

Dictamen técnico sobre las posibles afectaciones al manantial De la Sal por las actividades futuras de construcción del proyecto hidroeléctrico en la presa Cerro de Oro

Raúl Flores Berrones y Luis Velázquez

20 de julio de 2011

1. Antecedentes

Los participantes de la mesa de diálogo convocada por OPIC en torno al proyecto hidroeléctrico Cerro de Oro acordaron solicitar la intervención de un experto para responder a la pregunta:

- “¿Causarán las actividades futuras de construcción del proyecto una afectación al manantial que es fuente de agua potable para las comunidades de Los Reyes y Santa Ursula?”

De común acuerdo, las partes eligieron el experto indicado para responder a esta pregunta al Dr. Raúl Flores Berrones, quien solicitó la ayuda del Ing. Luis Velázquez (cuyo CV se adjunta en el Anexo I).

El propósito de este documento es presentar a las partes de la mesa de diálogo mi respuesta a la pregunta planteada, acompañada de una explicación de las razones que la fundamentan y de la metodología utilizada..

2. Consideraciones metodológicas

Es importante notar que, para responder a la pregunta planteada por la mesa de diálogo, no es necesario determinar exactamente el origen del manantial del Arroyo Sal¹ sino que es suficiente establecer si tiene interconexión geohidrológica con la presa Cerro de Oro o no. Independientemente de donde provenga exactamente, el manantial es la fuente de agua potable de dos comunidades y, por lo tanto, el proyecto hidroeléctrico no debe afectarlo. Este informe está orientado a evaluar si el diseño actual del proyecto hidroeléctrico o el diseño alternativo pueden afectarlo o no.

¹ También conocido como Arroyo de La Sal.

Para identificar la posibilidad de afectaciones de la obra sobre el manantial, se realizaron las siguientes actividades:

2.1 Revisión de información técnica disponible

Se revisó información de carácter geológico e hidrogeológico de la región, así como la relacionada con el proyecto hidroeléctrico que fue proporcionada por la empresa y la que se ha recopilado en la CNA. En la relación bibliográfica se presenta una relación de la documentación revisada. Vale la pena destacar aquí los documentos más importantes que se han revisado y la información específica que fue obtenida:

- *Determinación de la calidad del agua en el río Santo Domingo (caso operación de hidroeléctrica en tramo aguas debajo de la presa Cerro de Oro, Oax.) realizado por el IMTA y el IPN en el 2009.*

De este documento se obtuvieron principalmente datos de la salinidad (C.E.) del agua del río Santo Domingo en varios tramos así como del Arroyo Sal en su confluencia con el Río.

- *Memoria descriptiva de la presa Miguel de la Madrid Hurtado, (Cerro de Oro) Municipio de Ojitlán, Oaxaca. Doc. Presas de México Vol.XII.*

Se obtiene la información geológica de la presa, identificándose la columna litológica, así como de sus características o atributos hidrogeológicos; específicamente, se determina que las calizas cretácicas de la Formación Escamela son las que dominan en la región, estas rocas presentan algunas cavernas de disolución (carst). Adicionalmente se identifica que la Formación “Tierra Colorada” del Terciario, al estar constituida por limos y arcillas, forman una coraza protectora (impermeable) sobre el vaso de la presa ya que se encuentra cubriendo a las calizas Cretácicas; en cuanto a estas últimas, los estudios realizados permiten establecer que los fenómenos de carsticidad (disolución de la roca que forma cavidades y cavernas) no se encuentran intercomunicados, dando lugar a una baja continuidad hidráulica en estas rocas lo que propicia porciones “acuíferas” de poca extensión y cortas trayectorias de flujo.

Se obtuvo también información específica del tratamiento de la cimentación de la obra, así como de los tratamientos de los aluviones de los cauces, de donde se desprenden las dimensiones de la pantalla impermeable de la cortina. Finalmente, de este documento se extraen los mapas que muestran las dimensiones de la obra, así como los elementos topográficos e hidrológicos previos a los trabajos. En síntesis, se obtienen los antiguos cauces del río Santo Domingo y del Arroyo Sal.

- *Estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos para el túnel de la Planta Hidroeléctrica en la presa Cerro de Oro en el estado de Oaxaca”, Carolus Ingenieros SA DE CV, 2008*

Se revisó el modelo geológico y geotécnico del proyecto. Se toman específicamente los datos (litología y permeabilidades) de las exploraciones directas (pozos de estudio) las que se integran en los planos del presente dictamen.

- *Estudio de mecánica de suelos para el proyecto de la planta hidroeléctrica "cerro de Oro", en la presa Miguel de la Madrid Hurtado, en Tuxtepec, Oax.", 2009.*

Se toman los datos de las perforaciones realizadas y las consideraciones geotécnicas encontradas, de donde se obtienen elementos básicos para identificar las características hidrogeológicas de las rocas presentes en las inmediaciones del manantial de La Sal.

En cuanto al **Proyecto Hidroeléctrico**, se presentan dos alternativas para las obras de generación y desfogue; la inicial aprovechando el Arroyo Sal para retornar las aguas al río Santo Domingo, y una segunda que corre paralela a la cortina para desfogar las aguas aprovechadas en la generación directamente al Río Santo Domingo sin tocar el Arroyo Sal, ver figura 1.

En la alternativa inicial, a partir del portal de salida a 160 m de distancia y cota de 34 m, se conduce el agua a la casa de maquinas, esta se encuentra a 90 m del manantial, alcanza una elevación mínima de 16 msnm con un ancho de 22 m. Esta obra se emplaza cerca del antiguo cauce del Arroyo Sal.

En la segunda alternativa, a partir del portal de salida y a una cota de 34 msnm se dirige al noroeste (paralelo a la cortina) en un Túnel a presión a una elevación (28 msnm) por encima de la cota de descarga del manantial. Se llega a la casa de máquinas a 180 m de distancia del manantial y en una ubicación alejada del antiguo cauce del Arroyo de la Sal.



Figura 1. Ubicación de las alternativas propuestas, la inicial en color rojo y en amarillo la segunda, en azul se destaca el antiguo cauce del Arroyo Sal

2.2 Modelo hidrogeológico

Una vez analizada la información obtenida se realizó un breve recorrido de verificación hidrogeológica con el objetivo de constatar las principales características geológicas e hidrogeológicas de las rocas, así como identificar la presencia de aguas subterráneas.

Asimismo, se aprovechó la visita para tomar los datos básicos hidrogeoquímicos del agua de los manantiales y de la presa. En la zona existen dos manantiales en cada una de las márgenes y estrechamente asociados a los antiguos cauces de las principales corrientes: el manantial El Chino sobre el Río Santo Domingo y el Manantial de La Sal vinculado con el antiguo cauce del Arroyo del mismo nombre.

El manantial del Arroyo Sal está asociado a canales preferentes de flujo a profundidad, que transcurren a través de las zonas fracturadas. De no haber sido así la presa lo hubiera afectado durante su construcción. Se ubica asociado al antiguo cauce del Arroyo Sal, descarga sus aguas a una elevación de 25 msnm y su gasto se estima entre 16 a 25 l/s.

Para determinar si el Manantial del Arroyo Sal tiene interconexión geológica con la presa Cerro de Oro o no, se optó por tomar los datos de temperatura del agua y el valor de la conductividad eléctrica del agua como una medida indirecta de su salinidad y compararlos con el agua de la presa. De haber grandes diferencias entre ambas, no cabría duda de que el agua del manantial tendría un origen distinto al de la presa.

3. Análisis de la Información Obtenida

En relación con los aspectos geológicos, se identificó que las calizas cretácicas ubicadas sobre la margen derecha de la presa al nivel de la cortina y hacia el manantial de la Sal (ver fotografía) se presentan sanas, duras y compactas. Sólo muestran pequeñas cavidades de disolución que en algunos casos están rellenas de arcilla. Los planos de estratificación buzan hacia la izquierda (200°), según se sigue en la dirección aguas abajo, con 70° a 75° de inclinación. Se observan fracturas y fallas con orientaciones prácticamente este – oeste, casi verticales (80 a 86°) con presencia de cavidades de disolución. Un sistema de fracturas menos abundante presenta datos promedio de $34^\circ/18^\circ$ - 30° .

Se comprueba que la roca no presenta grandes desarrollos cársticos. Por otro lado, la presencia de arcilla intercalada entre las principales discontinuidades geológicas limita su capacidad hidrogeológica a porciones de poca extensión; es decir, se esperarían cortas trayectorias de flujo asociadas principalmente a zonas de carst desarrollado en zonas de fracturamiento.



*Calizas Cretácicas en el sitio del portal de salida del túnel
(vista aguas arriba)*

La información del subsuelo en las inmediaciones del manantial indica que sobre las calizas se tiene un material de relleno de granulometría fina con clastos intercalados. Bajo esta capa, se tiene otra de constitución muy arcillosa que correspondería al antiguo terreno natural. A profundidad se encuentran las calizas cretácicas con tramos intensamente fracturados. En general, la roca presenta una calidad pobre (RQD entre 13 y 44%).

Con base en la información de los pozos, se identifica la posibilidad de encontrar horizontes permeables capaces de contener y transmitir agua, es decir “acuíferos”; sin embargo, las variaciones en la vertical en cuanto a la calidad de la roca indican que estos horizontes tienen poca continuidad hidráulica. Según los reportes de las exploraciones directas cercanas al manantial (sondeo 8 y sondeo 9 del estudio de Geovisa), se tiene un aparente nivel de aguas subterráneas a una cota de entre 25 y 28 msnm.

Sin embargo, “aguas arriba” de estas perforaciones, (figura 2) los sondeos 7 y 6 de Geovisa no reportan niveles del agua subterránea. Lo que sí se reporta son pérdidas parciales y totales de los fluidos de perforación, indicativos de zonas permeables intercaladas pero aisladas.

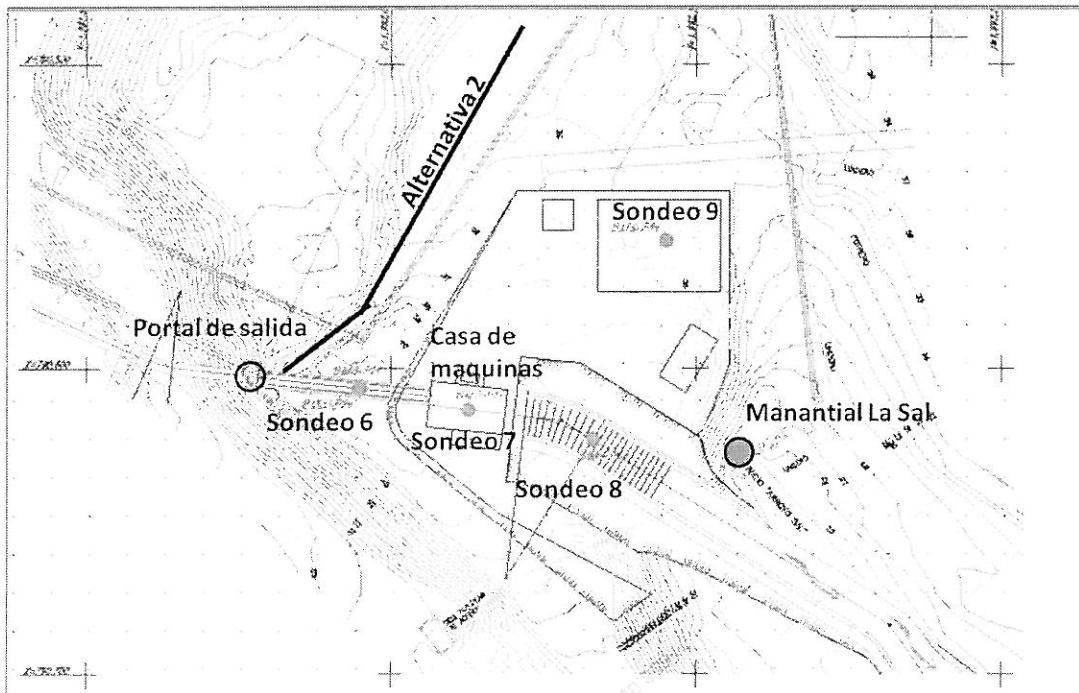


Figura 2. Ubicación de los sondeos exploratorios y su relación con las alternativas de proyectos (en los sondeos 8 y 9 se reportan niveles de aguas subterráneas)

En síntesis, aguas debajo de la cortina se tienen condiciones diferentes en cuanto a la presencia de aguas subterráneas. Es decir, en las cercanías de la estructura no se han encontrado niveles de saturación pero sí zonas permeables. En la medida que se aleja de la presa, se detectan niveles de agua (sondeos 8 y 9), quizás bajo condiciones de presión (piezométricos) más que aguas freáticas, ya que los materiales que reposan sobre las calizas son de baja permeabilidad (arcillas plásticas).

En cuanto a las condiciones aguas arriba de la cortina y su porción impermeabilizada, se reportan niveles freáticos a elevaciones entre 45 a 50 msnm. El nivel del agua en la presa oscila entre los 60 msnm. Por otro lado, los reportes de los trabajos de la pantalla impermeable de la presa mencionan que esta llegó en varios tramos hasta la cota – 40 msnm. Asimismo, puede establecerse que las calizas se encuentran en promedio a una elevación de + 10 msnm a lo largo de la cortina. Los cauces de las corrientes superficiales se reportaba a la elevación de ± 22 msnm.

Los valores de las conductividades eléctricas son muy similares entre las aguas de la presa y los dos manantiales (ver Cuadro 1 y figura 3). Estas mediciones son similares a las reportadas en el estudio del IMTA (septiembre del 2009) en donde reportan para el Manantial de la Sal entre 300 y 345 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE y de 203 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el agua que descarga la presa.

Cuadro 1. Datos del agua de manantiales y la presa (junio 2011)

Sitio	Conductividad Eléctrica (micro Siemens/cm)	Temperatura (°C)	Concentración salina aproximada (mg/l de STD)
M-1 Manantial El Chino	400	27.5	Entre 200 y 280
M-2 Presa Cerro de oro	277	30.2	Entre 140 y 190
M-3 Manantial La Sal	314	24.5	Entre 160 y 220

Por otro lado, la evidencia de flujos subterráneos, aguas abajo de la cortina, queda de manifiesto solo en los dos sitios mencionados.

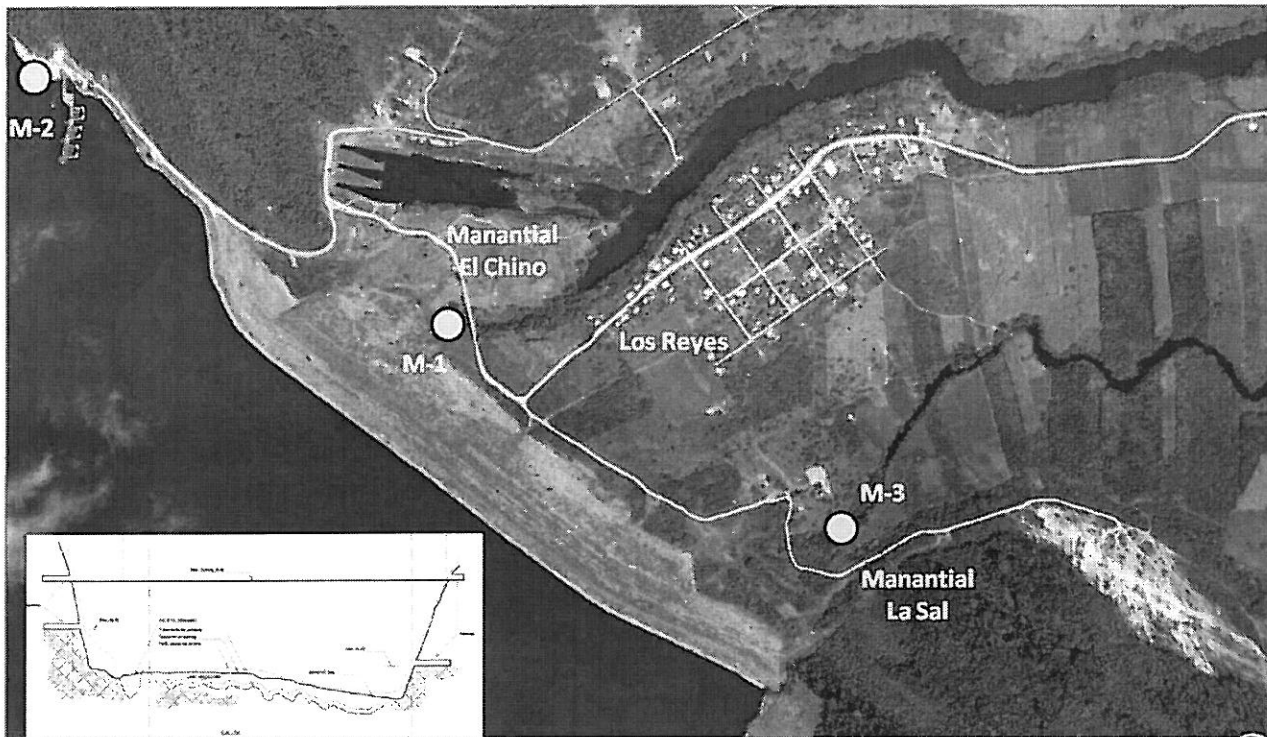


Figura 3. Localización de los manantiales y sitios de toma de datos básicos del agua

En relación con la caracterización del flujo subterráneo que alimenta al manantial puede establecerse, con base en los valores bajos de conductividad eléctrica del agua, que el flujo lleva a cabo cortas trayectorias de flujo a lo largo de canales preferentes (fracturas y/o cavidades cársticas) que no permiten la disolución de minerales. Si fuera el caso de que la salinidad del agua del manantial tuviera concentraciones muy diferentes a la del agua de la presa se podría pensar en sistemas de flujo de mayor envergadura (regionales) y provenientes de las porciones serranas distantes. Como un rasgo asociado se tendrían temperaturas más elevadas que la media ambiente.

4. Conclusiones

A la luz del análisis de la información obtenida, y a modo de síntesis, es posible concluir que:

- a) El manantial del Arroyo Sal no es un producto de la filtración de la cortina de la presa.
- b) El Arroyo Sal existía antes de la construcción de la presa y su antiguo cauce está identificado. Corría por una zona de fracturas geológicas.

c) El agua del manantial del Arroyo Sal proviene de las infiltraciones en los estratos geológicos que subyacen al embalse de la empresa y que están estrechamente vinculados al antiguo cauce del Arroyo de La Sal. Esta afirmación no descarta que a lo largo del antiguo cauce del Arroyo Sal hayan existido uno o varios “lloraderos” y/o afloramientos de agua provenientes de un subálveo (debajo del lecho del arroyo). Aunque siempre es posible realizar más estudios científicos para tener una idea todavía más aproximada del origen del manantial, no tiene sentido realizarlos hacerlos: 1) no son necesarios para responder a la pregunta planteada; 2) no brindan 100% de certeza sobre el origen; y 3) hay pocas instituciones en México que los realizan.

d) cualquier obra que se ubique en dirección del antiguo cauce del Arroyo Sal y que alcance elevaciones por debajo de la cota de descarga (24 a 26 msnm) conlleva un riesgo de interceptar el flujo subterráneo que alimenta al manantial.

El mapa y las sección D-D' que se muestra en la figura 4, presentan el ámbito de influencia del antiguo cauce del arroyo de La Sal, se fundamenta en la topografía previa a la construcción de la Presa e indica que el cauce de este arroyo se encontraba entre las cotas +35 m; con esto quiere evidenciarse que en esta porción se deberán encontrar los elementos geológicos asociados con el flujo subterráneo a profundidad; es decir, las zonas de fractura y cavidades cársticas por donde el agua fluye preferentemente.

Así cualquier obra ubicada a lo largo de esa área conlleva un riesgo mayor de afectar la descarga del manantial, sobre todo si la obra va mas allá de la cota del manantial ya que pudiera interceptar las zonas preferentes de flujo subterráneo

En la sección B-B' se muestra el nivel del agua en los sondeos exploratorios cercanos al manantial (sondeo 8 y 9 de Geovisa) que evidencian presencia de aguas subterráneas en las inmediaciones del manantial y, en el Plano 1 (anexo) se presentan las secciones integradas con la información del subsuelo que indican, por su parte que hacia la zona de la cortina en las cercanía de estos sondeos (Nos 6 y 7) ya no se reportan nivel del agua subterránea, indicativo de flujos a mayor profundidad que los sondeos.

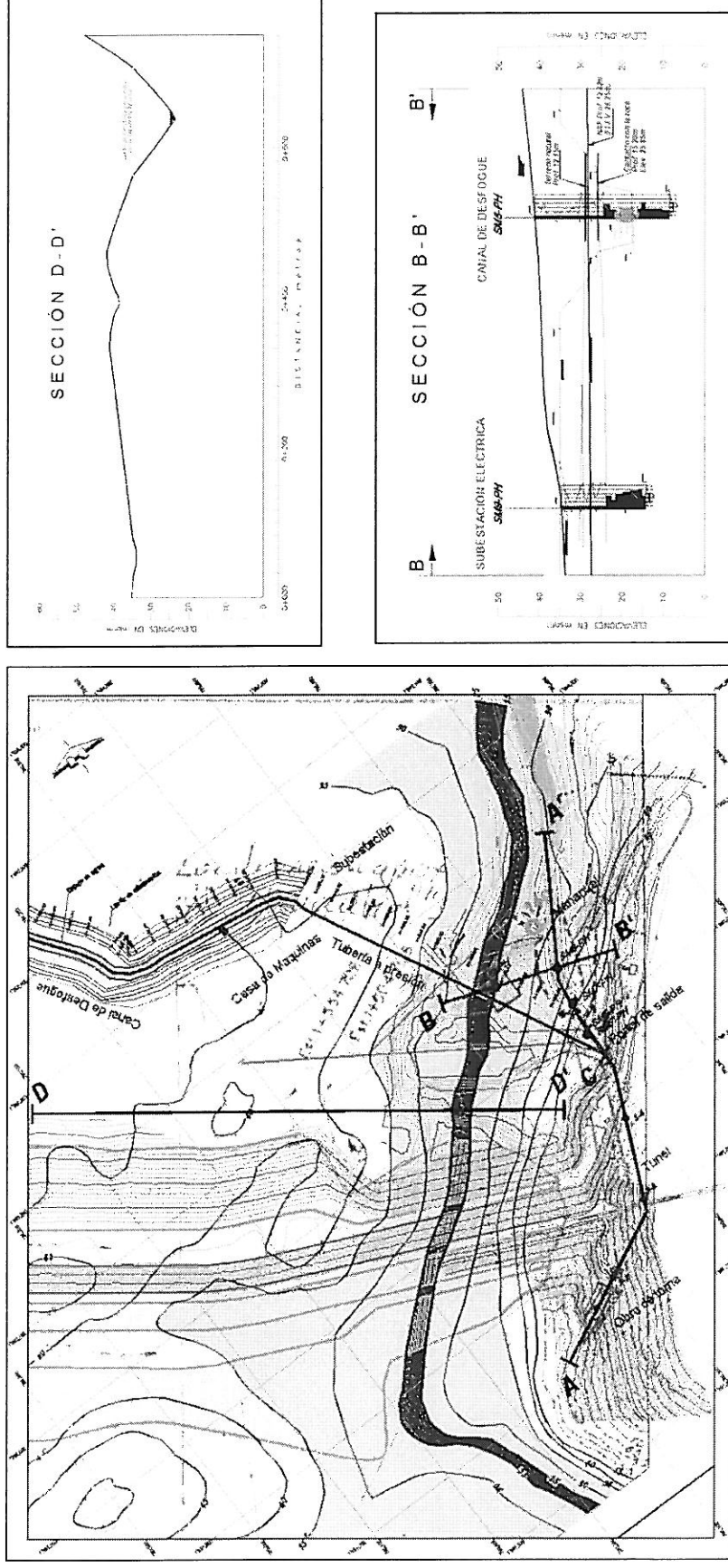


Figura 4. Mapa con detalle de las alternativas de obra y secciones (perfiles) que ilustran las relaciones entre el ámbito de influencia del antiguo cauce del Arroyo de La Sal (azul claro) y los niveles del agua subterráneo en sondeos alejados al manantial.

5. Respuesta a la pregunta planteada

La mesa de diálogo me ha preguntado: “¿Causarán las actividades futuras de construcción del proyecto una afectación al manantial que es fuente de agua potable para las comunidades de Los Reyes y Santa Ursula?”

Con base en la información analizada y las conclusiones señaladas, mi respuesta es la siguiente:

El diseño original del proyecto puede resultar en una intercepción de los canales de flujo del agua que alimentan el manantial dado que la obra se ubica en dirección del antiguo cauce del Arroyo Sal y la construcción de la sala de máquinas estaba prevista por debajo de la cota de descarga del manantial (24 a 26 msnm)

En cambio, es prácticamente imposible que el diseño alternativo del proyecto pueda resultar en una intercepción de los canales de flujo del agua que alimentan el manantial porque:

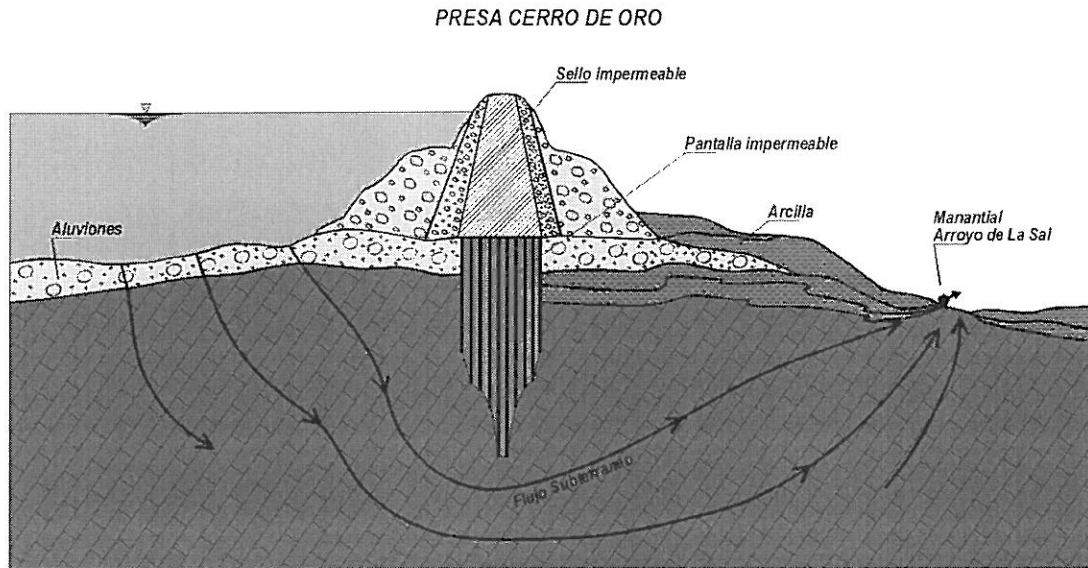
- 1. Los elementos del Proyecto Hidroeléctrico asociados en la dirección del antiguo cauce del Arroyo Sal (obra de toma, canal de conducción y portal de salida) se encuentran por encima de la cota del manantial y no interceptarían el flujo subterráneo dado que este no proviene de las zonas superficiales.*
- 2. El canal a presión que conduciría el agua a la Casa de maquinas lleva una dirección distinta al antiguo cauce del Arroyo Sal, alejándose conforme se avanza, e iría por encima de la cota del manantial.*
- 3. Se propone construir la casa de Maquinas fuera del ámbito de influencia del antiguo cauce del Arroyo Sal, es decir, fuera de la antigua cota de 35 msnm.*

ING. LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE

En Anexo, se adjunta mapa (archivo PLANO FINAL.dwg) con las alternativas de obra mencionadas, integrada con la topografía previa a la construcción de la presa, así como secciones técnicas que muestran las relaciones entre el manantial y las obras proyectadas; asimismo, se incluye una figura que muestra un esquema que ilustrará el origen el manantial.

ANEXO: Esquema de flujo subterráneo:

Delineación de Flujo Subterráneo Actual con la Presa



Sección esquemática que muestra el flujo subterráneo por debajo de la presa y su pantalla impermeable y su salida en el manantial de La Sal.

INFORMACION CONSULTADA:

- Determinación de la calidad del agua en el río Santo Domingo (caso operación de hidroeléctrica en tramo aguas debajo de la presa Cerro de Oro, Oax.) realizado por el IMTA y el IPN en el 2009.
- Memoria descriptiva de la presa Miguel de la Madrid Hurtado, (Cerro de Oro) Municipio de Ojitlán, Oaxaca. Doc. Presas de México Vol.XII.
- Estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos para el túnel de la PH en la presa Cerro de Oro en el estado de Oaxaca”, Carolus Ingenieros SA DE CV, 2008
- Estudio de mecánica de suelos para el proyecto de la planta hidroeléctrica “cerro de Oro”, en la presa Miguel de la Madrid Hurtado, en Tuxtepec, Oax.”, Geovisa, oct. 2009.
- Actualización de la disponibilidad media anual del agua subterránea, Acuífero (2010) Tuxtepec, estado de Oaxaca. CNA 2009.
- Estudio geológico en San Lucas Ojitlán, Oaxaca, octubre 1984. Comisión estatal de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Veracruz. ICGASA. Contrato CEAPA-APA-01-1984.
- Carta geológica-minera Orizaba E14-6 (Veracruz, Puebla y Oaxaca). Servicio Geológico Mexicano, Secretaria de Economía, 2001.
- Carta geológica-minera Oaxaca E14-9 (Oaxaca y Puebla). Servicio Geológico Mexicano, Secretaria de Economía, 2001.
- Presa Cerro de Oro, Consideraciones sobre la seguridad. Instituto de Ingeniería de la UNAM, Agosto 2010.
- Cálculos de los niveles y velocidades de flujo en le río Santo Domingo y determinación de la influencia de la descarga del Arroyo Sal. Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2010.