
TM - 005	TO - 005		POZO (riego) /234	RANCHO ALEJANDRO MARQUEZ, GTO	201089	
TM - 006	TO - 006		POZO (riego) / 995	RANCHO EL TIGRE, GTO	199479	
TM - 007	TO - 007		POZO (agua potable)	EL TORO, GTO	197804	
TM - 008	TO - 008		NORIA (riego)	GRANJA LA VILLA RICA	196009	
TM - 009	TO - 009		POZO (riego)	PRESA DE LAS TORTUGAS	206504	
TM - 010	TO - 010		POZO (agua potable) / GEO-369	SAN ANDRÉS DE JALPA	189895	
TM - 011	TO - 011		POZO (agua potable) / G-650	SAN JOSE DE LA CALERA	212538	
TM - 012	TO - 012		POZO (agua potable)	LAS TORTUGAS	207227	
TM - 013	TO - 013		POZO (agua potable) / I-70; GC-177	SAN IGNACIO, MPIO. DE SN. FCO. DEL R.	202767	
TM - 014	TO - 014		POZO (agua potable) / 129	SAN ISIDRO, SN. FCO. DEL RINCON	208346	
TM - 015	TO - 015		POZO (riego) / 676-B; 1007	LA PLAYA; MPIO. MANUEL DOBLADO	204496	
TM - 016	TO - 016		POZO (agua potable) / GEO-94	SAN ANGEL	196506	
TM - 017	TO - 017		POZO (agua potable) / GEO-355	EL PEDERNAL	193520	
TM - 018	TO - 018		POZO (agua potable) / GEO-839	EL TANCO	811092	
TM - 019	TO - 019		POZO (agua potable) / 586	CALZADA DEL TEPOZAN	199528	
TM - 020	TO - 020		POZO (riego) / G-559	LOS GEMELOS, MPIO. DE LEON	217070	
TM - 021	TO - 021		POZO (riego)	GRANJA SAN PEDRO	219223	
TM - 022	TO - 022		POZO (riego)	SAN JOSÉ DEL CONSUELO	221366	
TM - 023	TO - 023		POZO (riego)	SAN JOSÉ DE DURÁN	222928	
TM - 024	TO - 024		POZO (riego) / G-671	MALAGANA, MPIO. DE LEÓN	213287	
TM - 025	TO - 025		POZO (agua potable) / 462	LOMA DE SN. RAFAEL; SN. FCO. DEL R.	209695	
TM - 026	TO - 026		POZO (agua potable) GEO-897 (697?)	LA TRINIDAD	805950	
TM - 027	TO - 027	TI - 027	POZO (agua potable)	AGUA NEGRA, JALISCO	798910	
TM - 028	TO - 028	TI - 028	POZO (agua potable, riego)	LA VAQUERA, JALISCO	789130	
TM - 029	TO - 029	TI - 029	POZO (agua potable, riego, abrevadero)	SAN PASCUAL, JALISCO	801072	

TM - 030	TO - 030	TI - 030	POZO (agua potable)	EL SAUCILLO DE PRIMAVERA	209866
TM - 031	TO - 031	TI - 031	POZO (agua potable)	LAS CRUCES, JALISCO	203801
TM - 032	TO - 032	TI - 032	POZO (agua potable)	EJIDO SANTA TERESA, JALISCO	195306
TM - 033	TO - 033	TI - 033	POZO (agua potable) / G-1337	SANTA ANA, JALISCO	210580
TM - 034	TO - 034	TI - 034	POZO (agua potable)	SAN JUAN DE LA PUERTA	217712
TM - 035	TO - 035		POZO (agua potable)	TUPATARO, MPIO. DE CUERÁMARO	224094
TM - 036	TO - 036		POZO (riego)	BORDITO BLANCO, MPIO. CUERAMARO	227906
TM - 037	TO - 037		POZO (agua potable)	LA CARROZA, MPIO DE ABASOLO	229836
TM - 038	TO - 038	TI - 038	POZO (agua potable)	RANCHO NUEVO DE LA CRUZ	237910
TM - 039	TO - 039	TI - 039	POZO (agua potable) / 234	CHAMACUA, MPIO. DE CUERÁMARO	232425
TM - 040	TO - 040	TI - 040	POZO (agua potable)	JOYA DEL CALVILLO, MPIO DE ABASOLO	227612
TM - 041	TO - 041		POZO (agua potable)	CUERAMARO, GTO (Deportiva DAPAC)	220238
TM - 042	TO - 042		POZO (agua potable)	SAUCILLO	217905
TM - 043	TO - 043		POZO (agua potable)	TRES VILLAS	221058
TM - 044	TO - 044		MANANTIAL / L-1068	PRESA DEL AGUACATE	215599
TM - 045	TO - 045		POZO (agua potable)	PRESA DEL AGUACATE	216098
TM - 046	TO - 046		POZO (agua potable)	RANCHO NUEVO DE CERRITOS	211940
TM - 047	TO - 047		POZO (agua potable)	ZAPOTE DE LAS ADJUNTAS	202483
TM - 048	TO - 048		MANANTIAL / L-1068	EL RODEO	196452
TM - 049	TO - 049		POZO (agua potable) / 977	SAN ANTONIO DE LA PRESA	192811
TM - 050	TO - 050		POZO (agua potable) / L-1062	CONCEPCIÓN LA VIEJA	203935
TM - 051	TO - 051		POZO (riego) / 1507	PENJAMO, GTO	216442
TM - 052	TO - 052		POZO (agua potable)	ORDEÑA DE BARAJAS	220979
TM - 053	TO - 053		POZO (agua potable)	EL ZAPOTE	218658
TM - 054	TO - 054		POZO (agua potable)	LA ATARJEA	223823
TM - 055	TO - 055		POZO (agua potable)	SAN JOSE DE LAS PALMAS, JALISCO	203046
TM - 056	TO - 056		POZO (riego)	SAN JOSE DEL CALICHE, JALISCO	196233
TM - 057	TO - 057		POZO (riego)	EL CARRIÓN	204597
TM - 058	TO - 058		POZO (agua potable) / GEO-1; S-99	SAN ANTONIO CASAS BLANCAS	205708
TM - 059	TO - 059		NORIA (uso doméstico) / GEO-45	SAN BERNARDO	201290
TM - 060	TO - 060		POZO (agua potable)	SAN BERNARDO	202477
TM - 061	TO - 061	TI - 061	POZO (Agrícola) / GEO-904	ENTRADA A SAN FRANCISCO DEL R.	203690

TM - 062	TO - 062	TI - 062	POZO (agua potable) / GEO-067 R-7	COMUNIDAD DE SILVA, MPIO. SAN FCO. R	202708
TM - 063	TO - 063		POZO (Agrícola) / 225 red	EL TABANO, MPIO. DE PURISIMA	199344
TM - 064	TO - 064	TI-064	POZO (agrícola) / G-203	CERCA DEL RANCHO EL TECOLOTE	194578
TM - 065	TO - 065		POZO (Agrícola)	EL TECOLOTE	194820
TM - 066	TO - 066		POZO (Agrícola) / IGC-139	EL NACIMIENTO	202322
TM - 067	TO - 067	TI-067	POZO (agua potable) / 681	SAN JOSE DE OTATES	208553
TM - 068	TO - 068	TI-068	POZO (Agrícola) / 402		193446
TM - 069	TO - 069		POZO (Agrícola)	AL SUR DEL POTRERITO	191147
TM - 070	TO - 070		POZO (Agua Potable)	FRACC. EL PARAISO, SAN FCO. DEL R.	203680
TM - 071	TO - 071	TI-071	POZO (Agrícola) / 1012	SANTA CRUZ DE CERRITOS	197501
TM - 072	TO - 072	TI-072	POZO (Agua Potable)	Cd.MANUEL DOBLADO	194535
TM - 073	TO - 073		POZO (Agua Potable) / 543	GUAYBO DE SANTA RITA	197299
TM - 074	TO - 074		POZO (Agua Potable) / 547	LA GLORIA	196956
TM - 075	TO - 075		NORIA (uso doméstico) / GEO-551	LA GLORIA	196594
TM - 076	TO - 076	TI-076	MANANTIAL POTABLE	JOSEFINO DE ALLENDE, JAL	804901
TM - 077	TO - 077	TI-077	POZO (Agua Potable)	LAS LAGUNAS	803465
TM - 078	TO - 078		POZO (Agua Potable)	EL SAUCILLO ROSALES, JAL.	799443
TM - 079	TO - 079		POZO (Agua Potable) / 521	AYO EL GRANDE	188117
TM - 080	TO - 080		MANANTIAL	EL AMARRADERO, JESUS MA., JAL	810921
TM - 081	TO - 081		POZO (Agua Potable) / 522	TORRECILLAS, MPIO MANUEL DOBLADO	198856
TM - 082	TO - 082		POZO (Agua Potable) / 532	RANCHO NUEVO, MPIO MANUEL DOBLADO	198775
TM - 083	TO - 083		POZO (Agua Potable)	SAN JUAN DEL FRESNO	204541
TM - 084	TO - 084		POZO (Agrícola) L-2211	PURISIMA DE RAMIREZ	224863
TM - 085	TO - 085		POZO (Agua potable)	SAN GABRIEL, MPIO DE PENJAMO	227648
TM - 086	TO - 086		POZO (Agua potable)	PURISIMA DE ACOSTA	227691
TM - 087	TO - 087		POZO (Agrícola) L-2256	RANCHO EL CARRIZO	225673
TM - 088	TO - 088	TI-088	MANANTIAL	LA MINA	234093
TM - 089	TO - 089		POZO (Agua potable)	NOVILLERO, OJOS DE AGUA	231185
TM - 090	TO - 090	TI-090	POZO (Agua Potable)	MARITAS	228605
TM - 091	TO - 091		POZO (Agrícola) L-2433	LAS POMAS	230150
TM - 092	TO - 092		POZO (Agrícola) L-2172	SALIDA DE ESTACION PÉNJAMO	221094
TM - 093	TO - 093	TI-093	POZO (Agrícola) L-2327	EJIDO PASO DE PIEDRA	225826
TM - 094	TO - 094		POZO (Agua potable)	TINAJA DE NEGRETE	243052

TM - 095	TO - 095		POZO (Agrícola)	MOGOTES	242151
TM - 096	TO - 096		POZO (Agua potable) L-999	PRESA DE URIBE	231555
TM - 097	TO - 097		POZO (Agua potable) L-251	CERRITO DE AGUA CALIENTE	231101
TM - 098	TO - 098	TI-098	POZO (Agrícola) L-189	SANTA ROSA DE NEGRETE	236611
TM - 099	TO - 099	TI-099	POZO (Agua potable) 917	FRACC. EL REFUGIO	236544
TM - 100	TO - 100	TI-100	POZO (Agrícola)	CERCA DE LOZA DE BARRERA	234319
TM - 101	TO - 101	TI-101	NORIA	EL SAUZ SECO	236028
TM - 102	TO - 102	TI-102	POZO (Agrícola)	RANCHO EL SOL	234453
TM - 103	TO - 103	TI-103	POZO (Agua potable)	ALFARO	229207
TM - 104	TO - 104	TI-104	MANANTIAL	OJO DE AGUA	228141
TM - 105	TO - 105	TI-105	POZO (Agua potable)	HACIENDA ARRIBA (SAN JOSE DE LA C)	219402
TM - 106	TO - 106		POZO (Agua potable)	RANCHO SAN FCO. DE SAN ROMAN, JAL	198776
TM - 107	TO - 107		POZO (Agrícola)	EL RATON	209034
TM - 108	TO - 108		POZO (Agua potable) 762	GUADALUPE VICTORIA	231842
TM - 109	TO - 109		POZO (Agua potable)	SAN FRANCISCO DE DURAN (SAN AGUSTIN	227472
TM - 110	TO - 110		POZO (Agua potable)	SANTA RITA, JUNTO AL TAJO	229574
TM - 111	TO - 111		POZO	BALNEARIO LAS CHARCAS, JAL	197142
TM - 112	TO - 112		POZO (Agrícola Y Pecuario)	GRANJA LA FLORIDA	219124
TM - 113	TO - 113		POZO (Agua potable) G-484	LOMITA ALTA, RANCHO NVO DE LA VENTA	209351
TM - 114	TO - 114		POZO (Agua potable)	LA GLORIA, CORRAL DE PIEDRA	211873
TM - 115	TO - 115		POZO (Agua potable)		233604
TM - 116	TO - 116		POZO (Agua potable) 1310	SAN ANTONIO CERRO PRIETO	224878
TM - 117	TO - 117		POZO (Agua potable) R-4 L-243	SAN FRANCISCO DE LA SOLEDAD	226769
TM - 118	TO - 118		POZO (Agua potable) L-343	PLAN SEXENAL, EL BURRO	223884
TM - 119	TO - 119	TI-119	POZO (Agrícola)	CERCA DE LA CARRETERA A LAGOS	214642
TM - 120	TO - 120	TI-120	POZO (Agua potable)	DUARTE	236775
TM - 121	TO - 121	TI-121	POZO (Agua potable)		220946
TM - 122	TO - 122		POZO (Agua potable)	HUITZATARITO	231863
TM - 123	TO - 123		RIO TURBIO	ENTRE EL MAGUEY Y SAN FCO. DEL R.	203940
TM - 124	TO - 124		POZO (Agua potable)	SAN ROQUE DE MONTES	208388
TM - 125	TO - 125		POZO (Agua potable)	BARRIO DE GUADALUPE, SFR	205658
TM - 126	TO - 126		POZO (Agua potable) SAPAF 7	LOS MANANTIALES SAN FCO DEL RINCON	201971
TM - 127	TO - 127		POZO (Agua potable) SAPAF 4	SAN FRANCISCO DEL RINCON	201703
TM - 128	TO - 128		POZO (Agua potable) SAPAF 8	SAN FRANCISCO DEL RINCON	201539
TM - 129	TO - 129		POZO (Agua potable) SAPAF 5	SAN FRANCISCO DEL RINCON	204513

TM - 130	TO - 130		POZO (Agua potable) 1275	ESTACION ABASOLO	231930
TM - 131	TO - 131		PRESA DE JALPA	JALPA DE CANOVAS	810855
TM - 132	TO - 132		POZO (Agua potable)	CASAS BLANCAS	806839
TM - 133	TO - 133		PRESA SAN JOSE	RANCHO EL TORIL	805288
TM - 134	TO - 134		PRESA EL SITIO		195900
TM - 135	TO - 135		PRESA DE SILVA	SILVA, MPIO DE SAN FCO. DEL R.	202353
TM - 136	TO - 136		POZO (Agua potable) SAPAF 9	SAN FRANCISCO DEL RINCON	202732
TM - 137	TO - 137		PRESA EL BARRIAL "Cortina"	SAN FRANCISCO DEL RINCON	205353
TM - 138	TO - 138		MANANTIAL	SAN FRANCISCO DEL RINCON	205274
TM - 139	TO - 139		POZO (Agua potable, domestico)	RCHO CASILLAS, SN DE DIEGO ALEJANDR	194223
TM - 140	TO - 140	TI-140	POZO (Agua potable)	SAN DIEGO DE ALEJANDRIA	189020
TM - 141	TO - 141		POZO (Agua potable)SAPAF 1 Geo 150	SAN FRANCISCO DEL RINCON	202405
TM - 142	TO - 142		POZO (Agua potable) SAPAP 1 Geo 29	PURISIMA DEL RINCON	201094
TM - 143	TO - 143		NORIA 455	SAN ROQUE DE MONTES, SAN FCO.	206673
TM - 144	TO - 144		NORIA LA ESCONDIDA 788	SAN FRANCISCO DEL RINCON	207921
TM - 145	TO - 145		POZO(uso domestico) 22	GRANJA EL PORVENIR, SAN FCO.	208514
TM - 146	TO - 146		POZO (Agricola) Geo 933	PUERTA DE SAN GERMAN, LEON	216074
TM - 147	TO - 147		POZO (Agua potable) s/c	EL MEZQUITILLO, SAN FCO.	208282
TM - 148	TO - 148		POZO (Agricola) 234	SAN BERNARDO, PURISIMA	201090
TM - 149	TO - 149		POZO (Agua potable) s/c	EL TORO, MANUEL DOBLADO	197821
TM - 150	TO - 150	TI-150	POZO (Agua potable) s/c	NVO. VALLE DE MORENO	248282
TM - 151	TO - 151	TI-151	MANANTIAL S/C	LA LAGUNITA, SAN FELIPE	258387
TM - 152	TO - 152		POZO (Agua potable) s/c	HUIZATARITO, ABASOLO	232249
TM - 153	TO - 153		POZO (Agua potable)	EL TULE, ABASOLO	229187
TM - 154	TO - 154		POZO (Agua potable) I-2224	PURISIMA DE RAMIREZ,PENJAMO	224232
TM - 155	TO - 155		RIO TURBIO	EL SALITRE	224574
TM - 156	TO - 156		POZO (Agua potable)	GALERA DE LA GRULLA, CUERAMARO	225649
TM - 157	TO - 157		POZO (Agua potable) SAPAL, L-272	FRENTE AL CONALEP, LEON	221717
TM - 158	TO - 158		POZO (Agua potable) SAPAL, L-277	RANCHO LA CORREA, LEON	219405
TM - 159	TO - 159		POZO (Agua potable) SAPAL,S/C	EL POTRERO	215613
TM - 160	TO - 160		POZO (Agua potable) SAPAL, 299	MALAGANA, MPIO. DE LEÓN	213463
TM - 161	TO - 161		POZO (Agua potable) SAPAL, 237	COL. BUGAMBILIAS, LEON	224821
TM - 162	TO - 162		POZO (Agua potable) SAPAL, L-237	LA CAPILLA. LEON	227500
TM - 163	TO - 163		POZO (Agua potable) SAPAL, L-285	LA RESERVA, MPIO. LEON	215181
TM - 164	TO - 164		POZO (Agua potable) SAPAL, L-269	EL PALENQUE, MPIO. PURISIMA	198824
TM - 165	TO - 165		POZO (Agua potable) G- 369	SAN ANDRES DE JALPA, PURISIMA	189896

TM - 166	TO - 166	TI-166	POZO (Agua potable) s/c	LA VAQUERA, MPIO. ARANDAS	789110
TM - 167	TO - 167		POZO (Agua potable) SAPAL, L-271	LA VENTA, MPIO. LEON	210963
TM - 168	TO - 168		POZO (Agua potable) G-180	LOS SAUCES, MPIO, LEON	236255

A = H₂SO₄ pa

B = H₂SO₄ pa

Alicuota de 50

Coordenadas. Gps		Datos de campo							
Y	Z	Ph	STD (mg/l)	C.E. (µS)	T °C	Eh mV	OD %	OD mg/l	A mL
2319785	1782	7.79	282.00	491.00	34.5	-56.60	50.60	3.27	N.D.
2311430	1762	7.35	587.00	1268.00	27.9	-29.90	60.40	4.06	N.D.
2302759	1727	7.28	716.00	1475.00	26.1	-25.80	33.30	2.65	N.D.
2302748	1727	7.65	800.00	1578.00	23.3	-47.40	92.00	6.00	N.D.
2317929	1756	6.65	1528.00	2920.00	21.7	11.8	21.30	1.50	N.D.
2311191	1766	7.47	400.00	855.00	29.2	-36.20	70.70	4.35	N.D.
2305633	1751	7.55	462.00	1042.00	34.4	-42.10	55.10	3.31	N.D.
2297941	1742	7.28	1153.00	2170.00	20.00	-24.70	42.00	3.16	N.D.
2315753	1807	7.47	330.00	780.00	31.5	-37.50	82.30	4.66	N.D.
2307907	1770	7.55	363.00	715.00	22.3	-40.40	46.40	3.14	N.D.
2321535	1812	7.43	210.00	467.00	38.5	-47.50	89.50	5.90	N.D.
2316838	1803	7.51	230.00	505.00	31.8	-52.70	87.80	5.30	N.D.
2314694	1752	7.45	228.00	477.00	27.7	-57.10	93.50	5.90	N.D.
2308533	1834	7.47	294.00	621.00	29.8	-59.20	85.00	5.29	N.D.
2303842	1755	7.20	378.00	832.00	31.2	-33.30	78.10	4.68	N.D.
2313908	1740	7.48	381.00	753.00	24.7	-50.70	69.70	4.51	N.D.
2312762	1765	7.56	554.00	1257.00	30.6	-55.80	33.10	1.67	N.D.
2300833	1782	6.36	44.00	91.30	23.5	17.20	85.20	5.54	N.D.
2295755	1737	7.49	439.00	952.00	26.9	-50.70	56.20	3.44	N.D.
2330120	1789	7.08	338.00	678.00	24.2	-24.80	37.90	2.56	N.D.
2327824	1795	7.96	193.00	419.00	29.9	-79.90	60.30	3.70	N.D.
2325824	1796	7.36	214.00	459.00	29.1	-43.60	46.90	2.91	N.D.
2330789	1805	7.39	218.00	454.00	27.8	-44.90	62.50	4.08	N.D.
2329670	1779	6.59	1467.00	3010.00	21.9	3.2	27.00	1.64	N.D.
2324421	1778	7.19	304.00	624.00	26	-31.20	46.90	3.03	N.D.
2304961	1886	7.33	202.00	437.00	30.1	-41.40	65.70	3.96	N.D.
2305641	1898	7.26	136.00	296.00	27.9	-36.00	90.00	5.47	N.D.
2308755	2074	7.49	210.00	496.00	34.6	-51.60	86.10	4.54	N.D.
2312727	1865	7.56	213.00	505.00	35.6	-57.10	73.40	4.36	N.D.

2346769	1955	7.28	225.00	527.00	29.8	-38.60	62.00	3.39	N.D.
2349784	1852	6.87	241.00	512.00	26	13.60	49.20	2.99	N.D.
2347118	1859	7.80	265.00	556.00	29.2	-69.80	63.20	3.97	N.D.
2295601	1765	7.60	268.00	576.00	27.2	-47.30	76.80	4.54	N.D.
2294562	1734	7.36	497.00	1044.00	27	-32.70	61.50	3.77	N.D.
2279984	1708	7.38	281.00	633.00	34.7	-34.40	52.80	2.78	N.D.
2272776	1707	7.35	615.00	1323.00	25.8	-32.60	25.00	1.51	N.D.
2276008	1705	7.44	494.00	1064.00	24.5	-36.80	16.50	0.99	N.D.
2285612	1755	7.44	271.00	618.00	29.8	-38.40	96.50	5.68	N.D.
2287392	1713	7.52	326.00	766.00	32.3	-43.20	50.30	2.82	N.D.
2295689	1780	7.60	285.00	651.00	33.4	-47.90	59.40	3.48	N.D.
2281613	1768	6.95	210.00	453.00	31.3	-0.90	53.00	3.30	N.D.
2290109	1738	7.35	339.00	757.00	30	-22.00	74.90	4.46	N.D.
2286813	1726	7.40	348.00	778.00	30.5	-27.00	66.50	3.75	N.D.
2279049	1875	7.71	253.00	523.00	23.9	-44.40	76.60	4.68	N.D.
2279492	1884	7.53	290.00	655.00	31.2	-51.40	28.50	1.66	N.D.
2288445	1796	8.07	319.00	627.00	28.7	-67.80	74.80	4.95	N.D.
2287514	1793	7.72	360.00	713.00	23.8	-44.70	62.40	4.14	N.D.
2282512	1792	7.20	246.00	517.00	24.1	-36.00	67.00	4.04	N.D.
2285273	1895	8.14	126.00	293.00	32.7	-72.30	58.50	3.24	0.4
2291371	1741	7.38	112.00	247.00	27.3	-27.80	68.70	4.26	N.D.
2259432	1755	7.56	308.00	680.00	29.6	-35.00	48.10	2.96	N.D.
2251987	1713	7.99	349.00	789.00	33.2	-61.20	61.20	3.63	0.3
2255156	1718	8.08	338.00	793.00	33.2	-63.70	47.50	2.68	N.D.
2248780	1705	8.13	288.00	656.00	33.3	-70.00	43.90	2.76	0.2
2339565	1807	7.80	231.00	507.00	26.1	-73.20	66.50	3.80	N.D.
2339031	1818	8.32	204.00	416.00	22.5	-80.00	80.00	5.01	N.D.
2342736	1839	7.75	302.00	662.00	26.4	-69.60	80.10	4.67	N.D.
2335091	1803	7.66	255.00	546.00	26.2	-41.00	47.60	2.79	N.D.
2321619	1758	7.57	277.00	546.00	25.6	-26.10	63.30	3.93	N.D.
2321451	1742	7.34	1106.00	2130.00	20.6	-21.40	31.00	2.20	N.D.
2324615	1757	7.45	308.00	640.00	23.5	-28.80	27.20	1.71	N.D.

2318376	1768	7.87	333.00	742.00	32.30	-54.80	47.60	2.81	0.3
2313633	1759	7.56	411.00	823.00	25.00	-35.10	62.10	3.93	N.D.
2307102	1745	7.90	360.00	782.00	28.00	-55.50	55.90	3.28	N.D.
2310149	1746	7.85	271.00	593.00	29.80	-52.90	52.80	3.12	N.D.
2308497	1750	7.92	330.00	702.00	28.20	-57.30	87.70	5.36	N.D.
2300395	1855	7.31	755.00	1513.00	24.00	-22.30	48.00	3.05	N.D.
2301260	1727	7.88	418.00	858.00	23.80	-54.60	66.00	4.12	N.D.
2305158	1740	7.77	295.00	653.00	29.20	-48.30	35.80	2.15	N.D.
2328405	1787	7.49	292.00	570.00	22.40	-34.00	46.10	3.05	N.D.
2318052	1764	7.86	272.00	572.00	26.70	-53.30	38.80	2.40	N.D.
2295827	1731	7.73	163.00	368.00	29.60	-46.00	42.10	2.33	N.D.
22991301	1750	7.61	404.00	848.00	25.30	-38.40	59.40	3.57	N.D.
2295184	1742	6.95	1085.00	2150.00	22.10	-13.00	49.60	3.18	N.D.
2295149	1752	7.21	671.00	1314.00	22.80	-22.00	45.30	2.93	N.D.
2294993	2215	6.25	39.00	72.00	20.40	40.40	67.50	4.59	N.D.
2289333	1280	6.19	48.00	89.20	21.00	45.50	78.20	4.97	N.D.
2282288	2188	6.51	74.00	155.50	27.10	26.10	62.70	3.65	N.D.
22818852	1856	7.37	216.00	426.00	23.30	-24.60	64.50	4.48	N.D.
2285662	2003	5.73	27.00	57.30	22.40	68.80	91.00	5.26	N.D.
2284587	1758	7.36	260.00	575.00	27.40	-25.10	61.30	3.55	N.D.
2288360	1739	7.73	362.00	770.00	26.60	-45.90	58.30	3.48	N.D.
2281775	2106	7.60	222.00	443.00	23.10	-38.20	72.50	4.37	N.D.
2259689	1705	7.60	308.00	746.00	35.90	-38.00	40.10	2.24	N.D.
2262500	1706	7.70	536.00	1233.00	33.00	-44.60	60.90	3.56	1.3
2259171	1703	7.61	334.00	831.00	40.70	-39.70	29.50	1.64	N.D.
2266664	1702	7.65	273.00	615.00	30.20	-42.00	54.40	3.22	N.D.
2259645	1744	6.40	58.00	131.00	25.80	33.50	81.00	4.35	N.D.
2256908	1720	7.37	157.00	357.00	30.00	-26.50	52.00	3.01	N.D.
2248696	1720	8.14	225.00	495.00	29.20	-70.50	87.20	5.30	0.6
2253326	1729	7.85	316.00	817.00	48.20	-55.00	39.50	1.79	N.D.
2256415	1704	7.67	279.00	587.00	22.60	-43.70	61.30	3.95	N.D.
2253425	1703	7.73	305.00	873.00	51.20	-48.60	39.50	1.95	N.D.
2263953	1795	7.65	314.00	670.00	25.00	-40.50	92.10	5.53	N.D.

2267524	1716	7.78	262.00	573.00	25.00	-48.90	54.00	3.30	N.D.
2280378	1707	7.55	338.00	690.00	23.30	-39.80	37.60	2.40	N.D.
2284030	1706	6.72	1095.00	3140.00	51.50	15.70	18.10	0.82	N.D.
2279937	1717	7.88	342.00	810.00	34.60	-55.90	49.70	2.72	N.D.
2274945	1705	7.68	383.00	786.00	24.80	-42.60	57.90	3.63	N.D.
2333158	1851	7.21	168.00	369.00	22.70	-14.00	79.80	4.70	N.D.
2343326	2332	6.55	160.00	310.00	20.90	27.50	43.80	2.53	N.D.
2334482	1866	7.38	261.00	558.00	26.10	-22.10	90.70	5.01	N.D.
2340871	1857	7.26	160.00	310.00	20.90	-27.50	43.80	2.53	N.D.
2345220	1982	7.29	234.00	497.00	21.50	-15.00	78.80	4.73	N.D.
2349629	1907	7.18	326.00	702.00	22.00	-17.00	57.00	3.52	N.D.
2357468	1895	7.55	217.00	489.00	27.10	-33.00	61.80	3.70	N.D.
2329699	1773	7.51	480.00	1015.00		-30.80	66.10	4.25	N.D.
2326391	1813	7.45	224.00	482.00	23.40	-26.60			N.D.
2325023	1795	7.60	159.00	351.00	25.30	-35.80	60.90	3.81	N.D.
2332293	1831	7.50	260.00	541.00	25.10	-32.60	78.00	5.05	N.D.
2332084	1850	7.38	200.00	499.00	29.10	-23.20	71.60	4.30	N.D.
2330104	1788	7.19	325.00	716.00		-12.60	80.70	4.85	N.D.
2333386	1837	8.47	290.00	700.00	31.30	-90.70	35.40	1.28	1.0
2335178	1903	7.86	267.00	643.00	30.10	-52.70	65.70	3.61	N.D.
2282599	1703	7.48	340.00	737.00	23.80	-31.30	83.30	5.20	N.D.
2294424	1749	7.90	299.00	699.00	26.80	-55.50	66.30	3.83	N.D.
2288983	1704	7.81	408.00	1011.00	30.60	-49.60	66.00	3.61	N.D.
2286177	1716	7.23	235.00	506.00	22.70	-13.90	63.10	4.10	N.D.
2346387	2045	7.45	224.00	489.00	24.40	-26.80	59.20	3.57	N.D.
2333326	2045	7.98	257.00	582.00	25.20	-58.50	89.60	5.27	N.D.
2266693	1796	7.45	416.00	1010.00	31.70	-27.00	51.10		N.D.
2267136	1736	8.20	395.00	1104.00	45.10	-76.00	26.10	1.26	1.4
2323729	1756	7.85	2470.00	4760.00	21.80	-50.30	4.40	0.28	N.D.
2326522	1765	7.45	254.00	582.00	26.60	-27.70	56.00	3.46	N.D.
2327173	1763	6.95	571.00	1147.00	20.80	2.80	62.10	3.93	N.D.
2329678	1788	7.61	231.00	541.00	28.30	-37.90	55.40	3.08	N.D.
2328907	1785	7.73	249.00	584.00	28.80	-44.50	44.80	2.52	N.D.
2327662	1799	7.47	250.00	551.00	24.50	-26.90	55.20	3.28	N.D.
2326033	1746	7.20	256.00	552.00	23.80	-11.60	49.30	2.99	N.D.

2269072	1702	7.75	1209.00	2450.00	24.20	-46.50	67.20	4.13	N.D.
2311284	1789	6.88	67.00	141.00	17.20	4.10	88.70	5.53	N.D.
2313329	1792	7.54	219.00	455.00	26.60	-34.90	65.20	4.14	N.D.
2320057	2002	7.80	71.80	140.00	21.80	-51.70	97.40	5.14	N.D.
2299653	1731	8.73	601.00	1314.00	25.20	-105.30	86.00	5.11	1.0
2319081	1758	8.84	219.00	471.00	26.20	-110.10	77.50	4.75	1.1
2325590	1768	7.00	292.00	621.00	23.50	0.20	43.70	2.73	N.D.
2330541	1793	8.20	85.00	194.00	26.50	-71.20	71.90	4.44	N.D.
23299701	1759	7.59	247.00	556.00	25.40	-35.40	86.70	5.42	N.D.
2325780		7.75	243.00	487.00	23.60	-37.60	87.00	6.80	N.D.
2323575		7.70	235.00	497.00	26.00	-34.00	89.50	5.86	N.D.
2328164	1763	7.25	235.00	494.00	25.70	-8.80	52.50	3.42	N.D.
2329130	1782	7.23	260.00	565.00	26.40	-8.00	55.60	3.49	N.D.
2326497	1769	7.34	512.00	966.00	19.50	-12.70	22.30	1.56	N.D.
2327319	1765	6.82	2720.00	5060.00	27.00	17.20	26.70	1.75	N.D.
2329132	1777	7.37	283.00	586.00	24.50	-14.20	56.30	3.67	N.D.
2328914	1781	7.06	1027.00	1948.00	22.60	2.80	57.90	4.13	N.D.
2319785	1782	7.69	185.40	440.00	35.40	-37.60	41.20	2.42	N.D.
2317927	1754	6.87	1257.00	2420.00	21.20	-14.70	22.30	1.59	N.D.
2305625	1741	7.64	361.00	846.00	35.10	-31.60	47.30	2.71	N.D.
2347070	2249	7.31	191.90	381.00	23.40	-12.70	60.80	3.99	N.D.
2348144	2202	6.18	500.20	900.80	17.20	53.90	38.60	2.76	N.D.
2268303		7.66	1157.00	2200.00	23.20	-31.20	31.90	2.26	N.D.
2271885	1702	7.90	539.00	1208.00	31.00	-47.20	33.50	2.05	N.D.
2261662	1715	7.77	266.00	568.00	26.00	-38.00	68.14	4.43	N.D.
2254525	1697	7.97	500.00	1003.00	23.10	-49.60	0.95	12.60	N.D.
2283861	1720	7.86	244.00	512.00	26.00	-45.00	41.10	2.73	N.D.
2331612	1802	7.39	378.00	756.00	22.40	-15.90	56.80	3.85	N.D.
2325613	1792	7.56	214.00	455.00	25.80	-26.60	54.10	3.50	N.D.
2331514		7.63	213.00	514.00	33.10	-31.10	28.30	1.61	N.D.
2329008	1780	7.29	564.00	1221.00	27.10	-10.00	46.40	2.58	N.D.
2337294	1825	7.25	444.00	924.00	24.50	-7.80	74.00	4.56	N.D.
2336676	1829	7.57	273.00	600.00	26.30	-26.80	64.20	3.83	N.D.
2333501	1789	7.36	270.00	625.00	28.90	-14.90	39.00	2.25	N.D.
2322814	1789	8.47	291.00	781.00	38.20	-83.60	51.00	2.75	0.70
2311907	1754	7.92	273.00	567.00	23.90	-44.40	51.10	3.27	N.D.

2308753	2080	7.62	203.00	505.00	32.90	-30.40	56.60	3.05	N.D.
2331330	1818	7.89	211.00	499.00	30.60	-46.50	58.40	3.40	N.D.
2326607	1821	7.42	316.00	716.00	28.60	-18.20	77.40	4.39	N.D.

ra titular carbonatos
ra titular bicarbonatos

Todos los resultados de metales (cationes) son del laboratorio de COREMI. Centro Experimental Oaxaca

ml

		Ensaye	Ag ppm*	Al ppm*	As ppm*	Ba ppm*	
		Lim. Detec. Muestra	0.004	0.14	0.006	0.002	
B mL	FECHA	OBSERVACIONES					
9.1	20-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.06	0.01	
14.1	20-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.05	0.13	
19.9	20-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.1	0.02	
22.2	22-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.08	0.03	
21.1	22-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.05	0.26	
12.8	22-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.06	0.08	
13.8	22-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.07	N.D.	
33.4	22-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.1	0.02	
12.7	23-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.06	0.05	
12.9	23-mar-2004	muestra triplicada en metales/lab. COREMI Oax.	N.D.	N.D.	0.06	N.D.	
9.8	12-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.170	
12.5	12-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.070	
12.1	12-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.070	
16.2	12-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.020	
18.4	12-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.020	
18	13-abr-2004		N.D.	N.D.	0.100	0.040	
24.3	13-abr-2004		N.D.	N.D.	0.100	0.010	
1.9	13-abr-2004		N.D.	2	N.D.	0.040	
17.8	13-abr-2004		N.D.	N.D.	0.100	0.010	
14.1	14-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.130	
10.2	14-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.060	
11.3	14-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.120	
12.4	14-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.090	
13.2	14-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.080	
18	14-abr-2004		N.D.	N.D.	N.D.	0.140	
11.4	17-abr-2004		TM - 026	N.D.	N.D.	0.03	N.D.
6.5	17-abr-2004		TM - 027	N.D.	N.D.	0.02	0.01
10.2	17-abr-2004		TM - 028	N.D.	N.D.	N.D.	0.003
10.8	17-abr-2004		TM - 029	N.D.	N.D.	0.01	0.01

13.7	17-abr-2004		TM - 030	N.D.	N.D.	0.02	0.01
11.7	18-abr-2004		TM - 031	N.D.	N.D.	0.02	0.13
15.3	18-abr-2004		TM - 032	N.D.	N.D.	0.03	0.10
13.3	19-abr-2004		TM - 033	N.D.	N.D.	0.05	0.004
22.1	19-abr-2004		TM - 034	N.D.	N.D.	0.06	0.02
12.1	20-abr-2004		TM - 035	N.D.	N.D.	0.06	0.01
16.8	20-abr-2004		TM - 036	N.D.	N.D.	0.14	0.08
20	20-abr-2004		TM - 037	N.D.	N.D.	0.06	0.05
15	20-abr-2004		TM - 038	N.D.	N.D.	0.018	0.055
15.8	20-abr-2004		TM - 039	N.D.	N.D.	0.029	0.012
14.6	20-abr-2004		TM - 040	N.D.	N.D.	0.031	0.019
10.6	21-abr-2004		TM - 041	N.D.	N.D.	0.014	0.008
16.8	21-abr-2004		TM - 042	N.D.	N.D.	0.052	0.006
17.3	21-abr-2004		TM - 043	N.D.	N.D.	0.052	0.013
12.8	21-abr-2004		TM - 044	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
14.5	21-abr-2004		TM - 045	N.D.	N.D.	0.044	0.006
15.4	22-abr-2004		TM - 046	N.D.	N.D.	0.057	0.004
16.6	22-abr-2004		TM - 047	N.D.	N.D.	0.048	0.006
13.5	22-abr-2004		TM - 048	N.D.	N.D.	0.016	0.020
5.80	22-abr-2004		TM - 049	N.D.	N.D.	0.026	N.D.
5.1	22-abr-2004		TM - 050	N.D.	0.174	0.016	N.D.
15.5	25-abr-2004		TM - 051	N.D.	N.D.	0.055	0.002
11.2	25-abr-2004		TM - 052	N.D.	N.D.	0.041	0.005
15.1	25-abr-2004		TM - 053	N.D.	N.D.	0.057	0.009
10.10	25-abr-2004		TM - 054	N.D.	N.D.	0.025	0.004
10.4	11-may-2004		TM - 055	N.D.	N.D.	0.018	0.231
9.2	11-may-2004		TM - 056	N.D.	N.D.	0.020	0.189
14	11-may-2004		TM - 057	N.D.	N.D.	0.021	0.238
11.2	11-may-2004		TM - 058	N.D.	N.D.	0.023	0.380
37.2	12-may-2004		TM - 059	N.D.	N.D.	0.023	0.118
25.6	12-may-2004	uso domestico y potable	TM - 060	N.D.	N.D.	0.026	0.280
15.4	12-may-2004		TM - 061	N.D.	N.D.	0.022	0.286

14.4	12-may-2004	bomba sumergible, sistema de yodado	TM - 062	N.D.	N.D.	0.053	0.065
16.3	12-may-2004	NE aprox. 50 mts. PT 200 mts.	TM - 063	N.D.	N.D.	0.023	0.324
17.3	12-may-2004	NE=55 mts. Pt=150 mts	TM - 064	N.D.	N.D.	0.039	0.067
12.5	13-may-2004	ND=68.20, DIAM=6', SUMERGIBLE	TM - 065	N.D.	N.D.	0.035	0.045
14.9	14-may-2004		TM - 066	N.D.	N.D.	0.040	0.023
17.8	14-may-2004	PT=146 mts., NE=92 mts., DIAM=4'	TM - 067	N.D.	N.D.	0.015	0.124
17.3	14-may-2004	NE=40 mts, PT=180 mts	TM - 068	N.D.	N.D.	0.051	0.064
14.4	14-may-2004		TM - 069	N.D.	N.D.	0.040	0.003
13.6	15-may-2004		TM - 070	N.D.	N.D.	0.021	0.349
14.1	15-may-2004		TM - 071	N.D.	N.D.	0.023	0.123
7.7	17-may-2004		TM - 072	N.D.	N.D.	0.033	N.D.
19.7	17-may-2004		TM - 073	N.D.	N.D.	0.043	0.051
17.7	17-may-2004		TM - 074	N.D.	N.D.	0.043	0.063
18.9	17-may-2004		TM - 075	N.D.	N.D.	0.039	0.089
2.0	19-may-2004		TM - 076	N.D.	N.D.	0.017	0.055
2.1	19-may-2004		TM - 077	N.D.	N.D.	0.014	0.034
4.1	19-may-2004		TM - 078	N.D.	N.D.	0.017	0.018
11.6	20-may-2004		TM - 079	N.D.	N.D.	0.018	0.009
1.3	20-may-2004		TM - 080	N.D.	1.659	0.010	0.019
14.6	20-may-2004		TM - 081	N.D.	N.D.	0.015	N.D.
17.5	20-may-2004		TM - 082	N.D.	N.D.	0.060	0.029
13.9	20-may-2004		TM - 083	N.D.	N.D.	0.019	0.024
13.4	22-may-2004		TM - 084	N.D.	N.D.	0.059	0.056
15.1	22-may-2004		TM - 085	N.D.	N.D.	0.065	0.023
12.5	22-may-2004		TM - 086	N.D.	N.D.	0.061	0.016
12.7	23-may-2004		TM - 087	N.D.	N.D.	0.088	0.125
2.1	23-may-2004		TM - 088	N.D.	N.D.	0.009	0.038
10.2	23-may-2004		TM - 089	N.D.	N.D.	0.012	N.D.
9.9	23-may-2004		TM - 090	N.D.	N.D.	0.043	0.010
12.6	23-may-2004		TM - 091	N.D.	N.D.	0.046	N.D.
13.7	24-may-2004		TM - 092	N.D.	N.D.	0.062	0.042
14.1	24-may-2004		TM - 093	N.D.	N.D.	0.074	N.D.
18.1	24-may-2004		TM - 094	N.D.	N.D.	0.020	0.019

14.8	24-may-2004		TM - 095	N.D.	N.D.	0.049	0.025
15.7	25-may-2004		TM - 096	N.D.	N.D.	0.054	0.067
41.8	25-may-2004	posible contaminación de la muestra con aceite de la flecha del pozo	TM - 097	N.D.	N.D.	0.226	N.D.
17.9	25-may-2004		TM - 098	N.D.	N.D.	0.066	0.017
18.1	25-may-2004		TM - 099	N.D.	N.D.	0.048	0.067
10.4	12-may-2004		TM - 100	N.D.	N.D.	0.027	0.063
5.7	12-may-2004		TM - 101	N.D.	N.D.	0.022	0.088
14.6	12-may-2004		TM - 102	N.D.	N.D.	0.024	0.067
3.2	12-may-2004		TM - 103	N.D.	N.D.	0.019	0.024
13.1	13-may-2004		TM - 104	N.D.	N.D.	0.021	0.025
16.5	13-may-2004		TM - 105	N.D.	N.D.	0.024	0.047
11.8	14-may-2004		TM - 106	N.D.	N.D.	0.026	0.026
10.9	14-may-2004		TM - 107	N.D.	N.D.	0.007	0.357
10.2	14-may-2004	No se midió Oxígeno disuelto	TM - 108	N.D.	N.D.	0.019	0.115
8.8	15-may-2004		TM - 109	N.D.	N.D.	0.015	0.070
15.7	17-may-2004		TM - 110	N.D.	N.D.	0.017	0.075
12.6	18-may-2004		TM - 111	N.D.	N.D.	0.018	0.047
15.0	18-may-2004		TM - 112	N.D.	N.D.	0.023	0.204
11.8	20-may-2004		TM - 113	N.D.	N.D.	0.046	0.009
13.6	20-may-2004		TM - 114	N.D.	N.D.	0.042	0.071
17.9	22-may-2004		TM - 115	N.D.	N.D.	0.047	0.081
16.7	22-may-2004		TM - 116	N.D.	N.D.	0.054	0.019
20.9	22-may-2004		TM - 117	N.D.	N.D.	0.048	0.021
14.4	22-may-2004		TM - 118	N.D.	N.D.	0.020	0.054
12.1	24-may-2004		TM - 119	N.D.	N.D.	0.017	0.007
13.2	24-may-2004		TM - 120	N.D.	N.D.	0.035	0.131
23.1	25-may-2004		TM - 121	N.D.	N.D.	0.025	0.039
14.9	25-may-2004		TM - 122	N.D.	N.D.	0.122	N.D.
45.7	29-may-2004	Rio Turbio. Agua turbia, color negro y olor fetido	TM - 123	N.D.	N.D.	0.028	0.083
12.3	29-may-2004		TM - 124	N.D.	N.D.	0.036	0.332
21.2	29-may-2004		TM - 125	N.D.	N.D.	0.030	0.368
10.8	31-may-2004		TM - 126	N.D.	N.D.	0.035	0.050
10.8	31-may-2004		TM - 127	N.D.	N.D.	0.044	0.006
13.5	31-may-2004		TM - 128	N.D.	N.D.	0.037	0.193
12.5	31-may-2004		TM - 129	N.D.	N.D.	0.037	0.176

24.0	25-may-2004		TM - 130	N.D.	N.D.	0.117	0.037
3.1	26-may-2004	Turbia, verde ocre, olor fetido.	TM - 131	N.D.	1.117	0.025	0.054
10.3	26-may-2004		TM - 132	N.D.	N.D.	0.025	0.021
2.7	26-may-2004	ligeramente turbia, color blanco lechoso, sin olor	TM - 133	N.D.	101.900	0.035	0.327
14.5	26-may-2004	Muy turbia, color café claro, olor fetido	TM - 134	N.D.	0.706	0.034	0.151
9.1	26-may-2004		TM - 135	N.D.	2.346	0.040	0.231
15.0	31-may-2004		TM - 136	N.D.	N.D.	0.039	0.200
4.8	31-may-2004	turbia, color café claro, sin olor	TM - 137	N.D.	0.918	0.027	0.126
12.7	31-may-2004	turbia, color verdoso, olor fetido	TM - 138	N.D.	N.D.	0.031	0.188
12.70	4-jul-2004		TM - 139	N.D.	N.D.	0.045	0.023
12.60	4-jul-2004		TM - 140	N.D.	N.D.	0.042	0.048
11.20	5-jul-2004		TM - 141	N.D.	N.D.	0.050	0.153
11.40	6-jul-2004		TM - 142	N.D.	N.D.	0.050	0.046
10.80	6-jul-2004		TM - 143	N.D.	N.D.	0.042	0.065
29.50	6-jul-2004	EH. POSITIVO	TM - 144	N.D.	N.D.	0.044	0.066
13.90	6-jul-2004		TM - 145	N.D.	N.D.	0.050	0.248
19.50	7-jul-2004	EH. POSITIVO	TM - 146	N.D.	N.D.	0.041	0.381
8.10	11-jul-2004	REPETICIÓN DE LA MUESTRA 001	TM - 147	N.D.	N.D.	0.058	N.D.
20.80	11-jul-2004	REPETICIÓN DE LA MUESTRA 005	TM - 148	N.D.	N.D.	0.050	0.217
11.30	11-jul-2004	REPETICIÓN DE LA MUESTRA 007	TM - 149	N.D.	N.D.	0.064	N.D.
9.50	12-jul-2004		TM - 150	N.D.	N.D.	0.039	N.D.
2.10	12-jul-2004	EH. POSITIVO	TM - 151	N.D.	0.431	0.039	N.D.
29.00	13-jul-2004		TM - 152	N.D.	N.D.	0.174	0.063
17.20	13-jul-2004		TM - 153	N.D.	N.D.	0.102	0.011
12.10	13-jul-2004		TM - 154	N.D.	N.D.	0.049	0.057
10.20	13-jul-2004		TM - 155	N.D.	1.055	0.046	0.094
13.50	13-jul-2004		TM - 156	N.D.	N.D.	0.040	0.102
15.70	14-jul-2004		TM - 157	N.D.	N.D.	0.045	0.097
11.60	14-jul-2004		TM - 158	N.D.	N.D.	0.045	0.016
10.20	14-jul-2004		TM - 159	N.D.	N.D.	0.055	0.147
9.70	14-jul-2004		TM - 160	N.D.	N.D.	0.047	0.361
20.10	14-jul-2004		TM - 161	N.D.	N.D.	0.043	0.129
14.10	14-jul-2004		TM - 162	N.D.	N.D.	0.041	0.047
13.20	14-jul-2004		TM - 163	N.D.	N.D.	0.052	0.141
7.90	15-jul-2004		TM - 164	N.D.	N.D.	0.089	N.D.
10.80	15-jul-2004	REPETICION DE LA MUESTRA 010	TM - 165	N.D.	N.D.	0.057	N.D.

9.70	15-jul-2004		TM - 166	N.D.	N.D.	0.042	N.D.
8.20	14-jul-2004		TM - 167	N.D.	N.D.	0.060	N.D.
14.60	16-jul-2004		TM - 168	N.D.	N.D.	0.047	0.088

Be ppm*	Bi ppm*	Ca ppm*	Cd ppm*	Co ppm*	Cr ppm*	Cu ppm*	Fe ppm*	K ppm*	Mg ppm*
0.001	0.02	0.014	0.0004	0.0006	0.005	0.004	0.2	0.23	0.06
N.D.	N.D.	20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	1
N.D.	N.D.	55	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	22	16
N.D.	N.D.	62	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	17	10
N.D.	N.D.	81	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	33	18
N.D.	N.D.	226	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	28	59
N.D.	N.D.	53	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	11	9
N.D.	N.D.	43	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11	5
N.D.	N.D.	72	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	18	14
N.D.	N.D.	37	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11	9
N.D.	N.D.	34.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7	8
N.D.	N.D.	51.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	6
N.D.	N.D.	38.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	20	13
N.D.	N.D.	44.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11	10
N.D.	N.D.	50.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9	6
N.D.	N.D.	56.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	21
N.D.	N.D.	41.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9	16
N.D.	N.D.	21.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9	8
N.D.	N.D.	7.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.500	5	2
N.D.	N.D.	23.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9	3
N.D.	N.D.	88.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7	23
N.D.	N.D.	35.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7	9
N.D.	N.D.	47.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5	10
N.D.	N.D.	47.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9	23
N.D.	N.D.	425.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	20	81
N.D.	N.D.	74.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11	25
N.D.	0.02	39	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	5	3
N.D.	0.04	22	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	8	2
N.D.	N.D.	31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15	11
N.D.	0.04	24	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	4	1

N.D.	0.05	40	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	6	24
N.D.	0.04	46	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	18	9
N.D.	0.04	41	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	7	2
N.D.	0.05	24	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	10	11
N.D.	0.04	59	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	12	15
N.D.	0.05	9	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	7	2
N.D.	0.04	33	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8	4
N.D.	0.04	43	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	21	8
N.D.	0.042	32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	29
N.D.	0.035	33	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	22
N.D.	0.045	30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	9
N.D.	0.038	34	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	15
N.D.	0.041	33	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	13
N.D.	0.045	22	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8	10
N.D.	N.D.	43	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6	30
N.D.	0.042	11	N.D.	0.001	N.D.	0.006	N.D.	5	3
N.D.	0.048	18	N.D.	0.002	N.D.	0.006	N.D.	4	6
N.D.	0.043	29	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	10	12
N.D.	0.035	37	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8	32
N.D.	0.033	1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3	N.D.
N.D.	0.041	4	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	5	1
N.D.	0.043	14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	4
N.D.	N.D.	15	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	14	7
N.D.	0.044	9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	5
N.D.	0.041	13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15	7
N.D.	0.039	46	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	17	5
N.D.	0.043	54	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	4
N.D.	0.044	34	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	42	7
N.D.	0.046	66	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	8
N.D.	0.048	195	N.D.	0.001	N.D.	0.007	N.D.	90	37
N.D.	0.046	193	N.D.	0.003	N.D.	0.006	N.D.	28	50
N.D.	0.035	80	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15	12

N.D.	0.054	38	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	8
N.D.	0.038	88	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	11
N.D.	0.042	55	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	14	10
N.D.	N.D.	42	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	9
N.D.	0.043	51	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	10	8
N.D.	0.046	188	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5	55
N.D.	0.046	46	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	8
N.D.	0.041	35	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	6
N.D.	0.044	73	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	17	8
N.D.	0.044	53	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	11
N.D.	0.041	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5	1
N.D.	0.042	50	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11	17
N.D.	0.050	286	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	29	48
N.D.	0.042	181	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	22	32
N.D.	0.049	3	N.D.	0.002	N.D.	0.004	N.D.	5	1
N.D.	0.034	4	N.D.	N.D.	N.D.	0.021	N.D.	6	1
N.D.	0.053	13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5	5
N.D.	0.042	39	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8	23
N.D.	0.039	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.482	5	1
N.D.	0.044	46	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	18
N.D.	0.041	30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	11
N.D.	0.041	42	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7	32
N.D.	N.D.	8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	18	2
N.D.	0.041	31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	17	7
N.D.	0.048	10	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	9	2
N.D.	0.044	11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	1
N.D.	0.044	5	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	N.D.	8	2
N.D.	N.D.	20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	7
N.D.	0.052	14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15	8
N.D.	0.046	6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7	1
N.D.	0.040	12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	17	3
N.D.	0.044	10	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	8	2
N.D.	0.050	34	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	37	32

N.D.	0.051	17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	18	8
N.D.	0.036	45	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	14	19
N.D.	0.039	11	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	15	2
N.D.	0.037	16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	18	6
N.D.	0.031	43	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	22	18
N.D.	0.033	36	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	5	17
N.D.	0.038	22	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	N.D.	9	14
N.D.	0.036	52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5	38
N.D.	0.035	53	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	7	27
N.D.	N.D.	57	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3	26
N.D.	0.048	78	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9	26
N.D.	0.051	44	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	15	5
N.D.	0.045	111	N.D.	N.D.	1.647	N.D.	N.D.	19	14
N.D.	0.053	48	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11	13
N.D.	0.050	33	N.D.	N.D.	0.012	N.D.	N.D.	7	13
N.D.	0.043	48	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4	45
N.D.	0.051	57	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	6
N.D.	0.042	76	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9	33
N.D.	0.040	8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8	1
N.D.	0.047	24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8	3
N.D.	0.053	42	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	17	21
N.D.	0.035	31	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	16	18
N.D.	0.029	32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	16	20
N.D.	0.028	46	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	13	18
N.D.	0.030	41	N.D.	N.D.	N.D.	0.005	N.D.	6	27
N.D.	0.030	24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	7
N.D.	N.D.	39	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	11	23
N.D.	0.029	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	0
N.D.	0.041	135	N.D.	0.005	0.174	0.014	N.D.	45	32
N.D.	0.042	57	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	11	12
N.D.	0.042	95	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	21	15
N.D.	0.040	35	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	8	4
N.D.	0.041	17	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	6	1
N.D.	0.044	62	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	9	5
N.D.	0.050	56	N.D.	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	14	8

N.D.	N.D.	117	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	37	53
N.D.	0.036	10	N.D.	0.002	N.D.	0.029	1.650	7	3
N.D.	0.037	35	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	10	9
N.D.	0.021	18	N.D.	0.012	0.050	0.037	44.290	17	11
N.D.	0.028	61	N.D.	0.003	0.013	0.018	0.403	21	12
N.D.	N.D.	42	N.D.	N.D.	N.D.	0.028	1.069	25	8
N.D.	0.045	74	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	16	8
N.D.	0.042	22	N.D.	0.004	N.D.	0.021	0.740	9	4
N.D.	0.050	51	N.D.	0.002	N.D.	N.D.	N.D.	14	7
N.D.	N.D.	44.130	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	11	8
N.D.	N.D.	38.580	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	17	16
N.D.	N.D.	61.450	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	10	4
N.D.	N.D.	69.010	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	11	6
N.D.	N.D.	101.700	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	34	17
N.D.	N.D.	643.100	0.002	0.007	N.D.	N.D.	N.D.	40	106
N.D.	N.D.	65.800	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	17	15
N.D.	N.D.	284.900	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	11	73
N.D.	N.D.	21.580	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	13	1
N.D.	N.D.	231.100	0.003	0.007	N.D.	N.D.	N.D.	40	63
N.D.	N.D.	47.460	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	14	6
N.D.	N.D.	42.320	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	8	18
N.D.	N.D.	3.724	0.003	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	5	1
N.D.	N.D.	49.000	0.001	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	32	20
N.D.	N.D.	20.260	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	10	4
N.D.	N.D.	12.150	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	16	4
N.D.	N.D.	43.780	0.002	0.006	N.D.	N.D.	0.585	18	10
N.D.	N.D.	54.610	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	9	17
N.D.	N.D.	93.540	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	8	39
N.D.	N.D.	43.080	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	7	25
N.D.	N.D.	47.710	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	13	7
N.D.	N.D.	155.700	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	10	29
N.D.	N.D.	123.400	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	7	39
N.D.	N.D.	61.580	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	5	34
N.D.	N.D.	66.670	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	14	9
N.D.	N.D.	2.877	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	7	0
N.D.	N.D.	38.610	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	9	9

N.D.	N.D.	33.120	0.002	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	14	10
N.D.	N.D.	6.369	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	5	1
N.D.	N.D.	61.360	0.001	0.004	N.D.	N.D.	N.D.	18	12

Mn ppm*	Mo ppm*	Na ppm*	Ni ppm*	P ppm*	Pb ppm*	Sb ppm*	Sc ppm*	Se ppm*	Sn ppm*
0.010	0.001	0.07	0.003	0.08	0.02	0.006	0.0003	0.009	0.01
N.D.	0.010	60	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	67	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	176	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	165	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.	N.D.	N.D.
2.000	N.D.	177	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	74	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	109	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	0.020	338	N.D.	0.1	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	66	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	81	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	0.010	37	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	0.020	47	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	47	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	87	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	101	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	128	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	250	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	7	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	193	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	31	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	49	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	46	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	24	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	143	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	40	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	56	0.007	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.
N.D.	N.D.	37	0.009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.
N.D.	N.D.	46	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	78	0.009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.

N.D.	N.D.	31	0.007	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.
N.D.	N.D.	50	0.008	0.1	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.
N.D.	N.D.	120	0.005	0.1	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.
N.D.	N.D.	89	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.
N.D.	N.D.	150	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	116	0.006	0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
0.101	0.012	220	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.03	N.D.
0.222	0.012	175	0.005	0.1	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.
N.D.	N.D.	52	0.005	0.108	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.
N.D.	N.D.	86	0.006	0.101	N.D.	N.D.	N.D.	0.013	N.D.
N.D.	N.D.	94	0.005	0.085	N.D.	N.D.	N.D.	0.018	N.D.
N.D.	N.D.	40	0.006	0.107	N.D.	N.D.	N.D.	0.018	N.D.
N.D.	N.D.	116	N.D.	0.172	N.D.	N.D.	N.D.	0.015	N.D.
N.D.	N.D.	131	N.D.	0.101	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	20	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	0.018	132	N.D.	0.107	N.D.	N.D.	N.D.	0.014	N.D.
N.D.	N.D.	133	N.D.	0.115	N.D.	N.D.	N.D.	0.035	N.D.
N.D.	N.D.	127	0.005	0.092	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.
N.D.	N.D.	30	N.D.	0.180	N.D.	N.D.	N.D.	0.013	N.D.
N.D.	N.D.	59	N.D.	0.090	N.D.	N.D.	N.D.	0.013	N.D.
N.D.	N.D.	48	N.D.	0.155	N.D.	N.D.	N.D.	0.014	N.D.
N.D.	N.D.	123	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.015	N.D.
N.D.	N.D.	97	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	145	0.005	0.091	N.D.	N.D.	N.D.	0.016	N.D.
N.D.	N.D.	80	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	43	0.007	0.117	N.D.	N.D.	N.D.	0.014	N.D.
N.D.	N.D.	21	0.008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.020	N.D.
N.D.	N.D.	64	0.008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.012	N.D.
N.D.	N.D.	33	0.007	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.
N.D.	N.D.	636	0.005	0.262	N.D.	N.D.	N.D.	0.015	N.D.
1.601	N.D.	231	0.013	0.195	N.D.	N.D.	N.D.	0.019	N.D.
N.D.	N.D.	45	0.007	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.	N.D.	107	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
0.070	N.D.	63	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	83	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.010	N.D.
N.D.	N.D.	66	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	85	0.005	0.141	N.D.	N.D.	N.D.	0.025	N.D.
N.D.	N.D.	62	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.
0.018	N.D.	115	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	90	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	42	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.
N.D.	N.D.	54	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	69	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	122	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	305	0.010	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	161	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	11	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.014	N.D.
N.D.	N.D.	13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	10	0.006	0.140	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	27	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	7	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	58	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	148	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	30	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	143	0.008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	168	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	0.011	137	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.021	N.D.
N.D.	N.D.	124	0.007	0.150	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	15	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	50	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	88	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
0.036	N.D.	152	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	130	0.008	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	145	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.009	N.D.
N.D.	N.D.	69	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.000	N.D.

N.D.	N.D.	107	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	95	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.024	N.D.
0.017	N.D.	553	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.028	N.D.
N.D.	0.013	145	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.018	N.D.
N.D.	N.D.	123	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.015	N.D.
N.D.	N.D.	16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.012	N.D.
N.D.	N.D.	25	0.005	0.133	N.D.	N.D.	N.D.	0.013	N.D.
N.D.	N.D.	19	N.D.	0.095	N.D.	N.D.	N.D.	0.012	N.D.
N.D.	N.D.	51	N.D.	0.117	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.
N.D.	N.D.	19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.019	N.D.
N.D.	N.D.	55	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.019	N.D.
N.D.	N.D.	71	0.005	N.D.	N.D.	0.023	N.D.	0.017	N.D.
N.D.	N.D.	28	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.015	N.D.
N.D.	N.D.	27	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.018	N.D.
N.D.	N.D.	26	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.011	N.D.
N.D.	N.D.	27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.013	N.D.
N.D.	N.D.	142	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.013	N.D.
N.D.	N.D.	111	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	101	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.012	N.D.
N.D.	N.D.	95	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.025	N.D.
N.D.	N.D.	153	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.010	N.D.
N.D.	N.D.	35	0.006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.010	N.D.
N.D.	N.D.	23	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	91	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	122	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
N.D.	N.D.	177	0.009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
0.276	N.D.	678	0.024	6.508	N.D.	0.008	0.001	0.069	N.D.
N.D.	N.D.	37	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.049	N.D.
N.D.	N.D.	74	N.D.	N.D.	N.D.	0.007	N.D.	0.045	N.D.
N.D.	N.D.	66	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	N.D.	0.033	N.D.
N.D.	N.D.	96	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.034	N.D.
N.D.	N.D.	44	N.D.	N.D.	N.D.	0.008	N.D.	0.027	N.D.
N.D.	N.D.	47	N.D.	N.D.	N.D.	0.006	N.D.	0.028	N.D.

Sr ppm*	Te ppm*	Ti ppm*	U ppm*	W ppm*	Zn ppm*	anión	Cloruros Cl mg/l	Nitritos mg/l	Nitratos NO ₃ mg/l
						MUESTRA			
0.0006	0.008	0.01	0.1	0.09	0.0006		0.016	0.009	0.023
0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 001	3.09	0.19	12.86
0.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 002	17.46	0.19	21.13
0.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 003	12.93	0.21	9.94
1.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 004	20.96	0.16	18.08
1.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 005	513.09	7.36	23.73
0.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 006	7.99	0.23	15.54
0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 007	13.08	0.22	10.94
0.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 008	44.88	< LD	12.96
0.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 009	4.74	0.19	32.84
0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 010	9.97	0.22	26.81
0.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 011	2.17	0.22	0.90
0.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 012	1.33	0.22	1.37
0.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 013	1.59	0.22	1.25
0.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 014	7.20	0.20	1.28
0.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 015	5.32	0.23	2.76
0.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 016	18.68	0.09	7.25
0.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 017	28.72	< LD	0.75
0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 018	4.98	0.11	0.52
0.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 019	15.12	0.20	0.58
0.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 020	45.68	< LD	3.69
0.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 021	2.35	0.26	0.87
0.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 022	2.57	0.26	0.91
0.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 023	2.88	0.24	1.77
2.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 024	692.73	< LD	16.03
0.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 025	21.56	< LD	3.39
0.03	N.D.	0.09	N.D.	N.D.	N.D.	M - 026	3.836	0.186	1.087
0.02	N.D.	0.07	N.D.	N.D.	0.008	M - 027	2.668	0.227	0.584
0.14	N.D.	0.07	N.D.	N.D.	N.D.	M - 028	3.898	0.252	0.631
0.08	N.D.	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	M - 029	2.060	0.244	1.159

0.26	N.D.	0.08	N.D.	N.D.	0.009	M - 030	1.543	0.222	1.149
0.15	N.D.	0.14	N.D.	N.D.	0.003	M - 031	5.079	0.272	3.902
0.18	N.D.	0.09	N.D.	N.D.	N.D.	M - 032	9.772	< LD	1.635
0.21	N.D.	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	M - 033	2.500	0.232	1.127
0.58	N.D.	0.10	N.D.	N.D.	N.D.	M - 034	18.353	< LD	4.724
0.11	N.D.	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	M - 035	12.113	< LD	1.181
0.34	N.D.	0.25	N.D.	N.D.	0.001	M - 036	10.885	< LD	< LD
1.13	N.D.	0.12	N.D.	N.D.	N.D.	M - 037	19.519	< LD	< LD
0.846	N.D.	0.073	N.D.	N.D.	N.D.	M - 038	3.291	< LD	1.844
0.916	N.D.	0.086	N.D.	N.D.	N.D.	M - 039	10.338	< LD	1.921
0.743	N.D.	0.084	N.D.	N.D.	N.D.	M - 040	2.417	0.26	1.827
0.806	N.D.	0.099	N.D.	N.D.	N.D.	M - 041	2.238	0.21	0.881
0.793	N.D.	0.101	N.D.	N.D.	N.D.	M - 042	5.362	0.43	1.698
0.636	N.D.	0.084	N.D.	N.D.	N.D.	M - 043	3.659	0.149	0.588
0.320	N.D.	0.081	N.D.	N.D.	N.D.	M - 044	1.289	0.246	1.976
0.072	N.D.	0.081	N.D.	N.D.	N.D.	M - 045	4.458	0.283	0.41
0.126	N.D.	0.220	N.D.	N.D.	N.D.	M - 046	4.107	0.255	2.127
0.182	N.D.	0.118	N.D.	N.D.	N.D.	M - 047	7.665	0.466	1.902
0.318	N.D.	0.098	N.D.	N.D.	N.D.	M - 048	0.902	0.279	0.682
N.D.	N.D.	0.042	N.D.	N.D.	N.D.	M - 049	2.143	0.193	0.523
0.012	N.D.	0.069	N.D.	N.D.	0.018	M - 050	2.625	0.138	1.097
0.149	N.D.	0.067	N.D.	N.D.	N.D.	M - 051	15.182	0.263	0.676
0.192	N.D.	0.085	N.D.	N.D.	N.D.	M - 052	11.423	0.237	2.794
0.148	N.D.	0.049	N.D.	N.D.	N.D.	M - 053	17.213	0.294	1.425
0.133	N.D.	0.051	N.D.	N.D.	N.D.	M - 054	6.882	0.196	0.911
0.202	N.D.	0.085	N.D.	N.D.	0.018	M - 055	4.101	0.209	7.424
0.284	N.D.	0.147	N.D.	N.D.	0.003	M - 056	0.834	0.234	2.202
0.333	N.D.	0.108	N.D.	N.D.	N.D.	M - 057	12.68	0.306	10.33
0.417	N.D.	0.121	N.D.	N.D.	N.D.	M - 058	4.032	0.21	8.03
1.289	N.D.	0.275	N.D.	N.D.	N.D.	M - 059	277.663	2.926	34.325
1.129	N.D.	0.280	N.D.	N.D.	N.D.	M - 060	347.27	2.939	12.77
0.478	N.D.	0.189	N.D.	N.D.	N.D.	M - 061	4.058	0.113	1.639

0.339	N.D.	0.116	N.D.	N.D.	N.D.	M - 062	12.459	0.226	1.427
0.674	N.D.	0.159	N.D.	N.D.	N.D.	M - 063	28.183	0.09	1.568
0.469	N.D.	0.123	N.D.	N.D.	N.D.	M - 064	20.423	0.245	2.243
0.364	N.D.	0.015	N.D.	N.D.	N.D.	M - 065	7.177	0.197	1.117
0.476	N.D.	0.247	N.D.	N.D.	N.D.	M - 066	6.141	0.19	2.581
1.631	N.D.	0.263	N.D.	N.D.	N.D.	M - 067	72.368	< LD	61.813
0.401	N.D.	0.122	N.D.	N.D.	N.D.	M - 068	7.903	0.224	0.349
0.201	N.D.	0.109	N.D.	N.D.	N.D.	M - 069	8.161	0.183	0.669
0.448	N.D.	0.109	N.D.	N.D.	0.006	M - 070	7.536	0.223	5.581
0.451	N.D.	0.085	N.D.	N.D.	N.D.	M - 071	6.35	0.18	1.210
0.037	N.D.	0.072	N.D.	N.D.	N.D.	M - 072	3.358	0.195	0.478
0.363	N.D.	0.121	N.D.	N.D.	N.D.	M - 073	8.672	0.107	1.842
2.554	N.D.	0.162	N.D.	N.D.	N.D.	M - 074	68.113	0.185	13.127
1.612	N.D.	0.194	N.D.	N.D.	N.D.	M - 075	22.505	0.159	19.817
0.038	N.D.	0.047	N.D.	N.D.	0.032	M - 076	2.74	0.11	0.720
0.036	N.D.	0.079	N.D.	N.D.	0.025	M - 077	2.84	0.16	1.097
0.095	N.D.	0.106	N.D.	N.D.	0.022	M - 078	1.46	0.17	0.712
0.261	N.D.	0.134	N.D.	N.D.	N.D.	M - 079	1.87	0.23	1.213
0.019	N.D.	0.056	N.D.	N.D.	0.050	M - 080	1.39	0.11	0.092
0.215	N.D.	0.100	N.D.	N.D.	N.D.	M - 081	2.46	0.31	1.218
0.274	N.D.	0.093	N.D.	N.D.	N.D.	M - 082	14.02	0.12	1.187
0.426	N.D.	0.080	N.D.	N.D.	0.008	M - 083	3.69	0.27	1.749
0.123	N.D.	0.092	N.D.	N.D.	N.D.	M - 084	27.62	0.21	0.097
0.401	N.D.	0.054	N.D.	N.D.	N.D.	M - 085	39.28	0.29	3.013
0.157	N.D.	0.218	N.D.	N.D.	N.D.	M - 086	29.86	0.21	0.094
0.104	N.D.	0.077	N.D.	N.D.	N.D.	M - 087	17.02	0.24	0.092
0.054	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.048	M - 088	3.13	0.13	1.063
0.262	N.D.	0.082	N.D.	N.D.	N.D.	M - 089	1.77	0.22	1.241
0.174	N.D.	0.069	N.D.	N.D.	N.D.	M - 090	11.43	0.15	1.209
0.117	N.D.	0.067	N.D.	N.D.	N.D.	M - 091	38.36	0.17	0.112
0.168	N.D.	0.117	N.D.	N.D.	N.D.	M - 092	18.63	0.25	0.609
0.137	N.D.	0.068	N.D.	N.D.	N.D.	M - 093	30.76	0.24	0.380
0.717	N.D.	0.067	N.D.	N.D.	N.D.	M - 094	2.89	0.12	3.085

0.572	N.D.	0.047	N.D.	N.D.	N.D.	M - 095	9.79	0.18	0.919
1.400	N.D.	0.230	N.D.	N.D.	N.D.	M - 096	23.23	0.34	1.383
0.818	N.D.	0.462	N.D.	N.D.	N.D.	M - 097	93.8	0.35	0.183
0.690	N.D.	0.125	N.D.	N.D.	N.D.	M - 098	14.74	0.13	0.337
1.518	N.D.	0.108	N.D.	N.D.	N.D.	M - 099	22.59	0.09	3.362
0.854	N.D.	0.026	N.D.	N.D.	N.D.	M - 100	2.3	0.24	4.594
0.659	N.D.	0.079	N.D.	N.D.	0.042	M - 101	20.05	0.16	10.447
0.315	N.D.	0.069	N.D.	N.D.	N.D.	M - 102	3.36	0.27	2.200
0.221	N.D.	0.101	N.D.	N.D.	0.036	M - 103	0.38	0.24	3.332
0.480	N.D.	0.090	N.D.	N.D.	N.D.	M - 104	2.45	0.31	1.572
0.471	N.D.	0.164	N.D.	N.D.	0.005	M - 105	10.21	0.11	9.713
0.210	N.D.	0.224	N.D.	N.D.	N.D.	M - 106	4.07	0.11	1.763
0.848	N.D.	0.124	N.D.	N.D.	N.D.	M - 107	210.5	0.18	1.678
0.282	N.D.	0.070	N.D.	N.D.	N.D.	M - 108	6.65	0.23	5.856
0.253	N.D.	0.069	N.D.	N.D.	N.D.	M - 109	1.47	0.22	1.040
0.285	N.D.	0.107	N.D.	N.D.	0.004	M - 110	5.99	0.24	5.230
0.287	N.D.	0.080	N.D.	N.D.	0.003	M - 111	1.87	0.27	1.450
0.596	N.D.	0.095	N.D.	N.D.	N.D.	M - 112	47.43	< LD	2.300
0.042	N.D.	0.027	N.D.	N.D.	N.D.	M - 113	13.28	0.24	0.928
0.189	N.D.	0.055	N.D.	N.D.	N.D.	M - 114	9.26	0.24	1.140
0.694	N.D.	0.068	N.D.	N.D.	N.D.	M - 115	9.83	0.11	2.277
0.373	N.D.	0.294	N.D.	N.D.	N.D.	M - 116	3.81	0.29	2.062
0.398	N.D.	0.168	N.D.	N.D.	N.D.	M - 117	17.82	0.27	2.156
0.523	N.D.	0.124	N.D.	N.D.	0.007	M - 118	6.05	0.28	1.162
1.485	N.D.	0.082	N.D.	N.D.	0.008	M - 119	2.08	0.28	2.184
0.964	N.D.	0.069	N.D.	N.D.	N.D.	M - 120	4.15	0.11	1.038
1.394	N.D.	0.119	N.D.	N.D.	N.D.	M - 121	0.32	0.28	2.960
0.071	N.D.	0.036	N.D.	N.D.	N.D.	M - 122	21.17	0.12	0.100
2.964	N.D.	0.196	N.D.	N.D.	N.D.	M - 123	934.71	< LD	0.14
1.852	N.D.	0.136	N.D.	N.D.	0.014	M - 124	34.78	0.21	1.86
2.534	N.D.	0.286	N.D.	N.D.	0.024	M - 125	27.42	0.18	14.47
1.138	N.D.	0.092	N.D.	N.D.	N.D.	M - 126	5.57	< LD	1.57
0.098	N.D.	0.166	N.D.	N.D.	0.051	M - 127	8.43	0.18	1.15
0.327	N.D.	0.140	N.D.	N.D.	0.047	M - 128	5.21	0.23	1.28
0.399	N.D.	0.184	N.D.	N.D.	0.038	M - 129	3.64	0.23	1.02

1.938	N.D.	0.168	N.D.	N.D.	N.D.	M - 130	52.65	0.34	8.546
0.101	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.035	M - 131	1.63	0.13	0.115
0.162	N.D.	0.129	N.D.	N.D.	N.D.	M - 132	2.25	0.32	1.322
0.237	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.151	M - 133	4.05	0.21	0.345
0.382	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 134	185.45	1.28	0.147
0.264	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.014	M - 135	12.49	0.22	< LD
0.454	N.D.	0.295	N.D.	N.D.	0.076	M - 136	3.85	0.23	1.31
0.136	N.D.	0.038	N.D.	N.D.	0.143	M - 137	1.11	0.14	0.11
0.337	N.D.	0.070	N.D.	N.D.	0.012	M - 138	4.95	0.11	1.43
0.392	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 139	2.38	0.12	3.03
0.316	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 140	1.95	0.25	1.07
0.267	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 141	5.79	0.19	2.02
0.331	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 142	15.56	0.14	3.36
0.491	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 143	157.55	< LD	< LD
2.952	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 144	1302.14	< LD	199
0.511	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 145	2.02	< LD	4.3
1.685	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 146	384.5	< LD	13.15
0.145	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 147	3.28	0.21	0.85
1.208	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 148	463.86	< LD	8.17
0.146	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 149	15.54	0.15	1.02
0.291	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 150	3.23	0.11	1.92
0.030	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 151	2.55	< LD	0.3
0.750	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 152	53.56	< LD	7.54
0.210	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 153	38.43	< LD	0.12
0.185	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 154	2.75	0.22	0.44
0.266	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 155	140.03	< LD	0.13
0.477	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 156	3.82	0.22	0.76
0.629	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 157	46.73	0.12	6.78
0.329	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 158	1.63	0.26	1.09
0.413	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 159	8.20	0.15	0.93
0.886	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 160	236.99	< LD	5.90
0.847	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 161	39.15	0.18	15.56
0.391	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 162	6.48	0.17	5.42
0.404	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 163	7.66	0.18	0.75
0.021	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 164	16.86	0.15	0.97
0.164	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 165	10.59	0.18	2.14

0.156	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 166	4.31	0.19	0.63
0.024	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 167	9.55	0.16	1.04
0.496	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	M - 168	8.31	0.16	5.20

Sulfatos SO ₄	Carbonatos CO ₃			Bicarbonatos HCO ₃			Ca	K	Mg	
	mg/l	A H ₂ SO ₄ ml	meq/l	ppm	B H ₂ SO ₄ ml	meq/l	ppm	meq/l	meq/l	meq/l
0.024										
8.63	N.D.	N.D.	0.00	9.1	3.64	222.04	1.000	0.256	0.083	
16.46	N.D.	N.D.	0.00	14.1	5.64	344.04	2.750	0.564	1.333	
96.05	N.D.	N.D.	0.00	19.9	7.96	485.56	3.100	0.436	0.833	
101.74	N.D.	N.D.	0.00	22.2	8.88	541.68	4.050	0.846	1.500	
36.52	N.D.	N.D.	0.00	21.1	8.44	514.84	11.300	0.718	4.917	
18.70	N.D.	N.D.	0.00	12.8	5.12	312.32	2.650	0.282	0.750	
48.46	N.D.	N.D.	0.00	13.8	5.52	336.72	2.150	0.282	0.417	
128.81	N.D.	N.D.	0.00	33.4	13.36	814.96	3.600	0.462	1.167	
11.59	N.D.	N.D.	0.00	12.7	5.08	309.88	1.850	0.282	0.750	
10.42	N.D.	N.D.	0.00	12.9	5.16	314.76	1.700	0.179	0.667	
14.54	N.D.	N.D.	0.00	9.8	3.92	239.12	2.550	0.308	0.500	
3.43	N.D.	N.D.	0.00	12.5	5	305	1.900	0.513	1.083	
3.27	N.D.	N.D.	0.00	12.1	4.84	295.24	2.200	0.282	0.833	
31.37	N.D.	N.D.	0.00	16.2	6.48	395.28	2.500	0.231	0.500	
21.53	N.D.	N.D.	0.00	18.4	7.36	448.96	2.800	0.256	1.750	
16.90	N.D.	N.D.	0.00	18	7.2	439.2	2.050	0.231	1.333	
48.33	N.D.	N.D.	0.00	24.3	9.72	592.92	1.050	0.231	0.667	
3.50	N.D.	N.D.	0.00	1.9	0.76	46.36	0.350	0.128	0.167	
52.23	N.D.	N.D.	0.00	17.8	7.12	434.32	1.150	0.231	0.250	
6.07	N.D.	N.D.	0.00	14.1	5.64	344.04	4.400	0.179	1.917	
3.36	N.D.	N.D.	0.00	10.2	4.08	248.88	1.750	0.179	0.750	
3.54	N.D.	N.D.	0.00	11.3	4.52	275.72	2.350	0.128	0.833	
1.96	N.D.	N.D.	0.00	12.4	4.96	302.56	2.350	0.231	1.917	
71.02	N.D.	N.D.	0.00	13.2	5.28	322.08	21.250	0.513	6.750	
5.44	N.D.	N.D.	0.00	18	7.2	439.2	3.700	0.282	2.083	
4.952	N.D.	N.D.	0.00	11.4	4.56	278.16	1.961	0.136	0.280	
2.710	N.D.	N.D.	0.00	6.5	2.6	158.6	1.076	0.194	0.132	
3.474	N.D.	N.D.	0.00	10.2	4.08	248.88	1.569	0.384	0.915	
3.802	N.D.	N.D.	0.00	10.8	4.32	263.52	1.184	0.090	0.119	

0.942	N.D.	N.D.	0.00	13.7	5.48	334.28	1.990	0.161	2.006
3.608	N.D.	N.D.	0.00	11.7	4.68	285.48	2.292	0.460	0.789
17.702	N.D.	N.D.	0.00	15.3	6.12	373.32	2.056	0.191	0.169
9.548	N.D.	N.D.	0.00	13.3	5.32	324.52	1.185	0.261	0.901
46.891	N.D.	N.D.	0.00	22.1	8.84	539.24	2.971	0.303	1.257
14.856	N.D.	N.D.	0.00	12.1	4.84	295.24	0.446	0.173	0.158
22.776	N.D.	N.D.	0.00	16.8	6.72	409.92	1.667	0.206	0.329
54.038	N.D.	N.D.	0.00	20	8	488	2.157	0.530	0.667
2.705	N.D.	N.D.	0.00	15	6	366	1.596	0.334	2.433
21.465	N.D.	N.D.	0.00	15.8	6.32	385.52	1.635	0.344	1.848
5.061	N.D.	N.D.	0.00	14.6	5.84	356.24	1.505	0.296	0.719
1.374	N.D.	N.D.	0.00	10.6	4.24	258.64	1.683	0.295	1.265
15.092	N.D.	N.D.	0.00	16.8	6.72	409.92	1.636	0.264	1.078
6.64	N.D.	N.D.	0.00	17.3	6.92	422.12	1.118	0.214	0.819
1.838	N.D.	N.D.	0.00	12.8	5.12	312.32	2.140	0.154	2.536
1.274	N.D.	N.D.	0.00	14.5	5.8	353.8	0.546	0.125	0.265
8.24	N.D.	N.D.	0.00	15.4	6.16	375.76	0.903	0.106	0.541
22.973	N.D.	N.D.	0.00	16.6	6.64	405.04	1.449	0.265	0.967
0.477	N.D.	N.D.	0.00	13.5	5.4	329.4	1.848	0.207	2.663
3.199	0.4	0.32	9.60	5.8	2.32	141.52	0.069	0.066	0.00
3.88	N.D.	N.D.	0.00	5.1	2.04	124.44	0.212	0.120	0.045
14.064	N.D.	N.D.	0.00	15.5	6.2	378.2	0.678	0.337	0.331
9.38	0.3	0.24	7.20	11.2	4.48	273.28	0.767	0.349	0.617
12.894	N.D.	N.D.	0.00	15.1	6.04	368.44	0.472	0.321	0.445
9.95	0.2	0.16	4.80	10.1	4.04	246.44	0.658	0.372	0.624
3.877	N.D.	N.D.	0.00	10.4	4.16	253.76	2.278	0.433	0.423
1.064	N.D.	N.D.	0.00	9.2	3.68	224.48	2.714	0.267	0.304
3.829	N.D.	N.D.	0.00	14	5.6	341.6	1.688	1.072	0.624
4.121	N.D.	N.D.	0.00	11.2	4.48	273.28	3.325	0.346	0.659
252.376	N.D.	N.D.	0.00	37.2	14.88	907.68	9.755	2.318	3.064
45.587	N.D.	N.D.	0.00	25.6	10.24	624.64	9.660	0.714	4.191
4.99	N.D.	N.D.	0.00	15.4	6.16	375.76	3.981	0.387	0.984

27.137	0.3	0.24	7.20	14.4	5.76	351.36	1.886	0.345	0.677
9.959	N.D.	N.D.	0.00	16.3	6.52	397.72	4.410	0.323	0.909
19.372	N.D.	N.D.	0.00	17.3	6.92	422.12	2.729	0.364	0.874
11.883	N.D.	N.D.	0.00	12.5	5	305	2.091	0.301	0.772
22.704	N.D.	N.D.	0.00	14.9	5.96	363.56	2.525	0.266	0.652
29.023	N.D.	N.D.	0.00	17.8	7.12	434.32	9.380	0.134	4.552
34.395	N.D.	N.D.	0.00	17.3	6.92	422.12	2.296	0.318	0.701
24.652	N.D.	N.D.	0.00	14.4	5.76	351.36	1.748	0.264	0.525
4.579	N.D.	N.D.	0.00	13.6	5.44	331.84	3.654	0.433	0.697
6.32	N.D.	N.D.	0.00	14.1	5.64	344.04	2.649	0.312	0.941
11.102	N.D.	N.D.	0.00	7.7	3.08	187.88	0.479	0.132	0.064
33.975	N.D.	N.D.	0.00	19.7	7.88	480.68	2.514	0.277	1.421
347.572	N.D.	N.D.	0.00	17.7	7.08	431.88	14.315	0.732	4.008
130.033	N.D.	N.D.	0.00	18.9	7.56	461.16	9.045	0.559	2.649
0.58	N.D.	N.D.	0.00	2	0.8	48.8	0.165	0.133	0.078
0.47	N.D.	N.D.	0.00	2.1	0.84	51.24	0.207	0.165	0.115
0.25	N.D.	N.D.	0.00	4.1	1.64	100.04	0.655	0.137	0.452
0.93	N.D.	N.D.	0.00	11.6	4.64	283.04	1.955	0.205	1.906
2.55	N.D.	N.D.	0.00	1.3	0.52	31.72	0.116	0.131	0.054
5.9	N.D.	N.D.	0.00	14.6	5.84	356.24	2.288	0.249	1.463
36.19	N.D.	N.D.	0.00	17.5	7	427	1.505	0.317	0.901
1.7	N.D.	N.D.	0.00	13.9	5.56	339.16	2.117	0.171	2.656
18.83	N.D.	N.D.	0.00	13.4	5.36	326.96	0.405	0.474	0.187
36.89	1.3	1.04	31.20	15.1	6.04	368.44	1.557	0.442	0.580
17.07	N.D.	N.D.	0.00	12.5	5	305	0.515	0.234	0.203
20.23	N.D.	N.D.	0.00	12.7	5.08	309.88	0.531	0.330	0.115
9.54	N.D.	N.D.	0.00	2.1	0.84	51.24	0.231	0.196	0.182
1.46	N.D.	N.D.	0.00	10.2	4.08	248.88	1.006	0.262	0.576
10.11	0.6	0.48	14.40	9.9	3.96	241.56	0.706	0.377	0.629
14.62	N.D.	N.D.	0.00	12.6	5.04	307.44	0.286	0.188	0.097
14.52	N.D.	N.D.	0.00	13.7	5.48	334.28	0.612	0.438	0.235
16.93	N.D.	N.D.	0.00	14.1	5.64	344.04	0.512	0.218	0.202
7.79	N.D.	N.D.	0.00	18.1	7.24	441.64	1.676	0.957	2.678

16.4	N.D.	N.D.	0.00	14.8	5.92	361.12	0.860	0.451	0.684
37.55	N.D.	N.D.	0.00	15.7	6.28	383.08	2.259	0.353	1.603
156.83	N.D.	N.D.	0.00	41.8	16.72	1019.92	0.548	0.390	0.178
29.63	N.D.	N.D.	0.00	17.9	7.16	436.76	0.780	0.454	0.466
36.15	N.D.	N.D.	0.00	18.1	7.24	441.64	2.134	0.571	1.488
5.37	N.D.	N.D.	0.00	10.4	4.16	253.76	1.789	0.123	1.422
9.89	N.D.	N.D.	0.00	5.7	2.28	139.08	1.075	0.241	1.143
6.98	N.D.	N.D.	0.00	14.6	5.84	356.24	2.598	0.120	3.163
6.52	N.D.	N.D.	0.00	3.2	1.28	78.08	2.651	0.170	2.283
1.95	N.D.	N.D.	0.00	13.1	5.24	319.64	2.859	0.086	2.170
8.8	N.D.	N.D.	0.00	16.5	6.6	402.6	3.878	0.221	2.201
6.78	N.D.	N.D.	0.00	11.8	4.72	287.92	2.205	0.396	0.376
8.17	N.D.	N.D.	0.00	10.9	4.36	265.96	5.530	0.479	1.138
4.61	N.D.	N.D.	0.00	10.2	4.08	248.88	2.386	0.269	1.090
2.32	N.D.	N.D.	0.00	8.8	3.52	214.72	1.632	0.189	1.060
4.32	N.D.	N.D.	0.00	15.7	6.28	383.08	2.407	0.108	3.736
1.75	N.D.	N.D.	0.00	12.6	5.04	307.44	2.860	0.261	0.512
5.82	N.D.	N.D.	0.00	15	6	366	3.815	0.240	2.787
19.21	1.0	0.8	24.00	11.8	4.72	287.92	0.397	0.215	0.072
13.96	N.D.	N.D.	0.00	13.6	5.44	331.84	1.193	0.203	0.269
29.63	N.D.	N.D.	0.00	17.9	7.16	436.76	2.092	0.445	1.713
9.54	N.D.	N.D.	0.00	16.7	6.68	407.48	1.529	0.414	1.460
35.05	N.D.	N.D.	0.00	20.9	8.36	509.96	1.595	0.409	1.701
3.58	N.D.	N.D.	0.00	14.4	5.76	351.36	2.292	0.328	1.527
2.50	N.D.	N.D.	0.00	12.1	4.84	295.24	2.061	0.154	2.290
7.37	N.D.	N.D.	0.00	13.2	5.28	322.08	1.216	0.250	0.548
11.86	N.D.	N.D.	0.00	23.1	9.24	563.64	1.948	0.282	1.876
32.4	1.4	1.12	33.60	14.9	5.96	363.56	0.080	0.298	0.008
66.52	N.D.	N.D.	0.00	45.7	18.28	1115.08	6.740	1.164	2.660
4.95	N.D.	N.D.	0.00	12.3	4.92	300.12	2.861	0.280	0.988
18.55	N.D.	N.D.	0.00	21.2	8.48	517.28	4.760	0.543	1.270
8.46	N.D.	N.D.	0.00	10.8	4.32	263.52	1.764	0.217	0.333
14.93	N.D.	N.D.	0.00	10.8	4.32	263.52	0.865	0.163	0.116
6.65	N.D.	N.D.	0.00	13.5	5.4	329.4	3.112	0.225	0.396
6.15	N.D.	N.D.	0.00	12.5	5	305	2.793	0.360	0.692

293.480	N.D.	N.D.	0.00	24	9.6	585.6	5.855	0.948	4.430
2.380	N.D.	N.D.	0.00	3.1	1.24	75.64	0.507	0.172	0.287
3.400	N.D.	N.D.	0.00	10.3	4.12	251.32	1.739	0.265	0.724
4.020	N.D.	N.D.	0.00	2.7	1.08	65.88	0.894	0.426	0.927
14.610	1.0	0.8	24.00	14.5	5.8	353.8	3.055	0.544	0.963
10.900	1.1	0.88	26.40	9.1	3.64	222.04	2.123	0.639	0.646
5.26	N.D.	N.D.	0.00	15	6	366	3.678	0.406	0.668
2.25	N.D.	N.D.	0.00	4.8	1.92	117.12	1.080	0.243	0.317
5.80	N.D.	N.D.	0.00	12.7	5.08	309.88	2.554	0.351	0.571
2.17	N.D.	N.D.	0.00	12.7	5.08	309.88	2.207	0.276	0.670
2.69	N.D.	N.D.	0.00	12.6	5.04	307.44	1.929	0.432	1.368
6.49	N.D.	N.D.	0.00	11.2	4.48	273.28	3.073	0.245	0.361
5.28	N.D.	N.D.	0.00	11.4	4.56	278.16	3.451	0.284	0.485
30.62	N.D.	N.D.	0.00	10.8	4.32	263.52	5.085	0.883	1.440
135.39	N.D.	N.D.	0.00	29.5	11.8	719.8	32.155	1.029	8.833
7.03	N.D.	N.D.	0.00	13.9	5.56	339.16	3.290	0.446	1.269
29.64	N.D.	N.D.	0.00	19.5	7.8	475.8	14.245	0.294	6.094
8.88	N.D.	N.D.	0.00	8.1	3.24	197.64	1.079	0.321	0.059
39.01	N.D.	N.D.	0.00	20.8	8.32	507.52	11.555	1.037	5.243
45.84	N.D.	N.D.	0.00	11.3	4.52	275.72	2.373	0.366	0.470
2.64	N.D.	N.D.	0.00	9.5	3.8	231.8	2.116	0.211	1.527
5.14	N.D.	N.D.	0.00	2.1	0.84	51.24	0.186	0.116	0.072
186.57	N.D.	N.D.	0.00	29	11.6	707.6	2.450	0.833	1.654
56.52	N.D.	N.D.	0.00	17.2	6.88	419.68	1.013	0.259	0.338
6.33	N.D.	N.D.	0.00	12.1	4.84	295.24	0.608	0.399	0.354
18.76	N.D.	N.D.	0.00	10.2	4.08	248.88	2.189	0.456	0.821
1.75	N.D.	N.D.	0.00	13.5	5.4	329.4	2.731	0.242	1.387
10.44	N.D.	N.D.	0.00	15.7	6.28	383.08	4.677	0.210	3.208
2.42	N.D.	N.D.	0.00	11.6	4.64	283.04	2.154	0.190	2.051
4.21	N.D.	N.D.	0.00	10.2	4.08	248.88	2.386	0.341	0.623
5.38	N.D.	N.D.	0.00	9.7	3.88	236.68	7.785	0.251	2.428
16.38	N.D.	N.D.	0.00	20.1	8.04	490.44	6.170	0.168	3.243
4.01	N.D.	N.D.	0.00	14.1	5.64	344.04	3.079	0.118	2.871
4.59	N.D.	N.D.	0.00	13.2	5.28	322.08	3.334	0.353	0.727
23.34	0.7	0.56	16.80	7.9	3.16	192.76	0.144	0.167	0.022
13.18	N.D.	N.D.	0.00	10.8	4.32	263.52	1.931	0.229	0.780

3.64
9.81
11.73

N.D.	N.D.	0.00
N.D.	N.D.	0.00
N.D.	N.D.	0.00

9.7	3.88	236.68	1.656	0.364	0.832
8.2	3.28	200.08	0.318	0.128	0.054
14.6	5.84	356.24	3.068	0.460	0.988

Na	Fe	Cloruros Cl	Nitritos NO₂	Nitratos NO₃	Sulfatos SO₄	Carbonatos CO₃	Bicarbonatos HCO₃	cationes	aniones
meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
2.609	0.000	0.087	0.004	0.207	0.180	0	3.64	3.948	4.118
2.913	0.000	0.492	0.004	0.341	0.343	0	5.64	7.560	6.820
7.652	0.000	0.364	0.005	0.160	2.001	0	7.96	12.021	10.490
7.174	0.000	0.590	0.003	0.292	2.120	0	8.88	13.570	11.885
7.696	0.000	14.453	0.160	0.383	0.761	0	8.44	24.630	24.197
3.217	0.000	0.225	0.005	0.251	0.390	0	5.12	6.899	5.990
4.739	0.000	0.368	0.005	0.176	1.010	0	5.52	7.588	7.079
14.696	0.000	1.264	0.000	0.209	2.684	0	13.36	19.924	17.517
2.870	0.000	0.134	0.004	0.530	0.241	0	5.08	5.752	5.989
3.522	0.000	0.281	0.005	0.432	0.217	0	5.16	6.068	6.095
1.609	0.000	0.061	0.005	0.015	0.303	0	3.92	4.966	4.303
2.043	0.000	0.037	0.005	0.022	0.071	0	5	5.540	5.136
2.043	0.000	0.045	0.005	0.020	0.068	0	4.84	5.359	4.978
3.783	0.000	0.203	0.004	0.021	0.654	0	6.48	7.013	7.361
4.391	0.000	0.150	0.005	0.045	0.449	0	7.36	9.198	8.008
5.565	0.000	0.526	0.002	0.117	0.352	0	7.2	9.179	8.197
10.870	0.000	0.809	0.000	0.012	1.007	0	9.72	12.817	11.548
0.304	0.018	0.140	0.002	0.008	0.073	0	0.76	0.949	0.984
8.391	0.000	0.426	0.004	0.009	1.088	0	7.12	10.022	8.648
1.348	0.000	1.287	0.000	0.060	0.126	0	5.64	7.844	7.113
2.130	0.000	0.066	0.006	0.014	0.070	0	4.08	4.810	4.236
2.000	0.000	0.072	0.006	0.015	0.074	0	4.52	5.312	4.686
1.043	0.000	0.081	0.005	0.029	0.041	0	4.96	5.541	5.116
6.217	0.000	19.514	0.000	0.259	1.480	0	5.28	34.730	26.532
1.739	0.000	0.607	0.000	0.055	0.113	0	7.2	7.805	7.975
2.416	0.000	0.108	0.004	0.018	0.103	0.000	4.56	4.793	4.793
1.623	0.000	0.075	0.005	0.009	0.056	0.000	2.6	3.025	2.746
1.998	0.000	0.110	0.005	0.010	0.072	0.000	4.08	4.867	4.278
3.406	0.000	0.058	0.005	0.019	0.079	0.000	4.32	4.799	4.481

1.334	0.000	0.043	0.005	0.019	0.020	0.000	5.48	5.491	5.566
2.174	0.000	0.143	0.006	0.063	0.075	0.000	4.68	5.715	4.967
5.235	0.000	0.275	0.000	0.026	0.369	0.000	6.12	7.651	6.790
3.865	0.000	0.070	0.005	0.018	0.199	0.000	5.32	6.212	5.613
6.513	0.000	0.517	0.000	0.076	0.977	0.000	8.84	11.044	10.410
5.048	0.000	0.341	0.000	0.019	0.310	0.000	4.84	5.824	5.510
9.561	0.000	0.307	0.000	0.000	0.475	0.000	6.72	11.763	7.501
7.587	0.000	0.550	0.000	0.000	1.126	0.000	8	10.941	9.676
2.254	0.000	0.093	0.000	0.030	0.056	0.000	6	6.617	6.179
3.721	0.000	0.291	0.000	0.031	0.447	0.000	6.32	7.548	7.089
4.065	0.000	0.068	0.006	0.029	0.105	0.000	5.84	6.585	6.049
1.753	0.000	0.063	0.005	0.014	0.029	0.000	4.24	4.996	4.350
5.035	0.000	0.151	0.009	0.027	0.314	0.000	6.72	8.013	7.222
5.704	0.000	0.103	0.003	0.009	0.138	0.000	6.92	7.856	7.174
0.884	0.000	0.036	0.005	0.032	0.038	0.000	5.12	5.714	5.232
5.743	0.000	0.126	0.006	0.007	0.027	0.000	5.8	6.680	5.965
5.761	0.000	0.116	0.006	0.034	0.172	0.000	6.16	7.310	6.487
5.509	0.000	0.216	0.010	0.031	0.479	0.000	6.64	8.189	7.375
1.311	0.000	0.025	0.006	0.011	0.010	0.000	5.4	6.029	5.452
2.544	0.000	0.060	0.004	0.008	0.067	0.320	2.32	2.679	2.780
2.091	0.000	0.074	0.003	0.018	0.081	0.000	2.04	2.468	2.215
5.357	0.000	0.428	0.006	0.011	0.293	0.000	6.2	6.702	6.937
4.231	0.000	0.322	0.005	0.045	0.195	0.240	4.48	5.964	5.287
6.283	0.000	0.485	0.006	0.023	0.269	0.000	6.04	7.520	6.823
3.458	0.000	0.194	0.004	0.015	0.207	0.160	4.04	5.112	4.620
1.863	0.000	0.116	0.005	0.120	0.081	0.000	4.16	4.996	4.481
0.906	0.000	0.023	0.005	0.036	0.022	0.000	3.68	4.191	3.766
2.790	0.000	0.357	0.007	0.167	0.080	0.000	5.6	6.174	6.210
1.447	0.000	0.114	0.005	0.130	0.086	0.000	4.48	5.776	4.814
27.657	0.000	7.821	0.064	0.554	5.258	0.000	14.88	42.793	28.577
10.057	0.000	9.782	0.064	0.206	0.950	0.000	10.24	24.621	21.242
1.973	0.000	0.114	0.002	0.026	0.104	0.000	6.16	7.325	6.407

4.648	0.000	0.351	0.005	0.023	0.565	0.240	5.76	7.556	6.944
2.747	0.000	0.794	0.002	0.025	0.207	0.000	6.52	8.389	7.549
3.611	0.000	0.575	0.005	0.036	0.404	0.000	6.92	7.578	7.940
2.887	0.000	0.202	0.004	0.018	0.248	0.000	5	6.050	5.472
3.701	0.000	0.173	0.004	0.042	0.473	0.000	5.96	7.145	6.652
2.706	0.000	2.039	0.000	0.997	0.605	0.000	7.12	16.771	10.760
4.978	0.000	0.223	0.005	0.006	0.717	0.000	6.92	8.293	7.870
3.914	0.000	0.230	0.004	0.011	0.514	0.000	5.76	6.450	6.518
1.810	0.000	0.212	0.005	0.090	0.095	0.000	5.44	6.594	5.843
2.337	0.000	0.179	0.004	0.020	0.132	0.000	5.64	6.238	5.974
2.990	0.000	0.095	0.004	0.008	0.231	0.000	3.08	3.666	3.418
5.296	0.000	0.244	0.002	0.030	0.708	0.000	7.88	9.507	8.864
13.248	0.000	1.919	0.004	0.212	7.241	0.000	7.08	32.303	16.456
6.987	0.000	0.634	0.003	0.320	2.709	0.000	7.56	19.240	11.226
0.481	0.000	0.077	0.002	0.012	0.012	0.000	0.8	0.857	0.903
0.545	0.000	0.080	0.003	0.018	0.010	0.000	0.84	1.032	0.951
0.441	0.000	0.041	0.004	0.011	0.005	0.000	1.64	1.684	1.702
1.174	0.000	0.053	0.005	0.020	0.019	0.000	4.64	5.240	4.737
0.307	0.017	0.039	0.002	0.001	0.053	0.000	0.52	0.608	0.616
2.521	0.000	0.069	0.007	0.020	0.123	0.000	5.84	6.520	6.059
6.430	0.000	0.395	0.003	0.019	0.754	0.000	7	9.153	8.171
1.291	0.000	0.104	0.006	0.028	0.035	0.000	5.56	6.234	5.733
6.217	0.000	0.778	0.005	0.002	0.392	0.000	5.36	7.282	6.536
7.296	0.000	1.106	0.006	0.049	0.769	1.040	6.04	9.874	9.010
5.952	0.000	0.841	0.005	0.002	0.356	0.000	5	6.905	6.203
5.400	0.000	0.479	0.005	0.001	0.421	0.000	5.08	6.376	5.988
0.672	0.000	0.088	0.003	0.017	0.199	0.000	0.84	1.280	1.147
2.153	0.000	0.050	0.005	0.020	0.030	0.000	4.08	3.996	4.185
3.834	0.000	0.322	0.003	0.020	0.211	0.480	3.96	5.545	4.995
6.617	0.000	1.081	0.004	0.002	0.305	0.000	5.04	7.189	6.431
5.661	0.000	0.525	0.005	0.010	0.303	0.000	5.48	6.947	6.323
6.317	0.000	0.866	0.005	0.006	0.353	0.000	5.64	7.249	6.871
3.010	0.000	0.081	0.003	0.050	0.162	0.000	7.24	8.321	7.536

4.670	0.000	0.276	0.004	0.015	0.342	0.000	5.92	6.665	6.556
4.121	0.000	0.654	0.007	0.022	0.782	0.000	6.28	8.335	7.746
24.061	0.000	2.642	0.008	0.003	3.267	0.000	16.72	25.177	22.640
6.291	0.000	0.415	0.003	0.005	0.617	0.000	7.16	7.991	8.201
5.352	0.000	0.636	0.002	0.054	0.753	0.000	7.24	9.544	8.686
0.691	0.000	0.065	0.005	0.074	0.112	0.000	4.16	4.024	4.416
1.083	0.000	0.565	0.003	0.169	0.206	0.000	2.28	3.542	3.223
0.821	0.000	0.095	0.006	0.035	0.145	0.000	5.84	6.702	6.121
2.228	0.000	0.011	0.005	0.054	0.136	0.000	1.28	7.332	1.485
0.816	0.000	0.069	0.007	0.025	0.041	0.000	5.24	5.930	5.382
1.390	0.000	0.288	0.002	0.157	0.183	0.000	6.6	7.689	7.230
2.377	0.000	0.115	0.002	0.028	0.141	0.000	4.72	5.353	5.007
3.083	0.000	5.930	0.004	0.027	0.170	0.000	4.36	10.229	10.491
1.207	0.000	0.187	0.005	0.094	0.096	0.000	4.08	4.952	4.463
1.172	0.000	0.041	0.005	0.017	0.048	0.000	3.52	4.053	3.631
0.917	0.000	0.169	0.005	0.084	0.090	0.000	6.28	7.167	6.628
1.151	0.000	0.053	0.006	0.023	0.036	0.000	5.04	4.783	5.158
1.173	0.000	1.336	0.000	0.037	0.121	0.000	6	8.015	7.494
6.161	0.000	0.374	0.005	0.015	0.400	0.800	4.72	6.845	6.314
4.839	0.000	0.261	0.005	0.018	0.291	0.000	5.44	6.504	6.015
4.400	0.000	0.277	0.002	0.037	0.617	0.000	7.16	8.649	8.093
4.114	0.000	0.107	0.006	0.033	0.199	0.000	6.68	7.516	7.026
6.635	0.000	0.502	0.006	0.035	0.730	0.000	8.36	10.340	9.633
1.518	0.000	0.170	0.006	0.019	0.075	0.000	5.76	5.664	6.030
1.005	0.000	0.059	0.006	0.035	0.052	0.000	4.84	5.511	4.992
3.957	0.000	0.117	0.002	0.017	0.154	0.000	5.28	5.971	5.570
5.317	0.000	0.009	0.006	0.048	0.247	0.000	9.24	9.423	9.550
7.704	0.000	0.596	0.003	0.002	0.675	1.120	5.96	8.090	8.356
29.478	0.000	26.330	0.000	0.002	1.386	0.000	18.28	40.042	45.998
1.623	0.000	0.980	0.005	0.030	0.103	0.000	4.92	5.751	6.037
3.210	0.000	0.772	0.004	0.233	0.386	0.000	8.48	9.782	9.876
2.876	0.000	0.157	0.000	0.025	0.176	0.000	4.32	5.190	4.678
4.170	0.000	0.237	0.004	0.019	0.311	0.000	4.32	5.314	4.891
1.908	0.000	0.147	0.005	0.021	0.139	0.000	5.4	5.640	5.711
2.029	0.000	0.103	0.005	0.016	0.128	0.000	5	5.874	5.252

18.026	0.000	1.483	0.007	0.138	6.114	0.000	9.6	29.260	17.342
0.354	0.059	0.046	0.003	0.002	0.050	0.000	1.24	1.320	1.340
2.105	0.000	0.063	0.007	0.021	0.071	0.000	4.12	4.832	4.282
0.342	1.582	0.114	0.005	0.006	0.084	0.000	1.08	2.588	1.288
7.887	0.014	5.224	0.028	0.002	0.304	0.800	5.8	12.448	12.159
1.514	0.038	0.352	0.005	0.000	0.227	0.880	3.64	4.922	5.104
2.110	0.000	0.108	0.005	0.021	0.110	0.000	6	6.862	6.244
0.523	0.026	0.031	0.003	0.002	0.047	0.000	1.92	2.163	2.003
2.182	0.000	0.139	0.002	0.023	0.121	0.000	5.08	5.657	5.366
1.840	0.000	0.067	0.003	0.049	0.045	0.000	5.08	4.992	5.244
1.495	0.000	0.055	0.005	0.017	0.056	0.000	5.04	5.223	5.174
1.373	0.000	0.163	0.004	0.033	0.135	0.000	4.48	5.051	4.815
1.582	0.000	0.438	0.003	0.054	0.110	0.000	4.56	5.802	5.166
2.573	0.000	4.438	0.000	0.000	0.638	0.000	4.32	9.981	9.396
11.652	0.000	36.680	0.000	3.210	2.821	0.000	11.8	53.669	54.510
1.433	0.000	0.057	0.000	0.069	0.146	0.000	5.56	6.438	5.833
1.603	0.000	10.831	0.000	0.212	0.618	0.000	7.8	22.236	19.461
1.804	0.000	0.092	0.005	0.014	0.185	0.000	3.24	3.263	3.536
5.865	0.000	13.066	0.000	0.132	0.813	0.000	8.32	23.700	22.331
3.207	0.000	0.438	0.003	0.016	0.955	0.000	4.52	6.416	5.932
0.747	0.000	0.091	0.002	0.031	0.055	0.000	3.8	4.601	3.979
0.669	0.000	0.072	0.000	0.005	0.107	0.000	0.84	1.044	1.024
12.704	0.000	1.509	0.000	0.122	3.887	0.000	11.6	17.641	17.117
6.483	0.000	1.083	0.000	0.002	1.178	0.000	6.88	8.092	9.142
3.161	0.000	0.077	0.005	0.007	0.132	0.000	4.84	4.521	5.061
3.929	0.021	3.945	0.000	0.002	0.391	0.000	4.08	7.395	8.417
1.198	0.000	0.108	0.005	0.012	0.036	0.000	5.4	5.557	5.561
0.806	0.000	1.316	0.003	0.109	0.218	0.000	6.28	8.902	7.926
0.792	0.000	0.046	0.006	0.018	0.050	0.000	4.64	5.187	4.760
1.282	0.000	0.231	0.003	0.015	0.088	0.000	4.08	4.631	4.417
1.227	0.000	6.676	0.000	0.095	0.112	0.000	3.88	11.691	10.763
1.191	0.000	1.103	0.004	0.251	0.341	0.000	8.04	10.772	9.739
0.776	0.000	0.183	0.004	0.087	0.084	0.000	5.64	6.843	5.997
1.558	0.000	0.216	0.004	0.012	0.096	0.000	5.28	5.972	5.607
3.957	0.000	0.475	0.003	0.016	0.486	0.560	3.16	4.290	4.700
2.508	0.000	0.298	0.004	0.035	0.275	0.000	4.32	5.447	4.931

1.472	0.000	0.121	0.004	0.010	0.076	0.000	3.88	4.323	4.092
2.921	0.000	0.269	0.003	0.017	0.204	0.000	3.28	3.422	3.774
2.138	0.000	0.234	0.003	0.084	0.244	0.000	5.84	6.654	6.406

error %

	anión
	MUESTRA

-2.1	M - 001
5.2	M - 002
6.8	M - 003
6.6	M - 004
0.9	M - 005
7.1	M - 006
3.5	M - 007
6.4	M - 008
-2.0	M - 009
-0.2	M - 010
7.2	M - 011
3.8	M - 012
3.7	M - 013
-2.4	M - 014
6.9	M - 015
5.7	M - 016
5.2	M - 017
-1.8	M - 018
7.4	M - 019
4.9	M - 020
6.3	M - 021
6.3	M - 022
4.0	M - 023
13.4	M - 024
-1.1	M - 025
0.0	M - 026
4.8	M - 027
6.4	M - 028
3.4	M - 029

-0.7	M - 030
7.0	M - 031
6.0	M - 032
5.1	M - 033
3.0	M - 034
2.8	M - 035
22.1	M - 036
6.1	M - 037
3.4	M - 038
3.1	M - 039
4.2	M - 040
6.9	M - 041
5.2	M - 042
4.5	M - 043
4.4	M - 044
5.7	M - 045
6.0	M - 046
5.2	M - 047
5.0	M - 048
-1.8	M - 049
5.4	M - 050
-1.7	M - 051
6.0	M - 052
4.9	M - 053
5.1	M - 054
5.4	M - 055
5.3	M - 056
-0.3	M - 057
9.1	M - 058
19.9	M - 059
7.4	M - 060
6.7	M - 061

4.2	M - 062
5.3	M - 063
-2.3	M - 064
5.0	M - 065
3.6	M - 066
21.8	M - 067
2.6	M - 068
-0.5	M - 069
6.0	M - 070
2.2	M - 071
3.5	M - 072
3.5	M - 073
32.5	M - 074
26.3	M - 075
-2.6	M - 076
4.1	M - 077
-0.5	M - 078
5.0	M - 079
-0.7	M - 080
3.7	M - 081
5.7	M - 082
4.2	M - 083
5.4	M - 084
4.6	M - 085
5.4	M - 086
3.1	M - 087
5.5	M - 088
-2.3	M - 089
5.2	M - 090
5.6	M - 091
4.7	M - 092
2.7	M - 093
4.9	M - 094

0.8	M - 095
3.7	M - 096
5.3	M - 097
-1.3	M - 098
4.7	M - 099
-4.6	M - 100
4.7	M - 101
4.5	M - 102
66.3	M - 103
4.8	M - 104
3.1	M - 105
3.3	M - 106
-1.3	M - 107
5.2	M - 108
5.5	M - 109
3.9	M - 110
-3.8	M - 111
3.4	M - 112
4.0	M - 113
3.9	M - 114
3.3	M - 115
3.4	M - 116
3.5	M - 117
-3.1	M - 118
4.9	M - 119
3.5	M - 120
-0.7	M - 121
-1.6	M - 122
-6.9	M - 123
-2.4	M - 124
-0.5	M - 125
5.2	M - 126
4.1	M - 127
-0.6	M - 128
5.6	M - 129

25.6	M - 130
-0.7	M - 131
6.0	M - 132
33.5	M - 133
1.2	M - 134
-1.8	M - 135
4.7	M - 136
3.8	M - 137
2.6	M - 138
-2.5	M - 139
0.5	M - 140
2.4	M - 141
5.8	M - 142
3.0	M - 143
-0.8	M - 144
4.9	M - 145
6.7	M - 146
-4.0	M - 147
3.0	M - 148
3.9	M - 149
7.2	M - 150
1.0	M - 151
1.5	M - 152
-6.1	M - 153
-5.6	M - 154
-6.5	M - 155
0.0	M - 156
5.8	M - 157
4.3	M - 158
2.4	M - 159
4.1	M - 160
5.0	M - 161
6.6	M - 162
3.2	M - 163
-4.6	M - 164
5.0	M - 165

2.8	M - 166
-4.9	M - 167
1.9	M - 168