



Superintendencia del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

INFORME TÉCNICO DE FISCALIZACIÓN AMBIENTAL

Medidas Provisionales/ Urgentes y Transitorias

CANDELARIA OJOS DEL SALADO

DFZ-2024-1469-III-MP

JUNIO 2024

	Nombre	Firma
Aprobado	CLAUDIA PASTORRE HERRERA	X _____ CLAUDIA PASTORE HERRERA Jefa División de Fiscalización
Elaborado	FELIPE SÁNCHEZ ARAVENA	X _____ FELIPE SÁNCHEZ ARAVENA Jefe Oficina SMA Región de Atacama



Contenido	
Contenido	1
1 RESUMEN	2
2 IDENTIFICACIÓN DE LA UNIDAD FISCALIZABLE	5
2.1 Antecedentes Generales	5
2.2 Ubicación y Layout	4
3 INSTRUMENTOS DE CARÁCTER AMBIENTAL QUE ORIGINAN LA DICTACIÓN DE MEDIDAS URGENTES Y TRANSITORIAS	5
4 ANTECEDENTES DE LA ACTIVIDAD DE FISCALIZACIÓN	5
4.1 Aspectos relativos a la ejecución de la Inspección Ambiental	5
4.1.1 Ejecución de la inspección	5
4.2 Revisión Documental	5
4.2.1 Documentos Revisados	5
5 HECHOS CONSTATADOS	8
6 CONCLUSIÓN	273
7 ANEXOS	277



1 RESUMEN

El presente documento da cuenta de los resultados de la actividad de fiscalización ambiental realizada por la Superintendencia de Medio Ambiente a la unidad fiscalizable “Candelaria – Ojos del Salado”, localizada en la comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama. La actividad de fiscalización correspondió a un examen de información.

El motivo de la actividad de fiscalización ambiental se originó a partir de la dictación de las medidas urgentes y transitorias adoptadas por la Superintendencia del Medio Ambiente mediante Resolución Exenta N°1349/2022 de fecha 12 de agosto del año 2022, en virtud de lo establecido en la letra g) del artículo 3/ 48 de la LO-SMA. Lo anterior debido al incidente ambiental producido el día 30 de julio de 2022, que causó una subsidencia (socavón) en las inmediaciones de Mina Candelaria Ojos del Salado”.

La materia objeto de la fiscalización consistió en la verificación las siguientes medidas dictadas por la Superintendencia del Medio Ambiente a través de la Res. Ex. N°1349 de fecha 12 de octubre del año 2022 que dio lugar al Expediente Rol MP-043-2022:

1. Realizar un estudio de estabilidad del suelo en el área de influencia directa del evento de subsidencia considerando un radio de 500 a 800 metros, debiendo fundamentar mediante un estudio geofísico u otro, la existencia o no de riesgo para los elementos naturales y construidos indicados en el capítulo VI, figura N°10 de esta resolución, a partir de lo cual se deberá determinar si éstos serán afectados o no por el incidente ocurrido y/o por otros fenómenos de subsidencias que puedan ocurrir en esta área.
2. Entregar un estudio técnico mediante el cual el titular deberá comprobar si los volúmenes de agua alumbrada extraída históricamente por Mina Ojos del Salado han generado o no un detrimento del acuífero de aluvial del Río Copiapó u otro acuífero presente en el área (ver modelo hidrogeológico presentado en el EIA de 1999). Adicionalmente, el estudio deberá demostrar si dicha extracción fue o no uno de los factores de origen del fenómeno de subsidencia ocurrido el 30 de julio de 2022, así como determinar si es o no un factor de riesgo ante eventuales futuros fenómenos de subsidencia dentro del área influencia directa de la faena minera.
3. Realizar un monitoreo de la cota del nivel freático diario de los pozos HA-02, y pozos 8 al pozo 16. Para el pozo HA-01 la frecuencia de monitoreo deberá ser horaria. Los resultados deberán ser informados en planilla Excel editable, siguiendo el formato establecido en la RE SMA N°894/2019, que “Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Ambiental Agua”.
4. Entregar análisis hidrogeoquímicos de compuestos principales y elementos trazas de las aguas subterráneas alumbradas en el sector del caserón Gaby. Los resultados deberán ser informados en planilla Excel editable, siguiendo el formato establecido en la antes referida RE SMA N°894/2019.
5. Entregar un estudio técnico que tenga los siguientes dos objetivos: i) evaluar la efectividad del sistema de drenaje subterráneo instalado en la actualidad y ii) proponga alternativas de mejoras de funcionamiento dado el escenario generado a partir del incidente, las que deberán ceñirse a la normativa sectorial correspondiente.
6. Realizar un estudio de biodiversidad del Sitio Prioritario Río Copiapó, considerando al menos el área de influencia de componente hidrología señalado en EIA proyecto “Continuidad Operacional Mina Alcaparrosa”.

Las medidas anteriores fueron establecidas originalmente con un plazo de ejecución de 30 días hábiles, no obstante, la resolución en comento fue repuesta por el titular con la finalidad de modificar el plazo originalmente entregado. Así, el recurso de reposición fue acogido parcialmente mediante Res. Ex. SMA N°1628 de fecha 22 de septiembre de 2022, estableciéndose nuevos plazos para las medidas N°1, 2, 5 y 6; a saber:

- a) Medida 1: 4 meses, con entrega de reportes quincenales. En cuanto al Estudio geofísico 500 metros, éste debe presentarse durante el mes de octubre de 2022.
- b) Medida 2: 12 meses, con entrega de reportes mensuales.
- c) Medida 5: no se acoge solicitud de 12 meses para su implementación, pero se establece -de oficio- un nuevo plazo de 6 meses.
- d) Medida 6: 3 meses, con entrega de reportes quincenales.



Entre los principales hechos constatados se encuentran:

Medida 1:

Se cumple parcialmente la medida, toda vez que el titular si bien realizó el estudio requerido, este no cubrió todos los objetivos solicitados por esta; como por ejemplo, el estudio analiza los sismos como el único factor de riesgo, sin considerar otros factores como el efecto antrópico u otros factores naturales como aluviones; así mismo, no identifica cavidades o fallas susceptibles de generar nuevos socavones en el área; si bien el estudio alcanzó la profundidad establecida en la medida, no se midió la geotécnica del lugar, sino solo estimó los parámetros considerados en el análisis de estabilidad.

Por otra parte, el titular no presenta los anexos o referencias en la que se basa el estudio de estabilidad de suelo presentado a la Superintendencia, en particular durante toda la revisión del estudio preparado por el consultor, se utiliza como referencia el estudio “*Crempien & Abell SpA (2023). INF-004 “Estudio de amenaza sísmica”, Rev.0, Sitio Proyecto Minera Alcaparrosa Chile*”, sin embargo, este no se presenta en los anexos y tampoco se ha presentado en otros procedimientos que lleva en curso esta Superintendencia, por lo que dificulta la comprensión de los supuestos que se utilizan, el origen de los datos, y la posibilidad de hacer una revisión de este.

Es importante destacar que el origen de la medida urgente y transitoria N°1 exigida por la Superintendencia solicitaba considerar un rango de afectación entre 500 a 800 metros de distancia, de manera que se consideraran como punto de intereses (potenciales áreas a ser afectadas) los elementos construidos cercanos a la subsidencia, a saber, poblaciones y otros equipamientos, no obstante, solo se consideraron edificaciones mineras en el estudio, por ende es posible observar que se trata solo de un radio menor al exigido en el medida original y dentro del cual solo se encuentra equipamiento minero.

Dado que el estudio de estabilidad presentó sólo estimaciones sin contar con estudios conclusivos respecto al riesgo por el fenómeno de nuevas subsidencias, fue necesario por parte de esta Superintendencia dictar con posterioridad una nueva medida urgente y transitoria por medio de la Resolución Exenta N°1899, de fecha 15 de noviembre de 2023, consistente en la ejecución de una campaña geofísica de 7 perfiles de TRE, a objeto de poder determinar el riesgo efectivo de nuevas subsidencias.

Medida 2:

Se cumple parcialmente la medida debido a que el titular no ejecutó todo lo solicitado por la medida, a saber:

- Se indica que el titular solo presentó el modelo conceptual y numérico para el sector de Mina Alcaparrosa, sin que se profundizara si la extracción histórica ha generado un efecto o no sobre el acuífero. Si bien en los modelos se reconoce la variable de infiltración de la mina como una variable de importancia para la modelación, no se analiza en sí su efecto sobre el acuífero. Ahora bien, respecto de la inclusión de la variable en el modelo se puede indicar que esta no fue considerada en base a los valores reales sino subestimando su magnitud y, por lo tanto, generando un instrumento que modelará erróneamente el comportamiento del acuífero.
- El titular no se pronuncia respecto de la segunda parte de la medida, es decir no descarta o asevera si el manejo del drenaje pudo ser un factor asociado a la subsidencia. Lo anterior, considerando lo señalado por parte del SNGM, en su “Informe de Investigación Accidente Alto potencial Alcaparrosa” (SNGM, marzo 2023), el cual concluye lo siguiente: “Una de las causas principales del evento guarda relación con la calidad de información geológica de entrada para la elaboración del proyecto minero, lo que conllevó a un diseño minero que sobre estimó las características resistivas y auto soportantes del macizo rocoso, y **que no consideró el efecto del nivel freático en el desarrollo de la mina**” (énfasis agregado).

Es de relevancia destacar que del registro 76 de este informe, se constata que al menos 9 días antes que ocurriera el socavón comenzó a aumentar el ingreso del agua al interior de la mina. De los registros es posible observar que cuando ocurre el



evento del socavón, ya estaba ingresando a la mina alrededor de 150 l/s, valor muy superior a los 25 l/s que se venían registrando.

Finalmente, es importante señalar que de la revisión de la presentación de los estudios entregados por el titular para dar cuenta del cumplimiento de esta medida la empresa concluyó que la ocurrencia del socavón tuvo un efecto restringido y netamente a una escala local dentro del acuífero. Sin perjuicio de lo anterior, el procedimiento de fiscalización de la DGA, Res. Ex. DGA Atacama N°1034, el organismo concluye que *“COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA OJOS DEL SALADO, realizó actos y obras durante el desarrollo de las labores de explotación en la Mina Alcaparrosa **que consecuentemente originó afectaciones del acuífero granular del río Copiapó, formando una nueva conexión hidráulica entre este último y el interior de la mina subterránea**”* (énfasis agregado), por ende, existe una nueva configuración del acuífero. A lo anterior, se debe sumar que el titular **no consideró en el modelo conceptual hidrogeológico, preparado por el mismo consultor, los caudales de infiltración de la mina, la inconsistencia de los valores de conductividad hidráulica a las unidades hidrogeológicas UH-3 y UH-4, y la inclusión en la calibración y simulación la variable “entrada del almacenamiento”**. Dados estos antecedentes, el modelo hidrogeológico no representaría la hidrogeología del acuífero en el sector de mina Alcaparrosa.

Medida 3:

Se cumple con la medida debido a que el titular entregó los registros de los pozos requeridos.

Del análisis de la información se da cuenta de la afectación de los niveles piezométricos luego de ocurrida el evento del socavón y permite demostrar la relación de conexión entre la subsidencia y el acuífero del río Copiapó.

Medida 4:

Se cumple la medida debido a que el titular realizó el análisis hidroquímico requerido. Del análisis no se presentaron superaciones relevantes que destacar, salvo la superación del sulfato.

Medida 5:

Se cumple con la medida establecida en cuanto a forma y entrega de la información. Esto es, el titular entrega el estudio técnico considerando los dos objetivos de requeridos, sin embargo, en cuanto al fondo de lo requerido se concluye lo siguiente:

- Se constata que el consultor considera que el sistema drenaje que tiene instalado Mina Alcaparrosa es eficiente y suficiente para manejar los caudales de infiltración que llegan a la mina, y que este solo se vio sobre pasado por el suceso de la subsidencia y posterior socavón, no obstante señala que con las medidas implementadas por este respecto de los sellos de los niveles se pudo reestablecer la eficiencia del sistema, la cual aún será mejorada una vez que se concrete el sellado total de todas las infiltraciones provenientes de los muros en el sector Gaby. De la información entregada para dar cuenta del cumplimiento de la medida, se constató que el sistema de drenajes tiene una capacidad nominal subestimada, por lo que no fue posible conocer con exactitud qué capacidad de bombeo tiene exactamente, ya que el propio titular entregó registros que superan la capacidad nominal del sistema (junio 2020, abril 2023, mayo 2023 y junio 2023).

Medida 6:

Se cumple la medida solicitada toda vez que el titular presentó dos estudios (fauna y flora y vegetación) que dan cuenta de la descripción de la biodiversidad en el área de Mina Alcaparrosa.



2 IDENTIFICACIÓN DE LA UNIDAD FISCALIZABLE

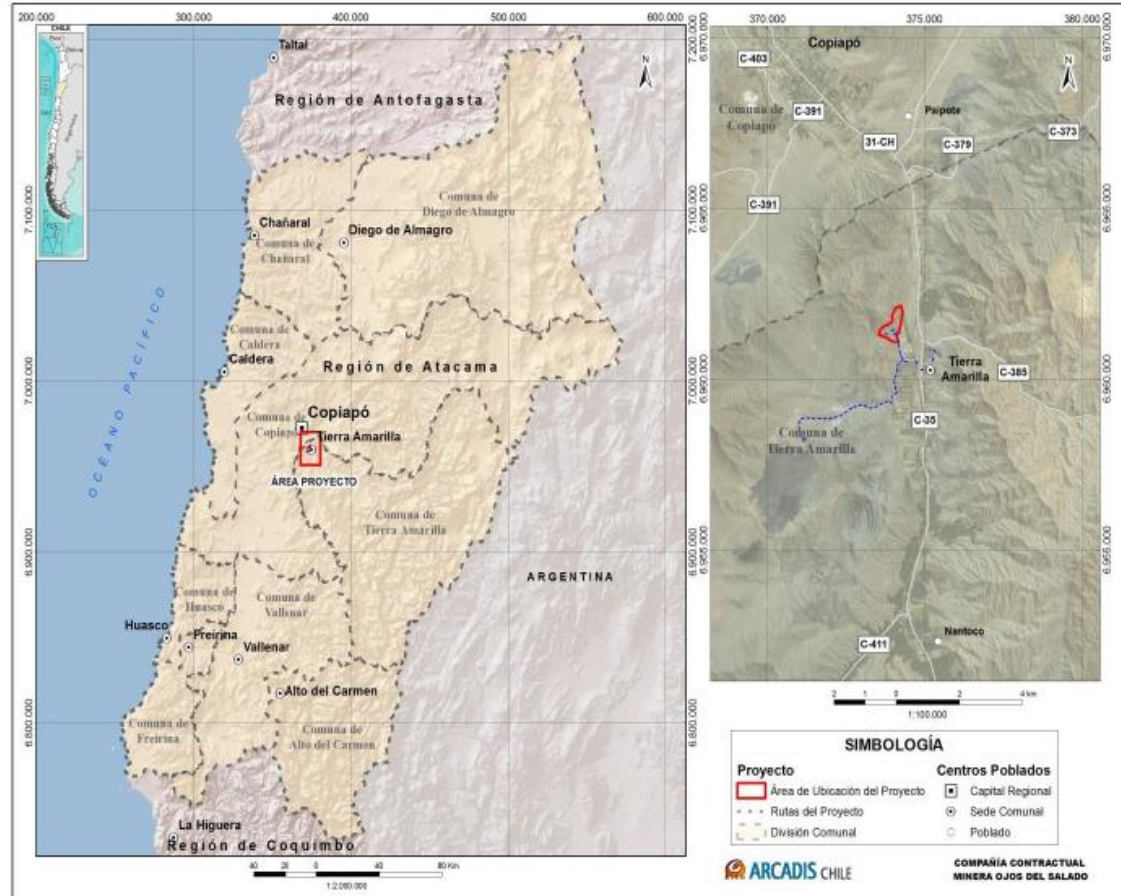
2.1 Antecedentes Generales

Identificación de la Unidad Fiscalizable: CANDELARIA OJOS DEL SALADO	Estado operacional de la Unidad Fiscalizable: Operación
Región: Atacama	Ubicación específica de la unidad fiscalizable: El Proyecto se ubica en la Región de Atacama Provincia de Copiapó comuna de Tierra Amarilla. Específicamente el yacimiento minero Alcaparrosa se ubica aproximadamente a 900 m al Noroeste de la zona urbana de la localidad de Tierra Amarilla y a 20 km de la ciudad de Copiapó.
Provincia: Copiapó	
Comuna: Tierra Amarilla	
Titular(es) de la unidad fiscalizable: COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA OJOS DEL SALADO	RUT o RUN: 96635170-5
Domicilio titular(es): Punta del Cobre S/N Tierra Amarilla, Región de Atacama	Correo electrónico: jorge.bravo@lundinmining.com
	Teléfono:
Identificación representante(s) legal(es): Juan Carlos Pino Escobar	RUT o RUN: 15.661.800-4
Domicilio representante(s) legal(es): Punta del Cobre S/N Tierra Amarilla, Región de Atacama	Correo electrónico: juan.pino@lundinmining.com
	Teléfono: 2461074



2.2 Ubicación y Layout

Figura 1. Mapa de ubicación local (Fuente: Figura 1-1 del EIA Proyecto “Estudio de Impacto Ambiental Continuidad Operacional Mina Alcaparrosa”).



Coordenadas UTM de referencia: DATUM WGS 84

Huso: 19J

UTM N: 510.857 m

UTM E: 7.123.111 m



3 INSTRUMENTOS DE CARÁCTER AMBIENTAL QUE ORIGINAN LA DICTACIÓN DE MEDIDAS URGENTES Y TRANSITORIAS

Identificación de Instrumentos de Carácter Ambiental fiscalizados.						
N°	Tipo de instrumento	N°/ Descripción	Fecha	Comisión/ Institución	Título	Comentarios
2	Res. Ex.	1349/2022	12.08.2022	SMA	Ordena Medidas Urgentes y Transitorias que Indica a Minera Compañía Contractual Minera Ojos del Salado	Sin Comentarios
3	Res. Ex.	1628/2022	29.09.2022	SMA	Resuelve recurso de reposición interpuesto por Compañía Contractual Mineral Ojos del Salado en el marco del procedimiento MP-043-2022	Sin Comentarios

4 ANTECEDENTES DE LA ACTIVIDAD DE FISCALIZACIÓN

4.1 Aspectos relativos a la ejecución de la Inspección Ambiental

4.1.1 Ejecución de la inspección
No aplica

4.2 Revisión Documental

4.2.1 Documentos Revisados

ID	Nombre del documento revisado	Origen/ Fuente del documento	Organismo encomendado	Observaciones
1	Reporte de cumplimiento reporte de avance 1	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
2	Reporte de cumplimiento reporte de avance 2	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
3	Reporte de cumplimiento reporte de avance 3	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
4	Reporte de cumplimiento reporte de avance 4	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
5	Primer Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
6	Segundo Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo



7	Tercer Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
8	Cuarto Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
9	Quinto Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
10	Sexto Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
11	Séptimo Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
12	Octavo Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
13	Noveno Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
14	Décimo Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
15	Décimo Primero Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
16	Décimo Segundo Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
17	Décimo Tercero Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
18	Décimo Cuarto Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
19	Décimo Quinto Reporte Quincenal	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
20	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
21	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
22	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
23	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
24	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
25	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
26	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
27	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
28	Primer Reporte Mensual	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
29	Reporte Final MUT 1	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo



30	Reporte Final MUT 2	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo
31	Reporte Final MUT 5	Carta s/n	SMA	Entregado dentro de plazo



5 HECHOS CONSTATADOS

5.1. Resolución Exenta N°1349/2022

De los resultados de las actividades de fiscalización realizadas y de la revisión de los antecedentes anteriormente indicados, asociados a la verificación del cumplimiento de las medidas urgentes y transitorias instruidas por la Res. Ex. N°1349/2022, y modificada por la Res. Ex. N°1.628/2022, fue posible constatar lo siguiente:

N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
1	<p>Res. Ex. N°1349. Numeral 1 Primer Resuelvo Realizar un estudio de estabilidad del suelo en el área de influencia directa del evento de subsidencia considerando un radio de 500 a 800 metros, debiendo fundamentar mediante un estudio geofísico u otro, la existencia o no de riesgo para los elementos naturales y construidos indicados en el capítulo VI, figura N°10 de esta resolución, a partir de lo cual se deberá determinar si éstos serán afectados o no por el incidente ocurrido y/o por otros fenómenos de subsidencias que puedan ocurrir en esta área.</p> <p>Medio de Verificación: mediante la Res. Ex. N°1349 se estableció un plazo de 10 días hábiles para entregar reportes de avance, sin embargo, a través de la Res. Ex. N°1628 que acogió parcialmente el recurso de reposición presentado por el titular en contra la Res. Ex. N°1349, se le dio un plazo de 4 meses para entregar esta medida con un reportabilidad de avance quincenal.</p>	<p>En relación con el cumplimiento de la instrucción realizar un estudio de estabilidad de suelos en el área de influencia directa del evento de subsidencia, titular presentó lo siguientes reportes, los cuales serán analizados de manera particular, para finalmente verificar el cumplimiento general de la medida:</p> <p>Reporte de avance 1 (29.08.2022): - El titular entregó una carta Gantt con el cronograma de ejecución del estudio donde se informó que la fecha de termino de estudio sería noviembre de 2022 (registro 1).</p> <p>Reporte de avance 2 (12.09.2022): - El titular entregó una presentación (ppt.*) mediante la cual expuso distintas comunicaciones con empresas para revisar la factibilidad de quien ejecutara el estudio requerido.</p> <p>Reporte de avance 3 (28.09.2022): - El titular entregó un nuevo cronograma junto a dos propuestas de dos empresas (Srk Consulting e IDIEM). En este nuevo cronograma, el término del estudio (asesoría de la empresa) concluiría en marzo 2023, lo que estaba fuera del plazo establecido en la resolución inicial que dictó las medidas originales (registro 2). De las dos propuestas presentadas se observa una diferencia importante en el costo de cada una de ellas, pero lo llamativo es que ambas presentan un cronograma de 3 meses o 90 días, sin embargo, el titular presenta un cronograma seis meses.</p> <p>Requerimiento información asociado a Res. Ex. N°1349 (28.09.2022): - Dado que la resolución inicial que estableció las medidas urgentes y transitorias dentro de un plazo de 30 días consideraba la remisión de un reporte final de cumplimiento consolidado a los 5 días hábiles de haber</p>	<p>Se cumple parcialmente la medida, toda vez que el titular si bien realizó el estudio requerido, este no cubrió todos los objetivos solicitados por esta; como por ejemplo, el estudio analiza los sismos como el único factor de riesgo, sin considerar otros factores como el efecto antrópico u otros factores naturales como aluviones; así mismo, no identifica cavidades o fallas susceptibles de generar nuevos socavones en el área; si bien el estudio alcanzó la profundidad establecida en la medida, no se midió la geotécnica del lugar, sino solo estimó los parámetros considerados en el análisis de estabilidad.</p> <p>Por otra parte, el titular no presenta los anexos o referencias en la que se basa el estudio de estabilidad de suelo presentado a la Superintendencia, en particular durante toda la revisión del estudio preparado por el</p>



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>terminado el plazo original, el titular entregó dicho requerimiento, señalando que este era efectivo para todas aquellas actividades que se pudieron ejecutar dentro de ese plazo, y a las cuales no se les modificó el plazo de entrega mediante Res. Ex. SMA N°826 del 2022, mediante la cual se extendió el plazo para las medidas 1, 2, 5 y 6.</p> <p>Respecto de la media 1 el titular informa que se encuentra en proceso de adjudicación del servicio y que el nuevo plazo de entrega es octubre 2022.</p> <p>1° Reporte quincenal (12.10.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> - El titular indicó que, del análisis de las propuestas entregadas a la empresa, se eligió la propuesta presentada por IDIEM (Investigación, desarrollo e innovación de estructuras y materiales) por un monto de MS\$405 y se adjuntó formulario de adjudicación (registro 3). <p>2° Reporte quincenal (26.10.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> - El titular en este reporte entrega el mismo formulario de adjudicación (registro 3) y un "reporte logístico" de Tomografía de Resistividad eléctrica en la mina Alcaparrosa realizado por GeolT Geociencias LTDA. El objetivo de este reporte es que la empresa cuente con "<i>datos de resistividad y polarización inducida (DCIP) en profundidad para caracterizar la presencia de un Socavón localizado en el área de la Mina en las inmediaciones de la Comunidad de Tierra Amarilla</i>" <p>El estudio se ejecutó en dos etapas principales: (1) el levantamiento de 15 líneas de 560 m paralelas E-O con 56 electrodos espaciados en promedio cada 10 m; y (2) el levantamiento de 3 líneas N-S de 2 km de longitud con electrodos espaciados en promedio cada 50 m. La etapa 1 tuvo como objetivo adquirir información de DCIP en los primeros 100 m con alta resolución. La etapa 2 tuvo como objetivo adquirir información de DCIP hasta una profundidad de aproximadamente 400 m con menos resolución. Ambas etapas se levantaron con líneas 2D de DCIP en las inmediaciones del socavón en estudio.</p> <p>Se integraron todas las líneas con un modelo de seudo inversión 3D, generando un modelo de invertido 3D de resistividad para caracterizar en las líneas N-S los primeros 400 m de profundidad, mientras que las líneas E-O los primeros 100 m de profundidad. También los datos se procesaron en</p>	<p>consultor, se utiliza como referencia el estudio "<i>Crempien & Abell SpA (2023). INF-004 "Estudio de amenaza sísmica", Rev.0, Sitio Proyecto Minera Alcaparrosa Chile</i>", sin embargo, este no se presenta en los anexos y tampoco se ha presentado en otros procedimientos que lleva en curso esta Superintendencia, por lo que dificulta la comprensión de los supuestos que se utilizan, el origen de los datos, y la posibilidad de hacer una revisión de este.</p> <p>Es importante destacar que el origen de la medida urgente y transitoria N°1 exigida por la Superintendencia solicitaba considerar un rango de afectación entre 500 a 800 metros de distancia, de manera que se consideraran como punto de intereses (potenciales áreas a ser afectadas) los elementos construidos cercanos a la subsidencia, a saber, poblaciones y otros equipamientos, no obstante, solo se consideraron edificaciones mineras en el estudio, por ende es posible observar que se trata solo de un radio menor al exigido en el</p>



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>los modelos de cargabilidad normalizada 3D calculada y el modelo de clasificación MLSOM 3D de resistividad y cargabilidad normalizada. La campaña se realizó entre el 28 de agosto y el 14 de septiembre de 2022.</p> <p>Con relación a las conclusiones que llega el reporte, se puede señalar que en todos los modelos se concluye que existe una zona de alteración (modelo resistividad 3D y MLSOM) o zona cargable (modelo de cargabilidad) (registros 4, 5 y 6) la cual tiene un comportamiento de resistividad eléctrica que es inversamente proporcional a la cargabilidad normalizada, por lo que dicha área con anomalías resistivas pueden ser interpretadas como el resultados de cavidades de aire en los niveles basales del depósito sedimentario, no obstante, si bien el reporte hace una alusión a esto al señalar <i>“En profundidad se recupera un volumen largo con valores altos de polarización posiblemente localizado en la transición hacia el basamento o en el basamento mismo”</i> no desarrolla el riesgo asociado a esto. Los tres modelos se centran en señalar <i>“la localización del Socavón y su correlación espacial con material interpretado como grava mezclada con Arcilla”</i>, indicando que esta última presenta valores superiores a 600 Ohm-m, valores ínfimos de carga normalizada, sin tampoco concluir el efecto de estas en la estabilidad del suelo.</p> <p>3° Reporte quincenal (09.11.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta un informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad a realizar por parte del IDIEM, quien se adjudicó la licitación. Se indican las reuniones sostenidas, las campañas de terreno a realizar, los antecedentes técnicos a analizar y se define un área de estudio. <p>4° Reporte quincenal (23.11.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta un programa/cronograma de trabajo remitido por IDIEM al titular (Minera Candelaria) de 14 semanas a partir del 22 de noviembre de 2022, por lo que el plazo del producto final es febrero 2023. <p>Se indica que con fecha 28 de noviembre de 2022 el titular presentó una solicitud de ampliación de plazos para esta medida (1° de la Res. Ex. SMA</p>	<p>medida original y dentro del cual solo se encuentra equipamiento minero.</p> <p>Dado que el estudio de estabilidad presentó sólo estimaciones sin contar con estudios conclusivos respecto al riesgo por el fenómeno de nuevas subsidencias, fue necesario por parte de esta Superintendencia dictar con posterioridad una nueva medida urgente y transitoria por medio de la Resolución Exenta N°1899, de fecha 15 de noviembre de 2023, consistente en la ejecución de una campaña geofísica de 7 perfiles de TRE, a objeto de poder determinar el riesgo efectivo de nuevas subsidencias.</p>



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>N°1349 del 2022), la que fue resuelta mediante la Res. Ex. SMA N°2256 de fecha 19 de diciembre de 2022, entregándole un nuevo plazo establecido para el 20 de febrero de 2023.</p> <p>5° Reporte quincenal (07.12.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta un informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indican que se revisaron 1208 sondajes, información entregada por la empresa, y que estos solo de algunos (9) se podía sacar información para el estudio. Se indica que se revisó el informe de GoiT (analizado en el segundo reporte quincenal), que se revisó información geológica entregada por el titular e información geotécnica preparada por Arcadis para el EIA presentado por el titular. <p>Luego se presenta una carta Gantt y se presentan las próximas actividades a realizar por IDIEM. Por lo tanto, a esta fecha no hay ninguna conclusión aún.</p> <p>6° Reporte quincenal (21.12.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta otro informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica la información revisada por el consultor, a saber, antecedentes topográficos (Topografía aerofotogramétrico Alcaparrosa” Lundin Mining (2022) y otros), antecedentes geológicos (Modelos estructurales de caserones, Lundin Mining (2022) y otro), antecedentes geotécnicos (EIA de suelo, sector área de influencia “Proyecto Continuidad Operacional Mina Alcaparrosa”, ARCADIS (2017)), antecedentes sismológicos (Informe técnico N°3533-2000-G-INF-004 “Estudio de amenaza sísmica depósito de relaves Minera Candelaria”, ARCADIS (2010)), antecedentes geofísicos (Reporte geofísico “Tomografía de Resistividad Eléctrica sector Mina Alcaparrosa”, GEOIT (2022) y otros), y antecedentes hidrogeológicos (Informe modelo hidrogeológico conceptual y modelo numérico, Mina Alcaparrosa para DIA “Continuidad Operacional Corto Plazo Mina Alcaparrosa, VAIGS (2020) y otros). <p>Se indica en el reporte que el 12 de diciembre de 2022 se iniciaron las campañas de terreno que realizará el consultor del tipo topográfica, geofísica, y geológica y geotécnica.</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Se indica las reuniones técnicas realizadas y se entrega una actualización del cronograma que mantiene la misma duración del presentado en los reportes anteriores.</p> <p>7° Reporte quincenal (04.01.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: levantamiento topográfico aerofotogramétrico (90%), estudios geofísicos a partir de los perfiles geofísicos (50%), levantamientos geológicos existente (90%). Se indica que el consultor solicitó nuevas actividades complementarias para la obtención de parámetros geológicos y geotécnicos, así como la coordinación con la geóloga del equipo del consultor para la realización de una visita a terreno para mapear los sondajes solicitados a la empresa y revisar los testigos obtenidos y así hacer ensayos complementarios en laboratorio para la caracterización geomecánica requerida en los modelos de estabilidad. <p>El titular en este informe además presenta carta de fecha 29 de diciembre de 2022 dirigida a la directora regional de SNGM Atacama solicitando autorizar la modificación de la secuencia de ejecución de los sondajes y la ejecución de 8 calcatas en el exterior de los perímetros de seguridad definidos por SNGM y la Delegación Presidencial de la Región de Atacama.</p> <p>8° Reporte quincenal (18.01.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: levantamiento topográfico aerofotogramétrico (100%), estudios geofísicos a partir de los perfiles geofísicos (100%), levantamientos geológicos existente (100%) y ejecución de los ensayos de laboratorio en testigos de roca (20%). Se indica los avances del modelo 2D levantado con la información requerida al titular y los trabajos de terreno: definición de criterios (100%), definición de modelos estratigráficos (100%), definición de parámetros geotécnicos (100%) e información de los perfiles en el software de Slide para evaluar su estabilidad (50%). 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Entrega un cronograma actualizado del avance de las actividades a la fecha del reporte.</p> <p>9° Reporte quincenal (01.02.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: ejecución de los ensayos de laboratorio en testigos de roca (100%) y análisis de resultados y consolidación de información disponible (100%). <p>Se indica los avances del modelo 2D levantado con la información requerida al titular y los trabajos de terreno está en un 100%. Respecto de la información entregada por el titular y levantada por el consultor en relación con el riesgo sísmico y caracterización geotécnica está en un 100%, mientras que el desarrollo del modelo 3D de estabilidad del socavón está en un 30%</p> <p>Entrega un cronograma actualizado del avance de las actividades a la fecha del reporte.</p> <p>10° Reporte quincenal (15.02.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: ejecución de los ensayos de laboratorio en testigos de roca (100%) y análisis de resultados y consolidación de información disponible (100%). <p>Se indica los avances del modelo 2D levantado con la información requerida al titular y los trabajos de terreno está en un 100%. Respecto de la información entregada por el titular y levantada por el consultor en relación con el riesgo sísmico y caracterización geotécnica está en un 100%, mientras que el desarrollo del modelo 3D de estabilidad del socavón está en un 30%</p> <p>Entrega un cronograma actualizado del avance de las actividades a la fecha del reporte.</p> <p>11° Reporte quincenal (01.03.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: modelo de riesgo sísmico y caracterización geotécnica está en un 100%, el desarrollo del modelo 3D de estabilidad del socavón está en un 100%, y se agrega la corrida estática y re-evaluación de los parámetros geotécnicos mediante back-analysis 3D (50%) y calibración de parámetros y corrida dinámica de subsidencia en modelo 3D (10%).</p> <p>El titular señala que dada la negativa de SNGM de acceder al perímetro del socavón pronostica la entrega del informe de la etapa 3 para el 30 de abril de 2023.</p> <p>12° Reporte quincenal (15.03.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: corrida estática y re-evaluación de los parámetros geotécnicos mediante back-analysis 3D (100%) y calibración de parámetros y corrida dinámica de subsidencia en modelo 3D (50%). <p>El titular nuevamente señala que dada la negativa de SNGM de acceder al perímetro del socavón pronostica la entrega del informe de la etapa 3 para el 30 de abril de 2023.</p> <p>13° Reporte quincenal (12.04.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: corrida estática y re-evaluación de los parámetros geotécnicos mediante back-analysis 3D (100%) y calibración de parámetros y corrida dinámica de subsidencia en modelo 3D (100%). <p>Se emite el borrador del informe del modelo 3D (100%).</p> <p>El titular señala que dada la negativa de SNGM de acceder al perímetro del socavón pronostica la entrega del informe de la etapa 3 para el 30 de abril de 2023.</p> <p>14° Reporte quincenal (12.04.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: revisión del borrador del informe del modelo 3D (50%). El titular señala que dada la negativa de SNGM de acceder al perímetro del socavón pronostica la entrega del informe de la etapa 3 para el 30 de abril de 2023.</p> <p>15° Reporte quincenal (26.04.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En este reporte el titular presenta informe de avance del estado de los trabajos del estudio de estabilidad que está realizando IDIEM. Se indica el avance de las actividades señaladas en el reporte anterior: revisión del borrador del informe del modelo 3D (80%). El titular señala que dada la negativa de SNGM de acceder al perímetro del socavón pronostica la entrega del informe de la etapa 3 para el 30 de abril de 2023. <p>Reporte Final (27.04.2023):</p> <ul style="list-style-type: none"> - En el reporte final el titular presenta el estudio de estabilidad elaborado por IDIEM: <p>1. <u>Metodología</u> La metodología del estudio se basó en hacer un estudio geológico del área del socavón el que fue complementado con visitas geotécnicas y geológicas a terrenos y con información provista por el titular y fuentes externas, con la finalidad de establecer las condiciones de los materiales tipo suelo y del macizo que se requería para complementar la caracterización geomecánica y geotécnica de los materiales implicados en la modelación de estabilidad 3D. De manera paralela, se realizó una campaña de exploración en el área del socavón para obtener los parámetros geofísicos y geotécnicos de los sedimentos predominantes en Alcaparrosa. El titular destaca que no se pudo realizar exploración ni ensayos geotécnicos debido a las restricciones interpuestas por SNGM para entrar al área, por lo que solo presentan los resultados del levantamiento fotogramétrico, registro fotográfico y videos, los ensayos geofísicos en términos de la ejecución de perfiles</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>MASW y ReMi, refracción sísmica y la obtención de la razón espectral H/V mediante el método Nakamura.</p> <p>Luego se presentan el análisis de los resultados de los ensayos de geomecánicos de las muestras de rocas en laboratorio para la determinación de propiedades de estado y resistencia de las unidades geomecánicas de las rocas presentes en la zona de la subsidencia bajo los depósitos sedimentarios. Estos resultados fueron comparados con la información provista por el titular y que fueron consideradas por este en la modelación geotécnica hecha por la empresa.</p> <p>En base a lo anterior, se construyeron los modelos estratigráficos y de caracterización geotécnica del área para incorporar en el modelo 3D y se estimaron los parámetros geotécnicos que regulan el comportamiento de las unidades presenten el sector.</p> <p>Luego, y antes de pasar al análisis de estabilidad y definición de las superficies comprometidas, fue necesario que el consultor hiciera un ajuste de los parámetros y de la franja de seguridad preliminar que se consideraría en el modelo, toda vez que de la caracterización de los elementos se identificó evidencia de cortes de empréstitos de gravas en las cercanías del área y en la profundidad de las paredes de la subsidencia, utilizando un software para realizar el ajuste de parámetros geotécnicos de las gravas, específicamente, de la cohesión. A partir de esto, se define una franja de seguridad la que posteriormente se ajusta con el modelo tridimensional.</p> <p>Finalmente, se realizó el análisis de estabilidad tridimensional (3D) y la determinación de las superficies comprometidas, para lo cual el consultor utilizó el software FLAC 3D. Se indica que los resultados los presenta de manera estática y dinámica, y en el caso de esta última asociada a la demanda sísmica de diseño establecida en el estudio de riesgo sísmico. En base a todos estos resultados el consultor establece la existencia o ausencia de riesgos sísmicos sobre los elementos naturales y construidos del área.</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Por último, se definen las superficies comprometidas por los campos de deformación debido a una eventual inestabilidad de las paredes de la subsidencia.</p> <p>2. <u>Geología</u> En relación con la geología del área, el estudio la divide de la siguiente manera (registro 7):</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Depósitos no consolidados a parcialmente consolidados estos se dividen en: <ul style="list-style-type: none"> - Depósitos coluviales-aluviales (Qal) - Depósitos fluviales (Qf) - Gravas de Atacama (Mga) ii) Unidades de roca, estas se dividen en: <ul style="list-style-type: none"> - Grupo Chañarillo, el que subdivide en: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Formación Nantoco (kin) ▪ Formación Abundancia (kia) - Formación Punta del Cobre (JKpc) iii) Estructuras: el patrón estructural en la cercanía de Alcaparrosa se caracteriza por la presencia de fallas subverticales, principalmente con rumbo N - O. <p>En relación con la geología del área de la subsidencia se realizaron visitas a terreno por parte de la geóloga del consultor quien hizo una revisión en terreno en los cortes expuestos en las cercanías de la subsidencia, se revisaron la testigoteca de la Planta Aguirre Cerda (Planta PAC), levantamiento de imágenes de las paredes de la subsidencia con dron y visita al interior de la mina al nivel 370 y al tapón amelia Además, se realizó la revisión de antecedentes técnicos en gabinete, se revisó el modelo Leapfrog, se revisaron los quicklogs realizados de los sondajes en testigoteca y los resultados geofísicos. Todo lo anterior, para realizar la verificación del contacto roca - grava y posibles contactos entre unidades geotécnicas de suelo.</p> <p>Los hallazgos levantados de este análisis son los siguientes de acuerdo con el sector:</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p><u>Geología de Superficie:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • “En la inspección de materiales al interior de la subsidencia (vuelo de dron...), de forma general se observan materiales que son principalmente gravosos y gravo arenosos, con algunas intercalaciones de materiales más finos, con desarrollo preferente de gravas arenosas con distintos niveles de compacidad”. • “En la inspección visual de cortes realizados por especialistas geotécnicos y geólogos en las cercanías del sitio en estudio, también se observó la predominancia de gravas arenosas con escasos finos, con tamaño máximo de hasta 4” y aisladamente de 8”, con intercalaciones eventuales de lentes de arena limpios y lentes de arcilla de plasticidad media (...). Estos materiales exhiben sectores con algunas cavidades cóncavas dadas por la baja cohesión y condición más suelta de algunos materiales, así como también sectores locales con “nido de piedra” que se presentan sin matriz”. <p><u>Interior Mina:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Nivel 300</u> • “El macizo rocoso está fracturado, con fracturas largas, planas, algunas abiertas (...). La orientación principal de las estructuras (D/DD) es 85/215. Se observa una zona de falla de aproximadamente 50 cm de espesor con roca brechizada y mineralización de calcita y epidota, ondulosa, de dirección (D/DD) 84/054 y 84/230 (...). Aunque se ven algunas estructuras bastante abiertas en general, las más largas y continuas están cerradas. El macizo sólo tiene pernos y muestra buena calidad, localmente con sostenimiento. En esos sectores la malla está “cargada” con bloques centimetrados y, localmente, mayores. Localmente se observa filtración en zonas de falla con rellenos de material arcillizado superficialmente” (énfasis agregados). ➤ <u>Nivel 270 (tapón Amelia)</u> 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> • “En la intersección de la galería con la excavación (sector donde se ubican las bombas), se observó una falla con material calcáreo depositado por filtraciones, en un macizo de menor calidad que el vecino (...). La orientación de la falla (D/DD): 80/335; 74/324; 84/325. Algunas estructuras secundarias tienen orientación 35/102. Esta galería pareciera desarrollarse paralela a una falla. Se observan zonas con estructuras rellenas por calcita. El GSI estimado para el sector es B/G 65-70” (énfasis agregado). • “En general, el macizo rocoso de los sectores visitados tiene buena a regular calidad geotécnica, con algunos núcleos de falla caracterizados por roca brechizada y/o mineralización” (énfasis agregado). <p><u>Testigoteca Planta PAC:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Gravas</u> <ul style="list-style-type: none"> • “En general, la unidad de gravas es de tipo grava arenosa con menor proporción de partículas tamaño limo, presentando casi siempre algún grado de presencia de carbonatos como cemento y, en ocasiones se presentan niveles de limos arenosos con escasas gravas de espesor 60 cm máximo”. • “Existen algunos intervalos donde se observan niveles de conglomerados, que corresponden a gravas cementadas por carbonatos de muy buena competencia y dureza, que fueron mapeados como gravas por Mina Alcaparroza” ➤ <u>Rocas</u> <ul style="list-style-type: none"> • “En los sondajes que se ubican hacia el oeste se observa que, bajo el contacto grava - roca, se desarrolla oxidación de las estructuras, en particular en aquellas con abundancia de pirita, lo que indicaría un nivel de alteración de las paredes por acción del agua. Esta unidad se caracteriza por su color rojizo en las estructuras y en algunos intervalos, dada la presencia de óxidos 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>de hierro (...). Presenta un RQD entre 0 - 70% con un GSI VB/F 40-45" (énfasis agregado).</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>“Se reconoce una segunda unidad, que corresponde a Metandesitas sin oxidación, las que presentan un fuerte vetilleo de calcita, con intervalos donde aumenta la presencia de pirita y calcopirita - pirita. En general, el RQD estimado varía entre el 80 - 100%, lo que permite designarle una buena calidad geotécnica al macizo rocoso (...). Las paredes de las estructuras no se encuentran alteradas observándose que, en general, están selladas y que la gran mayoría de las estructuras abiertas corresponden a fracturas mecánicas, producto de la perforación y/o el manejo posterior de los testigos. En particular, en los sondajes exploratorios perforados posteriormente al evento de subsidencia, que se ubican bajo ésta y que fueron ejecutados desde la galería nivel 270 visitada, se observa una alta ley visual de cobre asociada a vetas de calcopirita (...). Esta segunda unidad de roca presenta un GSI B/G 65-70" (énfasis agregado).</i> <p>3. <u>Campaña de exploración</u></p> <p><u>Levantamiento Topográfico</u></p> <p>El titular (consultor) realizó un levantamiento aerofotogramétrico georreferenciado en SIRGAS (WGS84) de aproximadamente 70 hectáreas, usando un dron con una cámara de alta resolución para la obtención del Modelo Digital de Terreno (MDT) del sector. Además, realizó un registro videográfico y fotográfico del entorno y de las paredes interiores de la subsidencia, el cual aportó información geotécnica y geológica del sector (registros 8). El último levantamiento realizado por la empresa determinó un diámetro de 40 m y una profundidad de unos 54 a 56 m.</p> <p>El consultor se logró observar el fondo de la subsidencia y la diferencia en los estratos de suelos en profundidad, identificando así una depositación reciente que alcanza los 5 m de espesor, la cual sobreyace a una depositación más antigua, que se extiende hasta el fondo de la subsidencia</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p><u>Prospecciones Geofísicas</u></p> <p>El consultor ejecutó un total de 11 perfiles geofísicos con los métodos de refracción sísmica y modelo MASW/ReMi. Se utilizaron 24 geófonos los cuales tuvieron una distribución de acuerdo con la longitud de cada perfil (registro 9). Además, el titular ejecutó 22 medición de relación espectral H/V con un trominio.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Resultados de ensayos geofísicos</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Perfiles MASW/ReMi</u> <ul style="list-style-type: none"> - <i>“Se puede observar que las velocidades son monótonamente crecientes en profundidad, exceptuando en las posiciones donde se ubican los cambios estratigráficos, en los cuales se puede diferenciar un aumento de las velocidades Vs. En general, en el área de estudio los perfiles exhiben velocidades entre los 300 m/s hasta los 800 m/s, aproximadamente, salvo por el perfil PG10, que se ubica en el extremo poniente del sector, donde sus velocidades se encuentran entre los 190 y 1200 m/s, presumiblemente por su cercanía al cordón montañoso”</i> (registro 10). - Según estos perfiles el consultor reconoce tres unidades: unidad somera, intermedia y profunda. - Unidad Somera: <i>“se observa en todos los perfiles, con un espesor aproximado de 4 a 5 m y velocidades de onda de corte en torno a los 300 m/s como promedio, salvo en el perfil PG10, el cual presenta velocidades menores”</i>. - Unidad intermedia: <i>“Esta unidad subyace al estrato definido anteriormente, con velocidades de Vs que varían desde los 300 m/s hasta los 530-725 m/s a los 35 m de profundidad, siendo mayores al Este de la subsidencia (delimitado por el río Copiapó) y menores al Oeste de ésta (delimitado por el macizo rocoso del</i> 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p><i>cordón montañoso). Por otra parte, el perfil PG10, detecta una variación más abrupta de Vs en profundidad, alcanzando los 900 m/s a los 22 m de profundidad. Algunos perfiles permitieron revisar condiciones de rigidez a mayores profundidades, particularmente los efectuados cercanos al río Copiapó, los que exhiben un aumento de rigidez en profundidad hasta los 75 m, con valores de Vs del orden de 825 m/s. Por su parte, uno de los perfiles ejecutados al poniente de la subsidencia (PG4), exhibe un aumento de la rigidez a los 55 m de profundidad, sugiriendo la presencia de un material más rígido que éste, pero que no sería consistente con roca. Por lo tanto, esta unidad podría estar subdividida en dos sub-unidades”.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Unidad Profunda: <i>“Esta última unidad fue identificada por el perfil PG10, situada contigua al cordón montañoso Sierra Granate. Este perfil detecta valores de velocidades de onda de corte superior a los 900 m/s y hasta los 1200 m/s a una profundidad cercana a los 22 m”.</i> ▪ <u>Resultados refracción sísmica</u> - El consultor presenta los resultados para este método utilizando como ejemplo dos perfiles geofísicos (PG2 y PG10), los que si bien están detallados como se verá a continuación no son los más representativos del área de la subsidencia como el PG1, PG3, o PG4. - Perfil de refracción PG2: <i>“En este perfil, se identifican los siguientes horizontes para el modelo de velocidad de ondas longitudinales Vp:</i> <ul style="list-style-type: none"> <i>a) Unidad somera: Esta unidad exhibe un espesor máximo de 5 m aproximados y velocidades de onda P menor a los 700 m/s.</i> <i>b) Unidad intermedia superior: Esta segunda unidad subyace al estrato definido anteriormente, con velocidades Vp superior a los 700 m/s hasta 1500 m/s aproximadamente. Presenta un espesor variable entre los 25 m en los extremos de los perfiles y 40 m en la parte central del perfil.</i> 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>c) <i>Unidad intermedia inferior: Bajo la unidad descrita anteriormente, se puede identificar un estrato con velocidades superiores a los 1500 m/s, alcanzando en este perfil velocidades de hasta 1700 m/s</i>" (registro 11).</p> <p>- Perfil de refracción PG10: <i>"En este perfil, se identifican los siguientes horizontes para el modelo de velocidad de ondas longitudinales Vp:</i></p> <p>a) <i>Unidad somera: Esta unidad exhibe un espesor que varía entre 2 y 7 m aproximados y velocidades de onda P menor a los 700 m/s.</i></p> <p>b) <i>Unidad intermedia: Esta segunda unidad subyace al estrato definido anteriormente, con velocidades Vp entre 700 m/s y 1500 m/s, aproximadamente, y presenta un espesor definido cercano a los 15 - 17 m. Se puede reconocer el límite inferior del estrato, al igual que en el perfil de Vs, pero levemente a menor profundidad.</i></p> <p>c) <i>Unidad profunda (roca): Esta unidad exhibe valores de velocidad de ondas P desde 1500 m/s y alcanza rápidamente los 2000 m/s, en una profundidad de 4 m, aproximadamente. Luego, se desarrollan velocidades superiores a los 2500 m/s hacia el final del perfil"</i> (registro 12).</p> <p>- A continuación, se analizan por parte de la Superintendencia los perfiles geofísicos más próximos al socavón. Se debe señalar que el consultor en el estudio no describe estos perfiles, sino solo presenta el gráfico del modelo bidimensional de velocidad de ondas longitudinales.</p> <p>Perfil de refracción PG1 (este del socavón): En este perfil se identifican los siguientes horizontes para el modelo de velocidad de ondas longitudinales Vp:</p> <p>a) <i>Unidad somera: Esta unidad exhibe un espesor máximo de 5 m aproximados en su extremos y velocidades de onda P menor a los 700 m/s, mientras que en entre los 20 y 40 metros de distancia aumenta a 10 m con velocidades próximas a 800 m/s.</i></p> <p>b) <i>Unidad intermedia superior: Esta segunda unidad subyace al estrato definido anteriormente, con velocidades Vp superior a los 700 m/s hasta 1300 m/s aproximadamente. Presenta un espesor</i></p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>variable de 12 m en los extremos de los perfiles y menos de 10 m entre los 20 y 40 metros de distancia. Como se observa en el registro 13, no se observa una unidad profunda en este perfil.</p> <p>Perfil de refracción PG3 (norte del socavón): En este perfil se identifican los siguientes horizontes para el modelo de velocidad de ondas longitudinales Vp:</p> <p>a) Unidad somera: Esta unidad exhibe un espesor máximo de 2,5 m aproximados en su extremo noreste y a los 69 metros que corresponde a la parte final de la longitud del perfil. Las velocidades de onda P alcanzan los 500 m/s, a lo largo de su longitud y aumenta a 700 m/s en el extremo noreste.</p> <p>b) Unidad intermedia superior: Esta segunda unidad subyace al estrato definido anteriormente, con velocidades Vp superior a los 700 m/s hasta 1300 m/s aproximadamente. Presenta un espesor regular de 12 m aproximadamente.</p> <p>c) Unidad intermedia inferior: Bajo la unidad descrita anteriormente, se puede identificar un estrato con velocidades Vp superiores a los 1500 m/s, alcanzando en este perfil velocidades de hasta 1700 m/s con una profundidad regular de 1 metro a lo largo de toda su longitud (registro 14).</p> <p>Perfil de refracción PG4 (oeste del socavón): En este perfil se identifican los siguientes horizontes para el modelo de velocidad de ondas longitudinales Vp:</p> <p>a) Unidad somera: Esta unidad exhibe un espesor máximo de 2,5 m aproximados en sus extremos y velocidades de onda P menor a los 500 m/s, mientras que en entre los 20 y 100 metros de distancia aumenta a 6 m con velocidades hasta 700 m/s.</p> <p>b) Unidad intermedia superior: Esta segunda unidad subyace al estrato definido anteriormente, con velocidades Vp superior a los 700 m/s hasta 1200 m/s aproximadamente. Presenta un espesor variable de 20 m en los extremos de los perfiles y menos de 15 m entre los 20 y 100 metros de distancia.</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Como se observa en el registro 13, no se observa una unidad profunda en este perfil.</p> <p>Del análisis de los perfiles PG1, PG3 y PG4, se observa que en las cercanías del socavón los materiales del subsuelo son menos compactos por lo que se trata de materiales menos consolidados. Por las bajas velocidades registradas y obtenidas como resultados en cada uno de estos perfiles es posible señalar que el método es efectivo para la prospección de los estratos de baja profundidad, pero no resulta adecuado para prospecciones más profundas como las requeridas en el objetivo del estudio requerido. Se debe tener en cuenta que la profundidad del socavón, según el levantamiento topográfico actualizado hecho por IDIEM, es de 56 metros, es decir, que la base del socavón está en el nivel 419 aproximadamente (corona socavón nivel 470 m.s.n.m. según el modelo conceptual hidrológico Mina Alcaparrosa Sector Gaby Nivel 270-200, preparado por Sernageomin en su informe de investigación de alto potencial “Alcaparrosa” de marzo de 2023”), sin embargo las profundidades a las que llegan los perfiles MASW/ReMi están por sobre la profundidad del socavón, a saber: PG1 455 m.s.n.m.; PG2 422 m.s.n.m. (es la más profunda); PG3 456 m.s.n.m., PG4 452,5 m.s.n.m., PG5 425 m.s.n.m.; PG6 460 m.s.n.m.; PG7 442,5 m.s.n.m.; PG8 461 m.s.n.m.; PG9 446 m.s.n.m.; PG10 455 m.s.n.m.; y PG11 457 m.s.n.m. por lo que solo describe el área que está alrededor de este, sin tener una aproximación a niveles inferiores de la mina.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Resultados método Nakamura (H/V)</u> <p>En relación con este método, el consultor indica que se realizaron 22 ensayos con método de Nakamura en el área de estudio, con el fin de establecer las frecuencias fundamentales del suelo y, con esto, el espesor sedimentario predominante en distintos sectores del área en estudio.</p> <p>Muestra como ejemplo el resultado mediante gráficos para el ensayo NK8 y NK 16, sin explicar por qué se eligen de ejemplo</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>estos dos ensayos y no otros; a pesar de esto, se puede señalar que el ensayo NK8 está a un costado del río Copiapó, es decir el este del socavón, y el ensayo NK 16 no se identifica en la imagen del área del socavón donde se realizaron los ensayos (ver registro 9). Luego el consultor presenta una tabla con los resultados de la frecuencia y el espesor del suelo para cada estación de medición H/V.</p> <p>En el ejercicio presentado por el consultor, no se describe en ninguno de los casos cómo se obtuvo la profundidad del estrato (H) a partir del cálculo de la frecuencia natural, ya que no se entregan los valores de la velocidad de la onda de corte del estrato sedimentario (Vs). Se pensó en que en los anexos vendría un detalle del cálculo, pero no, solo viene una explicación del método, pero no un detalle de los resultados obtenidos, por lo que no se pudo verificar los valores presentados. Además el consultor no entregó los valores de la frecuencia natural con el respaldo de los gráficos para cada perfil que permitiera corroborar esto, sino solo para el NK8 y NK16.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Análisis conjuntos de resultados geofísicos</u> ▪ <u>ReMi/MASW (Vs) y Refracción sísmica (Vp)</u> <p>Lo que realiza el consultor al comparar estos métodos es ver el comportamiento de los perfiles geofísicos ubicados al oeste (poniente) del socavón y al este (oriente) de este. Según los resultados obtenidos sostiene que hay en ambos sectores se presentan velocidades y profundidades homólogas entre sí, por el límite de velocidad se ubica dentro del mismo territorio o área. Señala además que los resultados de los métodos son consistentes en ambos sectores (poniente y oriente). Por último, indica que <i>“en ambos sectores los perfiles geofísicos indican que el depósito sedimentario puede tener algunas decenas de metros y puede alcanzar espesores que incluso podrían alcanzar los 100</i></p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p><i>m (PG4 en el poniente y PG5 en el oriente de la subsidencia)"</i> (énfasis agregado), sin embargo, al revisar la imagen se observa que ninguno de los perfiles llega tan profundo como se indica en el estudio (ver registro 10), siendo el PG4 y PG5 los más profundos sin superar los 80 metros.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Relación entre Vs y Vp</u> <p>El consultor señala que la relación entre la velocidad de corte (Vs) y la velocidad compresional (Vp), está dada por la teoría de la elasticidad en función del coeficiente de Poisson, y que en base a esta función se puede establecer una aproximación del comportamiento del suelo según el tipo de materiales, a saber: menores valores de Poisson se relacionan con materiales de menor rigidez, dureza o compacidad, mientras que valores mayores se relacionan con materiales más rígidos y duros. Como resultado presenta una tabla con los coeficientes de Poisson para cada uno de los perfiles según estratos por perfil, sin embargo, no explica cómo o desde dónde llega a estos valores, y tampoco hay un desarrollo en los anexos del estudio. Termina concluyendo, que los valores del coeficiente de Poisson se ubican entre 0,27 y 0,34 lo que concuerda con los valores sugeridos para ese tipo de suelo, no obstante, no presenta un medio de prueba que dé cuenta que a la conclusión que llega es verídica.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Razón espectral H/V</u> <p>El consultor comienza señalando que relación espectral entre las componentes horizontales (H) y vertical (V), del sistema sedimentario en Alcaparrosa, indica la presencia de dos (2) peaks, en frecuencias bajas (<10 Hz) y altas (>10 Hz), sin embargo, como se indicó cuando se revisaron los resultados del método Nakamura, se entregaron los valores de la frecuencia fundamental sin el respaldo de los gráficos para cada perfil que permitiera corroborar esto, sino solo para el NK8 y NK16, por lo</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>que los valores el resto de los perfiles solo constan por lo indicado por el consultor.</p> <p>Ya que la frecuencia fundamental guarda correlación con el espesor sedimentario hasta el techo de la roca o bien con contactos entre unidades geotécnicas del suelo, el consultor realizó un cruce de la información del método con el modelo geológico que se encuentra disponible en Leapfrog con el fin de establecer correlaciones entre ambos.</p> <p>Al cruzar esta información, el consultor señala que <i>“se puede observar una buena correlación en gran parte de los ensayos, excepto en seis (6) de ellos”</i>. Indica que en aquellos sectores donde no se puede observar una buena correlación tampoco se cuenta con sondajes realizados en superficie, por lo que la comparación es referencial, por lo tanto, no es una conclusión validada por la falta de antecedentes.</p> <p>Por otra parte, el consultor señala que <i>“se presentan los resultados de los ensayos de Nakamura en las altas frecuencias, estableciéndose que existe un material (suelo), con mayor rigidez que el superficial, que subyace al observado en las paredes de la subsidencia y que, de acuerdo con las profundidades estimadas mediante el método de Nakamura, se desarrollaría justo por debajo de la profundidad máxima alcanzada por la subsidencia en Julio de 2022” (énfasis agregado)</i>. Revisadas las altas frecuencias (> 2 Hz), lo que se observa que hay, en la mayoría de los casos, una alta correlación entre la profundidad del método Nakamura y el modelo leapfrog, diferencia que está bajo los 10 metros, salvo en los perfiles NK17 NK18, donde la frecuencia fundamental esta por debajo de los 2 Hz, aunque se mantiene una diferencia de profundidades bajo los 10 metros. Por otra parte, se considera buenas correlaciones cuando la diferencia entre las profundidades está entre los 20 y 10 metros, y con frecuencias fundamentales menores a 2 Hz, con la salvedad del perfil NK16, que tiene un Fo de 5,6 Hz, pero las profundidades</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>en este caso están bajo los 30 metros, a diferencia de los otros perfiles que presentan profundidades de sobre 100 metros.</p> <p>Finalmente, el consultor concluye señalando que “(...) en el modelo de estabilidad, se considerará que existe un contacto de unidades de grava, el que será modelado considerando las profundidades de la Figura 6-12, considerándose que las rigideces asociadas al material más profundo son consistentes con las observadas en el sector del río Copiapó, dada la tendencia observada del perfil PG-4 desde los 55 m de profundidad, que se ajusta a la curva de Vs de los perfiles del sector oriente”. Sobre esto, se debe señalar que establecer el comportamiento rígido de los materiales en base a que dos perfiles ubicados en distintas posiciones geográficas (oriente y poniente), permitiría suponer un comportamiento del suelo similar, resulta escaso considerando que tal como lo señalaba el propio consultor, el estudio carece de sondajes superficiales que puedan validar esta información, por lo que no hay evidencia empírica que permita sostener esto, sino solo valores estimados.</p> <p>4. <u>Análisis de resultados de ensayo de laboratorios</u></p> <p>El consultor señaló que durante la revisión de la testigoteca ubicada en la Planta Pedro Aguirre Cerda (Planta PAC), se tomaron muestras de los testigos y cumpliendo con los estándares y protocolo para el manejo de estas piezas, fueron enviadas al laboratorio del IDIEM para analizarlas. Se realizaron 7 ensayos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propiedades Físicas en ASTM C97/C97M-18 • Compresión Uniaxial Simple en ASTM D7012-14e1 (Uniaxial Compressive Strength, UCS) • Compresión Uniaxial con Medición de Deformación en ASTM D7012-14e1 • Índice de Resistencia a la Carga Puntual en ASTM D5731-16 (Point Load Tests, PLT) 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de corte directo para discontinuidades artificiales en rocas en ASTM D 5607-16 y ASTM D 4543- 08. • Determinación de Velocidad de ondas basado en ASTM D 2845 – 08 (Vp y Vs) • Ensayo Inmersión en agua potable por 48 Hrs. <p>De los 32 testigos utilizados en la revisión, no a todos se les aplicaron los mismos ensayos, sino a algunos. En el registro N°16 se presentan los ensayos realizados por testigo.</p> <p><u>Propiedades Físicas</u> Respecto de las propiedades físicas se indica en el estudio que varios testigos presentaron valores elevados respecto de los típicamente obtenidos en rocas ígneas debido a la presencia de vetas y vetillas de calcopirita, pirita y calcita en distintos casos.</p> <p><u>Compresión Uniaxial Simple (UCS) y Carga Puntual (PLT)</u></p> <p>Del análisis de los resultados se puede observar que las compresiones uniaxiales fallan principalmente de forma mixta, es decir, por matriz y estructura, lo cual es esperable dado el vetilleo observado en los testigos que fueron seleccionados. En los testigos con vetillas con oxidación de piritas (roca superficial), los valores de UCS obtenidos fueron de 57,6 y 87,7 MPa. Bajo las rocas con oxidación, se observa que los valores de UCS se encuentran entre los 30,7 y 205,5 MPa.</p> <p>También se realizaron ensayos de carga puntual (PLT: Point Load Test) en testigos de roca obtenidos de los sondajes que fueron ejecutados desde las galerías en la roca más profunda, ensayados diametralmente según las recomendaciones de la ASTM D5731-16. En estos resultados se observa que la clasificación de resistencia es muy alta a extremadamente alta, con valores de índice de resistencia Is(50) que se encuentran en el rango 8,29 MPa a 10,75 MPa, con un promedio de 9,18 MPa.</p> <p>De la gráfica de resistencia promedio de todos los valores de UCS que son mayores que 140 MPa (18 resultados), obteniéndose un promedio de 222</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>MPa y una desviación estándar de 44 MPa. Según lo indicado por el consultor, el titular (CCMO) tiene caracterizada la unidad geotécnica Andesita inferior (denominada “UG61”) con un valor de 220 MPa, por lo tanto, los valores obtenidos confirman en promedio el valor considerado en la caracterización geomecánica.</p> <p><u>Ensayo de corte directo</u></p> <p>Se indica que en aquellos testigos de roca de la unidad más profunda donde se observó un intenso vetilleo concentrado, o bien, donde se distingue de forma clara una vetilla de calcita, se solicitó la realización de ensayos de Corte Hoek con planos orientados. Los resultados obtenidos exhiben ángulos de fricción en el rango 60° a 70°.</p> <p><u>Determinación de velocidades de ondas Vp y Vs</u></p> <p>Se establecieron ensayos de medición de velocidad de onda de corte (Vs) y onda compresional (Vp) en testigos de roca que se observaron sanos. Los valores de la velocidad de onda de corte (Vs) de aquellas probetas que exhiben mineralización son altos, escapándose a la tendencia de los que no presentan mineralización (4 resultados), los que exhiben valores en el rango 2.438 m/s a 2.781 m/s, con promedio de 2.573 m/s. Si bien, los valores están en lo correcto, no son 4 sino 5 los testigos que no presentan mineralización, y para todos aquellos que presentan mineralización los valores están por sobre los 3.000 m/s en todos los casos con un promedio de 3.226 m/s. Cabe señalar que 2 de los 5 testigos que no presentan mineralización corresponden a sondajes sub horizontales. Por otra parte, para los testigos que presentan mineralización, no queda claro por qué estos no se consideran en el análisis, ya que como se indicó los valores de Vs en este caso alcanzan promedios de 3.226 m/s con un promedio de velocidad de onda de compresión (Vp) de 5.694 m/s</p> <p>Según el consultor, estos resultados (solo los considerados por este), se encuentran cercanos al límite inferior de rocas intrusivas, donde rocas como el granito y el basalto presentan rangos de Vs en el rango 2.250 m/s a 3.350-3.550 m/s (ver registro 17). No obstante, cuando se revisan los</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>resultados de los testigos mineralizados a la luz de la tabla del registro 17 se observa que ellos se acercan a valores de dolomita (roca dolomítica) y no basalto o granito.</p> <p><u>Ensayos de inmersión</u></p> <p>Este ensayo se utiliza para establecer si la roca tiene inconvenientes en su comportamiento geomecánico por contacto con el agua (largos periodos de exposición al agua), con esto se evalúa la pérdida de peso y/o estructura de la roca respecto de su condición antes del ensayo. De los resultados, el consultor sostiene que es posible observar que la pérdida de peso asociada a la degradación por acción del agua sobre las muestras es menor al 0,04%, por lo que se puede establecer que no existe lavado ni pérdida de minerales y/o materiales presentes en las muestras tras 48 horas de ensayo.</p> <p>De la revisión de las muestras consideradas para el ensayo, se debe señalar que estas son distintas a las utilizadas en el ensayo de determinación de velocidades de compresión y de corte, y particularmente en aquellos testigos que pertenecen a sondajes sub horizontales, se observa que las muestras corresponden a profundidades distintas a las utilizadas en los ensayos de inmersión. Por ejemplo, el sondaje AD1206 tiene una profundidad inicial de 133,02 m y una profundidad final de 133,18, mientras que el mismo sondaje para la determinación de Vp y Vs tiene una profundidad inicial de 183,2 y una profundidad final de 182,41. Sería ideal que la misma muestra, en el mismo tramo de profundidad sea usada para los mismos ensayos, de manera de evaluar su comportamiento bajo distintos métodos.</p> <p>5. <u>Modelo Estratigráfico y Caracterización Geotécnica</u></p> <p><u>Modelo estratigráfico</u></p> <p>En relación con los estudios revisados, las campañas de terreno (inspección de materiales dentro y fuera de la mina), el levantamiento</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>topográfico de la zona de estudio, las prospecciones geológicas realizadas, la revisión de testigos de sondajes y ensayos de laboratorio, el consultor propuso el modelo estratigráfico de la zona de estudios:</p> <p>Unidad geotécnica GU1 (0 - 5 m): <i>“Gravas arenosas con finos limosos, asociadas a depósitos recientes en la zona. Presenta una rigidez que se puede considerar constante en profundidad, con velocidades de onda de corte Vs con valores entre 250 m/s y 300 m/s”.</i></p> <p>Unidad geotécnica GU2 (5 – 45/60 m): <i>“Gravas arena limosas asociadas a depósitos antiguos de baja energía de origen fluvio-aluvial. Presenta rigidez que varía con la profundidad. Las velocidades de onda de corte Vs aumentan monótonamente, alcanzando los 600 m/s a los 50 m de profundidad, aproximadamente.</i> <i>El contacto con la unidad que la subyace es variable, con valores cercanos a los 45 m hacia el poniente del socavón (sector instalaciones Mina Alcaparrosa), aumentando hacia el suroriente y nororiente, con valores entre 60 m y 65 m, respectivamente”.</i></p> <p>Unidad geotécnica GU3 (desde 45/60 m): <i>“Gravas arena limosas asociadas a depósitos antiguos de alta energía de origen fluvial. Presenta mayor rigidez que la unidad UG-2, con aumento de ésta en profundidad según lo observado en PG4 y en los perfiles geofísicos del sector oriente. Las velocidades de onda de corte Vs aumentan monótonamente, alcanzando los 800 m/s a los 75 m de profundidad.</i> <i>De acuerdo con las observaciones de sondajes en el sector poniente y oriente de la subsidencia y, particularmente de la falla Abundancia, esta unidad se extiende hasta el contacto con roca alterada de la UG-4 hacia el poniente de dicha falla, o bien, hasta el contacto con roca sana de la UG-5 hacia el oriente de dicha falla.</i> <i>Por otro lado, (...) a partir de los pozos cercanos al área de interés (pozos N° 8 y N° 12), la cota piezométrica debiera encontrarse en esta unidad, en la actualidad, a una profundidad cercana a los 68 m respecto del nivel de terreno natural”.</i></p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Unidad geotécnica GU4: <i>“Roca alterada, identificada como Metandesita de color rojizo. Presenta oxidación de las estructuras, en particular, en aquellas con abundancia de pirita. Se desarrolla sobre la unidad UG-5 en profundidades variables, desde el sector poniente del área de interés hasta la falla Abundancia. Como se señaló, al oriente de esta falla esta unidad ya no se observa.</i></p> <p><i>Esta unidad presenta un RQD entre 0 - 70%, con un GSI VB/F 40 - 45. Cabe señalar que las observaciones realizadas sobre esta unidad fueron hechas en sondajes disponibles (roca alterada por la perforación), por lo tanto, se espera que el GSI sea levemente mayor cuando la roca se encuentra en condición natural”.</i></p> <p>Unidad geotécnica GU4: <i>“Roca alterada, identificada como Metandesita de color rojizo. Presenta oxidación de las estructuras, en particular, en aquellas con abundancia de pirita. Se desarrolla sobre la unidad UG-5 en profundidades variables, desde el sector poniente del área de interés hasta la falla Abundancia. Como se señaló, al oriente de esta falla esta unidad ya no se observa.</i></p> <p><i>Esta unidad presenta un RQD entre 0 - 70%, con un GSI VB/F 40 - 45. Cabe señalar que las observaciones realizadas sobre esta unidad fueron hechas en sondajes disponibles (roca alterada por la perforación), por lo tanto, se espera que el GSI sea levemente mayor cuando la roca se encuentra en condición natural”.</i></p> <p>Unidad geotécnica GU5: <i>“Roca sana, identificada como Metandesita de color negro. Presenta un fuerte vetilleo de calcita, con intervalos donde aumenta la presencia de pirita y calcopirita - pirita. Las paredes de las estructuras no se encuentran alteradas y, en general, están selladas.</i></p> <p><i>Esta unidad presenta un RQD entre 80 y 100%, con un GSI B/G 60 - 70. Cabe señalar que las observaciones realizadas sobre esta unidad fueron hechas en sondajes disponibles (roca alterada por la perforación) y en la inspección en galerías subterráneas por especialistas geólogos, por lo tanto, se espera que el GSI sea levemente mayor cuando la roca se encuentra en condición natural.”.</i></p> <p><u>Caracterización geotécnica</u></p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> • Unidades de suelo El consultor informa que de acuerdo con lo solicitado por la empresa (CCMOS), debido a que no se cuenta con prospecciones geotécnicas ni ensayos de laboratorio directos de los materiales de las unidades UG1, UG2 y UG3, esto por las restricciones impuestas por Sernageomin para desarrollar las campañas propuestas por el consultor, los parámetros geotécnicos para estas unidades fueron estimados. <p>Además, respecto de los parámetros de deformabilidad que son requeridos para el modelo de diferencias finitas, se consideran las curvas de velocidad de onda de corte en función de la profundidad y las razones de Poisson presentadas en los resultados anteriores, que le permitieron estimar el módulo de deformación en función de la profundidad.</p> <p>De esta forma para cada unidad de suelo (UG1, UG2 y UG3) más el suelo del fondo del socavón se definió: el tipo de suelo, densidad de terreno, ángulo de fricción, cohesión, módulo de deformación estático y módulo de Poisson (registro 18). Como ya se indicó anteriormente, estos valores fueron estimados ya que, según el consultor, no se obtuvieron los permisos para realizar sondajes geotécnicos en el área de influencia directa del socavón a raíz de la zona de exclusión decretada en el perímetro del socavón.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidades de roca En el caso de las unidades de roca inferior estas fueron caracterizadas considerando la información técnica disponible y la obtenida de los ensayos de laboratorio realizados a testigos de roca de los sondajes disponibles. Para estas se definieron los mismos parámetros indicados para las unidades de suelo, y sus valores fueron obtenidos utilizando el software Rocdata de Rocscience. <p>6. <u>Ajuste de Parámetros y Determinación de Franja de Seguridad</u></p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> Modelo general para el ajuste de parámetros <p>Se indica que, debido al fenómeno de la subsidencia, quedaron expuestas paredes subverticales de sendas alturas, con pendientes incluso negativas. Por otra parte, señala que, hacia el este del Río Copiapó, en un sector de empréstitos se estima la existencia de cortes en material gravoso de hasta 15 m, aproximadamente. Según el consultor, ambas situaciones se deben a que los materiales expuestos en las paredes exhiben algún nivel de cohesión que excede a aquellos valores que fueron estimados por este en el capítulo anterior. Se indica que en la visita de los especialistas no se evidenció, de forma clara, la eventual presencia de sales solubles en el suelo.</p> <p>Concluye que, para ajustar la cohesión de los materiales gravosos, dada la geometría actual de las paredes de la subsidencia, se consideró la realización de un back-analysis (o retro análisis) con el software “Slide” de la suite Rocscience, el cual contempla la incorporación de un modelo bidimensional simplificado, que utiliza el método de equilibrio límite para estimar el factor de seguridad de un volumen de suelo sobre una potencial superficie crítica de deslizamiento. Este retro análisis considera que las paredes de la subsidencia se encuentran en estado de estabilidad crítica, es decir, que presentan un factor de seguridad estático cercano a la unidad ($FS_{est} \approx 1,0$).</p> <ul style="list-style-type: none"> Geometría de las secciones principales (socavón) <p>El consultor lo que hizo en este caso, fue definir dos secciones transversales perpendiculares entre sí, que cruzan la subsidencia por su eje central, en direcciones N-S (perfil A-A') y E-O (perfil B-B'). Estas secciones de análisis consideraron que el suelo desprendido de las paredes se ha acumulado en el fondo del socavón y que dicho volumen se ha obtenido por comparación directa de los levantamientos realizados por Minera Alcaparrosa, CCMO, en fechas 31 de julio de 2022 y 11 de enero de 2023 (ver registro 19). De la revisión de los perfiles se puede señalar lo siguiente:</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Perfil A-A': profundidad de 63,87 m; ancho de corona original 32,47 m; ancho corona actual (paredes desprendidas) 38,68 m; altura suelo acumulado 9,87 m.</p> <p>Perfil B-B': profundidad de 64,70 m; ancho de corona original 33,32 m; ancho corona actual (paredes desprendidas) 40,99 m; altura suelo acumulado 8,23 m.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coeficientes sísmicos <p>Se indica que a partir del “Estudio de amenaza sísmica”, Sitio Proyecto Minera Alcaparrosa Chile (el que solo se menciona, pero no se presenta como anexo), el consultor seleccionó como evento base para el análisis de estabilidad pseudo-estático el registro sintético con mayor PGA (PGA=515,5 cm/s² ≈0,53g), sin que se detalle a qué corresponde la sigla PGA. De la revisión bibliográfica se obtuvo el significado PGA, el que hace referencia a la aceleración máxima del terreno.</p> <p>El consultor también señala que los coeficientes sísmicos asociados directamente con los resultados del análisis probabilístico de amenaza sísmica para el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, tiene como resultado PGA=600 cm/s², por lo cual se considera como un segundo caso de estudio. Señala que el estudio establece una relación del PGA vertical con la horizontal, para los registros con fuente interplaca en la zona de 0,58.</p> <p>Siguiendo las recomendaciones del estudio de Riesgo Sísmico, para sismos de interplaca, el coeficiente sísmico horizontal se puede calcular con las expresiones propuestas por Saragoni (1993):</p> $Kh = \begin{cases} 0.30PGA/g, & PGA < 0.67g \\ 0.21(PGA/g)^{1/5}, & PGA \geq 0.67g \end{cases}$ <p>De esta manera, el consultor sostiene que los espesores de suelo sobre la roca en el sector de la subsidencia son importantes, de hasta 185 m, razón por lo cual le resultó pertinente considerar posibles fenómenos de amplificaciones sísmicas. Así, decidió realizar también el análisis de estabilidad para PGA mayores, de 0,77g, y 1,04g, que coinciden con los</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>resultados del PGA para 5% y 2% de probabilidad en una ventana de tiempo de 100 años según el estudio de riesgo sísmico que consideró en su análisis.</p> <p>Utilizando la fórmula de Saragoni el consultor calcula el coeficiente sísmico de las horizontales, a saber: para PGA 0,53 g el Kh es de 0,158; para PGA 0,61 g el Kh es de 0,183; para PGA de 0,77 g el Kh es de 0,199; y para PGA de 1,04 el Kh es de 0,212. Al obtener estos valores y aplicando el cociente estimado de la Kv y la Kh (0,58), el consultor obtuvo los valores para el coeficiente vertical, a saber: Kh 1,58 el Kv es 0,091; Kh 0,183 el kv es 0.106; Kh 0,199 el kv es 0,116; y kh 0,212 el kv es 0,12; todos los cuales fueron verificados en este informe.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Criterio de admisibilidad <p>Para la determinación de este criterio, el consultor propone utilizar como criterio para efectos de “diseño” factores de seguridad similares a los establecidos para obras mineras permanentes, según el DS N°248, los cuales corresponden a $F_{Sest}=1,5$ en condición estática y $F_{Sís}=1,2$ en condición sísmica, esto por la condición de alto riesgo en las cercanías de una instalación minera.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resultados del retro análisis <p>Luego de una serie de ajustes el consultor ejecuta los retro análisis asociados a la actualización de los valores inicialmente considerados para la caracterización geotécnica, indicando que los valores de los ángulos de fricción de los materiales se han mantenido, y las cohesiones quedaron ajustadas a los siguientes valores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cohesión Unidad Geotécnica UG-1: $c^* = 18 \text{ kPa}$ - Cohesión Unidad Geotécnica UG-2: $c^* = 155 \text{ kPa}$ <p>A partir de estos resultados, y para efectos de datos estimados de entrada para el modelo 3D que se presenta más adelante, para la Unidad Geotécnica UG-3 se estima una cohesión de 160 kPa.</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de la franja de seguridad preliminar <p>De los análisis de estabilidad tanto estáticos como pseudo-estáticos para distintos niveles de demanda sísmica, el consultor pudo establecer de forma preliminar perímetros de seguridad en las cercanías de la subsidencia, considerando las mayores distancias horizontales en cada caso. Así, los radios estimados para las franjas de seguridad tanto para condiciones críticas ($FSs \leq 1,0$), como para condiciones de diseño ($FSs \geq 1,2$ y $FSest \geq 1,5$) son los indicados en el registro 20.</p> <p>Los perímetros de seguridad resultante se observan en el registro 21, observándose que, casi en su totalidad, las instalaciones mineras existentes hacia el poniente de la subsidencia se encuentran en el límite admisible para condición de diseño, salvo por uno de los galpones, el cual tendría su extremo sur-oriente dentro del límite de diseño sísmico para las demandas sísmicas más altas evaluadas.</p> <p>El consulto concluye en base a los resultados se puede señalar, de forma preliminar, que cualquier obra, instalación minera o asentamiento civil u actividad que se desarrolle en un radio total de unos 50 m (medidos desde el eje de la subsidencia), se encuentra en riesgo de deslizamiento sísmico; mientras que, para establecer perímetros de actividad segura (FS de diseño mayores que los admisibles), se puede considerar un radio total de, al menos, 60 m, aproximadamente.</p> <p>7. <u>Análisis de estabilidad 3D</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Software empleado <p>El consultor señala que para evaluar la respuesta estática y sísmica de la subsidencia, que permite establecer la existencia o no, de riesgos sobre los elementos naturales y construidos, que es el objetivo de la medida solicitada, se implementó un modelo numérico a través del software FLAC-3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua) v.5.01, utilizando un análisis en</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>modo tri-dimensional, considerando las etapas y secuencia de los eventos ocurridos el 31 de julio, de modo de actualizar de forma correcta el módulo de deformación en función del confinamiento (en este caso, producto del desconfinamiento).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelo constitutivo <p>La modelación del comportamiento tensión-deformación de los distintos materiales involucrados en el análisis, se ha llevado a cabo mediante una relación lineal elástica con rigidización dependiente del nivel de confinamiento de los materiales presentes en el análisis, según corresponda, implementando los parámetros geotécnicos que se anteriormente.</p> <p>El criterio de falla adoptado para los materiales corresponde al de Mohr-Coulomb (Modelo Constitutivo elastoplástico perfecto), dado que no se cuenta con resultados de ensayos en suelos (Gravas de la UG1 a la UG3), esto según la negativa de parte de SNGM para la realización de sondajes en el área directa del socavón, que permitan establecer un modelo distinto y más sofisticado, en términos del comportamiento geotécnico. En cuanto a la roca, se ha resuelto también establecer parámetros geomecánicos equivalentes, considerando el mismo modelo constitutivo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Demanda sísmica <p><u>Registro de diseño:</u> El consultor indica que, en el estudio de amenaza sísmica, usado de referencia para este estudio, se han presentado dos sets de 10 registros sintéticos horizontales en roca (suelo Tipo I) cada uno, que se ajustan al espectro de diseño, para demandas sísmicas de 10% de excedencia en 50 años (primer set) y de 10% de excedencia en 100 años (segundo set). En el mismo documento, además se ha establecido que, en términos de demanda sísmica, los registros inter-placa predominan para la zona donde ocurrió la subsidencia, presentando razones promedio entre las aceleraciones peak vertical y horizontal de 0,58 (coeficiente sísmico utilizado). A partir de la envergadura y dimensiones de la subsidencia ocurrida, se ha establecido que los registros sintéticos a considerar</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>corresponden a los asociados para una amenaza uniforme del 10% de probabilidad de excedencia en 100 años.</p> <p>Señala que el asesor sismológico de la consultora les entregó un set de tres (3) acelerogramas sintéticos en roca (en direcciones este-oeste, norte-sur y vertical), los que fueron considerados para el modelo 3D.</p> <p>En registro 22 se presenta el registro de aceleraciones en el dominio del tiempo del sismo que fue provisto por el consultor sismológico, los que deben ser adecuadamente acondicionados y posteriormente aplicados en la base del modelo numérico para evaluar la subsidencia.</p> <p><u>Modelo horizontal equivalente:</u> La incorporación del registro sísmico en la base del modelo se realiza considerando un sismo de diseño acondicionado, de modo tal que, cuando se propaga por el medio, en superficie se rescate el mismo contenido de frecuencias del registro original (en roca, suelo Tipo I). Esto se logra aplicando la metodología de la deconvolución, la que permite establecer el sismo que se debe aplicar en la base, dado que se cuenta con un registro sísmico de diseño en superficie.</p> <p>El consultor indica que <i>“La deconvolución se realiza en el programa EERA (software gratuito), que permite un análisis unidimensional de la columna de roca sana (UG5), aplicar el sismo de diseño en superficie y obtener el sismo que se debió incorporar en la base del modelo para obtener dicho registro de diseño”</i>. Por lo tanto, indica que la deconvolución permite acondicionar los registros de aceleraciones que son incorporados en la base del software FLAC.</p> <p>Agrega el consultor, que se consideró la implementación de un modelo “horizontal equivalente” en FLAC, para establecer que la metodología considerada mediante el análisis unidimensional se realizó adecuadamente. El modelo horizontal equivalente fue concebido de dimensiones 600 m x 600 m de planta y de 230 m de espesor, puesto que la diferencia de cotas entre la superficie y el techo de roca sana UG-5 en la</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>zona de la subsidencia, es del orden de 228 m. Agrega que para calibrar el modelo unidimensional utilizado se utiliza un factor de ponderación para que en superficie alcance los mismo valores de aceleración y respecto de diseño que los registros sintéticos utilizados en el estudio de riesgo sísmico utilizado de referencia por este estudio. A su vez, a fin verificar esto, tanto en la base como en la superficie del modelo horizontal equivalente, se incorporaron puntos de control (gp: gridpoints) para la obtención y verificación de los registros.</p> <p>Al observar el registro 23 correspondiente al gráfico del modelo horizontal equivalente, es posible constar que el modelo establece un volumen sólido de 600 m x 600 m x 230 m de la UG5 y a su alrededor un volumen libre de la misma unidad de roca que en altura (Z) y profundidad (Y) tiene los mismos valores del volumen del sólido, sin embargo, el espesor (X) del volumen libre es menor, sin que se detalle exactamente cuánto es, ni por qué el modelo lo considera de esta manera. Ahora bien, haciendo eco del concepto deconvolución, lo anterior podría ser explicado dado que el análisis es unidimensional solo se considera relevante los valores de Y y Z en el modelo, lo que explicaría que X tenga un valor mínimo, por lo que esto permitiría establecer el sismo que se debe aplicar en la base, dado que se cuenta con un registro sísmico de diseño en superficie.</p> <p><u>Acondicionamiento del sismo:</u> El acondicionamiento del sismo corresponde a la iteración de los registros sintéticos de las aceleraciones registradas en superficie en todas las direcciones "X" (E-W: este oeste), "Y" (N-S: norte sur) y "Z" (vertical) considerando un punto de control de gp=7436 (gridpoints). Por último, se indica que los valores de aceleración que están en m/s se deben dividir por el valor de gravedad (9,8 m/s²) para poder hacerlos comparables con los valores de PGA de diseño con los valores de aceleración de gravedad en términos conceptuales (ver registro 24).</p> <p>De la revisión del gráfico de acondicionamiento sísmico se puede sacar las siguientes conclusiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los valores de aceleración en dirección norte sur tienen un mayor rango que el resto. 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> - Los valores de aceleración en dirección vertical tienen los menores valores que están entre -0.219 y $0,2547 \text{ m/s}^2$ - La concentración de las aceleraciones en todas las direcciones está entre los 10 y 40 segundos <p>Por otra parte, se observa que los gráficos de aceleración obtenidos son similares a los gráficos de las aceleraciones para cada una de las direcciones obtenidas de los valores de referencia del estudio de riesgo sísmico en el sector de Alcaparrosa que el consultor utilizó (comparar registro 22 con registro 24).</p> <p>Los valores de las aceleraciones que se obtienen del modelo son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sismo en dirección Este-Oeste (componente "x"): $a_{max} = 5,1668 \text{ m/s}^2 = 0,53g$ - Sismo en dirección Norte-Sur (componente "y"): $a_{max} = 4,2329 \text{ m/s}^2 = 0,43g$ - Sismo en dirección Vertical (componente "z"): $a_{max} = 2,5478 \text{ m/s}^2 = 0,26g$ <p>Lo que hace el consultor como último paso de esta etapa, con el fin de verificar que la respuesta en superficie cumple con la demanda sísmica establecida por el estudio de amenaza sísmica, es obtener los espectros de respuesta en superficie (espectros de Fourier), para las dos componentes horizontales y la componente vertical (sismos procesados en el programa FLAC) y se comparan con los espectros de los registros originales (registro 22). Los resultados gráficos para todas las direcciones NS, E-W y V, se pueden ver en los registros 25 al 27.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Malla de diferencias finitas <p><u>Discretización del medio continuo:</u></p> <p>La discretización del medio continuo corresponde al levantamiento geométrico de precisión del interior de la mina con los datos entregados</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>por la empresa (modelo geotécnico), así como el levantamiento topográfico realizado por el consultor.</p> <p>Los antecedentes se aplican en el programa FLAC. Así, se genera una imagen en 3D, en la que el eje “x” corresponde al vector que apunta hacia el este, el eje “y” corresponde al vector que apunta hacia el norte y el eje “z” corresponde a la vertical que apunta hacia arriba (registro 28). El modelo tiene una altura promedio en el sector de la subsidencia de 230 m y cubre un área total de 600 m x 600 m en planta, de la misma manera que el modelo horizontal equivalente). La cota de superficie promedio en torno a la subsidencia es 474 m.s.n.m.</p> <p>En el registro 29 se presenta una imagen en planta y cortes en la dirección este-oeste y norte-sur. Se aprecia que los diámetros en superficie se encuentran entre 37,9 y 39,3 m, y que aumentan en profundidad hasta llegar a un máximo de unos 41 m en la dirección N-S y de unos 50 m en la dirección E-O. Por otra parte, se puede observar que las profundidades máximas, una vez ocurrida la subsidencia, alcanzaron los 64 m en agosto de 2022 y, con la caída de material por planchamiento desde las paredes, el suelo se ha depositado en el fondo (Grava suelta), quedando a enero de 2023 una profundidad máxima de unos 55 m de profundidad.</p> <p>Según el consultor, bajo la grava suelta que se ha depositado en el fondo (color verde en el registro 29), se ha modelado la grava de las unidades geotécnicas que habría descendido abruptamente desde la superficie, a la cual se le denominó Grava Alterada.</p> <p>Según la máxima profundidad de socavación observada, se definió que este material se extiende, en promedio, hasta unos 60 m bajo la cota de subsidencia más profunda, la que fue determinada mediante el levantamiento topográfico realizado por Compañía Contractual Minera Ojos de Salado, en agosto de 2022, por lo tanto, considerando el nivel de la superficie 474 m.s.n.m. se puede indicar que el socavón en su base alcanzó el nivel 414 m.s.n.m., nivel que está por debajo de todos los perfiles MASW/ReMi utilizados en este estudio.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etapas consideradas para el análisis 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p><u>Condición geostática inicial:</u></p> <p>En este punto, lo que hace el consultor es ir agregando en el programa FLAC3D las unidades geotécnicas desde la más profunda UG5 hasta la superficial UG1, asignando a cada una las propiedades geotécnicas de estas. No detalla qué propiedades en específico, pero es dable suponer, que utiliza la caracterización hecha anteriormente en el estudio. Señala que, para aquellos materiales que presentaron variación del módulo de deformación en función de la profundidad (o equivalentemente del confinamiento), fueron evaluados para establecer la condición inicial de rigidez del medio, sin detallar cómo se hizo la evaluación. Luego de esto, se asignó la condición inicial de las gravas y se consideró un nivel freático a 68,2 metros de profundidad, es decir, en el nivel 405,7 m.s.n.m. En el registro 30 se puede observar cómo quedó conformado el modelo geostático inicial.</p> <p>Luego el consultor presenta el resultado de la aplicación de la condición tensional de los materiales de acuerdo con las profundidades en la que se ubican, las que corresponden a las tensiones totales, las cuales se representan de valores negativos en el modelo. Así, se puede observar en el modelo, que las cargas tensionales son mayores bajo el cordón montañoso, es decir, hacia el poniente del socavón, y no menores hacia el río Copiapó, al oriente de la subsidencia. En el registro 31 se puede observar la gráfica del modelo. Se puede observar en la figura del registro 31 que las deformaciones provocadas por el socavón son apreciables en la gráfica (ver registro 32) constatándose un efecto de compresión de las distintas capas, en este caso diferenciadas por la tensión vertical, pero que permite mostrar cómo se modificó toda el área bajo el área de la subsidencia.</p> <p><u>Consideración de la napa freática:</u></p> <p>El consultor utiliza el dato de los niveles de los pozos de influencia directa del socavón (P8 y P12), determinando que el 14 diciembre de 2022 el nivel freático se encontraba en 68,3 m desde la superficie. Al revisar los valores de los pozos 8 y 12 en el dashboard preparado por la DGA para el registro</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>de los niveles de los pozos se constata que el nivel para el mismo día fue 68,89 m y 68,88 m respectivamente, lo que difiere en 50 centímetros aproximadamente del valor utilizado por el consultor.</p> <p>En base a esto, determina que los materiales que componen la unidad geotécnica de suelo UG-3 y UG-2 en el modelo tridimensional (FLAC3D), se considerarán en condición saturada. Mientras que, las unidades geotécnicas de roca UG- 4 y UG-5 no verán afectadas sus propiedades, en vista de los resultados de los ensayos de inmersión, donde se evidencia que el nivel de degradación para las muestras ensayadas es prácticamente nulo y sin pérdida de peso. Por lo tanto, para el modelo tridimensional, estas últimas unidades geotécnicas se consideran impermeables.</p> <p><u>Ocurrencia de la Subsistencia:</u> El consultor indica que para modelar la subsidencia se realizó la eliminación de los volúmenes del suelo donde esta se encuentra, eliminando los materiales desde la base hasta la superficie. Según el consultor el efecto de desconfinamiento secuencial que produce esto, es lo que sucede con eventos de subsidencias, por lo que los materiales descienden en espesores similares a los que tenían en condiciones geoestáticas: <i>“el techo de roca colapsa y el material se fractura, depositándose en forma de material granular (en el modelo se le denominó a este grupo “Enrocado ”) y la grava desciende unos 60 m respecto de la superficie. Al interior del socavón se produce el ingreso de agua y el material en éste queda saturado”</i> (ver registro 33).</p> <p>El consultor indica que a raíz del I desconfinamiento de los materiales y al efecto tridimensional que genera la subsidencia, se re-evaluaron las tensiones y los módulos de deformación a partir de éstos. Y que se debe considerar en esta fase la situación tensional antes de la subsidencia y después de ésta, para evaluar si los materiales se descargaron, o bien, se comprimieron por el efecto de arco.</p> <p>En razón de lo anterior, se agregó al programa FLAC3D una función que permitiera conocer el efecto de la descarga o de la carga (compresión) causada por el efecto arco generado por la subsidencia. Para ello se</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>requirió identificar un punto de partida (p'_0, q_0) y un punto de término post subsidencia (p'_1, q_1) en el plano de la trayectoria p-q. En la imagen 34 se presenta el modelo conceptual de la función, graficando la tensión final en líneas rojas, así si las líneas se desplazan a las zonas 1, 2 y 3 corresponde a una representación del módulo de deformación, mientras que, si el estado tensional se mueve a las zonas 4, 5 y 6 el material aumenta su confinamiento o su esfuerzo de corte, lo que modifica el modelo de rigidez según las expresiones usadas para la caracterizar las unidades geotécnicas.</p> <p>En el registro 35 se exhibe una imagen del programa FLAC3D donde se pueden identificar dos cortes en el eje de la subsidencia. A los resultados a los que llegan con este análisis en el estudio, sostienen que los materiales que están alrededor de la subsidencia aumentan su nivel tensional y en su minoría algunos se desconfinan y por lo tanto, se descargan (zona 1, 2 y 3). El consultor sostiene que estos se encuentran en los tramos más profundos de las paredes expuestas y en una delgada franja de material no alterado por la subsidencia.</p> <p><u>Ajuste de parámetros geotécnicos:</u></p> <p>El consultor en esta etapa realiza un ajuste de los parámetros geotécnicos, dado que debió ajustar las cohesiones de los materiales gravosos; el ajuste lo realizó haciendo un retro análisis (black analysis) en el modelo. El consultor destaca que el ajuste se debe realizar porque la subsidencia generó taludes con pendientes negativas como se puede observar en los registros 19, 29 y 33.</p> <p>El consultor indica que el ajuste por retro análisis se realizó considerando estabilidad para zanjas semi-infinitas en la subsidencia (fuera del plano de análisis), por lo que la estimación de la cohesión no considera posibles efectos de arco que se producen por la situación tridimensional en torno a la subsidencia.</p> <p>El consultor que luego de la condición de estabilidad luego de la subsidencia se debió realizar una minoración de los parámetros geotécnicos de las unidades geotécnicas UG1, UG2 y UG3, estableciendo</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>un factor de reducción. Para eso presenta una fórmula de cálculo del factor que no explica cuál es su conceptualización, solo señala que luego de la iteración en el programa FLAC3D obtuvo un valor de 1,8, indicando: <i>“puesto que a partir de la reducción, en la parte más baja de las paredes expuestas la resistencia es prácticamente nula ($\sigma'_{3} \approx 0$) y, en algunos puntos en superficie, este efecto se observa aisladamente”</i>.</p> <p>Finalmente, los resultados los que llega el modelo es que los ángulos de fricción se mantuvieron constantes respecto de los indicados en la caracterización geotécnica, y las cohesiones de los materiales quedaron ajustadas a los siguientes valores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cohesión Unidad Geotécnica UG-1: $c^* = 10 \text{ kPa}$ - Cohesión Unidad Geotécnica UG-2: $c^* = 86 \text{ kPa}$ - Cohesión Unidad Geotécnica UG-3: $c^* = 89 \text{ kPa}$ <p><u>Calibración de los parámetros dinámicos:</u></p> <p>Por último, previo a realizar la corrida sísmica en el modelo, es necesario calibrar los parámetros dinámicos para incorporar en la base del modelo el sismo de diseño y así verificar el efecto que tendrá este en el medio, principalmente en las gravas sedimentarias (UG1, UG2 y UG3) que predominan alrededor de la subsidencia. Los parámetros dinámicos corresponden a:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ La degradación del módulo de rigidez de las gravas correspondientes a la UG-1, UG-2 y UG-3. ❖ El nivel de amortiguamiento que se ha impuesto al modelo, para evaluar que no se produce sobre-amortiguamiento. <p>Con este fin, se implementaron puntos de control en superficie, para evaluar la respuesta en términos de aceleraciones; y en perfiles verticales, para medir las deformaciones angulares del medio poroso en dos secciones (este-oeste y norte-sur). Las deformaciones angulares (en perfiles verticales en puntos de control con flechas color negro en el registro 36), se medirán en los perfiles P1, P2 y P5 en todas las direcciones,</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>excepto en la dirección oeste, en que se consideró el perfil P4 en vez del P5, debido al bajo espesor de suelo en ese sector.</p> <p>El consultor indica que se dispusieron puntos de control destinados a la revisión de aceleraciones en superficie libre (en círculo rojo), para evaluar la amplificación sísmica por el importante espesor de suelo en el sector (gravas superficiales); así como también puntos de control de sectores de interés (enumerados del 1 al 7), los que se listan a continuación:</p> <p>Puntos de interés edificaciones mineras</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Punto 1: Planta emulsión ❖ Punto 2: Camino salida norte. ❖ Punto 3: Zona almacenamiento. ❖ Punto 4: Oficinas JMT. ❖ Punto 5: Taller Geovita. ❖ Punto 6: Oficinas. ❖ Punto 7: Taller branda. <p>Puntos de control aceleraciones en superficie libre:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Punto SL1: Oriente Subsidencia. ❖ Punto SL2: Noreste Subsidencia. ❖ Punto SL3: Surponiente Subsidencia. ❖ Punto SL4: Hacia sector civil. <p>Es importante destacar que el origen de la medida urgente y transitoria N°1 exigida por la Superintendencia solicitaba considerar un rango de afectación entre 500 a 800 metros de distancia, de manera que se consideraran como punto de intereses (potenciales áreas a ser afectadas) los elementos construidos cercanos a la subsidencia, a saber, poblaciones y otros equipamientos, no obstante, solo se consideraron edificaciones mineras en el estudio, por ende es posible observar que se trata solo de un radio menor al exigido en el medida original y dentro del cual solo se encuentra equipamiento minero. Lo esperado era que el consultor y por ende el titular, tomara puntos de control a mayores distancias y dentro del radio exigido por la medida para verificar el efecto en estos puntos.</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Luego el titular, se realizó un proceso iterativo para establecer la deformación angular en perfiles verticales de deformación en torno al socavón y los niveles de sobre-amortiguamiento que pudieran estar sucediendo en el modelo.</p> <p>Así el consultor concluye que en los perfiles verticales más cercanos a la subsidencia (P1 y P2) están sujetos a deformaciones comprometidas por inestabilidad de talud, por lo tanto, estos no son representativos para establecer el nivel de deformación angular que produce el sismo sobre las gravas. De esta manera lo que hizo fue establecer el nivel de deformación enfocándose en los perfiles más alejados de la subsidencia (P5N y P5S, P4O y P5E), determinando que el módulo de corte dinámico en las gravas es tal que $G/G_0 = 0,6$. Según el consultor, para este nivel de rigidez, las deformaciones angulares se encuentran preferentemente contenidas en una banda con $\gamma = \pm 0,04\%$, con excepción de algunos instantes de tiempo en que dicho límite se excedió levemente como se puede apreciar en el registro 37. Las deformaciones angulares en los perfiles P4E, P5N y P5S tienen un comportamiento en este límite entre los 0 y 22 segundos aproximadamente, luego de ello, en el caso del perfil este se produce un aumento del valor porcentual, mientras que en los perfiles norte y sur se produce un descenso del valor siendo más marcado en el perfil sur. En el caso del perfil oeste, este tiene un comportamiento ascendente permanente, y esto se debe, según el consultor, por la cercanía de este a la subsidencia; este aumento el consultor lo denomina corrimiento co-sísmico .</p> <p>Respecto del sobre-amortiguamiento, el consultor en el programa FLAC3D incorporó un tipo de amortiguamiento (Rayleigh) con un porcentaje y frecuencia definido (3,5% y 1,62 Hz) para establecer parámetros de amortiguamiento según este método que estén bien definidos y no generen sobre amortiguamiento en el modelo.</p> <p>A su vez, el consultó analizó las gráficas de las funciones de transferencia para cada uno de los perfiles, sin considerar aquellos más próximos a la subsidencia (P1E, P1N, P1S y P1O). A partir de esto, y como se observa en el registro 38, determinó que las frecuencias en el sector de Alcaparrosa</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>se encuentran entre 1,21 Hz y 2,15 Hz con excepción del sector oeste que presenta mayores frecuencias dada a la menor profundidad del suelo en la medida que se aleja de la subsidencia y se aproxima al cordón montañoso.</p> <p>A continuación, el consultor grafica las curvas de amortiguamiento de Rayleigh para las frecuencias fundamentales, según las funciones de transferencia que se consideraron en el sector de Alcaparrosa. Indica que los resultados a lo que llegan indican que el modelo no presentará sobre amortiguamiento, dado que la relación $\xi/\xi_{crít} \leq 1,048$ es menor que el valor 1,05, valor que es considerado como mínimo para que el modelo no presente sobre amortiguamiento. Sobre esto, es importante destacar que el consultor no explica cómo obtiene el valor de la relación $\xi/\xi_{crít}$, no precisa a qué sector corresponde al valor 1,048, ni tampoco detalla a qué sector corresponde cada curva de amortiguamiento, ni menos por qué se considera el valor 1,05 como valor mínimo para que el modelo no genere sobre amortiguamiento; solo termina sosteniendo que en base a todo lo anterior, los parámetros dinámicos asignados al modelo 3D se han establecido adecuadamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificación de la capacidad de transmisión de ondas <p>El consultor establece el supuesto que considera que el tamaño de la zona de cada unidad geotécnica (roca o grava) es adecuado cuando permite la propagación de la onda sísmica en el rango de frecuencias predominantes del registro de diseño, sin producir filtrado numérico de la señal sísmica. Indica que lo anterior se cumple bajo la siguiente regla: cuando la subdivisión vertical (N) del medio continuo es, a lo menos, 1/8 de la longitud de onda λ, que en el caso en estudio corresponde a la onda de corte.</p> <p>Es así, como luego presenta las máximas frecuencias que transmite la malla adoptada para las alturas consideradas en el modelo en cada unidad geotécnica observándose que el tamaño de la malla es adecuado para el registro que es incorporado en la base del modelo, que tiene un rango de frecuencias predominantes de hasta 10 Hz. En el registro 39 se presenta la</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>tabla con las frecuencias transmitidas por los materiales para el modelo en estudio.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resultado del análisis estático de estabilidad 3D <p><u>Ajuste de los parámetros geotécnicos debido al efecto tridimensional:</u> En base a los análisis anteriores, el consultor señala que las cohesiones de las gravas deben ser aminoradas por un factor 1,8 para que el modelo sea estable, tal como se indicó cuando se hizo el ajuste de los parámetros geotécnicos y que algunos de los elementos en la parte inferior de la pared presenten una relación de stress/strength cercanos a la unidad, esto por las paredes con pendientes negativas de la subsidencia.</p> <p>En el registro 40 se presentan los parámetros actualizados que utilizó el consultor con los que se volvió a correr el modelo previo al evento sísmico. De la revisión de los antecedentes solo llama la atención que el módulo de deformación estático de la UG1 no se presente en función de la profundidad (z), ya que para las otras unidades si lo está, es probable que sea un error de tipeo.</p> <p><u>Estado tensional debido a la subsidencia:</u></p> <p>Con la actualización de parámetros geotécnicos, se realizó la evaluación de las zonas que se encuentran en carga, al igual como se hizo anteriormente para la subsidencia en el plano tensional p y q'. Los resultados se pueden ver en el registro 41 Según la interpretación del consultor se observa en los cortes E-O y N-S <i>“una menor cohesión, mayores zonas entran en la zona de descarga, concentrándose superficialmente en la mitad inferior de las paredes expuestas, extendiéndose hasta profundidades cercanas con el contacto de roca, bajo la cota de suelo que descendió al interior de la subsidencia. Adicionalmente, se observa que la mayoría de las zonas entran en compresión (zonas con valoración 4, 5 y 6), evidenciándose que existe un importante volumen comprometido por estos cambios en torno a la zona comprometida por la subsidencia, lo cual tiene directa relación con la redistribución de tensiones producto de la oquedad”</i>.</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Más allá de la interpretación de la corrida del modelo que hace el consultor, hubiera sido interesante que este hiciera una comparación de los estados tensionales post subsidencia sin la actualización de los parámetros geotécnicos y los estados tensionales con la actualización de estos parámetros, es decir, comparar el registro 35 y 41 de este informe (figura 10-16 y figura 10-23 del estudio).</p> <p>Lo más relevante, a juicio de esta Superintendencia, es que, en el modelo con los parámetros calibrados, toda el área de la subsidencia tiene valoración de 5, es decir, zonas de descarga que entran en compresión, a diferencia, mientras que, en el modelo anterior, toda el área se consideraba no significativa. Esto tiene sentido ya que todo el volumen que ocupaban la gravas y que hoy corresponde al volumen del socavón se desplazaron hacia la zona inferior. Otro elemento para destacar es que el área de la zona de descarga es mayor en el modelo con los parámetros calibrados.</p> <p>Otra observación que conviene destacar es que, en el modelo con los parámetros geotécnicos calibrados, se constata que en el perfil Norte Sur, hay una pérdida mayor del volumen superior de la subsidencia en comparación al modelo de parámetros no calibrados, por tanto, la profundidad del socavón es mayor o el techo de la subsidencia más bajo.</p> <p>A continuación, el consultor grafica las diferencias tensionales que se dan en el plano p, q' (registro 42), con la finalidad de ver de qué manera se modifica la profundidad de la subsidencia. La diferencia tensional se grafica como un límite, lo que denomina lóbulo "límite" tensional según cada perfil de orientación.</p> <p><u>Modificación del módulo de deformación debido a la subsidencia:</u></p> <p>En base a los resultados anteriormente presentados, el consultor señala que el análisis consideró que las zonas que se encuentran en carga modifican su módulo de deformación en función de las expresiones presentadas en el registro 18 de este informe, mientras que, aquellos que</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>se encuentran en descarga, su módulo de deformación estático será 4 veces el módulo previo a la subsidencia.</p> <p>En registro 43 se presentan los mismos cortes en ambas direcciones, evidenciando el mayor cambio en las zonas que tuvieron descarga respecto de aquellas que sólo modificaron su módulo de deformación en términos de la carga o compresión.</p> <p>En base a estos resultados, el consultor señala que el modelo responde adecuadamente al fenómeno de la subsidencia.</p> <p><u>Deformaciones del suelo debido a la subsidencia:</u></p> <p>El consultor indicó que para establecer los campos de deformaciones que se producen en torno a la subsidencia del sector de Alcaparrosa, se revisaron los asentamientos, los corrimientos horizontales en superficie y las magnitudes de deformación en cortes este-oeste y norte-sur en el eje de la subsidencia.</p> <p>Utilizando el programa FLAC3D el consultor modela el campo de deformaciones, primero vertical y luego horizontal, del suelo en todo el radio de la subsidencia, lo que se grafica en los registros 44, 45 y 46 de este informe.</p> <p>Con relación al gráfico el titular señala <i>“Con respecto al campo de deformaciones verticales (asentamientos) (...) se puede revisar que éstos son mayores que -2,5 cm (que generalmente es el admisible para edificaciones civiles) hasta distancias de unos 102 m en dirección este, 94 m en direcciones norte y sur y 55 m en dirección oeste. En el sector de la subsidencia misma, los descensos se encuentran en el rango -5,0 a -6,0 cm, siendo levemente mayores al interior de la subsidencia, donde se registró el máximo de -8,1 cm”</i>.</p> <p>Del gráfico de las deformaciones verticales (registro 44), se observa que el campo de las deformaciones de mayor magnitud se desplaza al este, sin que el titular indique la distancia hasta la que se desplaza el campo de las magnitudes de -5 cms (color celeste en el gráfico), así como tampoco el campo de las magnitudes de hasta -2,5 cm (color amarillo), que</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>corresponden a las mayores deformaciones del suelo, solo indica la distancia hasta la cual se desplazan todas las deformaciones en el sentido este, llegando a 101,3 metros, es decir, el rango a partir del cual no hay deformaciones en el suelo. Hacia el norte el campo de las deformaciones tiene una distancia de 93,4 m, hacia el sur el campo tiene 93,1 m y hacia el oeste se desplaza hasta 55 m, tal como lo señala el consultor. El consultor indica que el punto 4 que representa el punto donde se ubica la construcción civil correspondiente al “edificio JTM” del titular, estaría casi al límite al que llegan las deformaciones del suelo.</p> <p>En el caso de las deformaciones horizontales en el sentido este – oeste (registro 45), las mayores deformaciones también están hacia el sentido este de la subsidencia, como sucede con las deformaciones horizontales, llegando a -7 cms aquellas colindantes al socavón, luego las de -5 y -3 cms, sin que se indique la distancia del campo de amplitud de estas magnitudes. En el caso de las magnitudes de -1 cm en éstas sí se identifica el campo de ampliación, llegando a los 120 metros en dirección este. Hacia el oeste las deformaciones tienen valores positivos, con valores de + 3 cms en el área colindante de la subsidencia, hasta el +1 cm a 70 metros, luego de lo cual se expresan valores a 0.</p> <p>Con respecto a las deformaciones horizontales del suelo en sentido norte – sur, se puede observar que las mayores deformaciones están hacia el norte con valores de -7 cms en el área colindante a la subsidencia, luego con -5 cms, -3 cms y con -1 cms hasta los 123 metros, sin que se detalle la distancia para el resto de las deformaciones.</p> <p>El titular indica que para establecer los niveles de deformación que evidenció el suelo en profundidad en torno a la subsidencia, se revisaron las magnitudes de deformación y los vectores de deformación en perfiles transversales en el eje de la subsidencia en direcciones este-oeste y norte-sur (registros 45 y 46).</p> <p>Según el modelo para la profundidad con sentido este – oeste (plano X) se observa que las deformaciones tienen una distancia de afectación hasta los 59 m desde el eje de la subsidencia hacia el oeste, y una distancia desde</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>el eje hacia el este de 123 m, como ya se había observado en los registros revisados. La profundidad de las deformaciones en la cara este llega a las 119 m. En el caso del sentido norte – sur se observa que la deformación del suelo tiene una distancia similar entre el norte y el sur, siendo en el caso del primero 118 m y en el caso del segundo de 120 m. La profundidad de las deformaciones en la cara este sur a las 108 m.</p> <p>En este sentido el consultor concluye lo siguiente: <i>“Con estos resultados no se puede descartar que las grietas reconocidas a unos 44 m al norte y a unos 130 m al suroeste de la subsidencia, no hayan estado relacionadas con este fenómeno. Sin embargo, a priori, se puede señalar que las grietas que se encuentran a 340 m de distancia hacia el sureste, no estarían directamente relacionadas con este fenómeno debido a que los campos de deformación presentan una extensión menor.</i></p> <p><i>Como resultado de este análisis, se puede señalar que los asentamientos civiles que se encuentran hacia el este y sureste en un radio de distancia entre 500 y 800 m desde el eje de la subsidencia, no se habrían visto directamente afectados por este fenómeno, en términos de deformaciones. Por otra parte, sólo la oficina de JMT habría tenido algún nivel de deformaciones menores, según lo señalado anteriormente”.</i></p> <p>En relación con lo concluido por el consultor, si bien no se podría descartar o afirmar que las grietas ubicadas al norte (44 m) y la suroeste (130) se hayan generado producto de la subsidencia, si es importante señalar que no habían registro de las grietas previo al evento del socavón, ya que las que están ubicadas al suroeste se encuentran dentro del predio de la empresa, las que de haber sido conocidas por la empresa, deberían haber sido abordadas por esta de manera de identificar, al menos, el origen de estas, no obstante de toda la información presentada por la empresa en distintos procedimientos nunca se ha informado de esto. Por otra parte, el hecho que las grietas del sureste se encuentren fuera del rango de las deformaciones levantadas por el modelo, no permite descartar que estas no se hayan sido producto de la subsidencia, toda vez que el consultor para la definición del modelo tridimensional no realizó ensayos directamente en el terreno para la caracterización de los materiales de las unidades</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>geotécnicas UG-1, UG-2 y UG-3 se estimó la caracterización geotécnica, por lo tanto, la modelación es solo en base a datos referenciales y por lo tanto, la ausencia de valores empíricos puede modificar las conclusiones a las que llega.</p> <p><u>Factor de seguridad estático:</u></p> <p>El consultor señala que se debe calcular el factor de seguridad (FS) estático para hacer correr el modelo, para lo cual es necesario reevaluar la reducción de los parámetros geotécnicos: ángulo de fricción y cohesión. El cálculo del factor permitirá establecer el radio se gatillará la cuña potencial de deslizamiento del suelo en la condición actual de la subsidencia.</p> <p>En base a lo anterior, el consultor decide iterar el modelo comparando dos factores seguridad estáticos 1,30 y 1,31, sin detallar por qué usa estos dos factores, por que usa factores tan próximos, o por qué no utiliza factores de una diferencia de magnitud mayor. Los resultados se pueden observar en el registro 47. Se constata que, con un factor de seguridad estático de 1,31, el plano horizontal, en el perímetro de la subsidencia se obtiene valores iguales a uno en caso el 75% de este, es decir, donde la fuerza y el estrés del suelo está en igual condición, mientras que con un factor de 1,30 se reduce la relación de fuerza y estrés igual a uno de manera importante, y aparecen algunos puntos lejanos de la subsidencia con este valor.</p> <p>En el caso del comportamiento de la razón fuerza/estrés en el plano vertical, también se puede observar que hay más sectores donde la relación alcanza valores igual es a 1, en el caso del sentido este – oeste se observan estos valores más próximos en las paredes del fondo del socavón, para el factor de seguridad 1,31. En sentido norte – sur, hay menor presencia de celdas con valor igual a uno, pero siempre en mayor cantidad que en el mismo sentido, pero con un factor de seguridad de 1,30.</p> <p>En el registro 48 se grafican las velocidades y deformaciones del suelo para factores de seguridad de 1,30 y 1,31, obteniéndose mayores velocidades y deformaciones para el factor de seguridad 1,31. Las deformaciones con el</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>FS 1,30 son del orden de los 10 cms, mientras que con el FS 1,31 son del orden de los 18 cms.</p> <p>En conclusión, según la modelación de estos parámetros, se obtiene una situación más crítica con un FS de 1,31, a diferencia de lo que ocurre con el FS 1,30. En este sentido, el consultor, sostiene que en base a estos resultados el factor de seguridad de la subsidencia es de 1,30.</p> <p><u>Superficie comprometida por eventual falla estática:</u></p> <p>Con el fin de establecer el radio de la superficie de suelo que está comprometida por una eventual falla estática, vale decir cuál es la cuña máxima de deslizamiento estático, el consultor hizo correr el programa para modelar la superficie comprometida usando el punto del mayor factor de seguridad hasta que las deformaciones no convergieran, es decir, hasta que estas y el parámetro “sratio” alcanzaran un valor predefinido (1×10^{-5}).</p> <p>De esta manera, se generó una gráfica en el programa FLAC3D donde se modelaron las magnitudes de las deformaciones en los planes X e Y, es decir, este – oeste y norte – sur. En ambos casos, como puede verse en el registro 49 se obtienen un radio de seguridad desde el eje de la subsidencia y en todos los sentidos en promedio de 47,7 m, por lo que el consultor determinó que el radio de seguridad en torno a la subsidencia es de 50 metros.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resultados del análisis dinámico de estabilidad 3D <p><u>Respuesta sísmica en superficie:</u></p> <p>Para cada uno de los puntos de control definidos para establecer los niveles de aceleración en superficie, SL1 a SL4 (registro 36), se graficaron las aceleraciones que se registran para un periodo transcurrido de tiempo de 70 segundos, tiempo estimado como suficiente por el consultor para evaluar las máximas aceleraciones en la superficie del terreno natural. En</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>el registro 50 se exhibe el resultado de la gráfica de los registros sísmicos para cada punto de control (SL1 al SL4).</p> <p>Los valores de aceleración se presentan en la tabla expuesta en el registro 51. Lo primero que se observa es que el tiempo de aceleración mayor se da en todos los casos entre los 10 y los 40 segundos. Para el punto de control de aceleraciones SL1 al este de la subsidencia, se observan aceleraciones que van entre los $-8,94 \text{ m/s}^2$ y los $9,94 \text{ m/s}^2$ en el sentido norte-sur, $-8,95 \text{ m/s}^2$ a $9,94 \text{ m/s}^2$ en el sentido este-oeste, y $-7,41 \text{ m/s}^2$ a $7,31 \text{ m/s}^2$ en el sentido vertical. Para el caso del SL2 al noreste de la subsidencia las aceleraciones van $-8,41 \text{ m/s}^2$ a $8,31 \text{ m/s}^2$ en el sentido norte sur, $-7,62 \text{ m/s}^2$ a $9,03 \text{ m/s}^2$ en el sentido este-oeste y $-7,85 \text{ m/s}^2$ a $8,01 \text{ m/s}^2$ en el sentido vertical. Para el caso del SL3 al suroeste de la subsidencia las aceleraciones van $-10,66 \text{ m/s}^2$ a $9,3 \text{ m/s}^2$ en el sentido norte-sur, $-8,4 \text{ m/s}^2$ a $9,81 \text{ m/s}^2$ en el sentido este-oeste y $-7,68 \text{ m/s}^2$ a $7,3 \text{ m/s}^2$ en el sentido vertical. Por último, para el punto SL4 al sureste de la subsidencia las aceleraciones van $-7,33 \text{ m/s}^2$ a $10,36 \text{ m/s}^2$ en el sentido norte-sur, $-8,3 \text{ m/s}^2$ a $8,06 \text{ m/s}^2$ en el sentido este-oeste y $-6,59 \text{ m/s}^2$ a $5,92 \text{ m/s}^2$ en el sentido vertical.</p> <p>De lo anterior, es posible señalar que el sentido este (SL1) y suroeste (SL3), que realidad no es suroeste sino sursuroeste, dado que el punto está hacia el sur con un desplazamiento hacia el oeste, se observa el mayor rango de variación de las aceleraciones, mientras que los rangos menores están en el plano vertical para todas las orientaciones.</p> <p>El consultor con los valores obtenidos del cálculo de las velocidades, lo que hace es obtener la velocidad máxima en cada punto de control en unidad de gravedad, para lo cual divide la velocidad máxima en cada uno de los sentidos por el valor de gravedad en tierra, lo que se puede ver en el registro 51.</p> <p>El consultor continúa señalando que si se comparan los registros sísmicos de roca y los valores obtenidos en superficie (velocidades), se puede establecer que en el sitio Alcaparrosa se produce amplificación sísmica, esto porque el sismo presenta contenido de frecuencias en el mismo rango</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>de las frecuencias fundamentales del suelo. Sin embargo, en el estudio no se detallan los registros sísmicos de roca que se utilizaron para comparar las velocidades superficiales, por lo que se supone se utilizaron los del estudio de riesgo sísmico en el sector de Alcaparrosa que uso de referencia el consultor, pero esto no se indica, y tampoco este viene acompañado a los anexos para revisarlos.</p> <p>Al respecto es importante destacar, que, durante toda la revisión del estudio preparado por el consultor, se utiliza como referencia el estudio “Crempien & Abell SpA (2023). INF-004 “Estudio de amenaza sísmica”, Rev.0, Sitio Proyecto Minera Alcaparrosa Chile”, sin embargo, este no se presenta en los anexos y tampoco se ha presentado en otros procedimientos que lleva en curso esta Superintendencia, por lo que dificulta la comprensión de los supuestos que se utilizan, el origen de los datos, y la posibilidad de hacer una revisión de este.</p> <p>Ahora bien, regresando a lo planteado por el consultor, este concluye este punto señalando que las aceleraciones máximas alcanzadas en cada componente a nivel superficial son 189%, 248% y 315% más altos que los PGA del sismo de diseño, en las componentes este-oeste, norte-sur y vertical, respectivamente. Lo anterior porque el consultor utilizó como evento base para el análisis de estabilidad pseudo estático el registro sintético con mayor PGA 0,53 g, mientras que los valores obtenidos por el modelo (registro 52) son mayores en todos los planos.</p> <p><u>Deformaciones en puntos de control en ejes este-oeste y norte-sur:</u></p> <p>Para los puntos de control P1 a P5 en cada dirección, el consultor obtuvo la gráfica que permite establecer los niveles de asentamiento en cada uno de ellos, y así establecer corrimientos acumulados durante el sismo en torno a la subsidencia y deformaciones remanentes producto del evento sísmico propiamente tal.</p> <p>De las gráficas de asentamiento realizadas por el consultor (registro 53, 54, 55 y 56) se observa que las deformaciones verticales en los puntos de control P2, P3, P4 y P5 en todas las orientaciones (N, S, E y O) muestran un</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>comportamiento similar, que varía en entre - 0,1 y 0,1 metros aproximadamente, mientras que las deformaciones en el punto P1 tiene un comportamiento distinto, ya que el asentamiento va decreciendo conforme aumenta el tiempo hasta estabilizarse en todos los casos a partir de los 60 segundos, y en todos los casos con valores superiores a los -0,2 m.</p> <p>A continuación, el consultor grafica la magnitud de deformación en torno a la subsidencia, una vez transcurridos 80 segundos de sismo, donde se observa los campos de deformación sísmica transcurrido ese tiempo, destacando las isocurvas de deformación de 5 m, 10 m y 1,5 m. En el registro 57 se presenta la gráfica y en ella se puede apreciar que se establece la distancia desde el eje de la subsidencia y hacia cada uno de los sentidos indicando la distancia entre esta y la isocurva de deformación de 1,5 m, sin que se indique la distancia para las isocurvas del 0,5 y 1 m.</p> <p>En esta misma línea, el consultor realiza la gráfica para la magnitud de la deformación en profundidad en el suelo colindante a la subsidencia, graficando el comportamiento de estas en el corte norte-sur. En el registro 58 se pueden observar los vectores de deformación (0,5 y 1 m) que genera el modelo se desplazan hacia la base del socavón con una profundidad de 49 metros aproximadamente en ambas caras (oeste y este).</p> <p>A raíz de lo anterior, el consultor concluye señalando: <i>“A la luz de estos resultados, se puede establecer que las deformaciones en torno a la subsidencia no se extienden más allá de lo aquí señalado y, por tanto, no tiene una influencia directa en las obras civiles que se encuentran ubicadas a unos 500 m a 800 m de distancia hacia el este y sureste de la subsidencia”</i>. Si bien el titular concluye esto, para esta Superintendencia, tal como se indicó anteriormente, no resulta adecuada la conclusión toda vez que el consultor para la definición del modelo tridimensional no realizó ensayos directamente en el terreno para la caracterización de los materiales de las unidades geotécnicas UG-1, UG-2 y UG-3 se estimó la caracterización geotécnica, por lo tanto, la modelación es solo en base a datos referenciales y por lo tanto, la ausencia de valores empíricos puede modificar las conclusiones a las que llega.</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Por otra parte, es importante destacar, que, en ninguna parte del estudio presentado para dar cumplimiento a la medida analizada, se identifica la magnitud del sismo de base incluido en el diseño del modelo utilizado por este, y tampoco en lo que va analizado se ha observado la inclusión en el modelo de distintas magnitudes de sismos utilizadas en las corridas para la determinación de los parámetros a evaluar. Es más, en este capítulo, de estabilidad dinámica, hubiera sido esperable que se hubiera considerado distintas magnitudes y de esta manera generar distintos escenarios para la generación, por ejemplo, de campos de magnitud de deformación en profundidad en el suelo colindante a la subsidencia.</p> <p><u>Registros en puntos de control en edificaciones mineras :</u></p> <p>En este punto lo que hizo el consultor fue determinar las deformaciones y aceleraciones generadas por el sismo en los siete 7 que definió dentro del área del proyecto.</p> <p>En los registros 59 al 65 se observan las gráficas de las aceleraciones y asentamientos sísmicos para cada uno de los siete puntos. Si bien el consultor señala que se grafican las deformaciones y aceleraciones, lo que se observa en la imagen son las aceleraciones y los asentamientos en cada punto. Se observa que en el caso de las aceleraciones en todos los puntos se tiene un comportamiento similar de distribución del rango de aceleraciones, alcanzándose la mayor amplitud de estas entre los 10 y 40 segundos y acotándose a partir de esto y hasta los 80 segundos. La mayor aceleración se registra en el punto 3 “zona de almacenamiento”, punto que está al noroeste de la subsidencia, cabe recordar que este sector el consultor no estableció puntos de control de aceleraciones (SL1 al SL4) sino todos menos el SL3, estaban en el sector oeste de la subsidencia, mientras que SL3 estaba al suroeste de la esta, por lo tanto, no se puede comparar si los valores coinciden. Todas las edificaciones están al este de la subsidencia, por lo tanto, los valores de aceleraciones generados por el modelo no tienen punto de comparación con los puntos de control de aceleraciones de superficie, ya que estos, como se acaba de señalar, se encuentran al este de la subsidencia, salvo SL3 que está al sureste, pero</p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>alejado del punto de control más cercano que es el P7. Situación similar ocurre con el registro de asentamientos.</p> <ul style="list-style-type: none"> Resumen de los resultados del modelo numérico <p>A continuación, se transcribe el resumen que el consultor plasmó en el estudio:</p> <ul style="list-style-type: none"> “Los campos de deformación estáticos producto de la subsidencia, comprometen una distancia del orden de 120 m a 123 m hacia el este, norte y sur, y una distancia de influencia del orden de 70 m hacia el oeste, distancias a partir de las cuales los corrimientos horizontales son menores que 1,0 cm. En términos de asentamiento, los descensos menores que 2,5 cm (considerado como el valor admisible para las estructuras), se extienden entre 93 m y 102 m hacia el este, norte y sur, y del orden de 55 m hacia el oeste. Según esto, las oficinas de JMT (más cercanas a la subsidencia), habrían estado sujetas a corrimientos horizontales del orden de 11 mm y asentamientos del orden de 5 mm”. “El factor de seguridad estático estimado es de 1,30, obtenido a partir de la metodología de minoración de parámetros geotécnicos de las unidades de grava. Ante una condición extrema de pérdida de resistencia geotécnica, se estima que los campos de deformación de una eventual falla estática (con campos de deformación mayores que 50 cm), tienen un radio de influencia de 46 m hacia el oeste, 49 m hacia el este y 48 m hacia el norte y el sur, todos medidos desde el eje de la subsidencia. En términos prácticos, el radio de influencia crítico puede definirse en 50 m, similar al resultado obtenido con el modelo 2D”. “Las deformaciones sísmicas, con campos mayores que 0,5 m, presentan radios de 45 m hacia el este, 52 m hacia el sur, 61 m hacia el oeste y 64 m hacia el norte. Los puntos de control más cercanos a la subsidencia (P1), registraron deformaciones en el rango de 1,5 m a 3,0 m, mientras que los puntos de control más 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p><i>alejadas (P2 a P5), evidencian asentamientos menores que 10 cm (algunos en situación de asentamientos remanente). Los campos de deformación se desarrollan hasta el fondo de la subsidencia, por lo tanto, corresponden a la cuña activa sísmica que se gatilla con un evento sísmico de gran envergadura (10% de excedencia en 100 años). A partir de lo señalado anteriormente, en términos prácticos, se puede establecer un radio de estabilidad crítico de 65 m, el cual es 15 m mayor que el estimado con el modelo 2D”.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>“La respuesta en superficie en el sector de Alcaparrosa se encuentra afecta a amplificación sísmica, debido a que los contenidos de frecuencia del sismo, presentan peaks en el rango de frecuencias fundamentales del suelo en el sector (entre 1,22 Hz y 2,15 Hz). Esta amplificación se traduce en aceleraciones horizontales que alcanzan los 1,09 g y aceleraciones verticales que alcanzan los 0.82 g. En cuanto respecta a las instalaciones mineras que se encuentran dispuestas en el sector noroeste, oeste y suroeste de la subsidencia, se puede establecer que en todas ellas la demanda sísmica fue levemente mayor, con aceleraciones máximas horizontales en el rango 0,83 g a 1,11 g y aceleraciones máximas verticales en el rango 0,82 g y 1,09 g”.</i> - <i>“En términos de deformación en los puntos de control, se puede señalar que los corrimientos horizontales se encuentran preferentemente acotados por -0,25 m y +0,30 m, lo cual corresponde a una respuesta sísmica y no necesariamente a una influencia directa de la singularidad causada por la subsidencia. La excepción la constituye la Oficina JMT, que evidencia un corrimiento horizontal hacia la subsidencia de 0,42 m”.</i> <p><i>Para cerrar este punto el consultor “Finalmente, se debe señalar que el modelo tridimensional fue desarrollado considerando una caracterización geotécnica estimada de los materiales de las Unidades UG-1 a UG-3, y no determinados a partir de ensayos realizados directamente sobre los depósitos sedimentarios”. Este argumento, es la razón que se indicó en</i></p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>varios de antecedentes analizados como el hecho que le quita validez a los resultados que arriba el consultor, toda vez que el ejercicio es a partir de valores referenciales y no reales, por lo que la modelación solo puede ser considerada desde este punto de vista, no entregando la certeza que se requiere para la finalidad que buscaba la medida urgente y transitoria cuando se exigió el estudio.</p> <p>8. Conclusiones</p> <p>Las conclusiones a las que arriba el estudio se presenta a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ <i>“De acuerdo con lo solicitado por CCMO, se desarrolló un análisis de estabilidad mediante un modelo tridimensional de las paredes de la subsidencia, las que se encuentran expuestas desde el 31 de julio de 2022 en el sector Mina Alcaparrosa, Tierra Amarilla, con el fin de establecer si existe, o no, riesgos sobre los elementos naturales y construidos que directamente se encuentren influenciados por la subsidencia”.</i> ❖ <i>“A partir de una caracterización geotécnica estimada (debido a que no se contemplaron exploraciones ni ensayos geotécnicos) y del modelo estratigráfico definido según la información disponible y la levantada en terreno por IDIEM, se realizaron análisis de estabilidad estático y sísmico que permiten ajustar los parámetros geotécnicos y determinar la franja de seguridad crítica que se considera potencialmente inestable en torno a la singularidad. Para la condición estática, la franja crítica presentó un radio de 50 m medidos desde el eje de la subsidencia y, en condición sísmica, esta franja aumenta a un radio de 65 m (distancia a partir de la cual las deformaciones sísmicas son menores que 0,5 m). Esto indica que la zona crítica aumenta en 15 m respecto de la preliminarmente estimada con modelos simplificados”.</i> ❖ <i>“A la luz de los análisis y los resultados obtenidos mediante este estudio se puede concluir que, ante la eventual pérdida de</i> 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p><i>resistencia de los materiales en condición estática, o bien, ante la ocurrencia de un sismo de gran envergadura como el considerado en este estudio (10% de excedencia en 100 años), no existe una influencia directa del fenómeno de la subsidencia ocurrida sobre las edificaciones civiles que se encuentran ubicadas a una distancia entre 500 m y 800m al este y sureste de ésta”.</i></p>	



2	<p>Entregar un estudio técnico mediante el cual el titular deberá comprobar si los volúmenes de agua alumbada extraída históricamente por Mina Ojos del Salado han generado o no un detrimento del acuífero de aluvial del Río Copiapó u otro acuífero presente en el área (ver modelo hidrogeológico presentado en el EIA de 1999). Adicionalmente, el estudio deberá demostrar si dicha extracción fue o no uno de los factores de origen del fenómeno de subsidencia ocurrido el 30 de julio de 2022, así como determinar si es o no un factor de riesgo ante eventuales futuros fenómenos de subsidencia dentro del área influencia directa de la faena minera</p> <p>Medio de Verificación: mediante la Res. Ex. N°1349 se estableció un plazo de 10 días hábiles para entregar reportes de avance, sin embargo, a través de la Res. Ex. N°1628 que acogió parcialmente el recurso de reposición presentado por el titular en contra la Res. Ex. N°1349, se le dio un plazo de 4 meses para entregar esta medida con un reportabilidad de avance quincenal.</p>	<p>En relación con el cumplimiento de la instrucción realizar un estudio técnico mediante el cual deberá comprobar si los volúmenes de agua extraída históricamente por Minera Ojos del Salado han generado o no un detrimento del acuífero del aluvial del Río Copiapó u otro acuífero presente en el área, para finalmente verificar el cumplimiento general de la medida:</p> <p>Reporte de avance 1 (29.08.2022): El titular entregó una carta Gantt en formato Excel elaborada por la consultora especialista VAI Groundwater Solutions, que indica que el estudio se elaborara en 12 meses.</p> <p>Reporte de avance 2 (12.09.2022): El titular presenta en este avance una propuesta técnica denominada “Servicios de generación de modelo hidrogeológicos a escala local y ampliada, Mina Alcaparrosa, Compañía Minera Ojos del Saladao” de septiembre de 2022. En la propuesta se presentan los objetivos del trabajo, el programa de trabajo, plazos y carta Gantt, personal a cargo, estimación de costos y presupuesto (M\$ 310) y términos y condiciones.</p> <p>Reporte de avance 3 (28.09.2022): El titular entregó el informe de avance N°1 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido. En este primer informe se detallan las actividades realizadas y no realizadas por el consultor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos (realizada): se revisaron los siguientes antecedentes: - Revisión de estudios y antecedentes nuevos: Revisión de modelos hidrogeológicos y línea bases de proyectos sometidos a evaluación ambiental de la comuna de Tierra Amarilla, disponibles en https://seia.sea.gob.cl/busqueda/. - Revisión del Sistema Monitoreo de Extracciones Efectivas (DGA). https://snia.mop.gob.cl/cExtracciones2. - Revisión de informes de modelos conceptuales y numéricos Mina Alcaparrosa. - Revisión de informes de modelos conceptuales y numéricos del Acuífero del Río Copiapó. - Revisión de fotografías de sondajes, planes mineros, geometrías 3D de la Mina Alcaparrosa. 	<p>Se cumple parcialmente la medida debido a que el titular no ejecutó todo lo solicitado por la medida, a saber:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se indica que el titular solo presentó el modelo conceptual y numérico para el sector de Mina Alcaparrosa, sin que se profundizara si la extracción histórica ha generado un efecto o no sobre el acuífero. Si bien en los modelos se reconoce la variable de infiltración de la mina como una variable de importancia para la modelación, no se analiza en sí su efecto sobre el acuífero. Ahora bien, respecto de la inclusión de la variable en el modelo se puede indicar que esta no fue considerada en base a los valores reales sino subestimando su magnitud y, por lo tanto, generando un instrumento que modelará erróneamente el comportamiento del acuífero. - El titular no se pronuncia respecto de la segunda parte de la medida, es decir no descarta o asevera si el manejo del drenaje pudo ser un factor asociado a la subsidencia. Lo anterior,
---	---	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de información hidrológica disponible. - Versión preliminar de extensión de área de estudio. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó (no realizada) - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: se revisaron antecedentes de pozos levantados en estudios anteriores y se propone plan de visita. Se planifica la visita a terreno para la semana del 3 de octubre. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto (realizada): se realiza análisis preliminar de la información meteorológica de la zona. - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica (no realizada) - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual (no realizada) - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo (no realizada) - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras (realizada): se realiza análisis preliminar de la información enviada por personal de geología de CCMO. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance (realizada): se realizan reuniones de avance. <p>Requerimiento información asociado a Res. Ex. N°1349 (28.09.2022): Dado que la resolución inicial que estableció las medidas urgentes y transitorias dentro de un plazo de 30 días consideraba la remisión de un reporte final de cumplimiento consolidado a los 5 días hábiles de haber terminado el plazo original, el titular entregó dicho requerimiento, señalando que este era efectivo para todas aquellas actividades que se</p>	<p>considerando lo señalado por parte del SNGM, en su “Informe de Investigación Accidente Alto potencial Alcaparrosa” (SNGM, marzo 2023), el cual concluye lo siguiente: <i>“Una de las causas principales del evento guarda relación con la calidad de información geológica de entrada para la elaboración del proyecto minero, lo que conllevó a un diseño minero que sobre estimó las características resistivas y auto soportantes del macizo rocoso, y que no consideró el efecto del nivel freático en el desarrollo de la mina”</i> (énfasis agregado).</p> <p>Es de relevancia destacar que del registro 76 de este informe, se constata que al menos 9 días antes que ocurriera el socavón comenzó a aumentar el ingreso del agua al interior de la mina. De los registros es posible observar que cuando ocurre el evento del socavón, ya estaba ingresando a la mina alrededor de 150 l/s, valor muy superior a los 25 l/s que se venían registrando.</p> <p>Finalmente, es importante señalar que de la revisión de la</p>
--	--	--	--



		<p>podieron ejecutar dentro de ese plazo, y a las cuales no se les modificó el plazo de entrega mediante Res. Ex. SMA N°826 del 2022, mediante la cual se extendió el plazo para las medidas 1, 2, 5 y 6.</p> <p>Respecto de la medida 2 el titular informa que en los reportes venideros se irá informando el estado de avance de las actividades para lo cual, la Res. Ex. N°1628/2022 otorgó un nuevo plazo de 12 meses con una reportabilidad mensual.</p> <p>1° Reporte mensual (27.10.2022):</p> <p>El titular entregó el informe de avance N°7 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido. Cabe señalar que, si bien al titular se le amplió el plazo, solicitándole informes de avance mensuales, este entregó en los informes quincenales que aplicaba para las medidas 1 y 6, los reportes de avance N°2 y N°3 de este estudio, no obstante, se analizará la información del reporte mensual solicitado.</p> <p>En este cuarto informe se detallan las actividades realizadas y no realizadas por el consultor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: se revisan nuevos antecedentes con respecto a parámetros internos de la Mina Alcaparrosa, proceso de sellado e inundación sector Gaby. Actualmente se encuentra en preparación el memo con los resultados de la Etapa 1. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: se realiza levantamiento preliminar de rutas de mapeo, además de un levantamiento parcial de algunos puntos de la geología local del área de estudio, en el contexto de la visita a terreno por el catastro de pozos. - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: Se realiza visita a terreno y catastro de pozos entre Nantoco y Paipote, entre el 3 y 7 de octubre. Se elabora memorándum técnico de visita a terreno, el que se encuentra en etapas finales de revisión. 	<p>presentación de los estudios entregados por el titular para dar cuenta del cumplimiento de esta medida la empresa concluyó que la ocurrencia del socavón tuvo un efecto restringido y netamente a una escala local dentro del acuífero. Sin perjuicio de lo anterior, el procedimiento de fiscalización de la DGA, Res. Ex. DGA Atacama N°1034, el organismo concluye que “COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA OJOS DEL SALADO, realizó actos y obras durante el desarrollo de las labores de explotación en la Mina Alcaparrosa que consecuentemente originó afectaciones del acuífero granular del río Copiapó, formando una nueva conexión hidráulica entre este último y el interior de la mina subterránea” (énfasis agregado), por ende, existe una nueva configuración del acuífero. A lo anterior, se debe sumar que el titular no consideró en el modelo conceptual hidrogeológico, preparado por el mismo consultor, los caudales de infiltración de la mina, la inconsistencia de los valores de conductividad hidráulica a las unidades hidrogeológicas UH-3 y UH-4, y</p>
--	--	--	---



		<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: Se continúa con análisis de la información meteorológica de la zona - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: sin información nueva. - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: sin información nueva. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: sin información nueva. - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. <p>2° Reporte mensual (26.10.2022): El titular entregó el informe de avance N°7 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido. Cabe señalar que, si bien al titular se le amplió el plazo, solicitándole informes de avance mensuales, este entregó en los informes quincenales que aplicaba para las medidas 1 y 6, los reportes de avance N°5 y N°6 de este estudio, no obstante, se analizará la información del reporte mensual solicitado.</p> <p>En este cuarto informe se detallan las actividades realizadas y no realizadas por el consultor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: Se revisan nuevos antecedentes con respecto a parámetros internos de la Mina Alcaparrosa, proceso de sellado e inundación sector Gaby. Se reciben nuevos antecedentes sobre propiedades geológicas por parte de CCMO. 	<p>la inclusión en la calibración y simulación la variable “entrada del almacenamiento”. Dados estos antecedentes, el modelo hidrogeológico no representaría la hidrogeología del acuífero en el sector de mina Alcaparrosa.</p>
--	--	---	---



		<p>Actualmente se encuentra en preparación el memo con los resultados de la Etapa 1.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: - Se realiza levantamiento de información geológica superficial entre Nantoco y Paipote entre los días 2 y 6 noviembre. - Se presenta memorándum técnico de actividad a CCMO con principales hallazgos de la información geológica superficial. - Se realiza visita dependencias de CCMO para realizar descripción de sondajes. - Memorándum técnico de descripción de sondajes se encuentra en preparación. - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: se presenta memorándum técnico de actividad a CCMO con principales hallazgos. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: Se continúa con análisis de la información meteorológica de la zona - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: sin información nueva. - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: sin información nueva. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: sin información nueva. - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. 	
--	--	---	--



		<p>3° Reporte mensual (26.12.2022):</p> <p>El titular entregó el informe de avance N°9 y N°10 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido. Cabe señalar que, si bien al titular se le amplió el plazo, solicitándole informes de avance mensuales, este entregó en los informes quincenales que aplicaba para las medidas 1 y 6, el reporte de avance N°8 de este estudio, no obstante, se analizará la información del reporte mensual solicitado.</p> <p>Informe avance N°9</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: sin información nueva. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: sin información nueva. - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: sin información nueva. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: sin información nueva. - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: sin información nueva. - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: sin información nueva. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: sin información nueva. - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: - VAI recibe información complementaria del sistema de drenaje. 	
--	--	---	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Se continua con la elaboración de memorándum técnico con antecedentes preliminares y resultados de visita a terreno. - Se pospone entrega de primer memorándum de técnico del sistema de drenaje para comienzos de enero de 2023 (fecha original correspondía a fines de diciembre 2022). - Se efectúa reunión técnica entre VAI y personal encargado del sistema de drenaje de CCMO el jueves 15 de diciembre 2022 (videoconferencia - 16:00h), con el fin de resolver dudas de la información recibida. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. <p>Informe avance N°10</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: se entrega a cliente memo de revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos el día 13-12-2022, con el registro de la información revisada. Con esta actividad se da por completada la Etapa 1 del Programa. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: Se presenta a cliente memorándum técnico de descripción de sondajes el día 29-11-2022. Con esta actividad se da por completada la Etapa 2 del Programa. - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: Realización de un catastro de la ubicación, tipo y estado de los pozos dentro el sector del área de influencia, preliminarmente definida entre Paipote y Nantoco. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: La caracterización hidrológica del valle de Copiapó tiene objetivo de actualizar el análisis de precipitaciones incorporando información 	
--	--	---	--



		<p>de todas las estaciones meteorológicas disponibles (de la DGA y privados) del valle de Copiapó.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: Realizar la supervisión y control de la perforación de sondajes hidrogeológicos en el acuífero del valle del río Copiapó. - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: se planifica el comienzo de la actualización del modelo conceptual para la última semana de diciembre de 2022 y primera semana de enero de 2023. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: sin información nueva - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. <p>4° Reporte mensual (27.01.2023): El titular entregó el informe de avance N°13 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido. Cabe señalar que, si bien al titular se le amplió el plazo, solicitándole informes de avance mensuales, este entregó en los informes quincenales que aplicaba para las medidas 1 y 6, el reporte de avance N°11 y N°12 de este estudio, no obstante, se analizará la información del reporte mensual solicitado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: etapa terminada. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: etapa terminada- 	
--	--	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: etapa terminada. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: <ul style="list-style-type: none"> - Se termina análisis hidrológico del área de estudio. - Se realiza la conceptualización del balance hídrico del área de estudio. - Se encuentran las etapas finales de confección del memorándum de la etapa. - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: Se presenta propuesta de pozos de monitoreo en el entorno de la mina Alcaparrosa a personal de CCMO, con fines de monitoreo de niveles freáticos y parámetros químico del acuífero, así como las presiones de poros de sectores de la mina. - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: se da comienzo al modelo la confección de modelo hidrogeológico, con la elaboración de secciones introductorias. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: sin información nueva - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. <p>5° Reporte mensual (27.02.2023): El titular entregó el informe de avance N°15 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido. Cabe señalar que, si bien al titular se le amplió el plazo, solicitándole informes de avance mensuales, este entregó en los informes quincenales</p>	
--	--	--	--



		<p>que aplicaba para las medidas 1 y 6, el reporte de avance N°14 de este estudio, no obstante, se analizará la información del reporte mensual solicitado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: etapa terminada. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: etapa terminada- - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: etapa terminada. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: se realiza entrega de memorándum técnico de caracterización hidrológica del área de estudio, dando por terminada la etapa. - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: se encuentra a la espera de la definición y factibilidad de la realización de los sondajes de investigación hidrogeológica y/o monitoreo por parte de CCMO. - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: Se realiza el levantamiento de antecedentes, marco hidrogeológico, caracterización hidrológica. Por otra parte, se inicia la actualización de la definición de las unidades hidrogeológicas. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: sin información nueva - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. 	
--	--	--	--



		<p>6° Reporte mensual (27.03.2023): El titular entregó el informe de avance N°16 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: etapa terminada. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: etapa terminada- - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: etapa terminada. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: etapa terminada. - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: en esta etapa queda pospuesta hasta la autorización por parte de las autoridades competentes de la realización de sondajes de investigación hidrogeológica y la posterior licitación de los trabajos de perforación. - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: <ul style="list-style-type: none"> - Se realizan avances en la actualización de los análisis en base a la nueva información disponible de niveles, hidrología y componentes del balance hídrico de la zona. Se recibe información hidroquímica por parte de CCMO. - Se pospone la fecha de entrega del informe del modelo conceptual para fines de abril, debido a la inclusión de la nueva información hidroquímica. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: se realiza el levantamiento de información para el comienzo de construcción del nuevo modelo numérico de flujo. 	
--	--	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. <p>7° Reporte mensual (27.04.2023): El titular entregó el informe de avance N°17 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: etapa terminada. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: etapa terminada- - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: etapa terminada. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: etapa terminada. - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: en esta etapa queda pospuesta hasta la autorización por parte de las autoridades competentes de la realización de sondajes de investigación hidrogeológica y la posterior licitación de los trabajos de perforación. - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: <ul style="list-style-type: none"> - Se complementa la información hidroquímica con los últimos antecedentes aportados por CCMO. - Se finaliza la redacción de los capítulos de caracterización hidrogeológica y balance hídrico. 	
--	--	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: se comienza con la construcción de las envolventes 3D correspondientes a la unidad de gravas y a la unidad de zona meteorizada, integrando las distintas fuentes de información disponibles. Se carga modelo de bloques de RQD. - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. <p>8° Reporte mensual (26.05.2023): El titular entregó el informe de avance N°18 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: etapa terminada. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: etapa terminada. - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: etapa terminada. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: etapa terminada. - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: en esta etapa queda 	
--	--	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: se realiza entrega del informe del modelo conceptual a CCMO para revisión por parte del cliente. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: <ul style="list-style-type: none"> - Se construye modelo de bloques unificado de unidades hidrogeológicas para carga a plataforma Groundwater Vistas. - Se realiza construcción de grilla de modelación en Groundwater Vistas. - Se comienza con la digitalización de condiciones de borde tipo dren que representan la infraestructura mina. - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA. <p>9° Reporte mensual (27.06.2023): El titular entregó el informe de avance N°19 elaborado por VAI Groundwater Solutions respecto del estudio hidrogeológico requerido.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etapa 1: Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos: etapa terminada. - Etapa 2: Levantamiento de información y caracterización geológica de superficie a gran escala y sondajes del sector de Alcaparrosa, valle de Copiapó: etapa terminada. - Etapa 3: Catastro de pozos, sector de Alcaparrosa: etapa terminada. - Etapa 4: Caracterización hidrológica del sector del proyecto: etapa terminada. 	
--	--	---	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Etapa 5: Control y supervisión del programa de perforación de pozos de investigación hidrogeológica: en esta etapa queda - Etapa 6: Actualización del modelo hidrogeológico conceptual: etapa terminada. - Etapa 7: Actualización del modelo numérico local de flujo: <ul style="list-style-type: none"> - Se finaliza con el proceso de infraestructura mina en el modelo numérico. - Se realizan las primeras pruebas del funcionamiento del modelo numérico, obteniendo resultados consistentes con las modelaciones anteriores - Se comienza con calibración de los niveles de y caudales de infiltración a la mina. - Etapa 8: Evaluación del sistema de drenaje y medidas de control futuras: sin información nueva. - Etapa 9: Control del proyecto: reuniones e informes de avance: se realizan reuniones de avance en conjunto con CCMO. Se confeccionan memorándums de avance para reporte a CCMO y SMA <p>Reporte Final (11.08.2023):</p> <p>El titular en el reporte final presenta el informe denominado “Actualización Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” (VAIGS-IT03-02208342-Rev 0), Compañía Contractual Minera Ojos el Salado”, así como el informe “Modelo Numérico Hidrogeológico Escala Local Mina Alcaparrosa (VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0), de agosto de 2023, ambos elaborados por VAI consultores.</p> <p>A continuación, se analizará cada uno de los informes de manera separada:</p> <p style="text-align: center;">I. Actualización Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa</p> <p>El informe se estructura de la siguiente manera:</p>	
--	--	---	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Sección 1 se presenta la introducción, detallando los objetivos y alcances de los trabajos. - Sección 2 se detallan los antecedentes y la información utilizada para la actualización del modelo hidrogeológico conceptual. - Sección 3 se presenta una caracterización detallada del área de estudio. Este análisis comprende desde la geomorfología, pasando por la hidrología y la hidrogeología, hasta el marco geológico. - Sección 4 de este trabajo se presenta un modelo hidrogeológico detallado del área de estudio. - Sección 5 se presentan las discusiones que se han formulado a partir del estudio hidrogeológico desarrollado en el área de estudio. - Sección 6 se presentan las conclusiones. <p>Respecto de la información indicada en la sección 1 y 2, esta no será detallada en este informe, ya que se trata de antecedentes que se recogen en los capítulos relevantes del informe.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterización del área de estudio. <p>El área de estudio se caracterizó según tres aspectos ambientales relevantes: Geomorfología, Hidrología y Geología. Respecto de la revisión geológica del área no se hará una descripción de esta toda vez que está en extenso detalla en el estudio que da cumplimiento a la primera medida de este informe.</p> <p>Caracterización Geomorfológica:</p> <p>De la información levantada por el titular es posible señalar que Compañía Contractual Mineral Candelaria Ojos del Salados (en adelante CCMOS) está ubicada donde comienza la unidad geomorfológica denominada</p>	
--	--	--	--



	<p>“Precordillera”. Hacia el norte está la localidad de Paipote perteneciente a la comuna de Copiapó, y hacia el sur está la localidad de Nantoco, perteneciente a la comuna de Tierra Amarilla. Es en este tramo de valle de Copiapó es donde se encuentran grandes quebradas, pero que tienen un ángulo de inclinación de promedio 1°.</p> <p>Las quebradas más importantes de este tramo son Qda. Paipote, Qda. Jilguero y Qda. Meléndez. La mina Alcaparrosa de CCMOS, lugar donde ocurre el socavón del del 31 de julio de 2022, está en las proximidades, un poco más al sur, de la confluencia del río Copiapó con Qda. Meléndez.</p> <p>Caracterización Hidrológica:</p> <p>Toda la información recabada por el consultor para realizar la caracterización hidrológica del sector donde está MINA ALCAPARROSA, se obtuvo de la base de datos meteorológicos de la DGA y de las estaciones del propio titular, y por cada variable analizada se eligieron las estaciones que tienen la mayor cantidad e datos.</p> <p>Se analizaron datos de temperatura, evaporación, precipitación y caudales superficiales. Todos los datos y referencias levantadas por el estudio se encuentran en los anexos presentados por este.</p> <p>Caracterización Hidrogeológica:</p> <p>El acuífero del río Copiapó, según lo relevado por el consultor, corresponde a un sistema hidrogeológico de alta permeabilidad ya que este está conformado por un relleno sedimentario de gravas y arenas. Por otro parte, por la litología de este provoca que no exista una capa impermeable que permita el confinamiento del agua.</p> <p>Administrativamente la DGA ha definido un sector hidrogeológico de aprovechamiento común (SHAC) en el acuífero del río Copiapó, el que se ha dividido en 6 sectores de SHAC, así MINA ALCAPARROSA se encuentra en el sector 4 SHAC tal como se puede observar en el registro N°66.</p> <p>De los registros hidrogeológicos relevantes que destaca el consultor, se destaca la trasmisividad registrada en el acuífero del Copiapó de la revisión</p>	
--	---	--



		<p>de varios estudios que indican que este tiene una alta transmisividad que del orden de los 1,000 a los 20,000 m³/día. Considera el valor del estudio hidrogeológico para Mina Carola que está en las cercanías de MINA ALCAPARROSA, en el que se estimó una transmisividad de 16,692 m³/día. El otro parámetro relevante es la carga hidráulica y el coeficiente de almacenamiento; en el caso del primero según estudios de la zona determinaron una carga hidráulica de 10 a 200 m/d. En el sector entre pabellón y Nantoco que es un área más al sur de donde está MINA ALCAPARROSA se estimó una carga hidráulica de 104 m/d, mientras de que en el sector de Paipote y Pabellón el valor fue de 40 d/m (Capítulo 3.8, EIA “Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria”, febrero de 2020). En este último estudio se estimó un coeficiente de almacenamiento de 10 a 20%.</p> <p>Con relación a la demanda histórica de agua en el acuífero del río Copiapó, según los estudios revisados por el consultor, es posible establecer las siguientes relaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El ingreso anual es el orden de los 151 Mm³ (4.799 l/s) - El egreso anual es el orden de los 121 Mm³ (3.871 l/s) - La distribución del consumo en términos porcentuales se estima en 75% agricultura, 15% minería, consumo humano 8% y otros usos 2%. - En base a los últimos estudios el consumo en l/s para riegos es de 3.320 l/s y minería 509 l/s - En los últimos años se ha mantenido el sobre consumo de agua en el acuífero, a pesar de que MINA ALCAPARROSA paso de 357 l/s en 2010 a 0 en el 2016. <p>Respecto del nivel del acuífero pre socavón, el consultor señala que desde el 1990 al 2013 se produjo un descenso continuo de los niveles (momento en que DGA declara zona de riesgo y se prohíbe la entrega de derechos), para luego comenzar una recuperación hasta el año 2020, donde nuevamente comienzan a bajar los niveles hasta el presente.</p> <p>Descripción del evento socavón Mina Alcaparrosa:</p>	
--	--	---	--



		<p>De la información levantada por el consultor por revisión de antecedentes y visitas a terreno, llega a las siguientes conclusiones vinculadas con el evento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>“La hipótesis de la generación del evento apuntó a una conexión de vías preferenciales de flujo entre la mina subterránea y el fondo del acuífero del río Copiapó (material aluvial de alta permeabilidad), asociada a una sobre-excavación del techo y/o paredes del caserón Gaby-04, la cual se habría propagado hasta la base del acuífero.</i> - <i>Se puede asumir que esta sobre-excavación del caserón Gaby-04 pudo haber tenido lugar de manera gradual desde el término de la explotación de esta unidad (enero 2022) y debió estar condicionada por la configuración estructural del entorno del caserón, la calidad geotécnica de las litologías (cercanía a la zona meteorizada) y la geometría final de esta unidad de explotación.</i> - <i>Una vez que la sobre-excavación hubiese alcanzado la base del material aluvial, la subsidencia se habría propagado de manera rápida hasta la superficie, generando así el cráter (socavón). Esta rápida propagación habría sido favorecida por el carácter granular del acuífero del río Copiapó junto a la presencia de agua, tomando una morfología circular propia de la subsidencia en estos tipos de materiales”.</i> <p>En relación con estas conclusiones, se debe señalar que el origen del evento ya asociado a la sobre extracción de minerales ya no es una hipótesis sino la causa determinada luego de la investigación realizada por SNGM, por lo que se trata de un factor antrópico que tuvo un efecto en la geomorfología del acuífero y por ende en la pérdida de agua generada por esta modificación. Lo anterior es relevante destacar, ya que el efecto generado producto de esta sobre explotación es un impacto ambiental en término de afectación del componente hídrico, que en la zona donde ocurre agrava el efecto de la condición de un acuífero altamente impactado y deprimido.</p> <p>El consultor señala que la conexión con la base del acuífero, provocada por la sobre-excavación del techo del caserón GA-04, permitió el ingreso de</p>	
--	--	--	--



	<p>caudal extremo de agua a la mina subterránea, con el consiguiente descenso del nivel freático dentro del acuífero, lo cual fue ratificado por la investigación ejecutada por la DGA.</p> <p>Señala que <i>“Desde el punto de vista estructural, en la zona del caserón Gaby-04 confluyen una serie de estructuras mayores del yacimiento, lo cual sugiere un escenario sensible a la sobre-excavación. Adicionalmente, la presencia de un conjunto de estructuras sub-verticales con un manto hacia el oeste aumenta la posibilidad de una conexión hidráulica con el acuífero”</i>, esta sentencia es justamente aquello que el titular, CCMOS, debió tener en cuenta previo a la operación en el sector Gaby 04, ya que tenía información respecto de las fallas y condición geotécnica de todo el sector.</p> <p>Luego el consulto, hace referencia al sellado de los muros de hormigón en el sector Gaby, indicando que se instalaron 4 muros de concreto en los niveles 200, 270 y 290 de manera de aislar los sectores Gaby 01, Gaby 04 y Gaby 12. Señala que <i>“Una vez finalizada la construcción de los muros sellantes y obtenidas las autorizaciones por parte de las autoridades correspondientes, se dio comienzo con la inundación del sector Gaby el día 17 de septiembre de 2022, a través del cierre de las válvulas de los muros”</i> (énfasis agregado), lo anterior es válido respecto de la inundación del sector Gaby, pero no es válido la referencia a la autorización por parte de las autoridades ya que los muros a la fecha de este informe no ha sido autorizados por ninguna autoridad.</p> <p>Por último, indica que el nivel de agua en la zona inundada ha sido monitoreado a través de los sensores de cuerda vibrante instalados en los muros, mostrando un aumento consistente a los volúmenes inundados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelo Hidrogeológico Conceptual <p>Definición del modelo conceptual:</p> <p>Área de influencia: se ha determinado un área de una distancia equidistante de 5 km desde el centro de MINA ALCAPARROSA hacia el norte y el sur. Mientras que para los bordes se consideró la línea divisora de agua de las quebradas laterales del valle de Copiapó. En el registro N°67 se puede observar la imagen definida para el modelo.</p>	
--	--	--



		<p>Clasificación de las unidades hidrogeológicas: la clasificación realizada por el consultor para el estudio se base en la revisión de información bibliográfica, mapeo de testigos, revisión de piezómetros, visitas a terreno entre otras. Se definieron cinco unidades hidrogeológicas, las que coinciden en número con las unides geotécnicas definidas en el estudio de estabilidad de suelo analizado en la medida anterior.</p> <p>- Unidad hidrogeológica UH1: Recogiendo lo descrito por el consultor para esta unidad se puede señalar que <i>“Según las características de los testigos de los sondajes de investigación el material sedimentario se caracteriza por presentar gravas gruesas con arena polimíctica y presencia de bolones ocasionales de mayor tamaño (...). Las gravas, las cuales son subangulares a subredondeados, están compuestas por clastos andesíticos, riolíticos, graníticos, granodioríticos y calcáreos. Las arenas están compuestas por granos de cuarzo y feldespatos principalmente”</i>. Este indica que utiliza cinco sondajes de investigación en el área próxima a la subsidencia, sin embargo, el nombre de los sondajes coincide con el nombre de los sondajes de la testigoteca de Planta Pedro Aguirre Cerda del mismo titular, y que fueron utilizado en el estudio de estabilidad de suelos analizados en la medida anterior. Podría tratarse de un alcance de nombres, sin embargo, de haber hecho sondajes de investigación para este estudio por parte del titular, hubiera sido esperable que los mismo se hubieran presentado en el estudio de estabilidad de suelos. Finalmente, para esta unidad concluye lo siguiente: <i>“Las características principales del acuífero son de un material de grava de baja consolidación, de mala selección y alta permeabilidad”</i>.</p> <p>- Unidad hidrogeológica UH2: Es la unidad hidrogeológica que subyace al acuífero sedimentario y aflora en la superficie colindante al acuífero, es decir en la ladera de la quebrada oeste. Esta unidad se caracteriza por tener una potencia que varía entre los 5 a 70 m, en el sector de Alcaparrosa se observan potencias cercanas a los 23 m. Esta unidad en el valle se fue cubriendo con sedimento, mientras que queda expuesta en las laderas.</p> <p>- Unidad hidrogeológica UH3:</p>	
--	--	---	--



	<p><i>“La unidad UH-3 representa la unidad más importante en profundidad dado que la presencia de estructuras o fallas podrían actuar como vías preferenciales para el flujo de agua subterránea la cual proviene desde el acuífero del río Copiapó. Las estructuras se caracterizan como zonas de roca fracturada con o sin presencia de óxidos de fierro, con rellenos arcilloso, salbanda y con un RQD moderado a bajo de <40%”.</i></p> <p>- Unidad hidrogeológica UH4: <i>“Esta unidad se presenta contigua y condicionada por la UH-3. UH-4 se define como la roca que ha sido afectada por la formación de las fracturas o fallas, es por esto, que la UH-4 presenta un espesor relativo dependiendo de la zona en que se encuentren las fallas. En los lugares de intercepción de fallas, la zona de daño es mayor que en las fallas que se encuentran sin dichas intercepciones”</i></p> <p>- Unidad hidrogeológica UH5: <i>“Unidad compuesta por un macizo rocoso con buena calidad, presenta un bajo grado de fracturamiento en ciertas zonas. Por lo general, su litología está compuesta por andesitas y brechas andesíticas, rocas que se presentan competentes a muy competentes. Es por esto, que la unidad UH-5 se subdivide en dos, UH-5A con un RQD 65-80% con un bajo fracturamiento y la unidad UH-5B con un RQD 80-100% con un muy bajo grado de fracturamiento”</i></p> <p>En el registro 68 se puede observar una gráfica que detalla la distribución de las unidades hidrogeológicas recién explicadas.</p> <p>Propiedades Hidráulicas:</p> <p>A continuación, se presentan las propiedades hidráulicas analizadas para el modelo:</p> <p>- Pruebas de bombeo y permeabilidad del acuífero: Según los estudios considerados por el consultor, se indica que las pruebas de bombeos de los pozos de influencia directa de socavón (Pozo 8, Pozo 12 y Pozo 14) tiene un rango de 100 a 156 l/s. Mientras que la permeabilidad en</p>	
--	---	--



	<p>estos mismos pozos varia de 18 a 137,4 m/d, lo que se traduce en una transmisividad de 1,300 a 12.900 m²/d.</p> <p>- Pruebas Packer de permeabilidad de la roca:</p> <p>Según las pruebas de packer y ensayos de Lefranc hechos durante la perforación del sondaje HA-02, se determinó que la permeabilidad en las principales fallas y zonas de alto fracturamiento responde a valores de 1,3E-02 y 5,4 E-02 m/día. Mientras que en la zona meteorizada la permeabilidad de 1.0E-01 m/día y en la unidad de roca fresca el valor de este parámetro es 8,6 E-07. En el registro 69 se muestra un detalle de cada uno de los valores por pozo.</p> <p>El consultor destaca que hay una amplia diferencia entre la permeabilidad de los sedimentos del acuífero (1,0 E-04 m/día) y la roca fresca que tiene un valor muy bajo (8,6 E-07 m/día). Señala, además, que la diferencia de permeabilidad es un factor clave para conocer la conexión hidráulica entre el acuífero del Copiapó y las obras de MINA ALCAPARROSA. Las unidades UH2 y UH3 tienen una permeabilidad media.</p> <p>El consultor señala que, en una visita a la mina subterránea en el año 2019, el personal indicó del goteo y flujo asociado a la estructura de la mina subterránea, lo que confirma que lo observado en las pruebas packer realizadas respecto del flujo de agua confirmaría que las fracturas están limpias sin relleno, lo que facilita el flujo del agua.</p> <p>En el registro 70 se presenta un resumen de las unidades hidrogeológicas y su permeabilidad. Se observa que los valores de permeabilidad disminuyen conforme se profundizan las unidades hidrogeológicas.</p> <p>- Transmisividad en el área de estudio:</p> <p>El consultor destaca los valores de transmisividad que se indicaron anteriormente y los asocia a los distintos pozos cuando estos se desarrollaron (10, 12, 14, 15 y 16), sin que se indique el año de esto. Los pozos 10, 15 y 16 están al norte del Alcaparrosa y el pozo 12 y 14 está al sur de la minera. Los valores de transmisividad (por agotamiento) son los siguientes: pozo 10, 26.000 m²/día; pozo 12, 12.900 m²/día; pozo 14, 2.600 m²/día; pozo 15, 7.800 m²/día; y pozo 16, 22.940 m²/día. Respecto de un</p>	
--	---	--



grupo de pozos que está al sur este de Alcaparrosa, se calculó las siguientes transmisividades: pozo 2, 12,500 m²/día; pozo 3, 10.800 m²/día; pozo 4, 15.800 m²/día; pozo 5, 19.600 m²/día; y pozo 6, 21.500 m²/día. Llama un poco la atención que el pozo 14 estando en el mismo sector que el resto de los pozos de sur este, tenga valores de transmisividad tan diferentes. En el registro 71 se puede observar la distribución geográfica de los pozos acá detallados.

Geometría del Sistema:

- Geometría del acuífero:

Para poder describir la geometría del acuífero, se construyeron 3 perfiles esquemáticos en el área de estudio, la distribución de los perfiles se ubica en la zona norte (A-A'), centro (B-B') y sur (C-C') del área de estudio demarcada en color azul (registro 72). El consultor indicó que la ubicación de estas trazas se ha elegido con el objetivo de abarcar la mayor cantidad de información en la cuenca y así poder conceptualizar el comportamiento del acuífero sedimentario ubicado en el área de estudio.

De la información obtenida se puede entregar el siguiente resumen:

Perfil	Nivel freático (m)	Profundidad Acuífero (m)	Tipo de composición
A-A'	73,9	NW: 180 SE: 140	Mayor porcentaje grava y arenas
B-B'	71,4	N: 140 S: 71	Mayor porcentaje: gravas y arena, y gravas, arena y arcilla.
C-C'	55 (pozo Carola)	N: 48 S:53	Mayor porcentaje:



					bolones, grava y arena, y grava y arena (pozo Carola)	
		<p>Dirección de flujo de agua subterránea y piezometría:</p> <p>De lo levantado por el consultor, se puede indicar que la dirección del flujo de agua subterránea en el área de estudio tiene dirección sur a norte, tal como se evidencia en otros estudios. Respecto de los niveles piezométricos el consultor realiza una comparación entre los niveles pre socavón (junio 2022) y post socavón (enero 2023), lo cual se puede ver en registro 73. Se observa que todos los pozos indicados en las gráficas disminuyeron sus niveles en enero de 2023, lo cual también se ha observado en otros sistemas de monitoreos (Dashboard DGA).</p> <p>Se indica en el informe lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>“Entre los pozos 6 y 3 se observa un gradiente hidráulico de 0.006 para la sección de entrada, mientras que para la sección de salida el gradiente hidráulico disminuye a 0.0039.</i> - <i>En la zona centro, el gradiente hidráulico se conserva en 0.0039 específicamente entre los pozos 8 y 12. Este gradiente se observa cercano a la Mina Alcaparrosa”.</i> <p>De la revisión de estos antecedentes, es posible señalar que el efecto del socavón es evidente en los pozos de monitoreo que están en las inmediaciones de este.</p> <p>Comportamiento de niveles entorno a la Mina Alcaparrosa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Introducción: <p>El consultor en primera instancia indica que desde que se realizan los monitoreos de los pozos asociados a CCMOS (1993) se pueden identificar cinco etapas del comportamiento de acuífero:</p>				



		<ul style="list-style-type: none"> - <i>“Etapa #1 – Periodo 1993 a mayo de 2013: Se observa un descenso continuo y prolongado en los niveles freáticos del acuífero el cual paso de niveles muy someros de <10 metros bajo el nivel de suelo (m b.n.s.) registrados en los pozos como #2, #3, #4, #5 y #6 en 1993 a niveles >120 m b.n.s. en 2013 con una tasa promedio de 0.6 m/mes. El descenso fue resultado de la sobreexplotación del acuífero.</i> - <i>Etapa #2 – Periodo mayo de 2013 a febrero de 2020: Con la reducción y posterior cese del bombeo de los pozos de CCMO, se observó un ascenso lento de los niveles hasta el 2016. Después de los eventos de precipitaciones en la alta cordillera y en la ciudad registrados en 2015, se observó un fuerte aumento en los niveles debido a la recarga producida por este evento. Hasta febrero de 2020, se registró una recuperación en los niveles llegando hasta los 44 m b.n.s. (pozos #8 y #12), con una tasa de ascenso promedio de 0.7 m/mes. Se identifico que los niveles son más estables durante los meses de marzo y abril de 2020.</i> - <i>Etapa #3 – periodo mayo 2020 a julio 2022: Después de un par de meses con un nivel más estable por el agotamiento del efecto de la recarga de las precipitaciones de 2015 se observa nuevamente un descenso en los niveles del acuífero por la sobre demanda de agua subterránea en la cuenca. Durante julio de 2022 los niveles mostraron una nueva caída de >15 m con niveles entre 61 y 64 m b.n.s. registrados en los pozos cerca la mina con una tasa promedio de descenso de 0.6 m/mes.</i> - <i>Etapa #4 – periodo fin julio de 2022 a 19 de octubre de 2022, se observa una aceleración en el descenso generado por el evento del socavón del día 30 de julio de 2022 y la generación de una conexión hidráulica directa del acuífero con la mina en el sector de Gaby-04. Los niveles registraron una caída de 5 a 6 metros aprox. con niveles registrados en el sector de la mina entre 67 y 68 m b.n.s. con una tasa de descenso promedio de 2.0 m/mes (énfasis agregado).</i> 	
--	--	---	--



		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Etapa #5 – periodo 20 de octubre de 2022 a marzo de 2023. Posteriormente a las medidas del sellado del sector Gaby-04 a través de la construcción de 3 muros en los niveles 200, 270 y 290 se observa un estancamiento en los descensos de los pozos en el sector de la mina registrando niveles entre 70 y 72 m b.n.s. en marzo de 2023. Durante este periodo hay una recuperación parcial en los niveles de pozos de monitoreo en el acuífero ubicado hacia el sur del socavón (pozos #8, #12 y #14) hasta 9 de diciembre de 2022 para luego retomar la tendencia al descenso de la condición pre-socavón, con una tasa de descenso promedio de 0.5 m/mes”.</i> <p>En relación con las etapas descritas, solo indicar que la descripción de la etapa 5 no coincide con el comportamiento de los pozos registrados en el dashboard de la DGA, ya que posterior al socavón y a la instalación de los muros en los distintos sectores del caserón Gaby la tasa de descenso promedio no se ha mantenido en 0,5 m/mes sino más bien se ha pronunciado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Red de monitoreo Mina Alcaparrosa: <p>La red de monitoreo pozos de Mina Alcaparrosa se detalla en el registro 74 de este informe.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Catastro de pozos de terceros del valle entre Paipote y Nantoco : <p>Según el consultor, el catastro se llevó a cabo entre el sector de Paipote por el norte de la Mina Alcaparrosa y Nantoco por el sur. De los resultados del catastro, se observa que visitaron 73 puntos de los 105 identificados en estudios anteriores, encontrándose 6 pozos adicionales no registrados en estos estudios. Del total de puntos visitados, se logró catastrar finalmente 37 pozos.</p> <p>Según lo indicado por el consultor la mayoría de los pozos del área se identifican como pozos de bombeo, habilitados o deshabilitados, lo que evidencia una escasez de pozos dedicados solo al monitoreo de los niveles estáticos del acuífero. Por lo tanto, concluye que <i>“si bien existe una cantidad importante de pozos de terceros en el valle del río Copiapó en torno a mina</i></p>	
--	--	---	--



		<p><i>Alcaparrosa, se tiene escasa información sobre los niveles estáticos del acuífero que permitan aportar datos adicionales a la interpretación del comportamiento del acuífero del río Copiapó. Por lo anterior, para efectos del estudio hidrogeológico del acuífero, se trabajará exclusivamente con la información obtenida de los pozos de monitoreo de la Mina Alcaparrosa”.</i></p> <p>- Comportamiento histórico del acuífero (Pre-socavón):</p> <p>En el informe se hace un análisis del comportamiento del acuífero entre 1993 y julio del 2022, detallando el comportamiento de este, aguas arriba y aguas debajo de Alcaparrosa para el mismo periodo de tiempo.</p> <p>En el registro 75 se detalla el hidrograma de los pozos de monitoreo entre el 1993 y junio 2022, en el que se puede ver el comportamiento del acuífero durante este periodo. Si bien, el consultor identifica tres periodos en el hidrograma, es posible ver cuatro etapas distintas, a saber: un periodo entre febrero 1993 y febrero 2004 donde se aprecia una disminución de los niveles de manera gradual y que se profundiza entre febrero 2001 y febrero 2004; luego una segunda etapa entre febrero 2004 y febrero 2013 donde hay una drástica disminución del nivel freático con un promedio de 8,0 m/mes; luego hay un periodo entre febrero 2013 y febrero 2020 que se divide a la vez en dos etapas, una hasta febrero 2017 en el que los niveles se mantuvieron estables, para luego hasta febrero 2020 hasta volver a ascender a niveles de febrero 2004; por último, un cuarto periodo de febrero 2020 hasta febrero 2022 donde se observa un nuevo descenso de los niveles freáticos con una tasa de descenso un poco menos pronunciada que el segundo periodo acá descrito.</p> <p>En el caso del comportamiento del acuífero para el periodo 1993 y 2022 aguas abajo o aguas arriba de Mina Alcaparrosa, tiene por cada uno un comportamiento similar a lo descrito en el párrafo anterior. Se observan algunas variaciones menores, pero es porque para cada uno de estos segmentos se utiliza un número de pozos menor que los que se consideraron para el análisis general.</p> <p>- Comportamiento del acuífero por efecto socavón:</p>	
--	--	---	--



	<p>En el registro 76 se presenta la gráfica del comportamiento de los niveles de los pozos posterior al socavón y hasta octubre 2022. Se puede apreciar claramente cómo se nota un descenso marcado posterior al evento con pendientes de descenso muchas pronunciadas que lo que venía pasando previo al incidente del socavón. En la gráfica el consultor también muestra el comportamiento del ingreso de ingreso a la mina previo y post socavón y se observa que los valores pre evento eran del orden de los 25 l/s aproximadamente hasta el 21 de julio de 2022, momento que se comienza a producir un aumento llegando hasta los 350 l/s desde el 15 de agosto de 2022 aproximadamente. Este dato graficado por el titular es de máximas relevancia, toda vez que indica que al menos 9 días antes que ocurriera el socavón comenzó a aumentar el ingreso del agua al interior de la mina, por lo que el titular estuvo en conocimiento de este comportamiento “anormal” del caudal de ingreso, considerando que venía un comportamiento estable previo a esta fecha. Se observa que cuando ocurre el evento del socavón, ya estaba ingresando a la mina alrededor de 150 l/s, valor muy superior a los 25 l/s que se venían registrando, no obstante, no se identifica ninguna acción de mitigación por parte del titular.</p> <ul style="list-style-type: none">- Generación del cono de depresión por el efecto socavón a octubre 2022: <p>Según la estimación del estudio el cono de depresión tuvo un radio de 2,5 km, sin afectar los pozos del sur, como el pozo 9, ni los pozos del norte como el pozo 15. En el registro 77 se presenta una gráfica de la representación del cono en el área de estudio.</p> <ul style="list-style-type: none">- Efecto del sellado en los niveles del acuífero en el sector de Alcaparrosa: <p>En el estudio se presenta una gráfica (registro 78) a través de la cual el consultor define tres etapas o momentos para explicar el efecto del sellado de los niveles y su efecto en el acuífero. Un primer momento antes de la instalación de los sellos desde (28) julio 2022 hasta (16) octubre del mismo año, con una tasa de descenso de 1,7 a 2,1 m/mes. Un segundo momento, desde (16) octubre 2022 hasta (22) diciembre del mismo año donde se observa una recuperación parcial del pozo HA-01 y una estabilización del pozo 8 y 12. Y un tercer momento, desde (22) diciembre 2022 hasta (05)</p>	
--	--	--



marzo 2023, donde continúa el proceso de descenso de los pozos, pero ahora a una tasa menor de 0,3 a 0,5 m/mes.

Estas Superintendencia con la finalidad de conocer el comportamiento de estos pozos para el mismo periodo de tiempo que analizó el titular, revisó los antecedentes, según los registros entregados por el titular y además se incluyeron los registros posterioridad a marzo 2023 que es el último mes considerado en el estudio, así se incluyeron los registros hasta la marzo del 2024.

Las gráficas de los registros de niveles presentados por el titular se presentan en el registro 79, 80, 81, 82 y 83 donde se grafican por separados los mismos periodos que indica el consultor (ver registro 78), pero se agregan además el comportamiento de los niveles de los pozos 8, 12 y HA-01 en dos nuevos periodos, desde marzo 2023 hasta septiembre 2023, y desde septiembre 2023 hasta marzo 2024 (registros 82 y 83). Estos últimos periodos se separan porque la reportabilidad de septiembre 2023 a marzo 2024 no fue diaria sino semanal. Finalmente se presenta un gráfico con todos los registros desde julio 2022 hasta marzo 2024 (registro 84).

En cada uno de los gráficos se indican las ecuaciones de las líneas de tendencia, de manera de tener un registro de las tasas de descenso (pendientes de las ecuaciones) y así compararlas por cada periodo evaluado. Las pendientes descenso por cada pozo y en cada periodo se presentan a continuación:

Pozo	Jul.22- Oct.22	Oct.22 - Dic. 22	Dic. 22 - Mar.23	Mar.23 – Sep.23	Sep. 23 - Mar. 24
HA-01	0,081	-0,0069	0,02	0,0043	0,0005
8	0,0766	0,0099	0,0228	0,0143	0,0365
12	0,0843	0,0028	0,0219	0,011	0,0381

Como puede observarse, las mayores tasas de descenso se obtienen en el periodo julio 2022 y octubre 2022, momento en que ocurre la subsidencia en Mina Alcaparrosa, lo cual es esperable por la diferencia de nivel, por ejemplo, en el pozo 12 el 27 de julio era 60,92, mientras que el 22 octubre de 2022 el nivel era de 68,34, es decir, 7,32 metros o 2,44 m/mes.



	<p>Luego de la instalación de los sellos y hasta diciembre 2022, se observa una disminución de las tasas de descenso, mostrando recuperación en el caso del pozo HA-01 (pendiente negativa), mientras que el pozo 8 varió en dos meses en 0,67 metros, esto es una tasa de 0,335 m/mes; mientras que para el pozo 12 fue de 0,105 m/mes, valor mucho menor que los 2.44 m/mes de descenso del periodo anterior. Esto se traduce en el efecto generado por los sellos de los niveles en el sector Gaby de Mina Alcaparrosa.</p> <p>Sin embargo, a partir de diciembre 2022 y hasta marzo 2023, mes hasta el que llega el estudio que está haciendo analizado, se retoma el proceso de descenso de los pozos aumentando las pendientes de todos los pozos, con tasas del orden de, en el pozo 8 de 0,805 m/mes y en el pozo 12 de 0,735 m/mes, lo que según indica el consultor se debe por el efecto de bombeo de los pozos del sector agrícola circundante al área de Mina Alcaparrosa.</p> <p>Luego en el periodo marzo 2023 y septiembre 2023, que no está considerado en el estudio, continúa el descenso de los niveles de los pozos, pero en orden de magnitud menor que en el periodo pasado, como puede observarse al ver las pendientes de las ecuaciones de las líneas de tendencia. Así el pozo 8 en este periodo tuvo una tasa de descenso de 0,493 m/mes, mientras que el pozo 12 fue de 0,418 m/mes.</p> <p>Finalmente para el periodo entre septiembre 2023 y marzo 2024, que tampoco está considerado en el estudio acá analizado, y que separó del último periodo, porque a partir de septiembre el titular comenzó a remitir los datos con frecuencia semanal y no diaria como lo venía haciendo, es posible constatar que se produce un aumento de las pendientes de descenso que si bien son menores al periodo post socavón e instalación de los muros, son mayores que el periodo de diciembre 2023 y marzo 2024 en los cuales el titular informó que aumentó por el bombeo del sector agrícola, considerando que este efecto debería mantenerse en el mismo orden para ambos periodos estivales. Así las cosas, es posible establecer para este periodo una tasa de descenso para el pozo 8 de 1,123 m/mes, mientras que para la tasa de descenso para el pozo 12 es de 1,143 m/mes.</p> <p>Las últimas tasas de descenso dan cuenta de una tasa que está por sobre lo que históricamente ha sucedido en el sector (0,6 a 0,7 m/mes), por lo datos expuestos por el consultor en el estudio, lo que resulta preocupante y podría</p>	
--	--	--



	<p>traducirse en una pérdida de efectividad de los muros instalados en los niveles del sector Gaby en Mina Alcaparrosa, no obstante es necesario, esperar para ver qué sucederá en los próximos meses y ver de qué manera el efecto del bombeo del sector agrícola podría la explicación del aumento de las tasas, sin embargo al comparar el periodo estival 2022-2023 con el mismo periodo 2023-2024 se observa que las magnitudes de las tasas son distintas lo que hace pensar que el factor de bombeo no sería la causa que explicaría el aumento de la tasa para el último periodo, y podría corresponder el impacto generado a la geomorfología del acuífero producto de la subsidencia ocurrida por la sobre explotación de caserón Gaby.</p> <p>- Análisis de la piezometría por efecto socavón:</p> <p>En este punto el titular hace un análisis detallado del comportamiento de los niveles piezométricos de los pozos considerado en el punto anterior, y los relaciona con los resultados de los sensores instalados en cada uno de los muros de sellado de los niveles del caserón Gaby. La conclusión a la que llega no difiere de la presentado en el punto anterior, y termina señala que hasta los últimos registros revisados (marzo 2023) se observa un aumento en la tasa descenso de los pozos que es menor a la tasa generada por el ingreso de agua a la mina (post socavón) lo que es verídico, no obstante el consultor no tuvo a la vista el resto del periodo porque el estudio se presentó en una fecha anterior, lo que no obsta a que esta Superintendencia sí lo pueda analizar como se hizo en el punto anterior.</p> <p>El titular también analizó el piezómetro de cuerda vibrante instalado en el pozo HA-02, del cual analiza los resultados, los cuales siguen el mismo patrón de los resultados de los piezómetros de los pozos evaluados anteriormente.</p> <p>- Comportamiento proyectado futuro de los niveles del acuífero sector Alcaparrosa:</p> <p>El estudio estima que para el año 2025 los niveles freáticos del sector del socavón retomarían la tendencia estimada del nivel proyectado que tendría el acuífero sin la ocurrencia del socavón (con una profundidad del nivel de aproximadamente 87 m b.n.s. Esta conclusión, si bien hace la proyección con los resultados que se tuvieron a la vista con la elaboración de este estudio, sin embargo, si consideramos los datos a marzo 2024 se observa que la</p>	
--	--	--



	<p>proyección podría ser superior a los 87 m.b.n.s, llegando los pozos 8 y 12 a 89 y 90 m.b.n.s respectivamente. De hecho, los pozos 2 y 5, que no fueron considerados en estudios, y que están en el radio de influencia intermedia del socavón a marzo 2024 ya están en valores de 81,42 y 83, 08, por lo que considerando de las tasas de descenso actuales podría llegar los 90 y 92 m.b.n.s.</p> <p>- Afloramiento en Mina Alcaparrosa</p> <p>Caudales medidos en sondajes: Respecto de las aguas que afloran dentro de la Mina Alcaparrosa el consultor levanta dos tablas (registros 85 y 86) con información entregada por CCMOS en el que detalla los tipos de sondajes con sus respectivos flujos de entrada de agua antes y después del sello instalado. Llama la atención que en la tabla del registro 85 el sondaje del sector Gaby 04 no tenga información del caudal antes del sellado, pero que después de este quede en cero, y que en los comentarios se reafirme esto, sin embargo, lo más llamativo es que se indica en la observación que en este sector se mantiene el goteo del techo y de los pernos de anclaje, por lo que indica que sobre este nivel había un flujo de agua.</p> <p>Conexión hidráulica de sondajes con el acuífero: El consultor describe el proceso actual de sellado de sondajes (inyección de resina) que utiliza la empresa, exponiendo un ejemplo, y señala que los sondajes que son perforados hacia zonas saturadas son vías preferenciales para el flujo de agua subterráneas, generando con ellos flujos de ingreso a la mina. Termina señalando en este punto que recomiendo el sellado de sondajes mediante lechada de bentonita y cemento.</p> <p>Caudales medidos por infiltraciones a través de estructuras: El consultor indica que durante una visita a terreno realizada entre el 27 y 31 de agosto de 2018 por parte de la empresa E-Mining Technology (EMT), en el marco de la confección de los modelos hidrogeológicos y geotécnicos de la mina Alcaparrosa desarrollados por VAI, se realizó una inspección del macizo rocoso del sector de Viviana (niveles 170, 290 y 345), Alcaparrosa Sur (niveles 270, 300, 350 y 390) y la Galería de Exploración Este (nivel 200). En el registro 87 se exhiben las observaciones que levantaron en dicho</p>	
--	--	--



	<p>momento. Se puede constatar que ya en 2018 en la galería de explotación del nivel 200 se advertía de agua que fluía por los sondajes, mientras que en el nivel 270 se observaba humedad en las intersecciones de discontinuidades. Por su parte, en el sector de Viviana nivel 170 se observó flujo constante por el techo del caserón.</p> <p>El consultor cierra este punto señalando <i>“Es esperable que las infiltraciones por estructuras a la mina disminuirán en el tiempo si los sistemas de estructuras interceptados no se encuentran conectados hidráulicamente al sistema de acuífero, lo cual podría ocurrir en el caso que se mantenga la tendencia de descenso del nivel del acuífero del río Copiapó, como ha sido la tónica posterior al año 2020. En el caso que no existe esta conexión, el agua que ingresará a la mina será solo producto del almacenamiento de agua en las estructuras y tenderá a reducirse en el tiempo a medida que se vayan drenando los sistemas estructurales que interceptan a las galerías o caserones”</i>, esta conclusión es algo errónea, al menos en su concepción, toda vez que el sistema actualmente está conectado hidráulicamente todo esto por el cambio en la geomorfología del acuífero y porque no hay ninguna certeza actualmente que el sellado con muros de los niveles del sector Gaby sean efectivos en el futuro, es más, los registros a marzo de 2024, como se indicó anteriormente, dan cuenta de un aumento de las tasas de descenso de los pozos, y por tanto, una pérdida de efectividad de los sellos. Como muestro de lo anterior, el propio consultor en el punto siguiente señala <i>“existe una infiltración proveniente del acuífero hacia la mina Alcaparrosa la cual se genera a través de los sondajes de exploración no sellados o por estructuras que se conectan con el acuífero”</i> (énfasis agregado).</p> <p style="text-align: center;">- Balance Hídrico</p> <p>El consultor detalla el balance hídrico en base a los eventos ocurridos desde el socavón, dividiéndolos en 3 etapas: pre-socavón (enero a julio 2022); efecto socavón (agosto a diciembre 2022); y post-sellado (enero a marzo)l 2023), considerando para cada caso las entradas y salidas respectivas y tal como dividió los periodos cuando hizo el análisis del comportamiento de los pozos. En el registro 88 se muestra una gráfica conceptual del balance hídrico por cada etapa.</p> <p>De esa conceptualización se establecen los siguientes resultados:</p>	
--	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Las entradas de flujo subterráneo varían en cada una de las etapas, así pre socavón el valor es 215,4 l/s, durante el evento es 203,7 l/s; y posterior al evento es 184,5 l/s, valores que se obtuvieron a partir de la ecuación de Darcy. - Los valores de descarga por bombeo son los mismos pre y durante el socavón 287,5 l/s, y bajan a 269,6 post sellado. - Las infiltraciones en Mina Alcaparrosa son las mismas pre y durante el socavón 16 l/s, mientras que aumentan post sellado a 17,9 l/s. - El flujo subterráneo de salida disminuye conforme cada etapa, así en la etapa pre socavón es de 147,22 l/s, durante el socavón es 122,2 l/s, y post sellado es 119,1 l/s. - Las infiltraciones por riego, las precipitaciones y aporte del río Copiapó en todas las etapas mantienen los mismos valores: 8,5 l/s, 6 l/s y 0 l/s respectivamente. - Las infiltraciones durante el socavón fue de 341 l/s. - La infiltración de los muros se estima en l/s. <p>Luego el consultor detalla cada una de las entradas y salidas del sistema, indicando por qué llega a los valores que fueron descritos recientemente. Al respecto hay destacar los valores que detalla cuando calcula el caudal de infiltración de la mina ya que este solo llega hasta julio de 2022 (registro 89) y no lo extiende hasta la menos marzo del 2023 que es el mes hasta el cual analiza el comportamiento de los niveles piezométricos. Esto es relevante porque luego de que ocurre el evento del socavón los caudales de infiltración aumentan considerablemente como puede apreciarse en el registro 90.</p> <p>Finalmente, como cálculo del balance hídrico el consultor presenta la tabla que se muestra en el registro 91. El consultor destaca que <i>“el ingreso de agua remanente generada por el efecto del socavón se estima en caudales cercanos a 0.1 l/s (julio 2023), correspondiente a filtraciones a través de los muros. Asimismo, las infiltraciones hacia la mina Alcaparrosa se estiman en 17.9 l/s a fines de julio de 2023. El aumento en el flujo entrante (comparado con la condición pre-socavón de 16 l/s) podría deberse al aumento del nivel piezométrico en el entorno de la mina, producto de la recuperación después del sellado”</i> (énfasis agregado). Como puede observarse el consultor se equivoca al señalar que las infiltraciones hacia Mina Alcaparrosa se estiman en 17,9 l/s, porque los propios datos</p>	
--	--	--	--



	<p>entregados por el titular, con lo cual se graficó el registro 90 de este informe, muestran que en junio de 2023 el caudal de ingreso es del orden de 53,82 l/s, por lo que el cálculo del balance hídrico es errado en cuando a las infiltraciones a Mina Alcaparrosa. En el registro 91 se puede ver en amarillo el valor de infiltración de Mina Alcaparrosa que utiliza el consultor, el cual no es efectivo ya que para junio de 2023 la infiltración fue de 53,82 l/s. Por lo tanto, la diferencia de entrada – salida post sello es 246,62 l/s y no 210,7 l/s, es decir, el flujo saliente post sellado es mayor que el flujo saliente pre socavón, lo que verifica que la configuración de la geomorfología del acuífero a raíz de la subsidencia tiene un efecto concreto al aumentar la descarga de agua desde el acuífero.</p> <p>- Hidroquímica</p> <p>En el estudio el consultor hace una descripción química del agua, considerando los periodos analizados en los puntos anteriores, es decir, previo al socavón (2015 -2018), caracterización química del acuífero versus la roca del 2022 y la caracterización química del acuífero versus la roca del 2023. Luego analiza el comportamiento de los parámetros en el tiempo para terminar con un análisis isotópico del acuífero.</p> <p>En relación con cada análisis realizado, se presentan las conclusiones a las que arriba el estudio:</p> <p>Análisis previo socavón (2105-2018): <i>“Los resultados indican que las infiltraciones en las labores más antiguas, ubicadas cerca del límite oeste del valle (bajo la cadena de cerros), son representativos del flujo de agua subterránea presente en zonas de fracturas y fallas mayores. Por otra parte, a medida que el desarrollo de la mina subterránea se va acercando al acuífero, la calidad del agua cambia; mostrando un aumento en el bicarbonato y una reducción del sulfato y conductividad eléctrica”.</i></p> <p>Análisis caracterización química del acuífero versus roca 2022: <i>“A pesar de que existen ciertas variaciones en las características químicas de las muestras, estas representan el mismo tipo de agua en comparación al registro de 2015 y 2018, que corresponde a sulfatada-cálcica/sódica con algunas variaciones en las concentraciones de cloruro en los Pozos 8, 15 y 16, y variaciones de sodio en los Pozos 8 y 15 que se restringen a aguas del tipo clorurada-sódica”.</i></p>	
--	--	--



		<p>Análisis caracterización química del acuífero versus roca 2023: <i>“Los parámetros registrados en 2015 y 2018, presentan las mayores concentraciones de nitrato en comparación a los otros dos periodos registrados, alcanzando valores que van desde los 3 a 72 (mg/L). Al igual que el nitrato, el sodio presenta altas concentraciones alcanzando un valor máximo de 306 (mg/L). Las muestras registradas en noviembre 2022 presentan las mayores concentraciones de sulfato (1,615.6 mg/L), calcio (471.1 mg/L), bicarbonato (246.0 mg/L) y cloruro (493.0 mg/L), correspondiendo al periodo con las concentraciones más elevadas de los parámetros químicos. Las muestras registradas en enero 2023 presentan valores levemente menores de los parámetros correspondientes a los iones mayores del registro noviembre 2022”.</i></p> <p>Análisis del comportamiento de los parámetros en el tiempo: <i>“En términos generales, no se muestran grandes variaciones de los parámetros químicos posterior al evento del socavón”.</i></p> <p>Análisis isotópico del acuífero: <i>“Como parte del estudio de 2015, Xterrae tomó muestras para análisis de isótopos ambientales (contenido de deuterio versus oxígeno-18) para las 5 muestras (A1 a A4 y A6). En el caso de las muestras A1, A2 y A6 estas son muy similares a las muestras del acuífero de río Copiapó, en cambio las muestras A3 y A4 están más enriquecidas en O18 y deuterio, siguiendo la tendencia evaporativa mostrada por las aguas superficiales y subterráneas colectadas en distintos sectores de la cuenca. Esto relaciona las aguas someras y profundas, con un origen común y generándose procesos de diferenciación isotópica dados por las variaciones en los tiempos de infiltración hacia el acuífero y las estructuras”.</i></p> <p>En general es posible señalar que no se observa un efecto en la calidad química del agua productor del socavón en el acuífero del río Copiapó, no obstante, el análisis de cada uno de los parámetros en específicos se abordará en el informe de fiscalización ambiental que abordará la medida provisional MP-062-2022.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discusión 	
--	--	--	--



	<p>Previo a las siguientes etapas del estudio, el consultor señala que es necesario revisar algunos aspectos que son relevantes previo a la modelación, principalmente los factores que influyen en el grado de conexión hidráulica entre la mina subterránea y el acuífero.</p> <p>En este orden de idea, el consultor destaca los más relevantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La presencia e intercepción de estructuras mayores durante el desarrollo de la mina - El nivel freático del acuífero y su relación con el flujo pasante. - Conexión hidráulica generada por la perforación de sondajes de exploración durante el desarrollo de la mina. <p>Agrega a estos el evento el socavón y lo incorpora como un nuevo elemento de conexión con el acuífero, que debe ser considerado para efectos de los análisis y proyecciones que se hagan. Esta consideración, viene a validar lo que se ha dicho durante el análisis de esta medida, que la geomorfología del acuífero cambió para siempre producto de la subsidencia causada por la sobre explotación del sector Gaby en Mina Alcaparrosa, generando un impacto que podría ser irreparable desde el punto de visto geomorfológico, porque el acuífero jamás podrá recuperar su geomorfología, lo que genera un nuevo escenario desde el punto de visto hidrogeológico del área y para el futuro.</p> <p>Volviendo a estudio, en el registro 92 se muestra una gráfica mediante la cual el consultor esquematiza conceptualmente la condición hidrogeológica de la Mina Alcaparrosa.</p> <p>Respecto de la presencia e intercepción de estructuras, el consultor <i>“Históricamente, el desarrollo de la mina subterránea ha generado una cierta desconexión con el sistema acuífero, generando un halo de despresurización en el entorno de las labores. No obstante, el efecto del socavón, además de generar una conexión hidráulica directa con la mina subterránea, también permitió un aumento del nivel piezométrico en el entorno de las labores, sobre todo después de haberse concretado la inundación del sector Gaby, lo cual ha sido evidenciado por los aumentos en los niveles piezométricos observados en los sensores HA-02. Por lo tanto, es esperable que el aumento del nivel en el entorno de la mina también pueda generar un incremento en los caudales de ingreso por estructuras, conformando un escenario de</i></p>	
--	--	--



	<p><i>mayores flujos respecto a la condición pre-socavón". Cabe señalar que el consultor, primero reconoce nuevamente la conexión hidráulica entre el socavón y la mina Alcaparrosa, y luego sostiene que se comprueba un aumento de los niveles piezométricos, considerando solo el comportamiento del pozo HA-02, no obstante, este pozo es el único que tiene este comportamiento, ya que los demás muestran una condición que demuestra la disminución de los niveles piezométricos.</i></p> <p>En cuanto al nivel freático del acuífero y su relación con el flujo pasante, el consultor presenta una imagen (registro 93) en la cual se graficaron los flujos pasantes máximo, mínimo y promedio y su relación con la profundidad del acuífero. No queda claro desde dónde construye la gráfica, pero los valores de flujo pasante deberían condecirse con los valores de flujo subterráneo que se utilizaron para describir la carga y descarga del sistema. Respecto de los niveles piezométricos en cada periodo, es importante que señalar que posterior a marzo de 2023, donde el consultor indica que el nivel está en 71 m.b.n.s, los niveles se han profundizado aún más, llegando a marzo de 2024 79,8 (pozo 8), por lo tanto, el flujo pasante actualmente también ha disminuido.</p> <p>Sobre la carga hidráulica generada por los sondajes el consultor nuevamente destaca la importancia de la vía de ingreso del agua a través de los sondajes, y como lo señaló anteriormente, propone cambiar el método de sellado que ha estado aplicando la empresa (CCMOS), a lechada de bentonita y cemento.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Influencia a largo plazo asociada al evento socavón <p>Niveles: el consultor sostiene lo siguiente <i>"Hacia el término del año 2022 se logró el control en términos de descensos en el acuífero asociados al evento socavón y, actualmente, se observa que las tendencias en las tasas de descenso son muy similares a las tasas de descenso producidos por la sobredemanda del acuífero a julio de 2022 (pre-socavón)"</i> (énfasis agregado). Como se dijo anteriormente, esto es erróneo toda vez que las tasas de descenso posterior al sellado de los muros, a marzo 2024, han tenido un comportamiento mayor que previo al socavón.</p> <p>Hidroquímica: en cuanto a este componente, el consultor reafirma lo señalado anteriormente cuando se describió la situación según periodo, y</p>	
--	---	--



	<p>propone evaluar en detalle una eventual afectación futura de la calidad del agua con lo siguiente:</p> <p><i>“La perforación e instalación de un total de 2 pozos de monitoreo ubicadas aguas abajo del socavón para realizar un monitoreo e identificar cualquier cambio en la calidad de agua del acuífero asociado con la zona de mezcla del socavón”.</i></p> <p><i>“Desarrollar un modelo geoquímico para evaluar el impacto potencial en la calidad de agua del acuífero del río Copiapó por la interacción del agua en el sector de inundación del socavón”.</i></p> <p>Sistema de drenaje mina: el consultor sostiene lo siguiente: <i>“Cabe destacar que a futuro se debiese trabajar en el sello casi total de las infiltraciones provenientes de los muros del sector Gaby, por lo que el sistema de drenaje solo tendría que manejar las infiltraciones provenientes desde el macizo rocoso y para lo cual la capacidad instalada de bombeo excede esa demanda.”</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Conclusiones <p>Las conclusiones a las que llega el estudio son básicamente las mismas a las que llegan por cada capítulo que realiza y que han sido revisadas y observadas durante la revisión del cumplimiento de esta medida. No hay una conclusión global que recoja en su conjunto a las conclusiones por cada ítem, sino más bien hace un resumen de las conclusiones importantes.</p> <p style="text-align: center;">II. Actualización Modelo Numérico Hidrogeológico Mina Alcaparrosa</p> <p>Considerando que en el estudio anterior se detalló el modelo conceptual hidrogeológico esta revisión se centrará en la construcción del modelo, en s calibración, el escenario de simulación, discusión y conclusiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construcción del modelo <p>En síntesis, se puede señalar que el modelo fue construido basado en las unidades hidrogeológicas y sus propiedades, geometría, piezometría, balance de aguas definido por el modelo conceptual hidrogeológico</p>	
--	---	--



		<p>desarrollado por VAI durante 2023. El programa utilizado para la construcción del modelo, por lo óptimo de código que ofrece es el MODFLOW-USG. La plataforma que se eligió para hacer correr el modelo fue Groundwater vista versión 8.0</p> <p>- Dominio del modelo y discretización espacial El consultor para la definición del área es la misma que se definió en el modelo conceptual, 5,8 km al norte y al sur desde Mina Alcaparrosa, y al este y oeste se utilizó la línea divisora de las aguas de las laderas laterales. Se indica por parte del consultor que la discretización espacial del dominio de modelación se realizó considerando representar de manera óptima las características geológicas, unidades hidrogeológicas y el fenómeno de flujo en el sector. Para los sectores externos a la mina se utilizó una grilla de 80mx80mx32m, mientras que para la mina la grilla utilizada fue de 10mx10mx32m. Los límites del modelo son los siguientes: coordenadas Este (m) min 372,518 y max 378,368; Norte (m) min 6.956.018 min 6.966.418 max, cota 8m.s.n.m) min -190 max 514 (sistema PASAD56). Se emplearon 4 niveles de refinamiento en el largo y ancho de la celda, con los siguientes tamaños: Nivel 1: 80 m x 80 m; Nivel 2: 40 m x 40 m; Nivel 3: 20 m x 20 m; y Nivel 4: 10 m x 10 m.</p> <p>Debido a las diferencias de cotas entre la superficie topográfica del sur y norte del modelo, se detectó que algunas celdas colindantes no tenían un traslape suficiente para garantizar una buena estabilidad numérica. Para abordar esto, se decidió modificar el espesor de las celdas con las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las celdas colindantes deben tener un traslape superior a un 30%. • El espesor de las celdas debe ser mayor a 16 m. • No se debe modificar celdas con cotas a partir de 290 m.s.n.m o inferiores. Esta restricción se establece para asegurar una representación adecuada de las dependencias de la mina en el modelo. <p>- Asignación y discretización de unidades hidrogeológicas modelo RQD sector mina Alcaparrosa.</p> <p>Para ello el consultor utiliza la información de la clasificación de las unidades hidrogeológicas que definición en el modelo conceptual que se analizó en el punto anterior y que puede revisar en el registro 93 de este informe. En la</p>	
--	--	--	--



	<p>imagen del registro 94 se muestran los distintos modelos de bloques de RQD incluyendo una discretización y la reclasificación de las unidades hidrogeológicas.</p> <p>El consultor señala que la geometría de la grava y la roca meteorizada fue construida en base a la unificación de 3 fuentes, el modelo de gravas de Alcaparrosa proporcionado por CCMO, el modelo de gravas de Candelaria y el modelo de gravas de la mina Santos. El resultado es la figura d) del registro 94 de este informe.</p> <p>El consultor señaló que fue necesario</p> <p>Finalmente, indica que en el caso de la zona meteorizada se consideró que las celdas que comparten clasificación de unidades rocosas y UH-2, mantienen esta última por la mayor conductividad hidráulica de roca meteorizada, sin señalar por qué se descarta las de las unidades rocosas. A su vez, las celdas sin información de RQD en las zonas inferiores y el sector oeste del modelo de bloques fueron asignadas a la unidad de roca de muy bajo fracturamiento (UH -5B), sin que tampoco se justificó el por qué de esta decisión.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Asignación y discretización de unidades hidrogeológicas sector exterior En este caso, lo que se hizo en el estudio fue extender las unidades de contacto de grava, las zonas meteorizadas y las unidades de rocas hacia el exterior, dado que el modelo considera los bloques RQD del entorno de Mina Alcaparrosa. Al igual que en el caso de la mina, se construyeron grillas con modelos de bloques para las áreas externas, lo que se puede observar en el registro 94. - Representación de unidades en el modelo numérico <p>Dado que se trata un modelo numérico de flujo saturado, la representación de unidades hidrogeológicas ubicadas en la zona no saturada no contribuye, ni condiciona los resultados de las simulaciones. A partir de esto, la zona sobre el nivel freático se simplificó a través de la extensión de las celdas pertenecientes a la capa 1 hasta la superficie topográfica.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Condiciones de borde 	
--	---	--



	<p>Las condiciones de borde identificadas por el consultor corresponden al detalle de las cargas y descarga a ingresar al modelo, las cuales, se encuentran detalladas en el modelo conceptual analizado en el punto anterior.</p> <p>Respecto del no flujo, corresponde a las áreas de borde externo del área modelada y se le asignó valor cero numéricamente ya que estas no son carga ni descarga para el modelo.</p> <p><u>Recargas</u> Río Copiapó: en síntesis, se consideró una baja condición de conexión entre el río y el acuífero, por la condición propia de este.</p> <p>Flujo subterráneo: se determinó que el flujo pasante de entrada tiene una relación directa con las lluvias en alta cordillera, ya que como se explicó en el modelo conceptual hay una directa relación entre las precipitaciones en esta zona con la recarga del acuífero en esta área, prueba de ello fueron los eventos meteorológicos del 2015 y 2017. Se consideró el aporte de la unidad hidrogeológica UH-1, descartando los aportes de las otras unidades por el escaso aporte reflejado en la baja permeabilidad que tienen (ver registro 70 de este informe).</p> <p>Cabe destacar lo siguiente por el consultor: <i>“En cada período, se varió el caudal que representa el flujo pasante de entrada al modelo con el propósito de reproducir la tendencia general observada en los niveles de agua de los pozos de Alcaparrosa. Esta variación del caudal se ajustó en función de los posibles valores de permeabilidad según el modelo conceptual, así como los datos de bombeo de extracción proporcionados por Compañía Contractual Minera Ojos del Salado (CCMO) y Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC) Además, se tuvieron en cuenta las estimaciones de extracción de mineras de terceros de acuerdo con el modelo conceptual, y las extracciones agrícolas estimadas por parte de Hidromas”</i> (énfasis agregado). Lo primero que llama la atención es que la variación de caudal se haya ajustado según las permeabilidades del propio modelo, lo cual resulta al menos cuestionable metodológicamente, ya que se trata de una variable que el propio consultor ingresar al modelo, por lo que parecer un ajuste acomodaticio para fines que persigue. Lo segundo, es que los datos de bombeo de ambas empresas, deben ser datos de fechas anteriores al 2017, dado que ambas dejaron de utilizar los pozos de extracción de agua para fines productivos desde ese año</p>	
--	--	--



	<p>aproximadamente, y en el caso de CCMOS, solo extrae el agua que infiltra en la mina por la regla establecida la RCA N°158/2017.</p> <p>Recarga lateral: se le asignó un bajo valor, dado que el aporte de las quebradas laterales es escaso para el sistema.</p> <p><u>Descargas</u></p> <p>Descarga por flujo subterráneo: se utilizó la condición de borde de tipo drain (dren) , para representar las variaciones de flujo en el área norte. Así, se optó por posicionar drenes situados en el fondo de la unidad de gravas cuya conductancia se hizo variar hasta lograr reproducir las variaciones de nivel observadas en los pozos del área de estudio, como en los pozos del norte del modelo, en Paipote (fuera del área de estudio).</p> <p>Descarga por cavidades, caserones y galerías: modelar el ingreso de agua por cavidades, caserones y galería es uno de los principales objetivos que tuvo el modelo en estudio. También se utilizaron celdas en condición de borde tipo drain (dren) para representar cavidades y galerías, siempre y cuando estas representen más del 51% de cada celda. Indicó que el “stage” fue definido para el punto más bajo de la celda, sin explicar a qué correspondía el concepto “stage” en la modelación. Respecto a la conductancia se indicó que esta fue definida de acuerdo con un modelo numérico desarrollado en el 2020 por el mismo consultor, el que determinó valores diferentes según caserones y cavidades, por la diferencia de volúmenes de estos. En el registro 95 se muestra una gráfica de cómo se representa el modelo. De la imagen llama la atención que la mayor cantidad de caserones y galerías considerados en modelo estén al norte de la subsidencia y particularmente a mayor distancia de los caserones que están bajo la subsidencia, y de estos últimos solo se consideren algunos en el modelo; quizás para el ejercicio sea independiente la ubicación de los caserones y lo relevante sea el volumen, sin embargo, en toda la grilla definida debería caracterizarse estos.</p> <p>Descarga mediante extracciones por bombeo: como ya se indicó en el modelo conceptual, las descarga por bombeo se relacionan con las actividades agrícolas y mineras. El consultor señala que hace una distinción con los bombeos de las empresas Candelaria y CCMOS y el resto de las mineras. Se determinaron 22 pozos en el área de estudio del modelo, y toda la descripción de la información se analizó cuando se revisó el modelo</p>	
--	--	--



	<p>conceptual hidrogeológico. Lo relevante en este caso es que se usaron datos desde marzo de 2018 a julio de 2023 y se estimó una extracción de los pozos de aproximadamente de 42 l/s. En el registro 97 se muestra una gráfica con el caudal de bombeo extraído desde el 2003 hasta el 2023. En esta se puede apreciar que el bombeo de los pozos de la empresa Candelaria y CCMOS llega hasta el año 2017.</p> <p>Descarga producto del socavón: tal como se indicó en el modelo conceptual la descarga del acuífero producto del socavón fue de 341 l/s, según el consultor como promedio de la descarga diaria durante los meses entre el evento y la instalación de los muros.</p> <p>Al respecto el consultor señala <i>“De esta manera, y de acuerdo con la Figura 3-12, se ha asignado un caudal promedio de extracción de aproximadamente 20 L/s desde el momento del cierre de los muros hasta el 3 de noviembre de 2022. A partir de esta fecha, el caudal experimenta un aumento a 70 L/s, como resultado de las infiltraciones originadas por la intersección del nivel freático con el sondaje AD1060 en dirección al sector del Caserón Jocelyn. Este incremento se mantiene hasta el 18 de noviembre de 2022, fecha en la cual se procede al sellado parcial del mencionado sondaje, ejerciendo un control sobre las infiltraciones y reduciéndolas en consecuencia. A partir de este punto, se considera que el caudal promedio de extracción se establece nuevamente en alrededor de 20 L/s. La Figura 3-13 muestra el comportamiento del nivel de agua del sector de Gaby, basado en el registro de los sensores instalados en el nivel 200. Se puede observar una recuperación en el nivel del acuífero después del sellado de los muros 200, 270 y 290”</i> (énfasis agregado). Como se destaca, el consultor sostiene que luego del sellado de los muros y posterior al sellado del sondaje en el sector Jocelyn la descarga se estabilizó en 20 l/s, valor que obtiene del registro de los sensores instalados en el nivel 200, sin embargo, tal como se indicó cuando se analizó el modelo conceptual, esto es un error y subestima las infiltraciones en mina Alcaparrosa, ya que como se observa en el registro 90 las infiltraciones en junio de año 2023 era del orden de los 53,64 l/s, por lo que ingresar al modelo un valor de 20 l/s del orden de dos magnitudes menos que el valor a junio del 2023 generará un escenario del modelo que sin duda terminará asimilando la situación pre socavón y post socavón, solo en base al sellado de los muros en el niveles del caserón Gaby, lo que resulta del todo favorable para el titular ya que con esto justifica que el sistema se recupera</p>	
--	---	--



	<p>luego del incidente, lo que claramente no ha ocurrido, y se ha demostrado en análisis de esta medida. El otro error es utilizar solo la información de los sensores y no incluir el comportamiento de los niveles piezométricos de los pozos de influencia directa del socavón, ya que como se ha demostrado también en la revisión del modelo conceptual las tasas de descenso posterior a septiembre de 2023 han ido aumentando por sobre la tasa histórica en el área, lo que podría expresar una condición de afectación del acuífero producto de la sobre explotación del caserón Gaby.</p> <p>- Propiedades hidráulicas de las unidades hidrogeológicas</p> <p>Las propiedades hidráulicas consideradas en el modelo fueron:</p> <ul style="list-style-type: none"> • K (Conductividad hidráulica saturada): Representa la mayor o menor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. • n (Porosidad): Es el volumen ocupado por espacios vacíos por unidad de volumen de roca y/o sedimento. • Ss (Almacenamiento Específico o Specific Storage): Es el volumen de agua liberado por 1 m³ de acuífero confinado al descender 1 m la superficie piezométrica. • Sy (Capacidad específica de la unidad o Specific Yield): Es el volumen de agua liberado por una columna de agua de 1 m² de base de un acuífero libre en la que el nivel freático ha bajado un 1m. • S (Coeficiente de almacenamiento o Storativity): Es el volumen de agua, por unidad de área y cambio en altura de agua, que una unidad permeable absorberá o liberará desde almacenamiento. <p>En el registro 98 se exhibe la tabla que tiene los valores de las propiedades hidráulicas consideradas en este estudio. Se destaca el menor valor de conductividad hidráulica que tiene la UH4 versus la UH3.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calibración del modelo numérico <p>Consiste en la determinación de las propiedades hidráulicas (conductividades hidráulicas y coeficientes de almacenamiento) de las unidades hidrogeológicas, en el ajuste de las condiciones de borde y en la estimación del valor de la recarga (infiltración) que permita minimizar la diferencia entre los niveles y caudales medidos y simulados. En la práctica,</p>	
--	---	--



		<p>la calibración de un modelo numérico es efectuada a través de un proceso donde se modifican los valores de las variables antes mencionadas en forma iterativa hasta que el grado de similitud entre las predicciones y los valores medidos en terreno cumpla con los objetivos establecidos para el proyecto. La calibración se debe realizar en régimen permanente y transitorio.</p> <p>- Régimen permanente</p> <p>La calibración en esta etapa consiste en determinar los valores y la distribución espacial de la conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento asociados a las unidades hidrogeológicas que permitan reproducir las condiciones estables de flujo existente en la zona de estudio. Lo anterior implica reproducir la distribución piezométrica, las descargas y los flujos subterráneos pasantes existentes bajo las condiciones de equilibrio antes de la entrada en operación de la mina.</p> <p>En el caso de mina Alcaparrosa, y del acuífero del Copiapó, como se analizó en el modelo conceptual, han existido variaciones de los niveles piezométricos desde el 2013 en adelante, productos de los bombeos de extracción por las actividades agrícolas y mineras en el área y a la recarga por lo evento hidrometeorológicos del 2015 y 2017.</p> <p>El propósito de la calibración en régimen permanente es establecer una piezometría que funcione como condición inicial para la simulación de las operaciones mineras y la estimación de los caudales de infiltración. En este caso el consultor, utiliza los datos de mayo de 2006 (60 m.b.n.s.) para evitar incorporar el efecto del socavón, sin embargo, no se entiende por qué se utiliza un periodo de más de diez años para la calibración y no valores de años más próximos al evento. Cabe destacar que, en esta etapa, se asume que el sistema se encuentra en equilibrio, lo que implica que no se incorporan extracciones debido a bombeos.</p> <p>En relación con los resultados, el consultor señala que se consideró una conductividad hidráulica del aluvial como anisotrópica, sin especificar por qué se asume este supuesto. Se le asignó valores de K_x y K_y de 50 m/día, y un valor de K_z de 5 m/día. Como parte de este proceso, se estableció un caudal total pasante de 240 L/s desde el límite sur del modelo, a través de</p>	
--	--	---	--



	<p>los pozos de inyección. Además, se mantuvo una conductancia de 15 m²/día para los drenes de salida ubicados en el límite norte del modelo.</p> <p>En el registro 99 se muestra una tabla con los valores de los niveles reales y simulados en los pozos usados para calibración. De la revisión de los antecedentes, no se indica a qué día o mes corresponde al valor de nivel medido, pero se asumen que corresponde a mayo de 2006 como se indicara en el detalle de la calibración del modelo. No hay valores para los pozos HA-01 y HA-02 y no se indica las razones de esta ausencia de información.</p> <p>En general, como se indicó recientemente se considera que el año 2006 es una fecha muy alejada desde cuando ocurre el socavón y tampoco representa la condición antes de la entrada en operación del proyecto ya que este está operando desde el 1997. Por lo demás, no es un año que esté considerado en los periodos de tiempo analizados, tanto en el modelo conceptual como en el numérico, toda vez que se consideró como periodo pre socavón desde el año 2013 al 2022.</p> <p>- Régimen transitorio</p> <p>La calibración en régimen transitorio tiene por objetivo reproducir los caudales de infiltración a la mina según el avance histórico que ha tenido la explotación minera. Además, el modelo busca representar de manera general los niveles registrados en el acuífero durante el período comprendido entre 2013 y 2023, teniendo en cuenta la influencia del socavón.</p> <p>El consultor señala que para lograr la calibración se ajustaron las propiedades hidráulicas de las unidades geotécnicas (unidades de rocas) en base a lo establecido en el modelo conceptual. Indica que, además, se realizaron variaciones en las condiciones de entrada y de salida del acuífero, pero sin indicar cuáles fueron esas variaciones.</p> <p>El proceso de calibración comenzó con el ajuste de las conductividades hidráulicas de las unidades hidrogeológicas, seguido por los coeficientes de almacenamiento. Según el consultor los valores calibrados de las propiedades hidráulicas se encuentran dentro del rango esperado para cada unidad hidrogeológica definida en el modelo conceptual. Destaca que la permeabilidad de la UH-3 (estructuras) es un parámetro de alta importancia</p>	
--	--	--



	<p>en la calibración de las infiltraciones provenientes de los excedentes de bombeo dado que la UH-3 representa la canalización del flujo de agua subterránea hacia la mina. Además, la permeabilidad de la unidad de gravas (UH-1) influye en la conexión hidráulica presente en los pozos de la zona de Alcaparrosa y los pozos del sector sur.</p> <p>En el registro 100 se exhibe una tabla con las conductividades hidráulicas, los coeficientes de almacenamiento y porosidades de las unidades hidrogeológicas. Se puede observar que los valores de las conductividades hidráulicas para las unidades UH-3, UH-4, UH-5^a y UH-5B son diferentes entre las propiedades iniciales y las calibradas, a pesar de que el consultor señaló que las propiedades hidráulicas <i>“se encuentran dentro del rango de lo esperado para cada unidad hidrogeológica definida en el modelo conceptual”</i>, no obstante, se observan magnitudes distintas entre uno y otro. Por ejemplo, la UH-3 tenía una conductividad hidráulica de 0,00864 m/día y luego de la calibración quedó en 0,00100 m/día, es decir, en casi un orden de magnitud menor, lo que se traduce en la práctica en un valor que indica una menor capacidad para transmitir fluidos entre los poros. Lo mismo sucede con la UH-4 que de 0,00432 m/día luego de la calibración queda en 0,0001 m/día. Esto se traduce en que la condición modelada implica que el agua por estas unidades hidrogeológicas transitará con un menor flujo, lo que significa que hay una menor capacidad de infiltración de agua, lo que se traduce en menor descarga, lo que podría expresarse como un acuífero que en condiciones normales tiene una menor descarga por estas unidades. Por lo tanto, hay una inconsistencia en los valores de conductividad hidráulica a las unidades hidrogeológicas UH-3 y UH-4.</p> <p>El consultor indica <i>“A partir de la información del crecimiento de la mina (desarrollo de las caserones y galerías) proporcionada por CCMO fue posible discretizar el avance en 7 estados, los que corresponden a diciembre de 2015, junio de 2017, mayo de 2018, noviembre de 2018, abril de 2020, junio de 2022 y tras los eventos después del socavón. Esta división permitió representar el aumento progresivo de los caudales de infiltración asociados a la expansión de la mina, activando las celdas tipo drain según el periodo de avance de la mina hasta junio de 2022. A partir de ese punto, el modelo pudo reflejar la reducción en los caudales de infiltración debido a las inundaciones generadas por el socavón y tras el sello de los muros. Este último ajuste se logró desactivando las celdas tipo drain involucradas en esas</i></p>	
--	---	--



	<p><i>áreas"</i> (énfasis agregado). Lo primero a destacar, que en todo el modelo conceptual no se reconocen siete etapas, sino solo tres, a saber; pre socavón, post socavón y sellado, y post sellado, por lo que queda claro el fin de agregar más etapas. Lo segundo, es que el consultor señala que el modelo puede reflejar mejor la reducción en los caudales de infiltración debido a las inundaciones generadas por el socavón y tras los sellos, pero esto solo puede verse reflejado, eventualmente, por lo sellos en los niveles del caserón Gaby, lo cual, como se ha dicho antes, no ha sido hasta ahora del todo efectivo con la reducción de las infiltraciones.</p> <p>En relación con el tiempo de calibración para el periodo transitorio se consideró un tiempo de calibración desde 2003 hasta 2023, es decir, 20 años. Mientras que a partir del 2013 se consideraron los peacks de infiltración a la mina. En cuanto a la calibración se consideraron las tendencias generales observadas a lo largo del periodo de estrés. Como se indicó la calibración de las infiltraciones a la mina por caudales excedentes se concentra entre el 2013 y 2023, mientras que el periodo 2003 a 2013 se consideró como el tiempo necesario para la calibración del modelo.</p> <p>En cuanto al valor de cavidades y galerías el consulto utilizó los valores del modelo 2020 hecho por el mismo, asignándole valores de 0,03 a galerías y 0,01 a cavidades. Según este, resultaron efectivas para representar la evolución y magnitud de los caudales de bombeo provenientes de la mina, sin embargo, en la revisión de la información no se explica el por qué resulta la mejor opción.</p> <p>Sobre la reproducción del acuífero, se utiliza el comportamiento del pozo 12 para mostrar el comportamiento del acuífero, esto porque según el consultor este pozo tiene datos del periodo de recuperación del acuífero, no obstante, el pozo 8 también tiene datos para este periodo. Lo que hace el consultor en el modelo es hacer un ajuste en los caudales de ingreso según el periodo que analizó, así para el periodo inicial se consideró un caudal de 500 l/s, luego este baja a 425 l/s del 2005 al 2016, para subir a 1050 l/s entre el 2016 y 2018, por los eventos 2015 y 2017. Por último, baja a 225 l/s desde el 2021 en adelante. No queda claro, porque no se considera lo que sucede entre el 2019 y 2020.</p> <p>- Resultados de la calibración</p>	
--	--	--



		<p>Reproducción del nivel del pozo 12: en la figura del registro 101 se presenta la corrida del modelo. Según el consultor se puede observar una diferencia entre la simulación y las observaciones del periodo 2003 y 2007, no obstante, sostiene que, a pesar de esto, el modelo representa adecuadamente las tasas de tendencia y sus cambios que se reflejan en periodo observado. Continúa señalando que para el periodo 2017 y 2023 el modelo se aproxima aún más a los datos observados, logrando incluso representar el efecto del socavón. Por lo tanto, concluye que, a pesar de las diferencias del periodo inicial, el modelo representa muy bien la situación observada.</p> <p>Con relación a los resultados, hubiera sido interesante que el consultor hubiera hecho correr el modelo para otros pozos, como el 8, el 2 y 5 para hacer una comparación de los resultados para cada uno de ellos. Como se señaló en los ajustes de modelo el hecho de utilizar valores de conductividad hidráulica tan bajos, termina explicando que este ajuste es necesario para poder mostrar una modelación que aproxima a los datos observados y así sostener que el modelo responde adecuadamente a lo que se requiere.</p> <p>En cuanto a la piezometría modelada en el registro 102 se presenta los resultados de la corrida del modelo. En el registro 103 se presenta la piezometría modelada post socavón según el modelo. El consultor no realiza una comparación de ambas imágenes. Se puede constatar que según el modelo la piezometría post socavón baja en 5 metros en el área del socavón, patrón que se mantiene hacia el sur y al norte del evento solo por el valle central, mientras que las piezometrías laterales se mantienen iguales en ambos periodos.</p> <p>En relación con el balance hídrico, el consultor presenta una tabla con los resultados del balance modelado (registro 104). De la revisión de los resultados, es necesario destacar varios puntos que llaman la atención.</p> <p>Lo primero es la inclusión en el balance, en las recargas puntualmente, son las entradas desde almacenamiento que se asigna, los cuales son valores muy altos y que no fueron consideradas en el balance considerado en el modelo conceptual hidrogeológico que fue analizado en la primera parte de esta medida. Es más, no es un concepto que haya sido analizado anteriormente y no queda claro a qué representa; los valores son muy altos</p>	
--	--	--	--



	<p>para la realidad del acuífero, por lo que resulta más bien una variable que se considera para poder equilibrar los valores modelados y así obtener un valor cero de la diferencia entre entrada y salida, y por un error del mismo orden.</p> <p>En la modelación sí se reconoce el efecto de la infiltración a la mina de 37,5 l/s para el periodo octubre 2022 y julio 2023, el cual si bien no es el valor promedio del periodo, el cual es 43,59 l/s (octubre 2022-junio 2023, este es el último mes que tiene cargado el titular en los seguimientos ambientales asociados a la RCA que rige a este proyecto), si es un valor más real que el valor utilizado en el modelo conceptual, el cual era mucho menor (17,9 l/s).</p> <p>Cabe señalar que los valores de descarga en el modelo conceptual, que deberían corresponder a los valores reales, si bien no son iguales, si se aproximan los valores de la descarga modelada, así en el primer caso para el periodo previo socavón la descarga observada fue 453,7 l/s y la modelada 583,9 l/s; el valor durante el efecto socavón de la descarga observada fue 768,7 l/s y la modelada 906,6 l/s; mientras que el periodo post socavón, donde como ya se señaló que no corresponde al valor real, la descargada observada como se indicó fue 409,7 l/s y la modelada 563,7 l/s.</p> <p>Caudales de ingreso a la mina: Los caudales de ingreso a la mina modelados se calibran con respecto a los caudales promedio de bombeo mensual de los periodos enero de 2013 y julio de 2023.</p> <p>Según lo señalado por el consultor <i>“Los caudales de infiltración observados y simulados muestran una tendencia al alza a medida que va avanzando la mina hasta el año 2020. Posteriormente, y previo al evento del socavón, se observa una tendencia a la baja en los valores de infiltración. Tras los eventos del socavón, sufren un alza considerable de hasta 341 L/s, y, a medida que avanzan la inundación, post sellado de los muros, ocurre un descenso en los valores, retomando la tendencia original previo a los eventos, de unos 16 L/s. Esta cifra coincide bien con la estimación realizado por CCMO durante julio de 2023 de 17.9 l/s”</i> (énfasis agregados). Con relación a esta sentencia, se debe señalar que efectivamente el ingreso de los caudales infiltrados a la mina durante el socavón alcanzó los 341 l/s, pero se debe considerar que los caudales de entrada a la mina como el propio consultor señala corresponde a los siguiente: <i>“La calibración de los caudales de entrada a la mina se basa en las mediciones de los caudales excedentes de bombeo provenientes de</i></p>	
--	---	--



	<p>la mina. <i>Estos caudales pueden mostrar incrementos debido a la influencia de la infiltración por sondajes, los cuales no han sido modelados".</i> En efecto, como se ha definido, los caudales infiltrados son los excedentes que la empresa debe bombear al exterior, y en este caso la minera gran parte del caudal ingresado, producto del socavón, se envió al fondo de la mina y se inundaron los niveles inferiores, lo que ocurre hasta el presente, y lo que se envió al exterior, y que corresponde al caudal de ingreso, fue una fracción menor comparado con lo que ingresó, pero mayor que lo que venía ocurriendo con los caudales extraídos previo socavón.</p> <p>Por otra parte, el consultor señala que la estimación del caudal para julio 2023 es de 17,9 l/s, lo cual como ya se indicó cuando se analizó el balance hídrico es un valor sub estimado, ya que como se acaba de señalar “<i>los caudales de entrada a la mina se basa en las mediciones de los caudales de ingreso excedentes de bombeo del mina</i>” estos para junio de 2023, que es el último mes reportado por la empresa a través de los seguimientos ambientales fue de 53,64 l/s, lo cual es 330% más de lo considerado en el modelo, lo que claramente generará una corrida del modelo que no representa la realidad. De hecho, el propio expone en la tabla 4-4 de su informe, correspondiente al registro 104 de este informe, el valor real del caudal de excedente para el periodo de septiembre 2022 y julio 2023 53,5 l/s.</p> <p>- Escenario de simulación</p> <p>Lo que hace el consultor en este caso es hacer correr el modelo en base a los ajustes analizados antes, especialmente por la calibración que se acaba de analizar. La simulación se hace en base a dos escenarios, uno con la presencia del socavón y otro sin la presencia de este evento, para luego llegar a comparar ambos y así pronunciarse sobre la pertinencia y eficacia del modelo. De esta forma, lo que se persigue es conseguir una proyección del comportamiento piezométricos de los pozos para un periodo de 10 años, centrándose en el ejercicio del pozo 12 como lo hizo también durante la calibración.</p> <p>Se indica en el estudio que, para asegurar dicho escenario, se considera que las condiciones de borde de entrada al modelo se mantienen con un valor</p>	
--	---	--



	<p>constante de 225 l/s (flujo de entrada), valor que, en relación con lo observado, es decir, al considerado en la modelo conceptual varia en 10 l/s a favor del primero. Señala que en el ejercicio también se mantuvo como constante el valor de los caudales de bombeo del sector agrícola y el sector minero, correspondiente al valor de mayo y junio de 2023, equivalente a 247 l/s, describiendo esto una situación conservadora considerando que los caudales en el tiempo se mantienen constantes.</p> <p>Respecto del tiempo de simulación se considera un intervalo de 10 años, es decir hasta julio de 2033.</p> <p>En cuanto a los resultados en la figura del registro 105 se presenta la gráfica de la modelación de los niveles piezométricos del pozo 12 considerando los dos escenarios: con socavón y sin socavón. Según los resultados a los que llega el consultor en ambos escenarios hay una tasa de descenso similar de 0,6 m/mes., y para la corrida inicial hay una diferencia de 2,6 metros entre el escenario con socavón y sin socavón, mientras que la diferencia al final de la corrida es de 1,1 metro entre ambos escenarios.</p> <p>Por otra parte, respecto del balance hídrico se hace el mismo ejercicio, es decir el balance en el escenario con socavón y el escenario sin socavón. A los resultados que llega el consultor, se centra en una diferencia de 4,7 l/s tanto en el flujo de entrada como en el flujo de salida en cada escenario, lo que se traduce en que la diferencia de entrada y de salida en ambos escenarios es cero. Al igual que lo indicado durante la revisión del proceso de calibración del modelo, hay que destacar que la simulación también se consideró como recarga la entrada desde el almacenamiento, que como ya se dijo no es una variable considerada en el modelo conceptual del modelo, y ahora además en la simulación, se incluye en la salida del almacenamiento, variable que tampoco se consideró en el modelo conceptual. En otro orden de ideas, se utilizó un valor de infiltración de la mina, en el escenario con socavón de 10,9 l/s, mientras que en el escenario sin socavón un valor de 10,3 l/s, valores que son irreales y que solo terminan sesgando los resultados de la simulación, ya que se ha dicho majaderamente en este informe que la variable de infiltración a la mina para el periodo post socavón llegó a valores sobre los 50 l/s (junio de 2023).</p>	
--	--	--



	<p>Por lo tanto, considerando que el escenario con socavón es el único escenario relevante para este caso, dado que la modificación de la geomorfología del acuífero podría ser un efecto ambiental irreparable, los efectos de este cambio estarán para siempre en el área de Mina Alcaparrosa, en consecuencia, el hecho de analizar la situación sin socavón solo busca por parte del consultor, demostrar no hay ninguna diferencia entre ambos escenarios y por ende, justificar que el sistema naturalmente se normalizará en el tiempo, lo cual no tiene un fundamento considerando todos los ajustes hechos para que el modelo conceptual y numérico diera ese resultado, a saber: no consideración de los caudales de infiltración de la mina, de la inconsistencia de los valores de conductividad hidráulica a las unidades hidrogeológicas UH-3 y UH-4, e incluir en la calibración y simulación la variable “entrada del almacenamiento” sin que esta haya sido considerada en modelo conceptual hidrogeológicos preparado por el mismo consultor.</p> <p>En consecuencia, el resultado de la simulación de los caudales de afloramiento y el ejercicio de sensibilización que desarrolla el consultor, presentan los mismos sesgos descritos en el párrafo anterior, por lo tanto, sus resultados no demuestran una simulación hecha en base a valores ajustados a la realidad que se generó producto del aluvión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discusión <p>En este capítulo el consultor hace un resumen de los hechos más importantes que se tuvieron en cuenta para el ejercicio de la modelación numérica del acuífero en el sector de Mina Alcaparrosa, desde el comportamiento del acuífero desde el año 2003 en adelante, lo que quedó demostrado por el comportamiento de los niveles piezométricos considerados en el estudio, pasando por los hitos más importantes asociados a la depresión del acuífero en el periodo 2013 al 2016 por sobre explotación hídrica, para luego describir el cambio del comportamiento ocurrido entre el 2017 al 2020 producto de los eventos hidrometeorológicos del 2015 y 2017. Es llamativo lo que el consultor asevera en la discusión: <i>“Según sugiere el modelo, desde el año 2020 hasta mayo del 2022, previo de la ocurrencia del socavón, la disminución de los niveles freáticos en los pozos de la zona podría haber sido resultado de la interacción de los dos factores previamente mencionados (...)”</i>, la verdad que esto no es una sugerencia del modelo, sino la conceptualización que se hizo de este; cabe recordar que previo a la</p>	
--	--	--



	<p>ocurrencia del socavón efectivamente la región se encontraba en un periodo de escasez hídrica marcado por una fuerte sequía, particularmente los años 2021 y 2022, no así el 2020, menos el 2017, 2018 y 2019 ya que no fueron años de sequías en la zona del valle del Copiapó, sino todo lo contrario, como puede observarse en el registro 106 de este informe.</p> <p>Continúa el consultor señalando que según el comportamiento de los niveles freáticos observados en los pozos de monitoreo en el entorno del socavón, el descenso generado en el acuífero por el evento de julio de 2022 fue en el orden de 5 a 6 m, previo a la implementación de las medidas mitigadoras, lo cual es un error, porque los registros, por ejemplo del pozo 12, indicaba que el 27 de julio de 2022 el nivel era de 60,02 m.b.n.s y que para el 31 de agosto (mes que se presentó este estudio) el nivel se encontraba en 72,21 m.b.n.s., por tanto el descenso generado entre julio 2022 y agosto 2023 es de 11,29 metros, es decir, 5,29 a 6,29 metros, casi el doble del valor considerado por el consultor. Ahora bien, el consultor considera que el efecto del descenso está bien considerado en el modelo, lo que puede ser efectivo, sin embargo, el modelo está considerando un descenso no real, y por ende simulará considerando datos no reales.</p> <p>Luego, el consultor señala que se hizo correr el modelo considerando dos escenarios con el efecto socavón y sin este efecto reafirmando lo señalado anteriormente en relación con los resultados de la calibración, el balance hídrico y la simulación del modelo, lo cual ha sido cuestionado en base a los fundamentos expuestos en su oportunidad cuando se analizaron estos puntos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conclusiones <p>El estudio o informe del modelo numérico hidrogeológicos del sector de Mina Alcaparrosa, termina concluyendo:</p> <p><i>“De acuerdo con las diferencias de los niveles freáticos modelados y las infiltraciones simuladas en los dos escenarios, se infiere que la estrategia de mitigación habría sido efectiva, permitiendo contrarrestar los efectos adversos sobre el acuífero. Esto queda en evidencia en la recuperación observada en diciembre del 2022, momento en el cual los niveles de agua</i></p>	
--	--	--



	<p>retoman la tendencia general descendente previamente analizada, manteniendo una reducida diferencia en el tiempo.</p> <p>Es importante resaltar que los niveles freáticos observados hasta la fecha de elaboración de este informe han experimentado una recuperación importante, acercando la tendencia descendente previamente registrada, la cual se reduciría de manera gradual en los años siguientes.</p> <p>Luego, es posible concluir que la ocurrencia del socavón tuvo un efecto restringido netamente a una escala local dentro el acuífero, correspondiendo a una singularidad dentro del balance hídrico del Río Copiapó.</p> <p>Lo acotado del efecto fue posible gracias a la rápida acción de construir los sellos de hormigón, de forma que el ingreso de agua ocurrió durante un periodo restringido de tiempo, lo que implicó que el efecto sobre el acuífero fuera momentáneo y no permanente en el tiempo. En este sentido, el efecto del socavón no representa una influencia relevante sobre el balance de aguas de mediano y largo plazo, considerando que el acuífero ha retomado, ya en la actualidad, su dinámica habitual relacionada con el patrón de la recarga y el uso de agua subterránea” (énfasis agregados).</p> <p>En negrita se destacan algunas aseveraciones, que en el transcurso de este informe y luego de los análisis respectivos, se han desvirtuado tanto en forma como en fondo. Así, en el caso de la sentencia que habla de la recuperación del acuífero posterior a diciembre de 2022, dado que los niveles de agua retoman la tendencia previo socavón, se demostró con antecedentes concretos que esta situación solo se manifestó hasta marzo de 2023 y que luego de manera constante y particularmente después de septiembre y hasta marzo del 2024 se ha producido un aumento de las tasas descenso de los niveles por sobre las tasas previo al socavón. Por ende, la aseveración de que los niveles freáticos han mantenido una recuperación importante se desacredita por lo argumentos recién expuestos.</p> <p>Así las cosas, sostener que el la ocurrencia del socavón tuvo un efecto restringido y netamente a una escala local dentro del acuífero, es un aseveración en parte errónea, dado que el efecto es permanente como acá se ha demostrado, y sin que se pueda asegurar que las medida de mitigación (sellado de muros) es un solución a largo plazo, porque se desconoce los</p>	
--	--	--



		<p>efectos del balance hidrogeológico en el área por distintas variables, Por lo tanto, el consultor y a la vez el titular no tienen ninguna certeza técnica de que el comportamiento del acuífero retomará una conducta similar al periodo pre socavón. Aún más, luego de lo constado en este informe respecto a la no consideración de los caudales de infiltración de la mina, de la inconsistencia de los valores de conductividad hidráulica a las unidades hidrogeológicas UH-3 y UH-4, e incluir en la calibración y simulación la variable “entrada del almacenamiento” sin que esta haya sido considerada en el modelo conceptual hidrogeológico preparado por el mismo consultor, solo genera como resultado un modelo hidrogeológico que solo buscó definir una situación acomodaticia para el titular, desligándolo de la responsabilidad que le cae por haber dañado ambientalmente la geomorfología del acuífero en el sector de mina Alcaparrosa.</p> <p>En consecuencia, no es posible descartar el efecto del socavón sobre el comportamiento futuro del acuífero del Copiapó en el sector de Mina Alcaparrosa, sin embargo, lo que se puede aseverar es que el ejercicio solo buscó demostrar sesgadamente todo lo contrario a beneficio del titular.</p>	
--	--	---	--



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
3	<p>Realizar un monitoreo de la cota del nivel freático diario de los pozos HA-02, y pozos 8 al pozo 16. Para el pozo HA-01 la frecuencia de monitoreo deberá ser horaria. Los resultados deberán ser informados en planilla Excel editable, siguiendo el formato establecido en la RE SMA N°894/2019, que “Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Ambiental Agua”.</p> <p>Medio de Verificación: mediante la Res. Ex. N°1349 se estableció un plazo de 10 días hábiles para entregar reportes de avance, sin embargo, a través de la Res. Ex. N°1628 que acogió parcialmente el recurso de reposición presentado por el titular en contra la Res. Ex. N°1349, se le dio un plazo de 4 meses para entregar esta medida con un reportabilidad de avance quincenal.</p>	<p>En relación con el cumplimiento de la instrucción realizar un monitoreo de la cota de nivel freático diario para los pozos, el titular presentó lo siguientes reportes, los cuales serán analizados de manera particular, para finalmente verificar el cumplimiento general de la medida:</p> <p>Reporte de avance 1 (29.08.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular entregó un registro de las mediciones hechas en los pozos 8, 9, 12, 14, 15 y 16 del día 27 de julio, que corresponde a la medición de julio, sin embargo, señala que tienen valores desde el 03 al 28 de agosto de 2022, en formato establecido según la Res. Ex. SMA N°894/2019. ✓ El titular, también acompaña registro de data horaria de las mediciones realizadas en el pozo HA-02, que cuenta con instalación de instrumentación de cuerda vibrante que mide presión de poros, información presentada en formato diferente al establecido en la Res. Ex. SMA N°894/2019. ✓ El titular indica que los pozos 10 y 11 se encuentran tapados por los eventos meteorológicos del 2015 y 2017; mientras que el pozo 13 está bloqueado para el acceso. ✓ El titular informa que no tiene la obligación ambiental de reportar los monitoreos de niveles freáticos en los pozos cercanos a la faena minera, por lo que no se cuenta con un monitoreo diario de dichos pozos. Sin embargo, señala que cuentan con monitoreos mensuales previos a la ocurrencia del evento, que se reportan a la Dirección General de Aguas. Por otra parte, indica que luego de la ocurrencia del evento comenzó a monitorear diariamente los pozos, con el objetivo de poder realizar un correcto seguimiento al comportamiento del acuífero. <p>Reporte de avance 2 (12.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular entregó un registro de las mediciones hechas en los pozos 8, 9, 12, 14, 15 y 16 del día 27 de julio, que corresponde a la medición de julio, sin embargo, señala que tienen valores desde el 03 al 11 de septiembre de 2022, en formato establecido según la Res. Ex. SMA N°894/2019. 	<p>Se cumple con la medida debido a que el titular entregó los registros de los pozos requeridos.</p> <p>Del análisis de la información se da cuenta de la afectación de los niveles piezométricos luego de ocurrida el evento del socavón y permite demostrar la relación de conexión entre la subsidencia y el acuífero del río Copiapó.</p>



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular, al igual que en el reporte 1, acompaña registro de data horaria de las mediciones realizadas en el pozo HA-02, que cuenta con instalación de instrumentación de cuerda vibrante que mide presión de poros, información presentada en formato diferente al establecido en la Res. Ex. SMA N°894/2019. <p>Reporte de avance 3 (28.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular entregó un registro de las mediciones hechas en los pozos 8, 9, 12, 14, 15 y 16 del día 27 de julio, que corresponde a la medición de julio, sin embargo, señala que tienen valores desde el 03 al 27 de septiembre de 2022, en formato establecido según la Res. Ex. SMA N°894/2019. ✓ El titular, al igual que en el reporte 1 y 2, acompaña registro de data horaria de las mediciones realizadas en el pozo HA-02, que cuenta con instalación de instrumentación de cuerda vibrante que mide presión de poros, información presentada en formato diferente al establecido en la Res. Ex. SMA N°894/2019. <p>Requerimiento información asociado a Res. Ex. N°1349 (28.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Dado que la resolución inicial que estableció las medidas urgentes y transitorias dentro de un plazo de 30 días consideraba la remisión de un reporte final de cumplimiento consolidado a los 5 días hábiles de haber terminado el plazo original, el titular entregó dicho requerimiento, señalando que este era efectivo para todas aquellas actividades que se pudieron ejecutar dentro de ese plazo, y a las cuales no se les modificó el plazo de entrega mediante Res. Ex. SMA N°826 del 2022, mediante la cual se extendió el plazo para las medidas 1, 2, 5 y 6. Es decir, para las medidas 3 y 4. ✓ En esta entrega el titular indica que a través de los reportes anteriores entregó lo requerido para cumplir con esta medida, por lo que ha cumplido en tiempo y forma con la entrega de la información. 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Ahora bien, de la revisión de toda la información entregada por el titular para dar cumplimiento a esta medida, se agruparon los registros para efectos del análisis. De esta forma, se puede observar que en el caso los registros de la cuerda vibrante del pozo HA-02 muestran que, tanto el nivel piezométrico del pozo como la elevación de este, tiene un claro descenso luego del evento del socavón, como puede verse reflejado en el registro 107 de este informe.</p> <p>En relación con los registros de las mediciones de los pozos 8, 9, 12, 14, 15, 16 y HA-01 se presentan sus resultados en los registros 108, 109, 110, 111, 112, 113 y 114 de este informe. En el caso de los pozos 8, 9, 12, 14 y HA-01 se observa el descenso pronunciado luego del evento del socavón, siendo el pozo 12 el que tiene la mayor tasa de descenso, 0114 m/día, lo que equivale a una tasa descenso mensual de 3,42 m/mes. Mientras que en el caso del pozo 15 se observa una tasa muy baja y en el caso del pozo 16 se observa una tasa de variación neutra para todo el periodo levantado.</p>	



4	<p>Entregar análisis hidrogeocquímicos de compuestos principales y elementos trazas de las aguas subterráneas alumbradas en el sector del caserón Gaby. Los resultados deberán ser informados en planilla Excel editable, siguiendo el formato establecido en la antes referida RE SMA N°894/2019.</p> <p>Medio de Verificación: mediante la Res. Ex. N°1349 se estableció un plazo de 10 días hábiles para entregar reportes de avance, sin embargo, a través de la Res. Ex. N°1628 que acogió parcialmente el recurso de reposición presentado por el titular en contra la Res. Ex. N°1349, se le dio un plazo de 4 meses para entregar esta medida con un reportabilidad de avance quincenal.</p>	<p>En relación con el cumplimiento de la instrucción entregar un análisis hidrogeocquímico de las aguas subterráneas del caserón Gaby, el titular presentó lo siguientes reportes, los cuales serán analizados de manera particular, para finalmente verificar el cumplimiento general de la medida:</p> <p>Reporte de avance 1 (29.08.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular informó que la muestra para el análisis hidrogeocquímico fue tomada con fecha 18 de agosto en los Niveles 200 y 270 en Mina Alcaparrosa y además en superficie en el Pozo N°12. Indicó que el tiempo de procesamiento de este tipo de análisis, por parte de Laboratorio ETFA ANAM, es de 15 días hábiles por lo que se espera recibir su resultado a partir del 9 de septiembre. Entrega la cadena de custodia de las muestras tomadas. <p>Reporte de avance 2 (12.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular entregó matriz, que contiene los resultados de muestras realizadas con fecha 18 de agosto de 2022 por la empresa por la SERPRAM. En cuanto a los resultados de los muestreos realizados con fecha 25 de agosto de 2022 por la empresa ANAM, informó que estos aún no se encontraban disponibles por lo cual serán enviados en los siguientes reportes de avance. <p>Reporte de avance 3 (28.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular entrega los resultados de muestras realizadas con fecha 25 de agosto de 2022 por la empresa por la ANAM. Además, acompaña el informe de ensayo y/o medición N°220072572, de 23 de septiembre de 2022 elaborado por ANAM que contiene los resultados de las mediciones realizadas el 25 de agosto de 2022. <p>Requerimiento información asociado a Res. Ex. N°1349 (28.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular entrega nuevamente el segundo y tercer reporte de avance y las matrices con el formato solicitado, que contiene resultados de muestras realizadas de agua realizadas. Adicionalmente, en Anexo 4.2 de cada uno de los reportes indicados se acompañó el Informe de Ensayo y/o medición respectivos. 	<p>Se cumple la medida debido a que el titular realizó el análisis hidroquímico requerido. Del análisis no se presentaron superaciones relevantes que destacar, salvo la superación del sulfato .</p>
---	---	---	---



		<p>✓ El titular señala que la medida ha sido implementada dentro del plazo original otorgado por esta Superintendencia, por lo que no seguirá siendo parte de los reportes de avance sucesivos considerando en Res. Ex. N°1628/2022</p> <p>De la revisión de los antecedentes remitidos por el titular se revisaron los valores de los parámetros en el marco de dos normativas chilenas, la NCh 1.333 para riego y NCh 409 para consumo de agua potable, es posible señalar que solo el sulfato está superando el valor de ambas normas, no obstante, es esperable el valor de este parámetro por el tipo de actividad y en el punto donde se tomaron la muestra.</p>	
--	--	--	--



5	<p>Entregar un estudio técnico que tenga los siguientes dos objetivos: i) evaluar la efectividad del sistema de drenaje subterráneo instalado en la actualidad y ii) proponga alternativas de mejoras de funcionamiento dado el escenario generado a partir del incidente, las que deberán ceñirse a la normativa sectorial correspondiente.</p> <p>Medio de Verificación y Plazo: presentación de un informe preliminar, dentro de los primeros 10 días hábiles desde que comiencen a regir las presentes medidas urgentes y transitorias y un cronograma de trabajo para la emisión del informe final dentro de los primeros 20 días hábiles desde la notificación de esta resolución.</p>	<p>En relación con el cumplimiento de la instrucción entregar un estudio técnico para evaluar la efectividad del sistema de drenaje subterráneo que tiene en la actualidad el titular y proponer alternativas de mejoras de escenarios futuros, el titular presentó los siguientes reportes, los cuales serán analizados de manera particular, para finalmente verificar el cumplimiento general de la medida:</p> <p>Reporte de avance 1 (29.08.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular informa que, igual que en el caso de la MUT N°2, se adjunta Carta Gantt elaborada por la consultora especialista VAI Groundwater Solutions, y que da cuenta de los avances que se pueden generar en relación con la totalidad de las variables requeridas, haciendo presente plazos razonables dada la envergadura de los estudios solicitados. Señala que en los reportes venideros irá informando el estado de avance de las actividades. <p>Reporte de avance 2 (12.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular informa que el estudio comprometido será incluido en el estudio que realizará la empresa VAI. Específicamente, la etapa 8 del descrita en la Propuesta Técnica Económica de Servicios de Generación de Modelos Hidrogeológicos a Escala Local y Ampliada para Mina Alcaparrosa. ✓ Además, informa sobre las medidas de control de infiltraciones que se está ejecutando en el sector de los caserones Gaby las que consisten en la construcción de 4 sellos en los niveles 290, 270 y 200. Esta información no forma parte de lo requerido por esta medida por lo que no será analizada. <p>Reporte de avance 3 (28.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular informa lo mismo indicado en el reporte de avance 2. ✓ Por otra parte, informa que con fecha 17 de septiembre de 2022 concluyeron la construcción de las medidas de control de infiltraciones ejecutadas en el sector de los caserones Gaby las que consisten en la construcción de 4 sellos en los niveles 290, 	<p>Se cumple con la medida establecida en cuanto a forma y entrega de la información. Esto es, el titular entrega el estudio técnico considerando los dos objetivos de requeridos, sin embargo, en cuanto al fondo de lo requerido se concluye lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se constata que el consultor considera que el sistema drenaje que tiene instalado Mina Alcaparrosa es eficiente y suficiente para manejar los caudales de infiltración que llegan a la mina, y que este solo se vio sobre pasado por el suceso de la subsidencia y posterior socavón, no obstante señala que con las medidas implementadas por este respecto de los sellos de los niveles se pudo reestablecer la eficiencia del sistema, la cual aún será mejorada una vez que se concrete el sellado total de todas las infiltraciones provenientes de los muros en el sector Gaby. De la
---	---	--	--



		<p>270 y 200 y cuya descripción fue acompañada en el reporte anterior. No obstante, como se señaló anteriormente, esta información no será analizada porque no corresponde a lo solicitado en esta medida.</p> <p>Requerimiento información asociado a Res. Ex. N°1349 (28.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular informa lo mismo indicado en el reporte de avance 2 y 3. ✓ Vuelve a insistir que, con fecha 17 de septiembre de 2022, concluyeron la construcción de las medidas de control de infiltraciones ejecutadas en el sector de los caserones Gaby las que consisten en la construcción de 4 sellos en los niveles 290, 270 y 200 y cuya descripción fue acompañada en el Segundo Reporte. Como se indicó anteriormente, esta información no forma parte de lo requerido por esta medida por lo que no será analizada porque no corresponde a lo solicitado en esta medida. ✓ Señala que el cronograma incluido en la Propuesta Técnica Económica de Servicios de Generación de Modelos Hidrogeológicos a Escala Local presentado reporte de avance N°2 será modificado para poder contar con el estudio de efectividad de las medidas y con una propuesta de alternativas de mejoras, en caso de que corresponda, en el plazo de 6 meses establecido en la Res. Ex. N° 1628/2022 <p>Reporte Final (10.02.23)</p> <p>El titular entregó el informe final para dar cumplimiento de la medida. Este informe corresponde al estudio “Análisis de la efectividad del sistema de drenaje, Mina Alcaparrosa”, elaborado por VAI Groundwater solutions VAIGS-IT-022-08342-IT_1 Rev 1, de febrero de 2023.</p> <p>El objetivo del estudio fue evaluar el sistema de drenaje instalado en Mina Alcaparrosa y proponer recomendaciones de corto plazos. Para ello, el consultor planteó los siguientes objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificar los sectores de mayor ingreso de flujo. 	<p>información entregada para dar cuenta del cumplimiento de la medida, se constató que el sistema de drenajes tiene una capacidad nominal subestimada, por lo que no fue posible conocer con exactitud qué capacidad de bombeo tiene exactamente, ya que el propio titular entregó registros que superan la capacidad nominal del sistema (junio 2020, abril 2023, mayo 2023 y junio 2023).</p>
--	--	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Clasificación del ingreso de agua (zona de goteo, flujo difuso, flujo por estructuras). - Establecer puntos de medición fijas para registrar el flujo (selección cuidadosa de secciones de aforo). - Establecimiento de procedimientos para las mediciones del flujo y capacitación de personal de CCMO. - Recomendaciones para la medición de parámetros físico-químicos y toma de muestras para análisis hidroquímico. - Realizar recomendaciones para el control futuro del agua ingresante a la mina. - Realizar recomendaciones para mejorar el sellado de los sondajes de exploración. <p style="text-align: center;">• Antecedentes del sistema de drenaje</p> <p><u>Descripción del sistema de drenaje</u></p> <p>Se indica en el estudio que el sistema de drenaje de Mina Alcaparrosa es sistema de bombeo de cascada ascendente, trasladando el agua de nivel (inferior) a nivel (superior), mediante bombas fijas y sumergibles, éstas últimas instaladas en piscinas. La capacidad nominal del sistema hasta diciembre de 2022 era de 35 l/s, valor que aumentó desde enero de 2023 a 50 l/s.</p> <p>Se indica que en cada nivel hay piscinas que reciben el agua del nivel inferior y que desde ella se extrae agua para usar en las labores mineras, como agua industrial. Por esta razón, no se requiere agua externa para usar de insumo al interior de la mina, sino se utiliza el agua recirculada por el propio sistema. Detalla el consultor que el caudal de agua utilizada en la mina es de 4 l/s, y que toda el agua excedente, que no se utiliza al interior de la mina, es enviada a superficie para su uso industrial en CCMOS, por lo tanto, sostiene que <i>“El agua de la perforación se mantiene en circulación dentro de la mina, en cambio el uso industrial corresponde a el excedente bombeado a superficie”</i>.</p> <p>El sistema se constituye por las siguientes obras:</p>	
--	--	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - Piscina de superficie: lugar donde se almacena el excedente del caudal del agua que no se utiliza al interior, y desde este punto es enviada hacia el área 820 y luego a la Planta Pedro Aguirre Cerda (en adelante Planta PAC) para su uso en operaciones de CCMOS. - Piscina de drenajes principales: están conformadas por una piscina de decantación y una piscina de bombeo paralela y separada entre sí a 6 metros aproximadamente, comunicados por tiros de servicios, presentando dimensiones variables. - Piscinas de drenaje secundarias: tienen la función principal de recibir las aguas de la operación de la mina y aguas provenientes de infiltraciones para luego bombearlas a las piscinas principales, las cuales presentan una capacidad promedio de 60 m3 c/u. - Bombas sumergibles: son de 20 a 90 KW aproximadamente de potencia y están ubicadas en las piscinas principales, y hay otras bombas sumergibles de 2,2 a 12 KW aproximadamente instaladas en las piscinas secundarias. - Bombas estacionarias: se utilizan en piscinas principales corresponden a bombas de eje vertical de 45 a 75 KW aproximadamente. Estas bombas se utilizan para alcanzar una gran columna de agua y caudal óptimo de drenaje. - Ductos de drenaje: son de HPDE en diámetros entre 90 y 110 mm, siendo las tuberías de 90 mm utilizadas para las redes de agua de perforación y drenaje secundario, mientras que las tuberías de 110 mm son utilizadas para la red de drenaje principal. <p><u>Análisis de los caudales históricos</u></p> <p>El consultor señala que cuentan con los datos desde el 2013 y hasta el 2022, sin embargo, como se indicó cuando se analizó la medida 2, el titular tiene cargado en el sistema de seguimiento ambiental datos hasta junio del 2023, lo que puede observarse en el registro N°90 de este informe, considerándose estos registros como los datos válidos a analizar.</p>	
--	--	--	--



		<p>El consultor para graficar los caudales históricos muestra la misma gráfica que presentó en modelo numérico hidrogeológico y que está en registro 89 de este informe. Así, define 6 periodos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Periodo enero de 2013 a febrero de 2014: los caudales promedios varían entre 4,2 y 8,8 l/s con un promedio de 6,4 l/s. Según este, no se observa una tendencia de aumento en el caudal durante este periodo, solamente fluctuaciones. Se indica que según los SSA el caudal promedio para este periodo es de 6,95 l/s. - Periodo marzo de 2014 a junio de 2017: en marzo de 2014 se observa un aumento en el caudal de bombeo a 10,4 l/s, durante este periodo los caudales mensuales varían entre 9.2 y 12.6 l/s con un promedio de 10,7 l/s. Se observa una leve tendencia de descenso en los caudales desde noviembre de 2014. No hay observaciones en este periodo. - Periodo entre julio de 2017 y abril de 2018: se observa un aumento en el caudal desde 14,6 l/s en julio de 2017 a 27,8 l/s registrado en abril de 2018. Lo que no indica el consultor para este promedio es el promedio que se alcanzó, 20,28 l/s. - Periodo entre mayo de 2018 y octubre de 2020. En este periodo se observan variaciones en el caudal promedio mensual entre 18,9 y 37,4 l/s con un promedio de 25,3 l/s y con una tendencia al aumento. El alza en los caudales está relacionada con el desarrollo de caserones y la perforación de sondajes hacia el eje del valle. En particular el aumento a 37,4 l/s (valor puntual mensual) registrado en junio de 2020 está relacionado con el ingreso de agua por la intersección de un sondaje histórico conectado con la roca meteorizada, el cual fue sellado posteriormente generando una reducción del caudal en octubre del mismo año a 26,5 l/s. Sobre este periodo llama la atención lo que ocurrió en junio de 2020 ya que el sistema tiene, según lo indicado por el consultor una capacidad nominal de 35 l/s, no obstante, en este mes se sobrepasa, lo que indica que el titular tenía un “complemento” del sistema de drenaje que le permitiera manejar este caudal. - Periodo entre noviembre de 2020 y octubre de 2021. Se observa una tendencia a la baja en los caudales, con la 	
--	--	---	--



		<p>excepción del mes de julio de 2021 donde se observa un caudal peak de 31,75 l/s por la intersección de un sondaje conectado con los niveles de agua presentes en la roca meteorizada. El caudal promedio fue de 22,1 l/s. No hay observaciones en este periodo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Periodo noviembre de 2021 a julio de 2022. Durante este periodo se reconoce una estabilización en los caudales con un promedio de 16,2 l/s. No hay observaciones en este periodo. <p>El consultor en este punto concluye señalando <i>“Luego, es posible asumir que previo a la aparición del Socavón el día 30 de julio no existe evidencia de un cambio significativo en las tendencias de flujo entrante a la mina”</i> (énfasis agregado). Es a lo menos llamativo, que el consultor sentencia esto, porque hay claro cambio de tendencia en distintos periodos, sin embargo, lo más importante es que el consultor/titular omite información en cada uno de los periodos analizado y que se refiere por los máximos caudales de extracción autorizados ambientalmente a llevar a superficie, y que da cuenta de la estimación de agua que infiltra a la mina. Lo anterior cobra especial relevancia para el periodo que se inicia en enero del 2018 momento en que comienza a operar la RCA N°158/2017, ya que para el primer año de operación se estimó un caudal de extracción de 12 l/s, no obstante, para este año el caudal de extracción llegó a 23,14 l/s, es decir, casi el doble del caudal estimado. Es más, el aumento en la cantidad de agua a extraer comienza desde julio de 2017 en adelante, momento en que no estaba operando la continuidad operaciones, por lo tanto, no quedando claro a qué se debe aumento, pero es posible suponer que el titular aumentó la extracción de minerales en los caserones.</p> <p>Respecto de los caudales medidos de sondajes, según el consultor otra variable a tener en consideración, los que se originan de los sondajes históricos que se han ejecutado en la mina (galería de exploración); afirma que el caudal histórico ha sido 13 l/s producto de los sondajes que han alcanzado el acuífero del Copiapó. Por otra parte, señala, que no existe un procedimiento para la medición sistemática de estos caudales ni tampoco una base de datos con la información de los caudales registrados, por lo que resulta necesario que el titular establezca una metodología de cálculo para este tipo de infiltraciones.</p>	
--	--	--	--



		<p>Señala que el 2017 se analizaron una serie de sondajes hecho en Mina Alcaparrosa, detallando por cada uno el caudal y la inclinación de estos. Así, en relación con esto último, se concluyó que los sondajes que tiene una inclinación positiva y que están perforados hacia el este (valle del río Copiapó) tiene un caudal mayor a 1 l/s; mientras que aquellos que tiene inclinación negativa y están en la misma dirección (hacia el este) tiene caudales menores a 1 l/s. En el caso de los sondajes hacia el oeste, sin que diferencie la inclinación, señala que están secos o con caudales bajos a muy bajos (< 0,5 l/s).</p> <p>El consultor señala que el sondaje AD0700 que se encuentra ubicado en galería GE-200 en el 2017 presentó un caudal de 8 l/s (inclinación positiva y hacia el este), es por eso por lo que aplicaron un programa de sellado del sondaje durante julio de 2017, logrando bajar el flujo de 34,6 a 3,5 l/s en el sector. Se puede apreciar que no coinciden los valores de caudal de descarga que se genera en este sondaje, ya que hay una gran diferencia entre el caudal que llegaba por ese sondaje (8 l/s) y el caudal que se bajó en el sector (34,6 l/s). En los registros 115 y 116 se presenta una tabla con los caudales extraídos desde el 2013 hasta junio de 2023, la que se elaboró a partir de los registros entregados por el titular en el sistema de seguimiento ambiental de esta Superintendencia. Se puede observar que en junio de 2017 10,03 l/s y que en julio fue 14,55 l/s, por lo tanto, la pregunta que surge es por qué el titular informa que extrae en junio del 2017 10,03 l/s si en julio del mismo año y antes que sellara el sondaje AD0700 tenía solo en el sector de la galería GE-200 un caudal de ingreso de 34,6 l/s, esto sin considerar todos los otros sectores de la Mina donde también había ingreso de agua, dónde se utilizó el volumen de agua generada por el caudal restantes, es decir, los 24,57 l/s.</p> <p>Ahora bien, en el registro 117 se muestra una tabla preparada por el consultor, con el detalle del programa de sellado de sondajes desde el 2017 al 2021, el cual parte con el sondaje AD0700 revisado en el párrafo anterior. Se observa en la tabla que luego del sellado del sondaje AD0700 en julio 2017, en julio del 2020 se observa que en 4 sectores el caudal de ingreso es 38,5 l/s (se detalle el ingreso solo desde tres sectores), por lo que al ver la tabla del registro 115 se puede observar que el valor de junio de 2020 fue de 37,37 l/s lo que es similar al caudal que estaba ingresando, esto en consecuencia, valida lo indicado al final del párrafo anterior.</p>	
--	--	---	--



		<p>Por otra parte, sobre la conexión hidráulica de sondajes con el acuífero, el consultor señala que el procedimiento actual (agosto 2023) de sellado considera el sellado de los primeros 6 metros con resina “Geofoam” sin que se detalle desde cuando se aplica esto. Además, señala que durante los sondajes del año 2012 el nivel del acuífero tenía una profundidad de 120 metros, mientras que en las perforaciones del 2020-2021 la profundidad estaba en los 45 metros. Pues bien, si el titular contaba con esta información ¿por qué entonces no tomó los resguardos necesarios para evitar habilitar vías de conexión entre el acuífero y la mina? El mismo consultor continúa sosteniendo <i>“al perforarse sondajes hacia zonas saturadas, ellos actúan como vías preferenciales para el flujo del agua subterránea, con el potencial de generar flujos entrantes hacia la mina. Luego, en el caso que la explotación de los caserones o la construcción de nuevas galerías corte sondajes preexistentes conectados con la zona saturada, existe un alto potencial de un mayor ingreso de agua hacia las obras subterráneas. El proceso de sellado en los primeros metros del sondaje solamente evita que el agua ingrese a las labores subterráneas, pero el recorrido del sondaje establece una nueva conexión hidráulica entre el acuífero y la mina, generando una vía preferencial de flujo”</i> (énfasis agregados), lo que viene a ratificar que el titular estaba en conocimiento de los riesgos de aumenta el número de sondajes en estos niveles. Es por esta razón, que el consultor en este estudio sugiere lo siguiente: <i>“Para evitar nuevos ingresos de agua por la conexión de sondajes con otras áreas de la mina, se recomienda cambiar el procedimiento sellado para a un relleno completo de los sondajes que presentan mayores flujos, recomendándose el uso de lechada de bentonita-cemento u otro de características similares”</i>.</p> <p>Siguiendo con el análisis de los caudales históricos, el consultor luego analiza el aporte de los caudales medidos por infiltraciones a través de estructuras, como otra vía de ingreso de infiltraciones a Mina Alcaparrosa. Señala que en el marco de la visita de la empresa “E-mining technology (EMT)” para VAI consultores quienes estaban desarrollando los modelo hidrogeológico y geotécnico del año 2018, realizaron una inspección del macizo rocoso en los sectores viviana: nivel 170, 290 y 345, en el sector de Alcaparrosa sur: niveles 27, 300, 350 y 390 y en la galería del sector este: nivel 200. En el registro 118 se muestra una tabla elaborada por el consultor con el detalle de las descripciones de las infiltraciones en cada uno de estos sectores. De esta</p>	
--	--	---	--



		<p>información, se aprecia que ya desde el 2018, el titular contaba con información de los distintos puntos dentro de la mina flujos de agua que ingresan a través de las estructuras, que en el caso de Viviana sumaban caudales entre 4 a 7 l/s como puede observarse en el registro 119 de este informe.</p> <p>Finalmente, el consultor analiza los caudales de ingreso a la mina post socavón. En el gráfico presentado en el registro 119 de este informe, el consultor exhibe los caudales de ingreso a la mina producto de la subsidencia y el socavón generado. Detalla que el valor del caudal desde 31 de julio 2022, día en que ocurre el socavón, y el 04 de agosto se obtuvo de aforador instalado en una galería que canalizaba los flujos del sector Gaby. Luego, los caudales registrados se basaron en los volúmenes bombeados diariamente desde 2 bombas Flygt instaladas en el sector Gaby, para el manejo interno de agua en la mina. Señala que el caudal promedio en este periodo fue de 295 l/s y que el 14 de septiembre, previo a la inundación del sector Gaby, se procedió a detener las bombas. Indicó que posterior al sello del sector Gaby, los caudales provenientes desde el acuífero se almacenaron en la infraestructura de este sector tras los muros sellantes. No obstante, se reconocieron infiltraciones desde los muros por un total aproximado de 18 l/s.</p> <p>Es importante destacar, lo que indica el consultor respecto del sector Jocelyn, en cuanto a los caudales infiltrados desde este sector, los que corresponden a la comunicación del sector inundado de Gaby con el sector Jocelyn a través de un sondaje (aproximadamente 69 l/s). En la actualidad estos caudales fueron controlados a través del sello del sondaje, no registrándose infiltraciones desde este sector. Este sector, no fue descrito ni en el detalle del caudal de ingreso por sondajes, ni en el detalle de los caudales de ingreso por estructuras.</p> <p>Finalmente, el consultor informa que el agua ingresada a causa del socavón que no pudo ser extraída a la superficie se dirigió hasta los niveles 40 y 90 en el fondo mina y que el volumen de agua infiltrado al fondo mina después del evento del Socavón y hasta el 25 de diciembre de 2022, se estima en 1.418.876 m3.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis del sistema de drenaje 	
--	--	--	--



		<p>El consultor indica que el 10 de noviembre su hidrogeólogo realizó una vista a terreno y que acompañado de personal de CCMOS revisó el sistema de drenaje de la Mina, específicamente la línea principal de drenaje, por lo que se puede suponer, que, en este momento, el titular constaba con una línea de drenaje secundaria. En base a los antecedentes levantados, el consultor propuso analizar el sistema de drenaje en tres periodos distintos: previo socavón, periodo post socavón y el periodo post sellado de muros.</p> <p>Sistema de drenaje previo al socavón: en la figura que se muestra en el registro 120 el consultor detalla el sistema previo al socavón. Se observa que el agua que se utiliza en la perforación se extrae del agua que se envía del nivel 250 a nivel 240. Se constatan que existen tres líneas en el sistema de drenaje, la primera, se supone la principal, comienza en el nivel 40 y sube ascendentemente hasta el nivel 390 previo a ser enviada al estanque TK de superficie. Luego está la línea que parte en el nivel 250 y que llega directamente al estanque TK de superficie. Luego está la línea que parte en el nivel 350 y llega directo al nivel 390. También se destaca que entre el nivel 390 y el Tk de superficie hay una salida de agua hacia la cachimba, que es desde donde se cargan los camiones aljibes (información levantada desde las inspecciones hechas por esta Superintendencia).</p> <p>Sistema de drenaje post socavón: en la figura 121 se muestra el sistema de drenaje post socavón. El consultor indica que luego del evento se produjo un ingreso de 300 l/s de agua desde el nivel 200, pero lo que no indica es que estos es producto de la conexión de las labores minera con el acuífero del Copiapó, a pesar de que este lo reconoce en otras secciones del estudio. Esta acumulación de agua produce la inundación de los niveles inferiores 40 y 100, por lo que tuvieron que inhabilitar el sistema de bombeo de estos sectores, y que se observa en celeste en la imagen del registro 121. Indica que posterior a la construcción de los muros sellantes se mantuvieron fuera de servicio las piscinas (pozos) de los niveles 200 y 205 (en rojo en la imagen del registro 121), sin embargo, no se entiende por qué se indica esto en este periodo, porque lo que corresponde es que esta acción se detalle posterior a la instalación de los muros. En definitiva, el sistema se modifica la línea principal del sistema de drenaje dejando si uso los niveles 40 y 100 y dejando restringido el uso de la piscina del nivel 200, y por otra parte, se modifica la línea del nivel 205, dejando restringido el uso de la piscina de este nivel.</p>	
--	--	---	--



		<p>Sistema de drenaje post socavón: en la figura 122 se muestra el sistema de drenaje post socavón. Se puede observar que es exactamente la misma figura del registro 121, por lo que no hay ningún cambio en el sistema. El consultor señala que las piscinas de los niveles 200 y 205 se cerraron definitivamente por estar dentro de las zonas inundadas, sin embargo, esto no se detalla en el esquema del registro 121, sino siguen apareciendo como restringidas. Agrega que las infiltraciones que se han encontrado en el sector Jocelyn, así como las infiltraciones del sellado de los muros se envían a través de bombas a las distintas piscinas de los niveles, sin embargo, esto no se ve reflejado en la figura del registro 122.</p> <p>De todo el detalle que presenta el consultor, en ningún momento hace alusión al número total de bombas de impulsión, fijas o sumergibles, y menos a la potencia de cada una de estas, por ende, no se pronuncia sobre la capacidad nominal de bombeo de todo el sistema.</p> <ul style="list-style-type: none">• Evaluación del Sistema de Drenaje <p>El consultor parte por evaluar la capacidad instalada del sistema, que fue lo que no se mencionó en el punto anterior. Señala que el sistema hasta diciembre del 2022 tenía una capacidad de bombeo de 35 l/s, mientras que a partir de enero de 2023 este aumentó a 50 l/s.</p> <p>A partir de esto señala lo siguiente: <i>“Cabe destacar, que CCMO hace mención que no se realiza una extracción de agua mayor a los derechos de aprovechamiento del pozo 15 a través del cual se cumple con la medida de compensación para las aguas alumbradas que se ha establecido en la RCA 158/2017 que calificó favorablemente el Proyecto Continuidad Operacional Mina Alcaparrosa y la RCA 163/2021 que califico favorablemente el Proyecto Continuidad Operacional Corto Plazo Mina Alcaparrosa 2023-2025”</i> (énfasis agregado). Sobre esto señalar dos argumentos para contradecir lo que está destacado. Lo primero es que en la RCA N°158/2017 no se establece una compensación que establezca un caudal máximo de extracción de agua desde Mina Alcaparrosa, sino lo que se establece es una condición de extracción que debe ser compensada desde el pozo 15, señalando que en este se dejará de extraer aquello que se extraiga desde Mina Alcaparrosa, lo cual para el año 2018 no puede ser superior a 12 l/s,</p>	
--	--	---	--



	<p>valor que quedó establecido por el modelo y a partir del registro histórico de extracciones de agua infiltrada hacia la mina. Segundo, la RCA N°163/2021 nunca comenzó a ejecutarse, ya que esta se iniciaba en enero de 2023 y luego que concluyera la RCA N°158/2017, por lo que cuando ocurre el incidente del socavón la RCA vigente es este último instrumento y no la RCA N°163; a mayor abundamiento, en la RCA N°163/2021 se establece como hito de inicio <i>“inicio de la continuidad explotación mina subterránea”</i>, lo que jamás ha sucedido toda vez que Mina Alcaparrosa se encuentra detenida desde agosto de 2022 y hasta el presente. En consecuencia, lo señalado por el titular solo en una excusa para no asumir que desde que inició la ejecución del proyecto de continuidad aprobado mediante la RCA N°158/2017, ha estado extrayendo mayor cantidad de agua de lo que está autorizado ambientalmente.</p> <p>Luego detalla el listado de bombas sumergibles que son parte del sistema. Se trata de seis bombas, desde la de menor potencia Bomba Grindex Major de 50 Hz, de 5.6 kW hasta la de mayor potencia Bomba Grindex Major de 50 Hz, de 90 kW.</p> <p>En cuanto a la definición de la eficiencia de sistema de drenaje, sostiene lo siguiente <i>“El criterio establecido indica que si los caudales de infiltración (o excedencia) son menores a la capacidad instalada el sistema se considera 100% efectivo, lo que corresponde al caso del escenario pre-socavón, donde se contaba con una capacidad instalada aproximada de 35 l/s y las infiltraciones solo alcanzaban”</i>. Cabe señalar que el criterio que utiliza el consultor para considerar el 100% de efectividad, se cumple cuando toda le agua que infiltrada (excedencia) es menor que la capacidad instalada (35 l/s). Sin embargo, este criterio es de Perogrullo, una obviedad, dado que el cálculo del caudal infiltrado a la mina se obtiene del cálculo del caudal que es llevado a superficie y que la excedencia del agua que no se utiliza en las operaciones.</p> <p>Al igual que para el análisis del sistema de drenaje, considera periodos para analizar la efectividad, la diferencia en este caso es que acá separa el periodo post sellado en dos periodos agregando un periodo post sellado Jocelyn. Utilizando el criterio de efectividad el consultor define la efectividad por cada periodo de esta manera: Periodo pre socavón: 100 %</p>	
--	--	--



	<p>Periodo post socavón: 20 % dado que ingresaron producto de la conexión de las labores de la mina con el socavón 300 l/s. Periodo post socavón (sellado Gaby): 40% Periodo post socavón (sellado Jocelyn): 100%.</p> <p>El consultor señala que el cálculo de la efectividad del sistema está basado en los siguientes supuestos:</p> <p><i>“1. El volumen bombeado diariamente registrado de las 2 bombas Flygt instaladas en el sector Gaby es equivalente al caudal ingresando por el Socavón desde el acuífero. Las cifras muestran un promedio de 295 l/s hasta el día 12 de septiembre.</i></p> <p><i>2. El día 14 de septiembre se retiró el sistema de bombeo para proceder con el sello efectivo de los muros, el cual se ejecutó finalmente el 17 de septiembre. A partir de lo anterior, se asumió que entre el 13 y 16 de septiembre, continuó ingresando los 295 l/s desde el acuífero.</i></p> <p><i>3. Las infiltraciones desde los muros (18 l/s) comenzaron los días inmediatamente posteriores al sellado, siendo estas captadas por el sistema de bombeo instalado.</i></p> <p><i>4. Las infiltraciones de 69 l/s hacia el sector de Jocelyn, a través del sondaje AD1060, se asume que comenzaron el 20 de septiembre, momento en que el ascenso del nivel de agua producto de la inundación, alcanzó la cota 218 dentro del sondaje, haciendo ingreso a la chimenea y posteriormente al caserón Jocelyn 04. Se asume que estas infiltraciones finalizaron con el sellado del sondaje el 18 de noviembre.</i></p> <p><i>5. Desde enero de 2023 se cuenta con una capacidad instalada de 50 l/s, no obstante, para el cálculo de efectividad se considera como máximo 40 l/s según lo expresado en la RCA 158/2017 y RCA 163/2021”.</i></p> <p>En base a todos estos antecedentes, el consultor concluye que el sistema de drenaje instalado es adecuado para controlar todas infiltraciones que ingresan a la mina, esto porque si bien el sistema se vio sobrepasado posterior al evento del socavón, las soluciones implementadas por CCMOS para el sellado del caserón han sido efectivas para reducir el ingreso de agua a la mina. Toda esta conclusión, no es nueva para la Superintendencia, ya que como se dijo anteriormente, el sistema en junio 2020 pudo bombear un caudal de 37,5 l/s lo cual es mayor que los 35 l/s que, según el titular, tenía como capacidad nominal por lo que tenía en ese momento capacidad para poder hacer esto. Es más, si se observa el registro 116 de este informe, se</p>	
--	---	--



	<p>observa que los meses de abril, mayo y junio del 2023, se bombearon a superficie 53,64 l/s, 57,09 l/s y 53,82 l/s respectivamente, lo que demuestra nuevamente que el titular tiene capacidad para bombear más caudal que la capacidad nominal de 50 l/s que señaló instalar en enero de 2023. En consecuencia, se advierte que el titular tiene una capacidad instalada que está por sobre los valores señalados durante la revisión del estudio, lo que podría suponer que el titular tiene la capacidad de extraer un caudal superior a lo señalado y por tanto, estar no entregando toda la información acerca del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none">• Monitoreo del sistema de drenaje <p>En este punto, el consultor levanta una serie de recomendaciones para que el titular las pueda ejecutar y así mejorar el conocimiento de las distribuciones de las infiltraciones al interior de la mina y así adquirir más información que le permita en el futuro mejoras en el sistema de drenaje.</p> <p>Al respecto, propone como primera recomendación una red de monitoreo de flujos, lo que era esperable, luego del análisis de la información remitida por el titular. Esto consiste en colocar una serie de monitoreos de flujos en puntos fijos en estructuras y zonas de fracturamiento. En base, a la información de terreno y la remitida por el titular, el consultor detalló los sectores con mayores evidencias de infiltraciones dentro de las labores subterráneas, señalando <i>“las cuales coinciden con sectores de la mina influenciados por la presencia de fallas mayores y sondajes de exploración conectados hidráulicamente con el acuífero y/o zonas saturadas dentro del macizo”</i> (énfasis agregado). Lo destacado es información que el titular levantó durante el proceso de evaluación ambiental el proyecto “Continuidad Operacional Mina Alcaparrosa” aprobado mediante la RCA N°158/2017, por lo que no es algo nuevo para el titular, por ende, lo relevante es que hubiera tenido a la vista esto al momento de sobre explotar el caserón Gaby.</p> <p>En el registro 123 se presenta la tabla preparada por el consultor con el detalle de los sectores con mayor infiltración de la Mina. Se observa que tienen distintos años en los que se supone comenzaron a generar infiltraciones. Por lo tanto, según el consultor, los sectores que deberían ser considerados en el monitoreo de flujo son: Jocelyn (nivel 157), Viviana</p>	
--	---	--



	<p>(niveles 155, 170 y 250), Valentina (nivel 185) y Alcaparrosa Sur (nivel 350). Señala que los flujos medidos en cada sector deberían ser comparados con la medición diaria de los flujos de los excedentes (enviados a superficie).</p> <p>Como segunda recomendación, plantea la necesidad de contar con mapeo de afloramientos en galerías y caserones. Para esto señala repetir la metodología empleada por la consultora ETM que trabajó para VAI consultores en el 2018 cuando se estaba haciendo el modelo hidrogeológico.</p> <p>Por último, señala, como recomendación la realización de mediciones de flujos en sondajes. Señala que el titular debería realizar un catastro de todos los sondajes que se presentan flujos durante su perforación, registrando la siguiente información: sector de la mina, nivel y coordenadas, nombre del sondaje, azimut e inclinación; profundidad del registro de flujo y estimación del flujo; medición del flujo al término de la perforación. Sostiene que la información generada debería ser correlacionados con el mapeo del sondaje para identificar posible presencia de estructuras mayores que puede actuar como vías preferenciales de flujo y/o la intercepción del contacto con el acuífero, y así crear una base de datos y modelar estos en un programa 3D para poder identificar estructuras con mayor potencial para actuar como vías de infiltración y así poder clasificarlas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conclusiones. <p>Más que conclusiones lo que hace el consultor es hacer un resumen de la información analizada, pero no concluye nada distintos de lo ya señalado, de hecho, terminan señalando en la conclusión lo siguiente: <i>“En resumen, si bien el sistema se vio superado durante el ingreso de agua durante los primeros días posteriores al evento del socavón, las soluciones implementadas por parte de CCMO han sido efectivas en la reducción de los caudales entrantes a la mina, así mejorando la efectividad del sistema de drenaje actualmente instalado. Cabe destacar que a futuro se espera el sello total de las infiltraciones provenientes de los muros del sector Gaby, por lo que el sistema de drenaje solo tendría que manejar las infiltraciones provenientes del sistema rocoso, siendo mayor la capacidad instalada que las infiltraciones esperadas a la mina”.</i></p> <p><i>En cuanto a las recomendaciones, señala:</i></p>	
--	--	--



		<ul style="list-style-type: none"> - <i>“Respecto al sistema de drenaje futuro, se recomienda establecer dentro de la mina una serie de puntos de monitoreo fijos (sectores Jocelyn, Viviana y Valentina) para la medición del flujo de agua subterránea a través de las estructuras y zonas de fracturamiento. Las mediciones deberían incluir un registro de los parámetros físicos-químicos.</i> - <i>Adicionalmente es necesario establecer un mapeo de los afloramientos de agua en las galerías y caserones con una clasificación de pared en función de una clasificación de humedad, goteo y flujo.</i> - <input checked="" type="checkbox"/> <i>Las mediciones de flujos provenientes desde los sondajes de exploración geológica perforados desde la mina subterránea son claves para evaluar la conexión hidráulica entre la mina y el acuífero. Se debería realizar un catastro de todos los sondajes que presentan flujos durante su perforación y proceder a su cuantificación”.</i> <p>De la conclusión, se constata que el consultor considera que el sistema drenaje que tiene instalado Mina Alcaparrosa es eficiente y suficiente para manejar los caudales de infiltración que llegan a la mina, y que este solo se vio sobre pasado por el suceso de la subsidencia y posterior socavón, pero con las medidas implementadas por el titular respecto de los sellos de los niveles se pudo reestablecer la eficiencia del sistema, la cual aún será mejorada una vez que se concrete el sellado total de todas las infiltraciones provenientes de los muros en el sector Gaby. Todo lo anterior, es cuestionable por parte de esta Superintendencia, porque como ya se ha dicho durante el análisis de la información entregada para dar cuenta del cumplimiento de la medida, se constató que el sistema de drenajes tiene una capacidad nominal subestimada, por lo que no fue posible conocer con exactitud qué capacidad de bombeo tiene exactamente, aun cuando el propio titular entregó registros que superan la capacidad nominal del sistema (junio 2020, abril 2023, mayo 2023 y junio 2023).</p> <p>Por otra parte, el titular estuvo siempre en conocimiento de antecedentes de los caudales y flujo de las infiltraciones al interior de la mina, y que el mismo debió considerar estos antecedentes como una limitante para que este evitar explotar áreas próximas al acuífero del Copiapó. En sentido, el</p>	
--	--	---	--



		<p>estudio es solo descriptivo y a ratos resalta conclusiones obvias en cuanto al sistema de drenaje, careciendo de ser una crítica técnica al sistema de manejo de infiltraciones y su vinculación con la operación de la mina.</p> <p>De la misma manera, se abren una serie de dudas, relacionadas con los volúmenes de agua utilizadas al interior de la mina y el excedente enviado a superficie, ya que toda la modelación y estimación hecha durante la evaluación de la RCA N°158/2017 quedó subestimada desde el primer mes que comienza a operar el proyecto de continuidad operacional, lo que vuelve a ratificar que el titular estaban en conocimiento de la subestimación de los caudales de infiltración hacia la mina, lo que solo lleva a pensar que la intención de este no fue evaluar toda la información en el proceso de evaluación ambiental para efectos de tener la posibilidad de contar con volúmenes de agua subterránea que no tenían ninguna limitante respecto de su cantidad y posterior uso</p>	
--	--	--	--



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
6	<p>Realizar un estudio de biodiversidad del Sitio Prioritario Río Copiapó, considerando al menos el área de influencia de componente hidrología señalado en EIA proyecto “Continuidad Operacional Mina Alcaparrosa”.</p> <p>Medio de Verificación: mediante la Res. Ex. N°1349 se estableció un plazo de 10 días hábiles para entregar reportes de avance, sin embargo, a través de la Res. Ex. N°1628 que acogió parcialmente el recurso de reposición presentado por el titular en contra la Res. Ex. N°1349, se le dio un plazo de 4 meses para entregar esta medida con un reportabilidad de avance quincenal.</p>	<p>En relación con el cumplimiento de la instrucción entregar un estudio de biodiversidad del sitio prioritario Río Copiapó, el titular presentó los siguientes reportes, los cuales serán analizados de manera particular, para finalmente verificar el cumplimiento general de la medida:</p> <p>Reporte de avance 1 (29.08.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular informa que, encargó a la consultora Tierra del Sol Consultores, especialista en estudios de biodiversidad, la ejecución del estudio requerido en el área de influencia de componente hidrológico señalado en EIA proyecto “Continuidad Operacional Mina Alcaparrosa” con fecha de inicio de actividades programada para la última semana de agosto, con emisión de informe a 10 días de iniciadas las actividades. Adjuntó la cotización del servicio, de fecha 26 de agosto de 2022, y la orden de Compra N°4500185030 de misma fecha, que da cuenta de la contratación de lo antes descrito. También adjunta el alcance del trabajo a realizar por Tierra del Sol Consultores y cronograma de actividades. <p>Reporte de avance 2 (12.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ En este reporte el titular informa que la consultora Tierra del Sol Consultores, comenzó las actividades relacionadas con el estudio de biodiversidad del Sitio Prioritario Río Copiapó. Para ello, los días 30 de agosto y 5 de septiembre realizó una campaña de flora y vegetación correspondiente a la temporada de invierno. ✓ Por otro lado, informó que los mismos días indicados anteriormente se realizó un levantamiento del componente fauna silvestre en el sector Mina Alcaparrosa, en una superficie total de 252,12 ha. Adicionalmente, se designaron 45 unidades muestrales donde se realizaron distintas metodologías de prospección según la clasificación estas. <p>Reporte de avance 3 (28.09.2022):</p>	<p>Se cumple la medida solicitada toda vez que el titular presentó dos estudios (fauna y flora y vegetación) que dan cuenta de la descripción de la biodiversidad en el área de Mina Alcaparrosa.</p>



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular informa que entre los días 23 y 26 de septiembre se realizó un levantamiento del componente fauna silvestre en el Sitio Prioritario Río Copiapó. ✓ Por otro lado, entregó el Informe Técnico de Caracterización Ambiental Flora y Vegetación correspondiente al “Estudio de biodiversidad sitio prioritario río Copiapó, área de influencia de componente hidrogeología, sector Mina Alcaparrosa”, de 26 de septiembre de 2022 elaborado por la empresa Tierra del Sol Consultores. <p>Requerimiento información asociado a Res. Ex. N°1349 (28.09.2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ El titular informa que tal como se indicó en Tercer Reporte de avance, entre los días 23 y 26 de septiembre de 2022 se realizó un levantamiento del componente fauna silvestre en el Sitio Prioritario Río Copiapó. ✓ Por otra parte, entre los días 31 de agosto y 5 de septiembre del mismo año se realizó un levantamiento del componente flora y vegetación en el Sitio Prioritario Río Copiapó. El tercer reporte se adjuntó el Informe Técnico Caracterización Ambiental Flora y Vegetación de fecha 26 de septiembre de 2022 elaborado por la empresa Tierra del Sol consultores. <p>Reporte Final (29.10.22)</p> <p>El titular presentó dos informes para dar cumplimiento a la medida solicitud. El primero presentado el 26 de septiembre “Caracterización Ambiental Fauna Silvestre” y el segundo presentado el 29 de octubre de 2022 “Caracterización Ambiental Flora y Vegetación”.</p> <p>A continuación, se procederá a revisar las conclusiones de cada uno de los estudios, considerando que los aspectos ambientales relevantes de la MUT dictada en contra de la empresa, correspondía al componente hídrico y suelo.</p> <p><u>Estudio “Caracterización Ambiental Fauna Silvestre”</u></p>	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p>Se presentan las conclusiones a las que llegó este estudio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>“Según la bibliografía especializada en fauna silvestre, se registraron potencialmente 176 especies de fauna vertebrada a encontrar en el área de influencia. No obstante, sólo se registraron 24. Estos resultados pueden deberse principalmente al grado de intervención que presenta el área de influencia, al tratarse de una zona industrial, junto con las condiciones de aridez y baja disponibilidad de recursos para la fauna presente en el área. Por otra parte, el ambiente de llano fue el que registró el mayor número de especies, el cual presentaba una plantación de especies nativas proporcionadas en gran parte del área que comprendía este sector, correspondientes al denominado “Bosque Alcaparrosa”, siendo parte de un compromiso voluntario, que junto con pequeños cuerpos de agua otorgaban un recurso indispensable para la fauna, recurso que no se observó en los otros ambientes”.</i> - <i>“En el área de estudio se logró definir 3 ambientes para fauna: área de Fondo de quebrada (29,35 ha), área de ladera (163,62 ha) y área de llano (37,73 ha). Donde el ambiente de llano se puede considerar como el sitio con mayor diversidad y densidad, seguido por el ambiente de fondo de quebrada y finalmente por el ambiente de ladera”.</i> - <i>“En cuanto a la organización de la estructura comunitaria de vertebrados en los distintos ambientes estudiados no se observa una similitud de la composición faunística entre los distintos ambientes. Hay dos grupos claramente definidos, el primero conformado por las áreas de fondo de quebrada y ladera, y otro por llano”.</i> - <i>“De acuerdo al endemismo, de las 24 especies registradas durante las campañas de terreno, el 55% son especies nativas, representadas por aves y mamíferos. Para las especies introducidas, representan el 29% con aves y mamíferos y, por último, las endémicas con un 16%, correspondientes a reptiles”.</i> 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<ul style="list-style-type: none"> - <i>“De las 24 especies registradas en este estudio, 4 especies se encuentran en categoría de conservación de acuerdo a los instrumentos legales vigentes, siendo todas ellas reptiles”.</i> - <i>“En cuanto al origen biogeográfico, para reptiles todas las especies registradas dentro del área de influencia del proyecto son endémicas del país encontrando 4 especies en categoría de conservación, mientras que en las aves predominaron las especies nativas, y finalmente en mamíferos las especies de mayor presencia corresponden a especies introducidas”.</i> - <i>“Considerando los resultados expuestos en el presente informe de levantamiento de información del componente fauna silvestre, se concluye que en el área de influencia existe una alta abundancia y densidad de herpetofauna de baja movilidad, específicamente en el ambiente de llano, que es el ambiente más cercano a la zona de riesgo. Además, en este sector es donde se concentró la mayor riqueza de especies”.</i> <p>Con relación a estas conclusiones la Superintendencia no tiene observaciones.</p> <p><u>Estudio “Caracterización Ambiental Flora y Vegetación”</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>“En el área de influencia “sector Mina Alcaparrosa” se identificaron 3 formaciones vegetacionales naturales y 1 formación antrópica, Matorral en Ladera, Matorral en Quebrada, Pradera “Llanura” y Área industrial respectivamente”.</i> - <i>“En cuanto a la cuantificación de los tipos biológicos, la tipología más común fue la de las Herbáceas (H) representado por 15 especies, le siguió el tipo arbustivo con 14 especies, luego están las especies de tipo arbóreo y por último 3 especies para la tipología de las plantas suculentas”.</i> - <i>“En cuanto a la riqueza florística del área de influencia, se logró identificar 38 especies, 20 familias y 32 géneros. En total se registraron 731 individuos catalogados en las 41</i> 	



N°	Medida asociada	Hecho constatado	Conformidad técnica de la medida
		<p><i>parcelas prospectadas. Del total de especies identificadas 16 son endémicas, 12 nativas y 10 adventicias o introducidas”.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>“Las especies que registraron una mayor abundancia relativa fueron Tetragonia angustifolia (32,01%), Nolana albescens (13,82%) y Atriplex clivicola (10,40%). Respecto a la frecuencia relativa la más frecuente entre las parcelas de muestreo fue Tetragonia angustifolia con un 17,2%”.</i> - <i>“No se encontró alguna singularidad ambiental en el área de influencia de acuerdo a los ítems propuestos por la Guía de Evaluación Ambiental de CONAF, 2014”.</i> <p>Con relación a estas conclusiones la Superintendencia no tiene observaciones.</p>	



Registros

Monto Estimado Requisición US\$: 430.066 Proyecto/ Producto/ Servicio: Elaboración Estudio Estabilidad de Suelo Aicaparrosa

Faena: Candelaria / Ojos del Salado

Proveedor Sugerido : IDIEM

De acuerdo con el procedimiento de compras GDApr39, todos los ítems de un requerimiento que no estén amparados bajo un contrato vigente (local/corporativo), para la adquisición de bienes o contratación de servicios, el Comprador/Contratador deberá considerar un proceso de cotización/licitación competitivo con la participación de a lo menos tres (3) Proveedores.

En caso contrario, el Comprador/Contratador deberá justificar y documentar cualquier proceso de compra o contratación con una fuente única o licitación con dos proveedores/contratistas, justificación que debe quedar en la carpeta de compra/contratación, y debe ser aprobada por el Jefe de Compras/Contratos.

Además, en el caso de fuente única o licitación con dos proveedores/contratistas, la justificación requiere aprobación superior según se indica en firmas más abajo.

Justificación:

En marco de la situación generada por el socavón es que la SMA ha solicitado a CCMO la realización de un estudio de estabilidad de suelo, para ello se ha considerado lo siguiente:

1. Revisión de informe de causa raíz socavón elaborado por Lundin Mining.
2. Prospecciones, ensayos e Informe de estabilidad de Socavón.
3. Estimación preliminar Informe de aparición de nuevos socavamientos en área de estudio.

Se justifica la adjudicación directa ya que este es un proyecto que está enmarcado en la categoría de confidencial o sensible en vista que es un tema requerido por la SMA. Para la realización del servicio, se solicitaron tres propuestas, de ellas solo Idiem cumple con lo requerido técnicamente y con el plazo establecido. Además, Idiem fue contactado en primera instancia por la Autoridad como apoyo estratégico en la investigación del socavón, por lo tanto, es una empresa válida y reconocida por ellos.

Valor Servicio UF: 11.802,5
Valor UF al día 06.10.22: \$ 34.340,05

Valor Servicio en dólar: US\$ 430.066
Valor dólar al día 14.09.22: US\$ 942.41

Valor servicio al 06.10.22 \$ 405.298.440

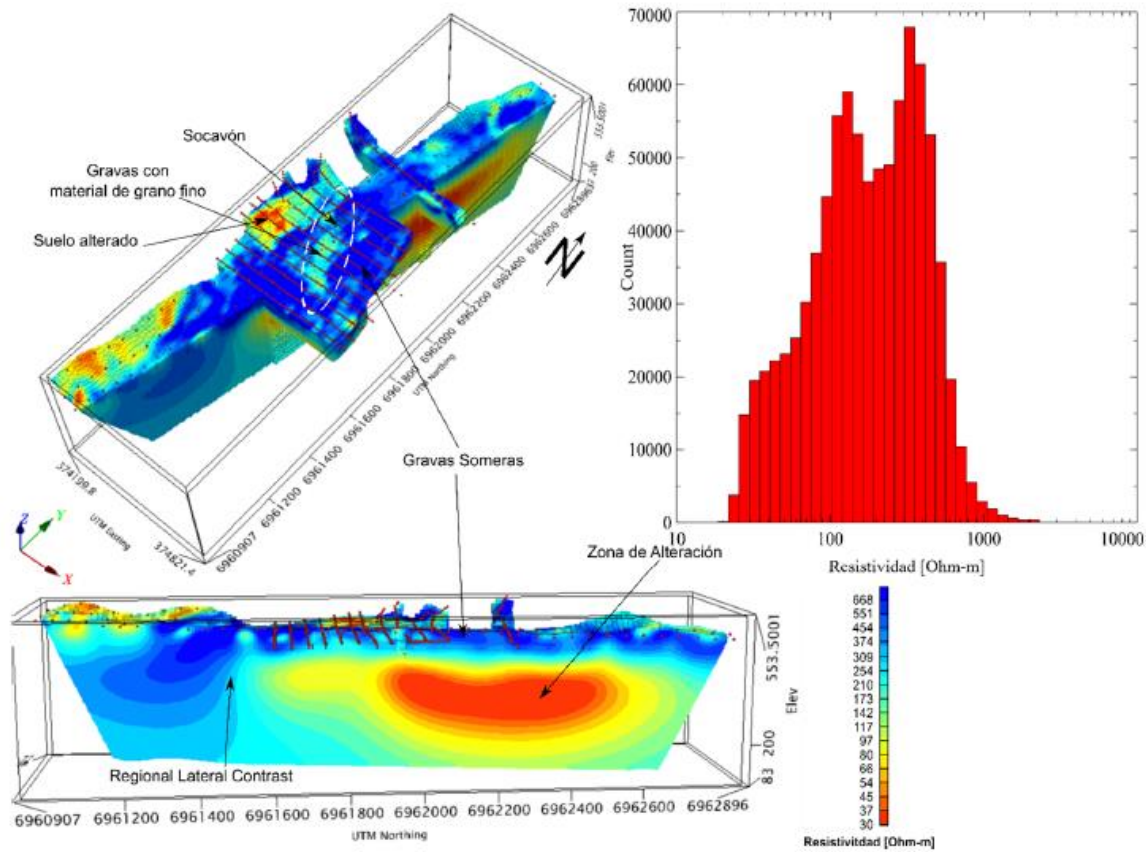
Registro 3.

Fuente: 1° Reporte quincenal

Descripción del medio de prueba: Adjudicación del estudio de estabilidad de suelos a la consultora IDIEM por M\$405.



Registros



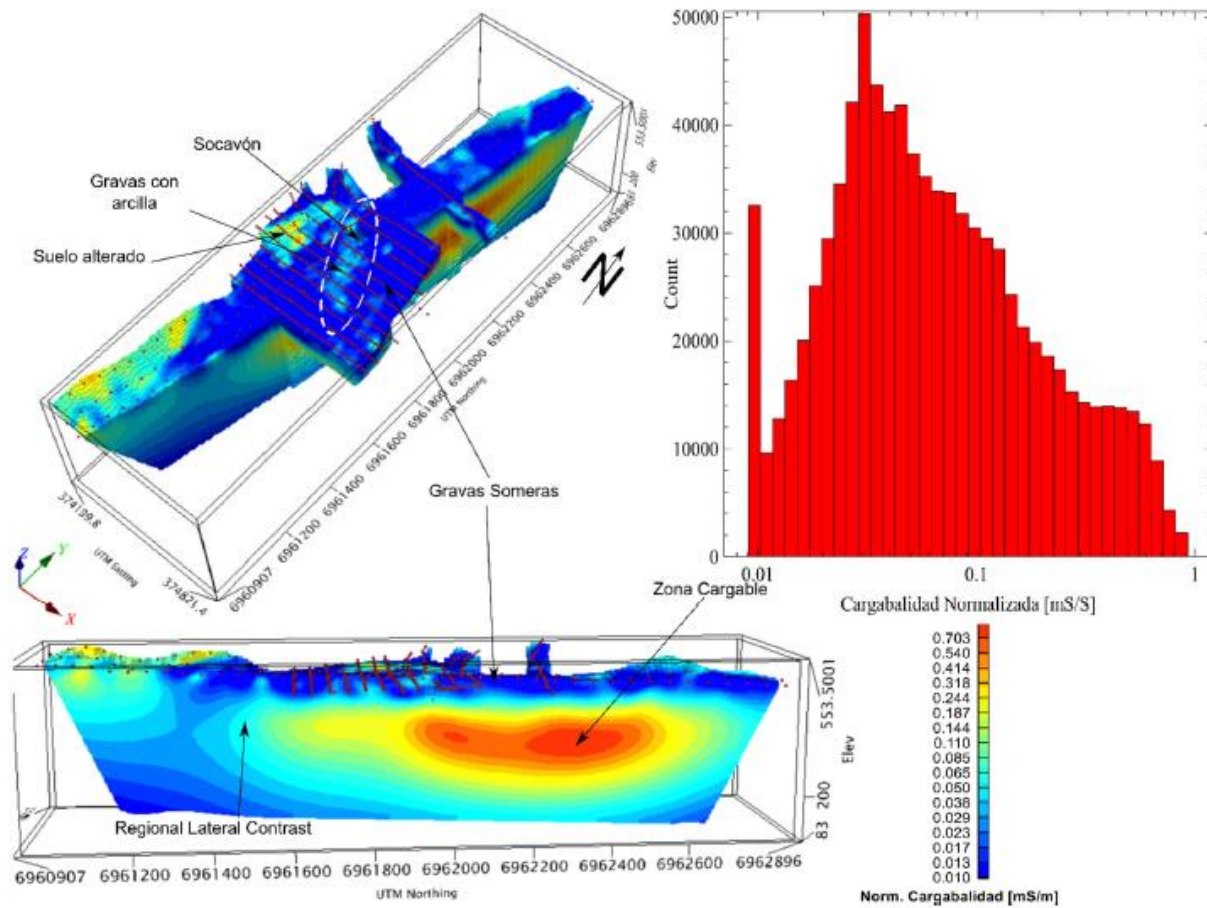
Registro 4.

Fuente: Estudio de Tomografía receptividad eléctrica – 2° reporte quincenal

Descripción del medio de prueba: Detalle de Modelo de Resistividad 3D recuperado de la Inversión de datos de Función de Resistencia.



Registros



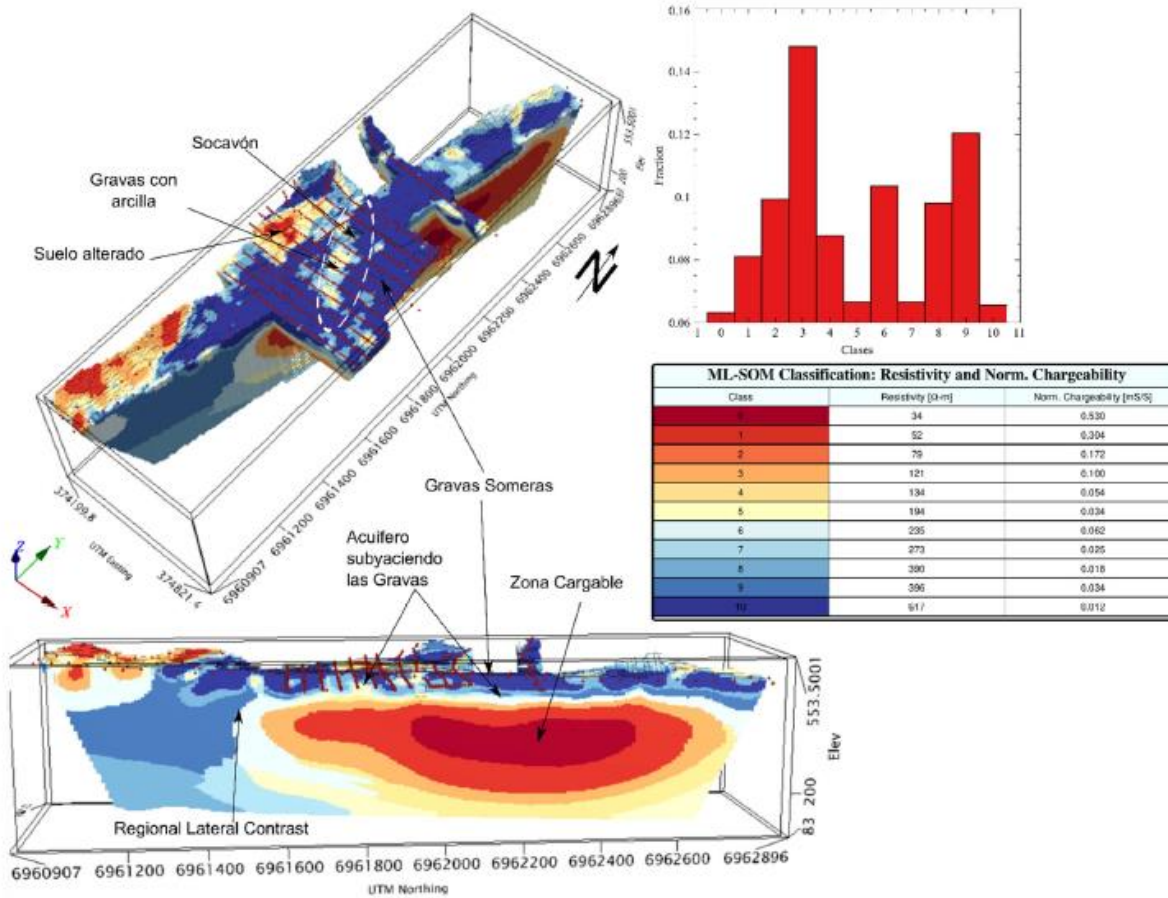
Registro 5.

Fuente: Estudio de Tomografía receptividad eléctrica – 2° reporte quincenal

Descripción del medio de prueba: Detalle de Modelo de Cargabilidad Normalizada 3D calculada.



Registros



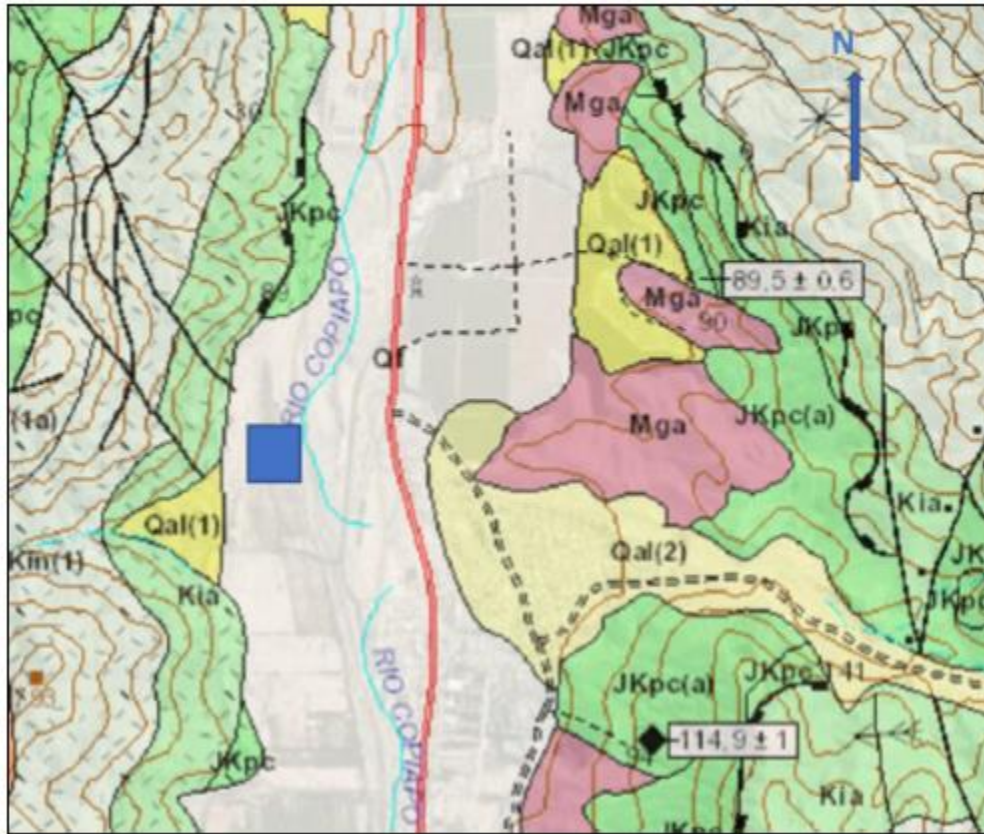
Registro 6.

Fuente: Estudio de Tomografía receptividad eléctrica – 2° reporte quincenal

Descripción del medio de prueba: Detalle de Modelo de Clasificación MLSOM 3D de Resistividad y Cargabilidad Normalizada.



Registros



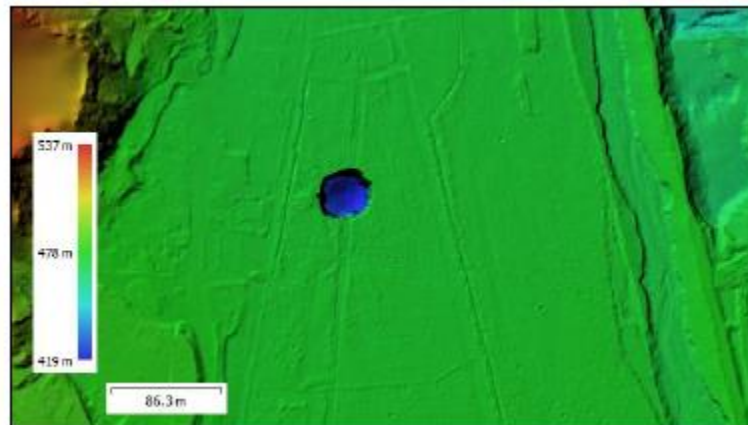
Registro 7.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle la carta geológica de Copiapó, región de Atacama. En azul ubicación aproximada de la subsidencia.



Registros



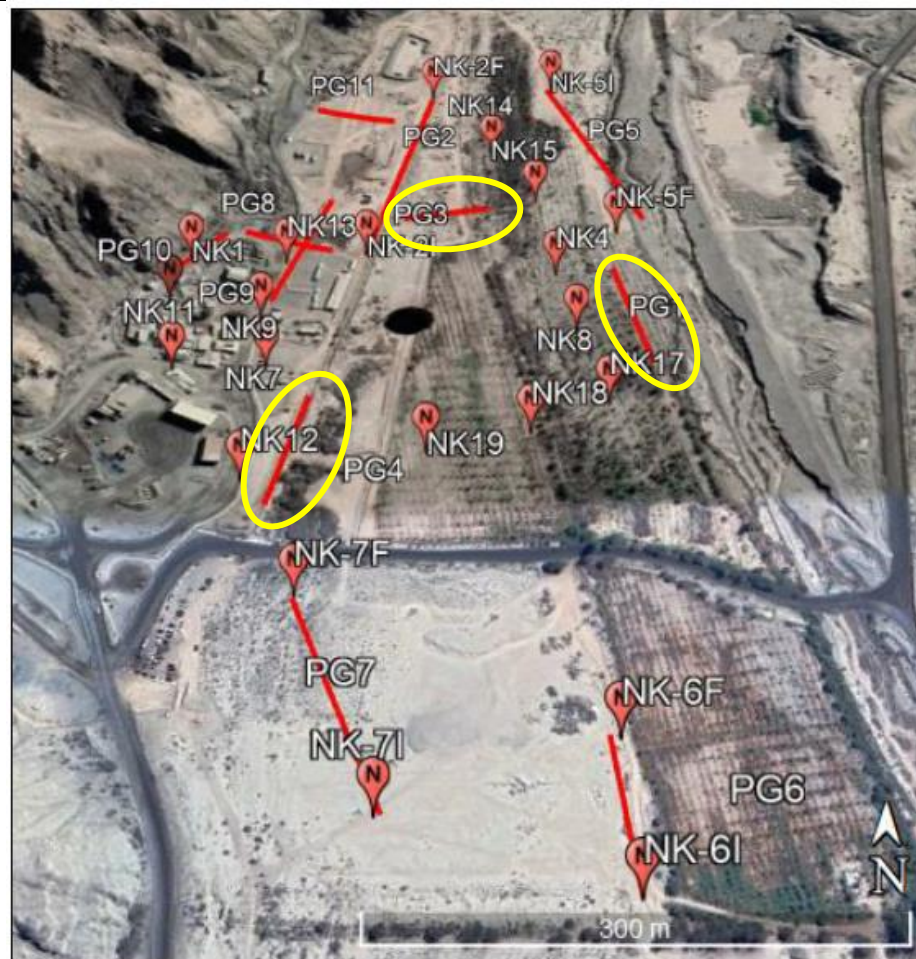
Registro 8.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo Digital de Terreno del sector de estudio y vista aérea general del sector de la subsidencia y de su interior.



Registros



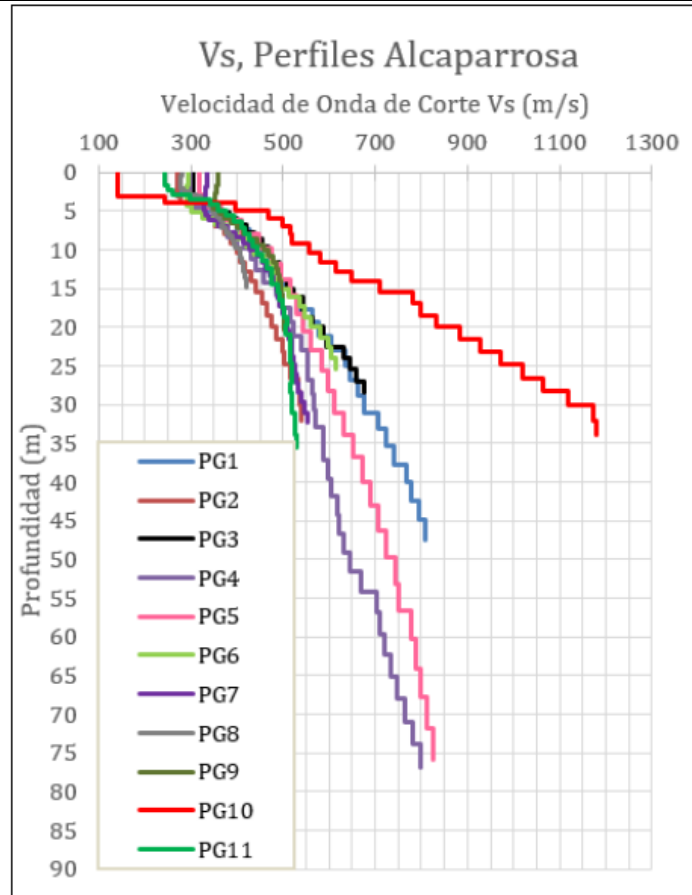
Registro 9.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la ubicación prospecciones geofísicas sector Alcaparrosa realizadas por IDIEM para el titular. En amarillo se destacan los perfiles geofísicos más cercanos al socavón.



Registros



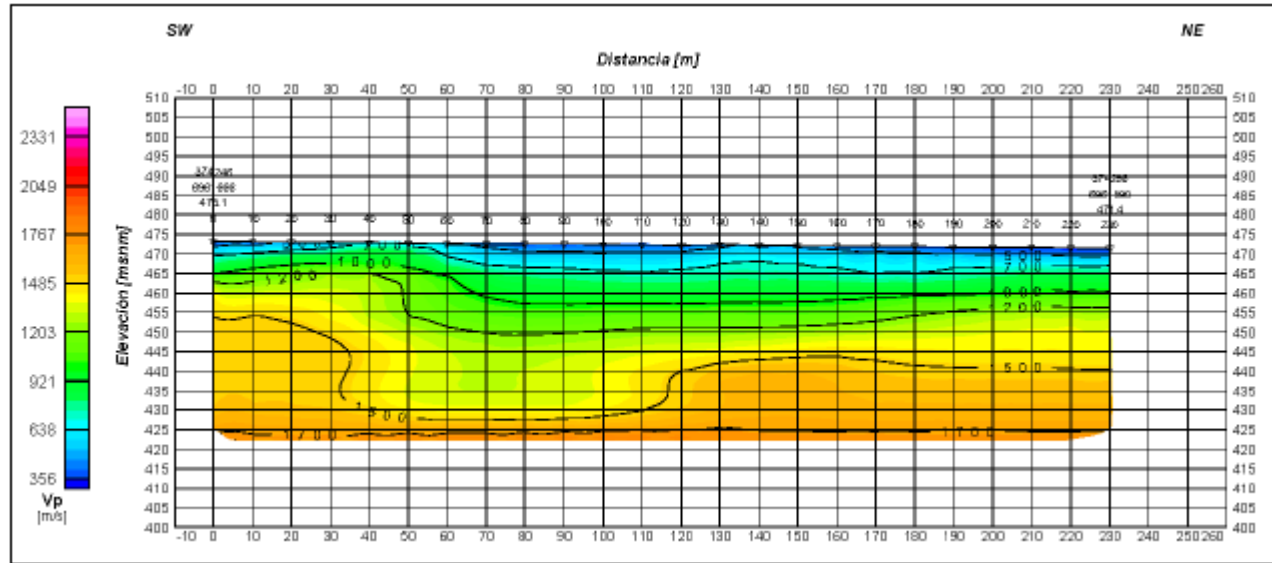
Registro 10.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del Modelos 1D de velocidades de corte Vs, para los once perfiles de REMI/MASW, sector Alcaparrosa



Registros



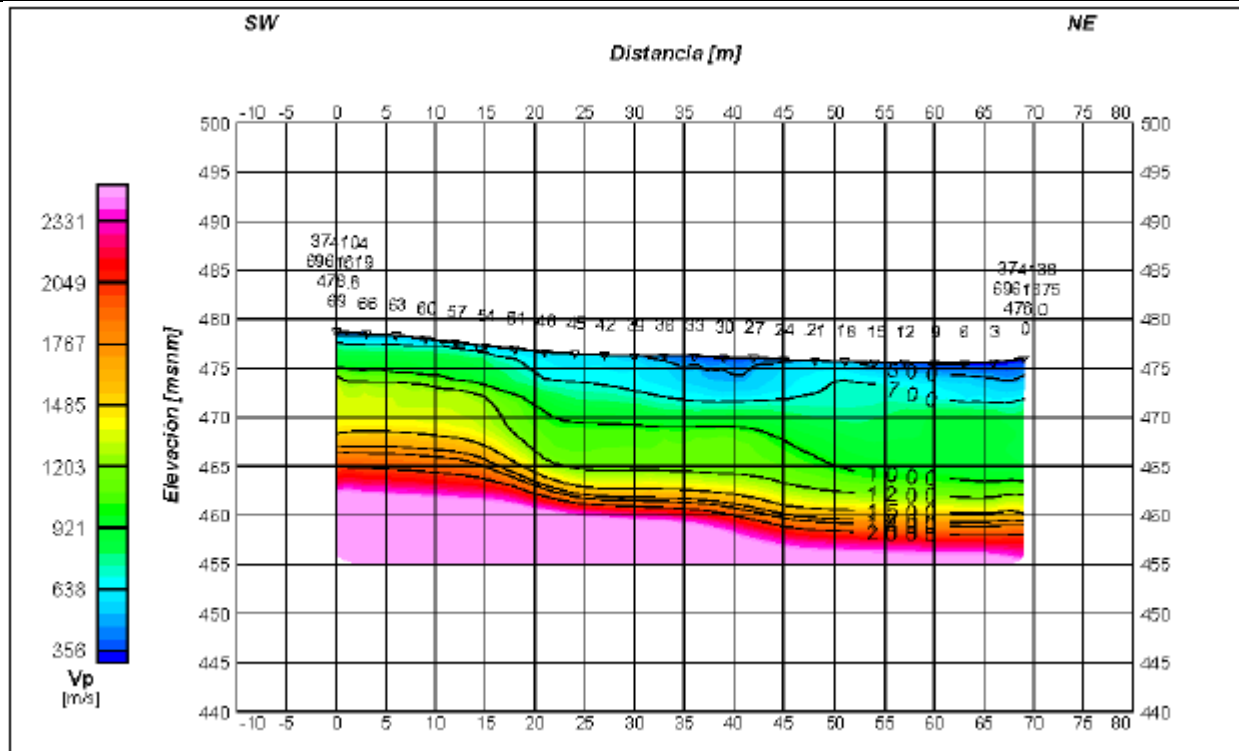
Registro 11.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo bidimensional de velocidad de ondas longitudinales Vp. Refracción sísmica perfil PG2.



Registros



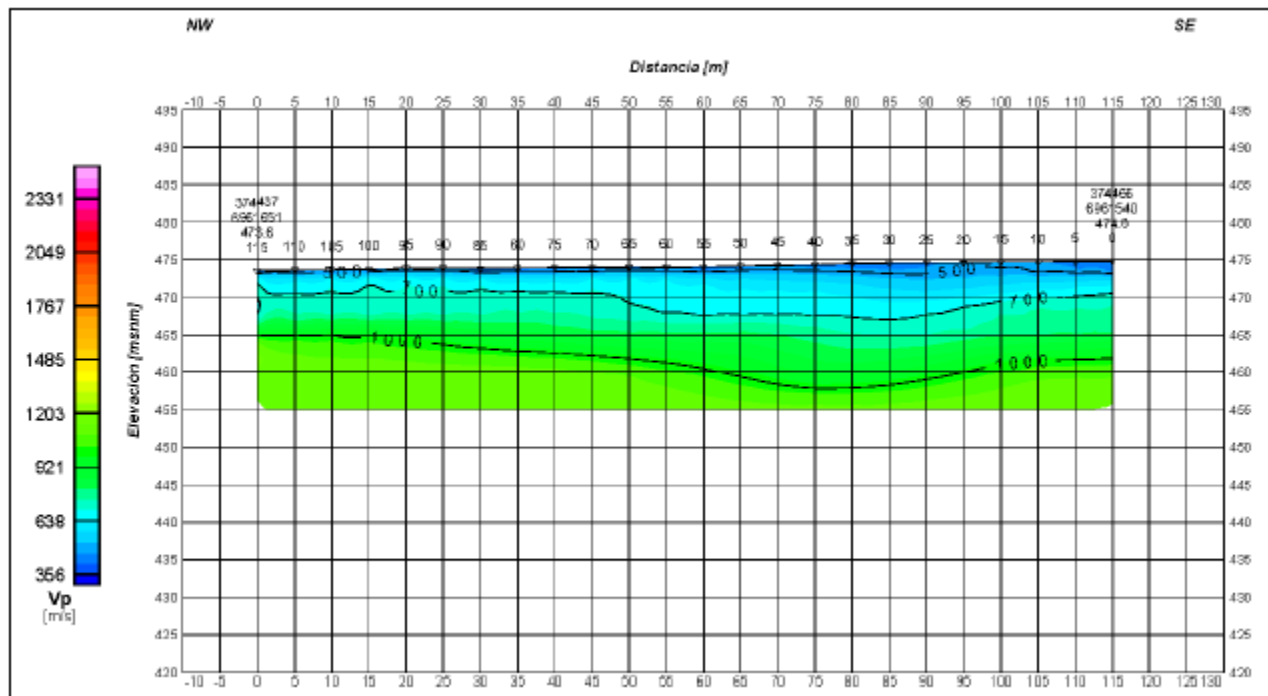
Registro 12.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo bidimensional de velocidad de ondas longitudinales Vp. Refracción sísmica perfil PG10.



Registros



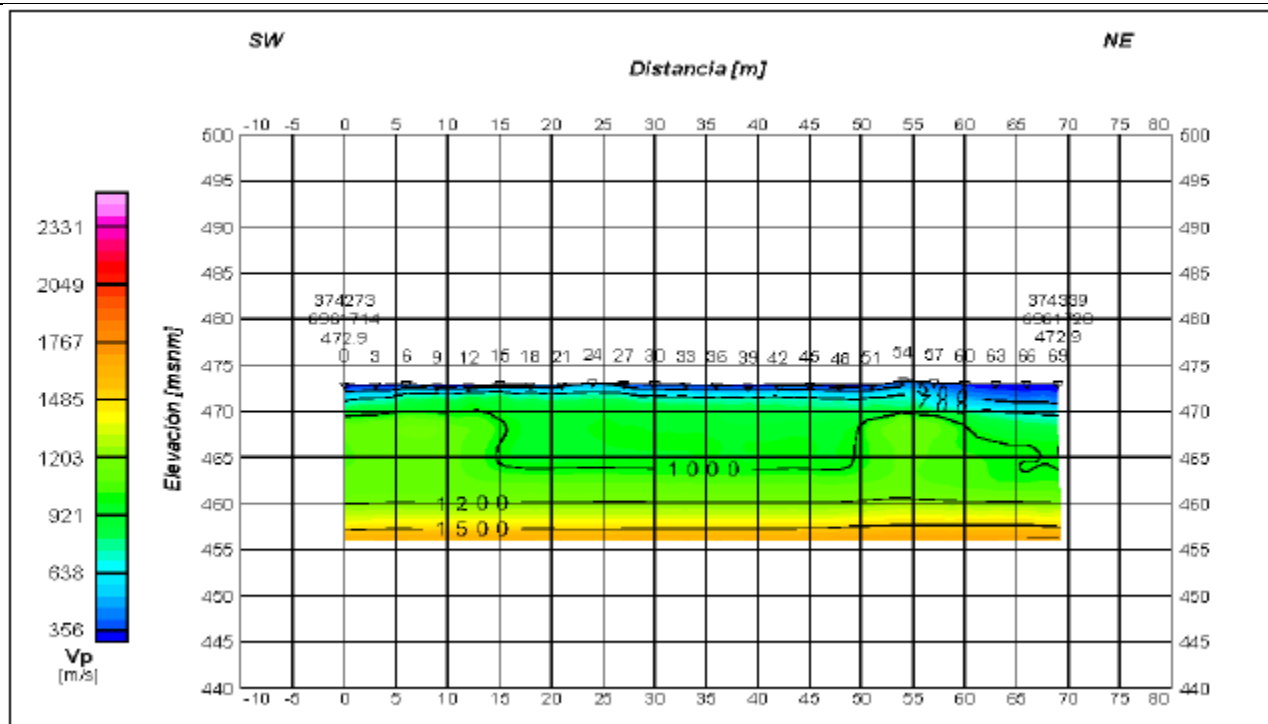
Registro 13.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo bidimensional de velocidad de ondas longitudinales Vp. Refracción sísmica perfil PG1.



Registros



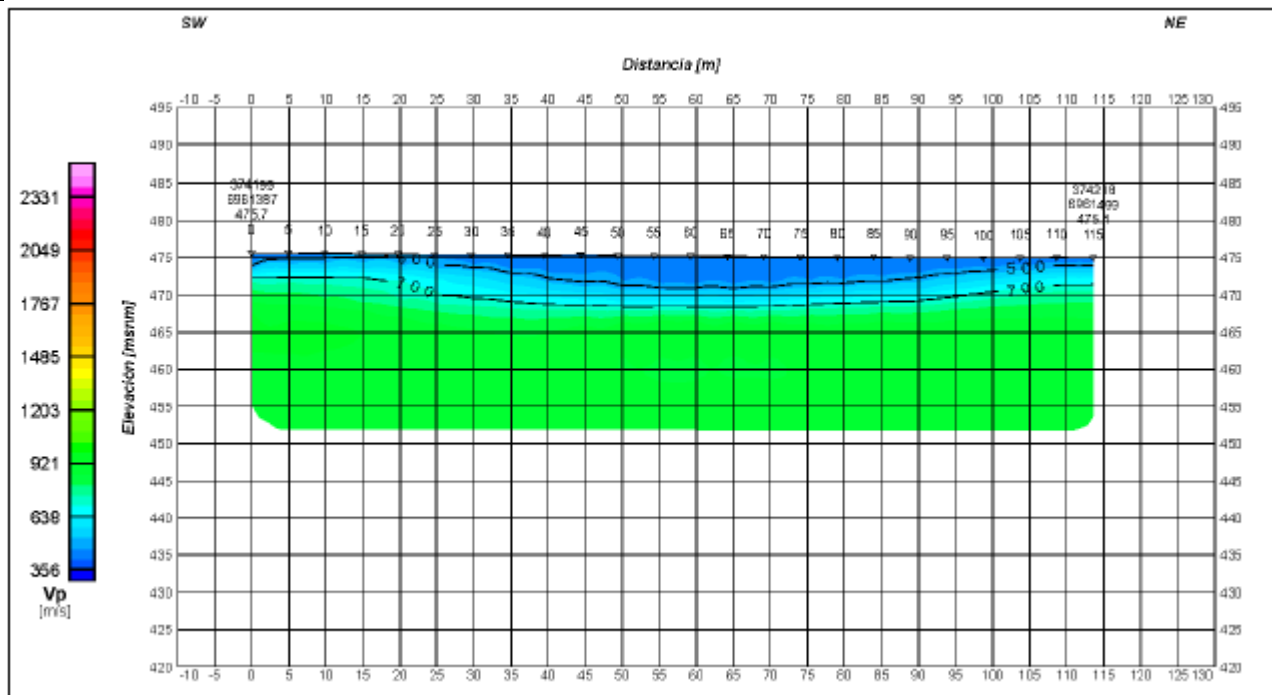
Registro 14.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo bidimensional de velocidad de ondas longitudinales Vp. Refracción sísmica perfil PG3.



Registros



Registro 15.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo bidimensional de velocidad de ondas longitudinales Vp. Refracción sísmica perfil PG4.



Registros

N° IDIEM	IDENTIFICACION DE MUESTRA	PP	ENSAYOS EJECUTADOS						
			COMPRESION UNIAIXIAL SIMPLE	COMPRESION UNIAIXIAL CON MODULO	CARGA PUNTUAL EN COLPA-DIAMETRAL	CARGA PUNTUAL EN COLPA-AXIAL	DORTE MOEK	VELOCIDADES DE ONDAS	INMERSION DE AGUA POTABLE AB 8V.
2474-01	AD0654_108.38_108.64	X			X				
2474-02	AD1200_117.62_117.84						X		
2474-03	AD1200_124.14_124.3	X							
2474-06	AD1202_147.73_147.06	X				X		X	
2474-07	AD1203_113.66_113.71								X
2474-08	AD1203_122.63_122.79	X							
2474-09	AD1203_124.38_124.67				X				
2474-10	AD1204_161.16_161.38	X			X				
2474-11	AD1204_167.56_167.82							X	
2474-12	AD1204_189.72_189.89				X				
2474-14	AD1206_133.02_133.18	X							X
2474-15	AD1208_183.2_183.41	X						X	
2474-16	AD1210_116.34_116.47						X		
2474-17	AD1210_132.66_133.09			X					X
2474-18	AD1210_134.42_134.57				X				
2474-19	AD1210_130.27_130.5	X		X				X	
2474-21	AD1210_171.28_171.46								X
2474-22	AD1210_171.44_171.62	X						X	
2474-23	AD1210_177.48_177.68				X				
2474-24	AD1213_203.61_203.89	X		X					
2474-25	AD1213_208.96_209.14			X				X	
2474-27	AD1214_101.8_101.95		X					X	
2474-28	AD1214_110.19_110.34	X							X
2474-29	AD1214_112.5_112.79		X					X	
2474-30	AD1214_146.53_146.72			X					
2474-31	AD1214_146.32_146.55			X				X	
2474-32	AD1214_150.3_150.47	X		X					

Registro 16. Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los ensayos en laboratorio ejecutados a los 32 testigos recolectados de la testigoteca de la Planta PAC, propiedad del titular.



Registros

Table 5.4: P-wave and S-wave velocities of some rocks

Rock	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	Rock	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)
Basalt	4550–6150	2550–3550	Limestone	4550–6200	2750–3600
Chalk	1550–4300	1600–2500	Norite	5950–6950	3300–3900
Diabase	3300–3750	5150–6750	Peridotite	6400–8450	3300–4400
Diorite	4750–6350	2900–3550	Quartzite	2750–5550	1600–3450
Dolomite	4850–6600	2950–3750	Rhyolite	3200–3300	1900–2000
Gabbro	5950–6950	3300–3900	Sandstones	2550–5000	1400–3100
Gneiss	2850–5450	1950–3350	Schist	2950–4950	1750–3250
Granite	4200–5900	2550–3350	Tuff	1400–1500	800–900

Registro 17.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las velocidades de ondas S y P de algunas rocas (fuente: Read, John & Stacey, Peter. (2009)).



Registros

Unidad Geotécnica	UG-1	Unidad Geotécnica	UG-2
Tipo de suelo	Grava arenosa	Tipo de suelo	Grava areno limosa
Densidad de terreno, γ (kN/m ³)	20,0	Densidad de terreno, γ (kN/m ³)	21,0
Ángulo de fricción, ϕ (°)	37	Ángulo de fricción, ϕ (°)	38
Cohesión, c (kPa)	1,0	Cohesión, c (kPa)	2,0
Módulo de Deformación Estático (kg/cm ²)	410	Módulo de Deformación Estático (kg/cm ²)	$280 \cdot z^{0.50}$
Módulo de Poisson, ν (-)	0,32	Módulo de Poisson, ν (-)	0,30
Unidad Geotécnica	UG-3	Unidad Geotécnica	Material Suelto
Tipo de suelo	Grava areno limosa	Tipo de suelo	Grava arenosa
Densidad de terreno, γ (kN/m ³)	22,5	Densidad de terreno, γ (kN/m ³)	18,0
Ángulo de fricción, ϕ (°)	39	Ángulo de fricción, ϕ (°)	36
Cohesión, c (kPa)	2,1	Cohesión, c (kPa)	0,0
Módulo de Deformación Estático (kg/cm ²)	$340 \cdot z^{0.56}$	Módulo de Deformación Estático (kg/cm ²)	340
Módulo de Poisson, ν (-)	0,27	Módulo de Poisson, ν (-)	0,32

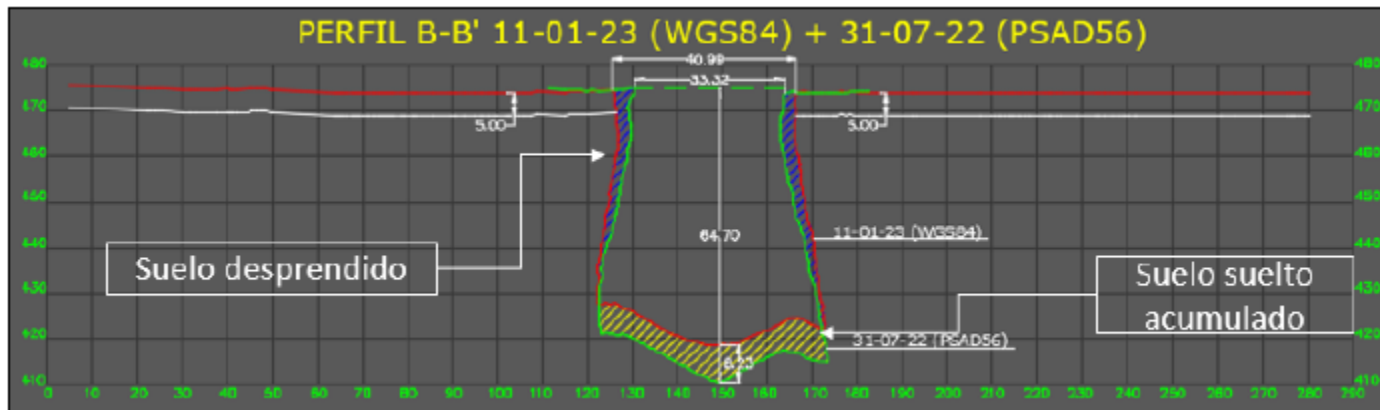
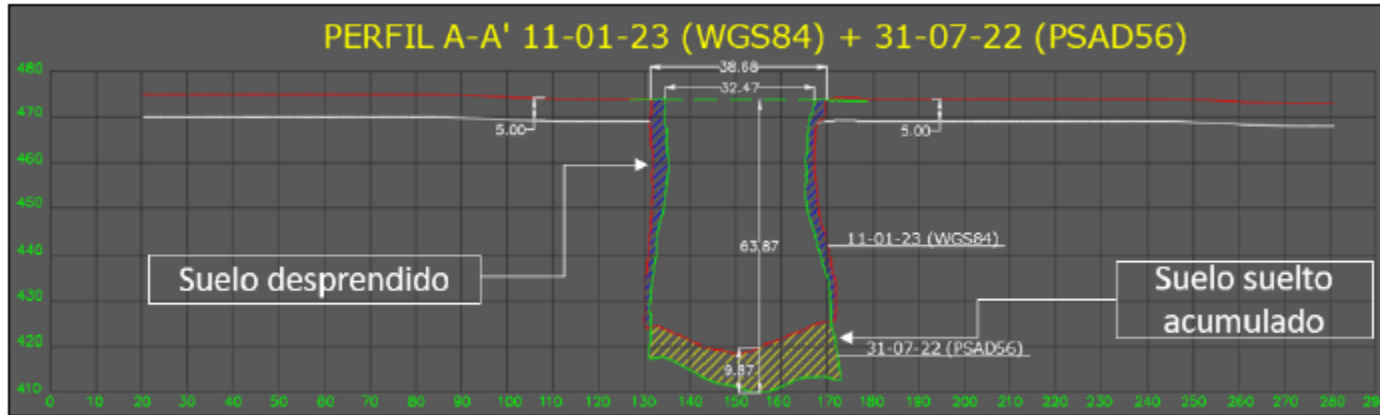
Registro 18.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las caracterizaciones geotécnicas de las unidades UG-1, UG-2, UG-3 y material suelo.



Registros



Registro 19.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las secciones transversales del socavón. Perfil A-A' en dirección este – oeste y perfil B-B' en dirección norte - sur



Registros

Condición	FS	Radio total, franja de seguridad (m)
Estática	1,5	53,42
Sísmica PGA 0,53g	1,0	49,28
Sísmica PGA 0,61g	1,0	49,30
Sísmica PGA 0,77g	1,0	49,30
Sísmica PGA 1,04g	1,0	49,30
Sísmica PGA 0,53g	1,2	55,68
Sísmica PGA 0,61g	1,2	55,68
Sísmica PGA 0,77g	1,2	59,30
Sísmica PGA 1,04g	1,2	59,30

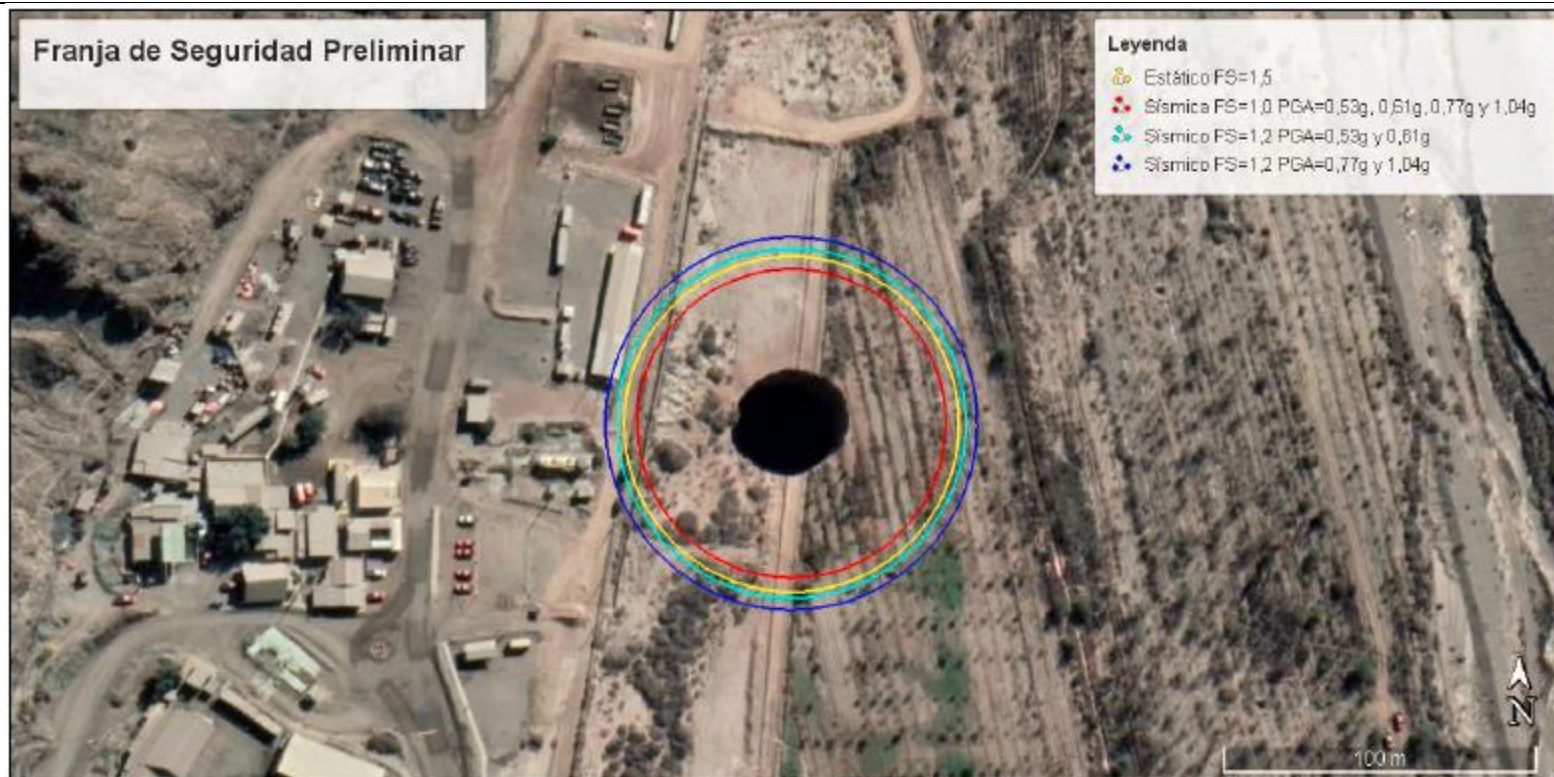
Registro 20.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los radios de franjas de seguridad, por condición evaluada. En verde se destacan los valores de la franja de seguridad que está por sobre los 50 metros, mientras que en rojo se detallan los valores bajo esta distancia.



Registros



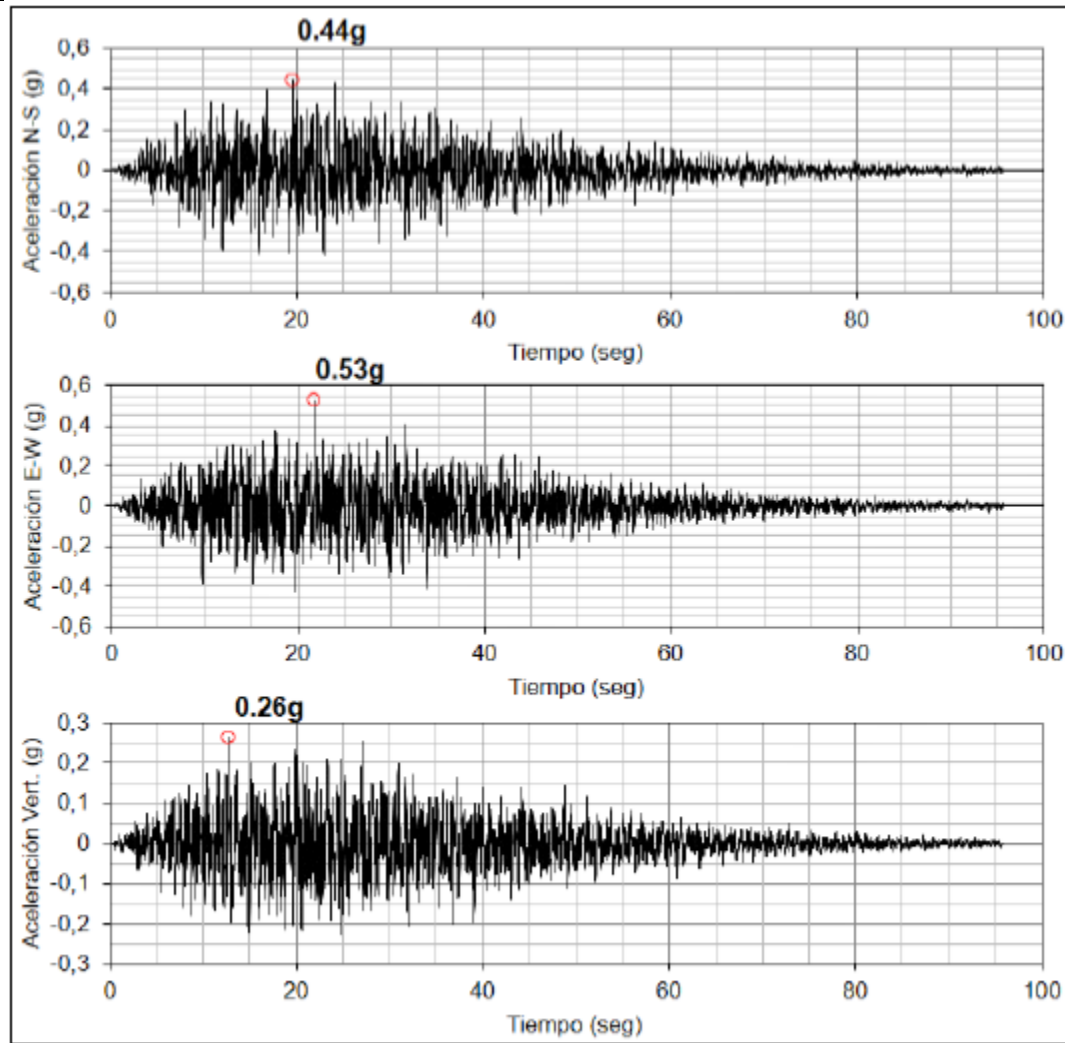
Registro 21.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los perímetros de seguridad para casos estático de diseño, y sísmico crítico y de diseño.



Registros



Registro 22.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle Registro a partir de espectro de amenaza uniforme del 10% de probabilidad de excedencia en 100 años, a partir del estudio del riesgo sísmico para el sector de Alcaparrosa utilizado como referencia por el consultor.



Registros

FLAC3D 5.01

©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

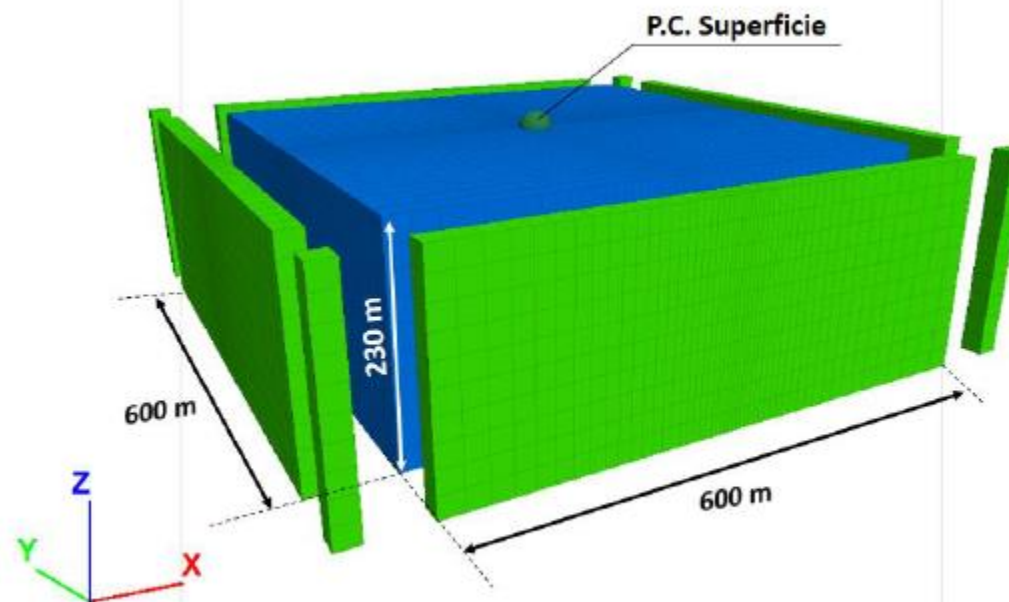
History Locations

ZGroup

Group Slot: Any

FreeField:Roca_UG5

Roca_UG5



Registro 23.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo horizontal equivalente 3D implementado en FLAC. (P.C.: Punto de Control). Se observa en azul el volumen del sólido de la unidad de roda UG5, mientras que en verde se observa el volumen libre de la misma unidad UG5.



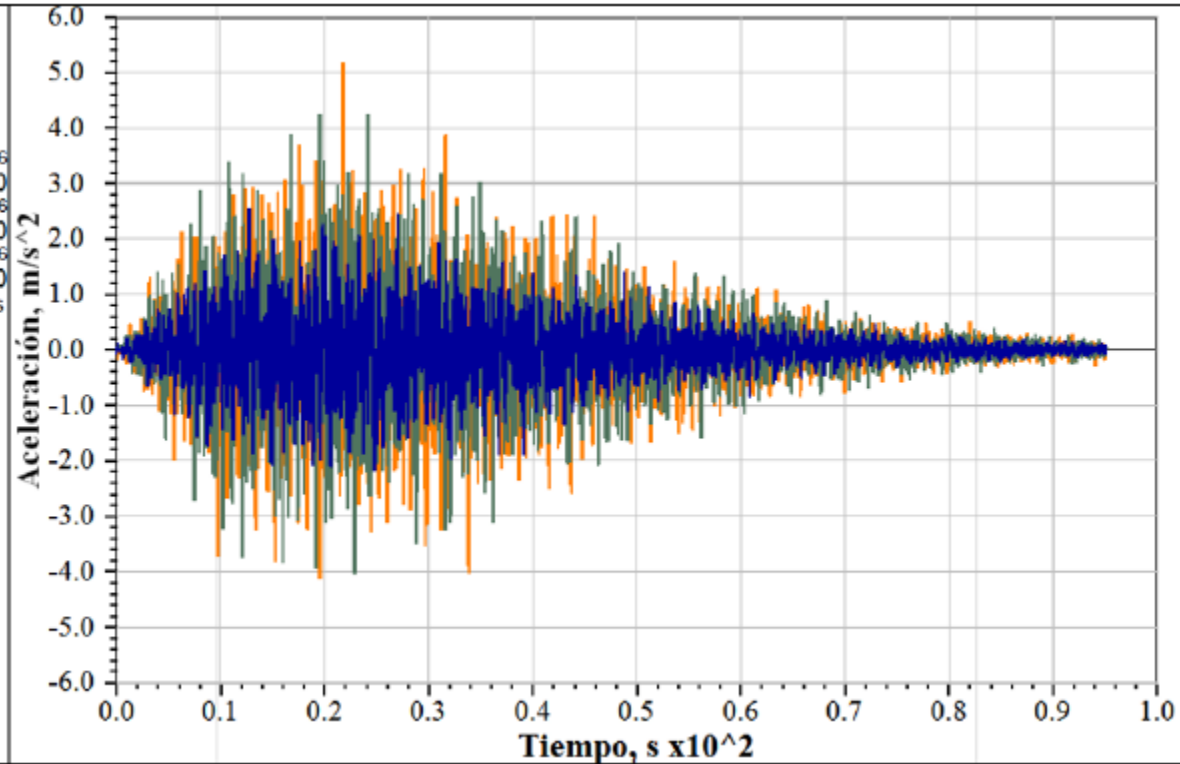
Registros

FLAC3D 5.01

©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

History

13 X-acceleration of gp 7436
-4.1330e+00 <-> 5.1668e+00
16 Y-acceleration of gp 7436
-4.0310e+00 <-> 4.2329e+00
19 Z-acceleration of gp 7436
-2.1904e+00 <-> 2.5478e+00
vs. 1 Real time for dynamic problems
1.6936e-03 <-> 9.4989e+01



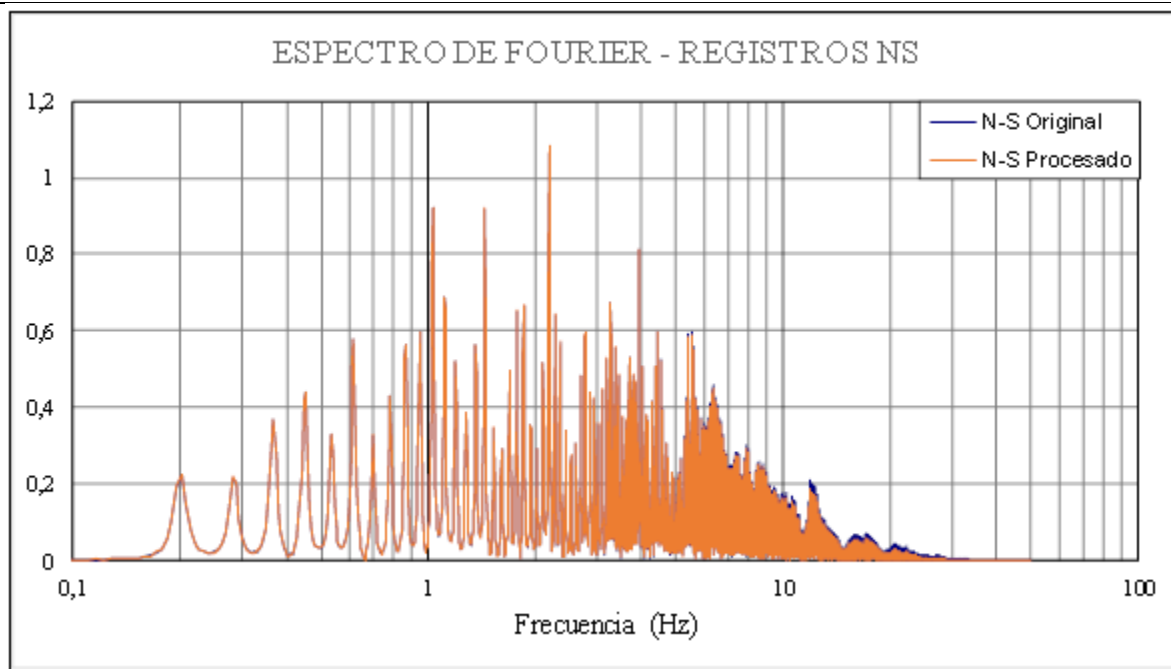
Registro 24.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la aceleración en superficie de modelo equivalente, en direcciones NS, EW y Z (vert.). Se puede observar que la línea naranja representa la aceleración de la horizontal en dirección norte sur; que la línea verde representa la aceleración en dirección este oeste; y la línea azul representa la aceleración en la dirección vertical, todas las aceleraciones con un gp de 7436.



Registros



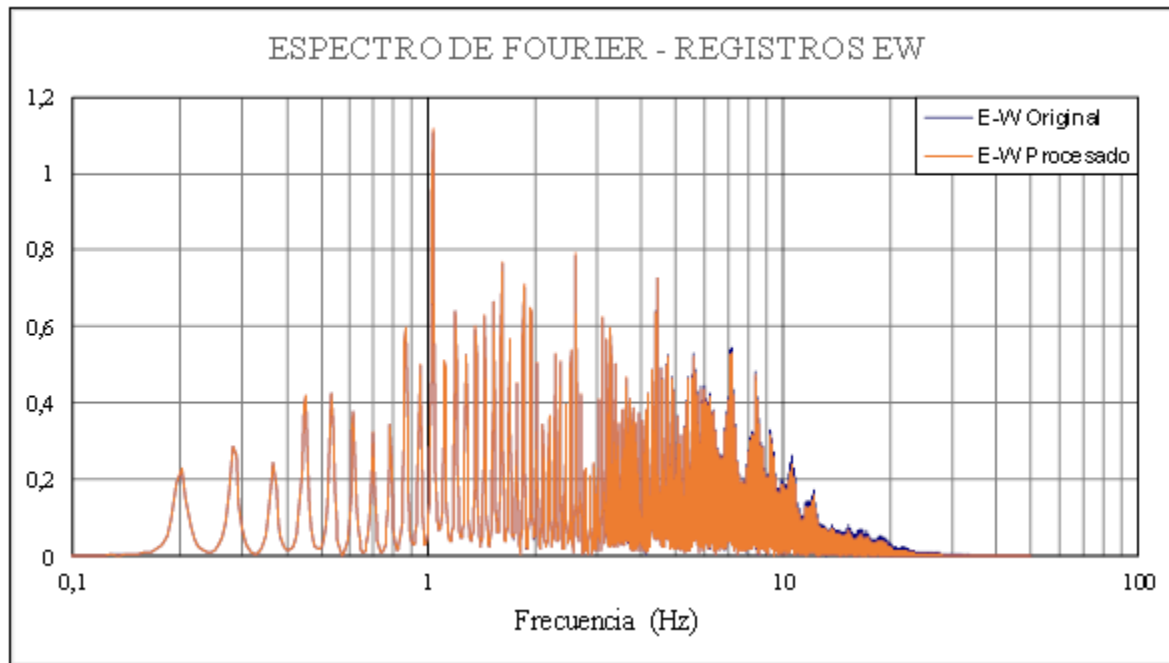
Registro 25.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la Comparación Espectros de Fourier, registros N-S original y procesado (respuesta en superficie en FLAC3D). En azul se destaca el registro original de la dirección N-S y en naranja el registro procesado de la dirección N-S.



Registros



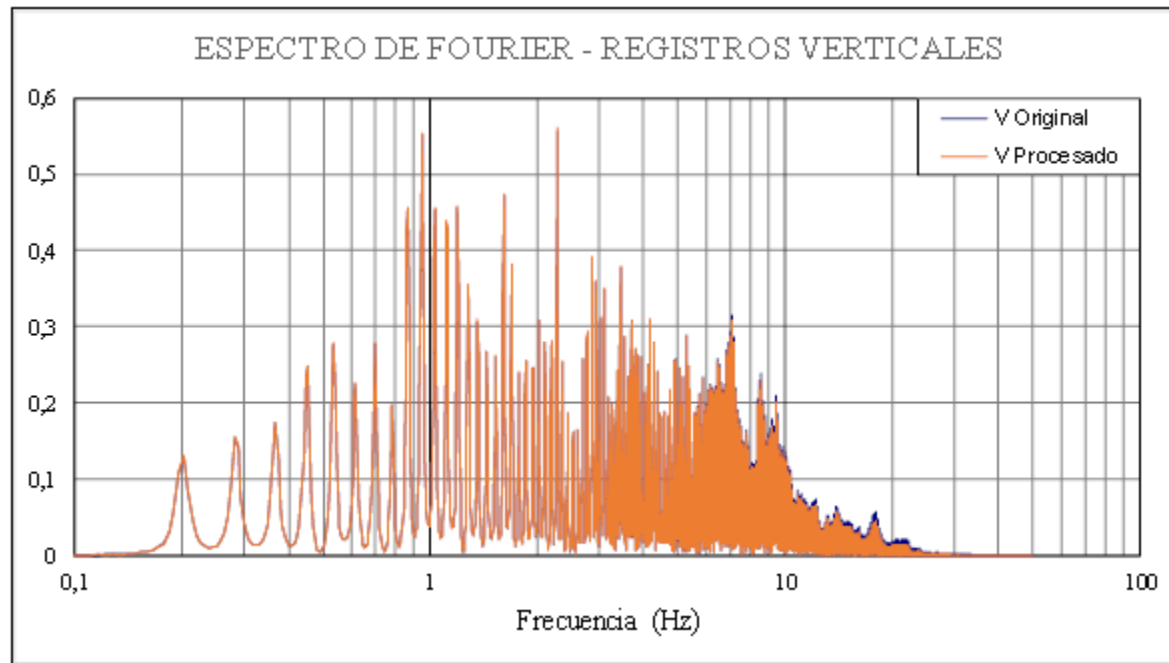
Registro 26.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la Comparación Espectros de Fourier, registros E-O original y procesado (respuesta en superficie en FLAC3D). En azul se destaca el registro original de la dirección N-S y en naranja el registro procesado de la dirección E-O.



Registros



Registro 27.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

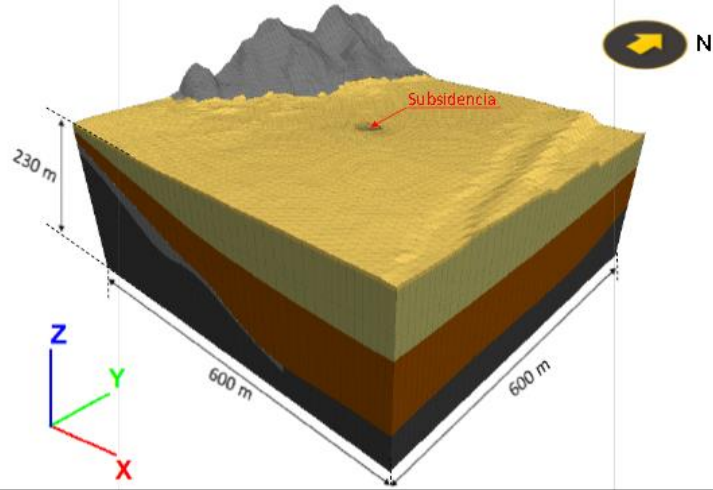
Descripción del medio de prueba: Detalle de la Comparación Espectros de Fourier, registros de vertical original y procesado (respuesta en superficie en FLAC3D). En azul se destaca el registro original de la dirección vertical y en naranja el registro procesado de la dirección vertical.



Registros

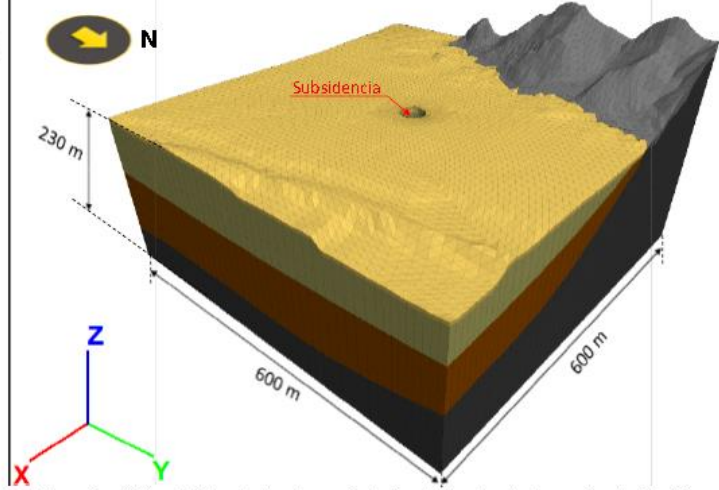
FLAC3D 5.01
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

ZGroup
Group Slot: Any
Grava_UG1
Grava_UG2
Grava_UG3
Roca_UG4
Roca_UG5



FLAC3D 5.01
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

ZGroup
Group Slot: Any
Grava_UG1
Grava_UG2
Grava_UG3
Roca_UG4
Roca_UG5



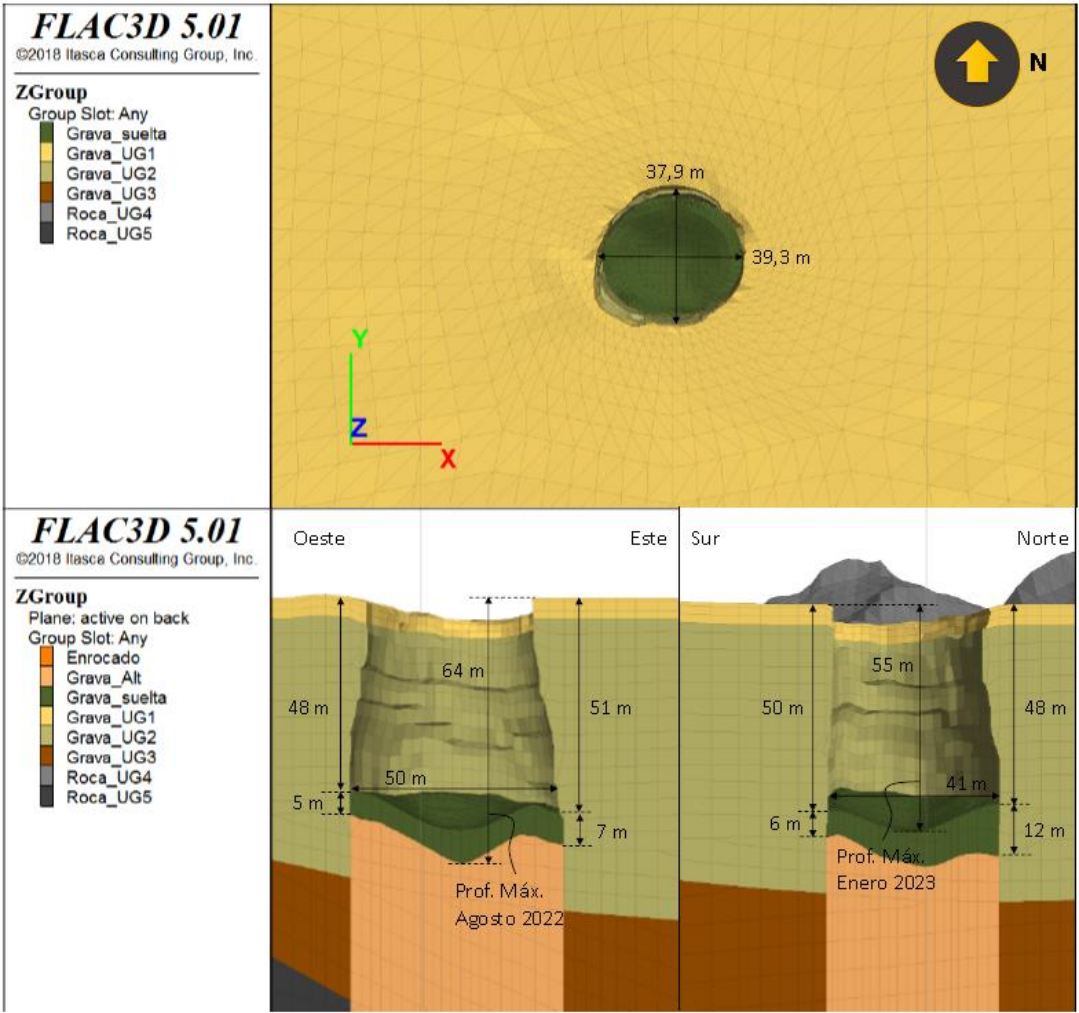
Registro 28.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la malla de diferencias finitas: Vista desde el suroriente (arriba) y desde el nororiente (abajo). Se observa que la subsidencia está en el centro geográfico de la malla y cada unidad de suelo ((UG) esta diferenciada por un color en específico.



Registros



Registro 29.

Fuente: “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la malla en el sector de la subsidencia: vista en planta (arriba); profundidades en corte E-O (abajo izquierda) y corte N-S (abajo derecha). En verde oscuro se observa en el fondo de la subsidencia la grava alterada acumulada por el desprendimiento de las paredes laterales.



Registros

FLAC3D 5.01

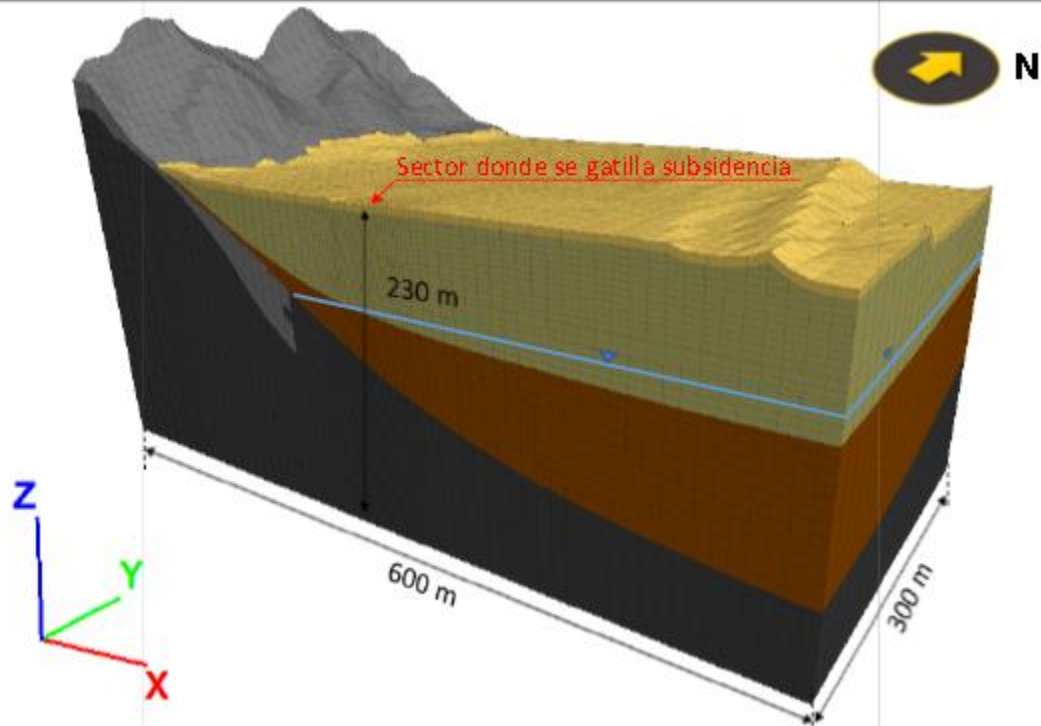
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

ZGroup

Plane: active on back

Group Slot: Any

- Enrocado
- Grava_Alt
- Grava_suelta
- Grava_UG1
- Grava_UG1_Sint
- Grava_UG2
- Grava_UG2_Alt
- Grava_UG2_Bott
- Grava_UG2_Sint
- Grava_UG3
- Grava_UG3_Alt
- Roca_UG4
- Roca_UG5
- Roca_UG5_Alt



Registro 30.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle los materiales en condición geostática inicial en FLAC3D. Se observa que cada unidad geotécnica tiene asignado un color de manera de diferenciar cada una de ellas.



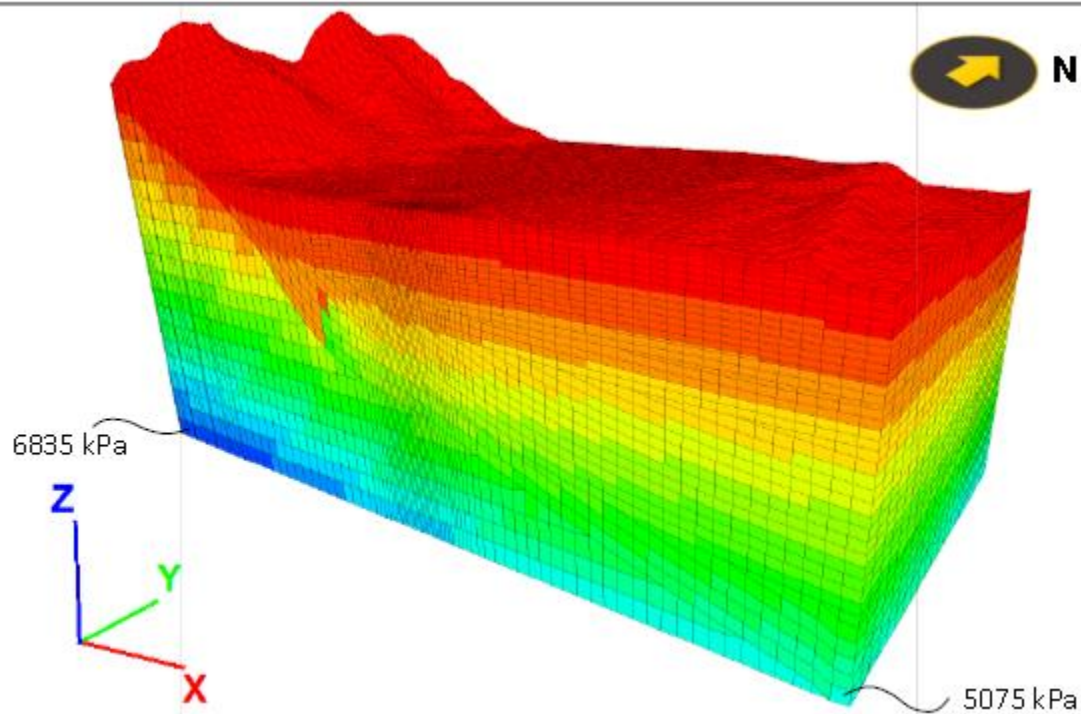
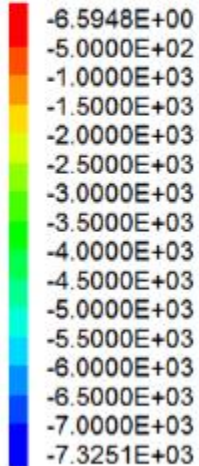
Registros

FLAC3D 5.01

©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

ColorScale of ZZ-Stress

Plane: active on back



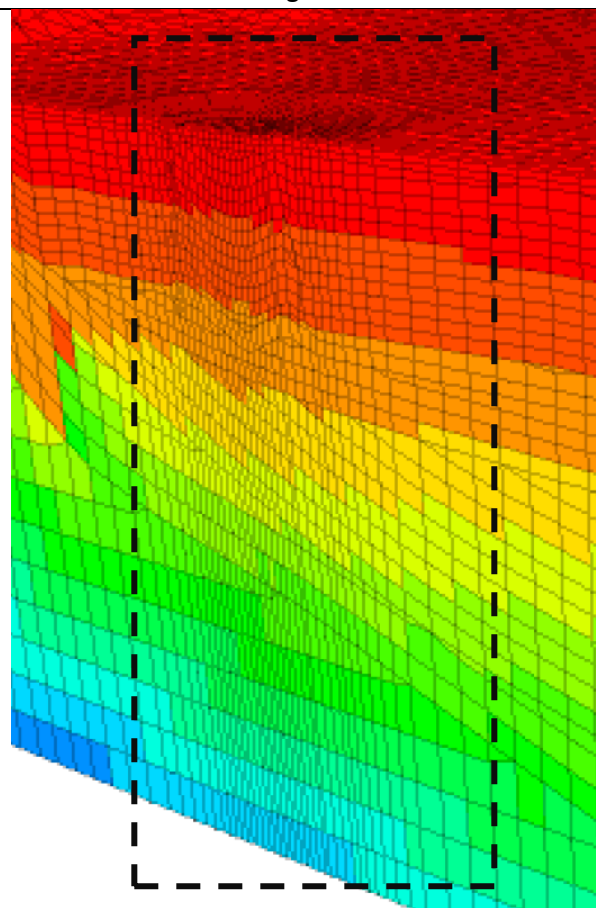
Registro 31.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del estado tensional vertical en condición geostática en FLAC3D. Los valores están expresado en kilo pascales (kPa). Se observa que hacia el oriente los valores tensionales son menores que hacia el poniente.



Registros



Registro 32.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del área bajo la subsidencia (en el cuadro negro) en la que se constata la deformación de las distintas capas de las unidades geotécnicas, las que en el gráfico representan las distintas tensiones verticales (distintos colores) de la gráfica anterior.



Registros

FLAC3D 5.01

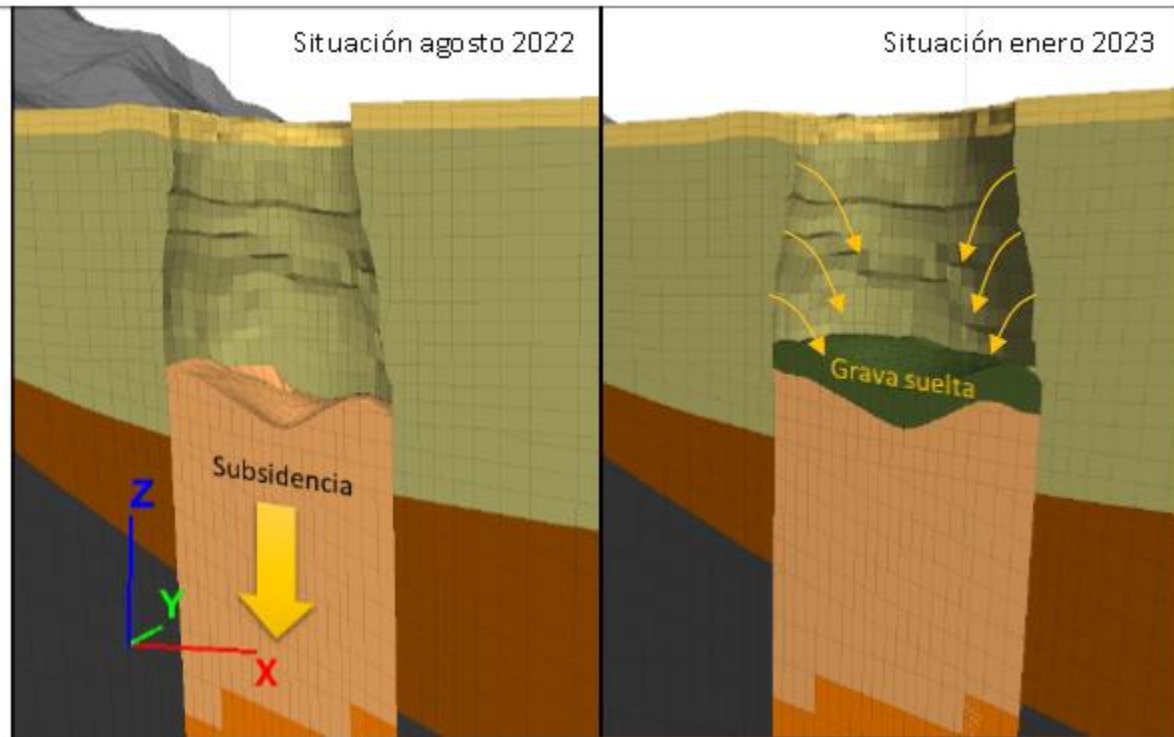
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

ZGroup

Plane: active on back

Group Slot: Any

- Enrocado
- Grava_Alt
- Grava_UG1
- Grava_UG2
- Grava_UG3
- Roca_UG4
- Roca_UG5



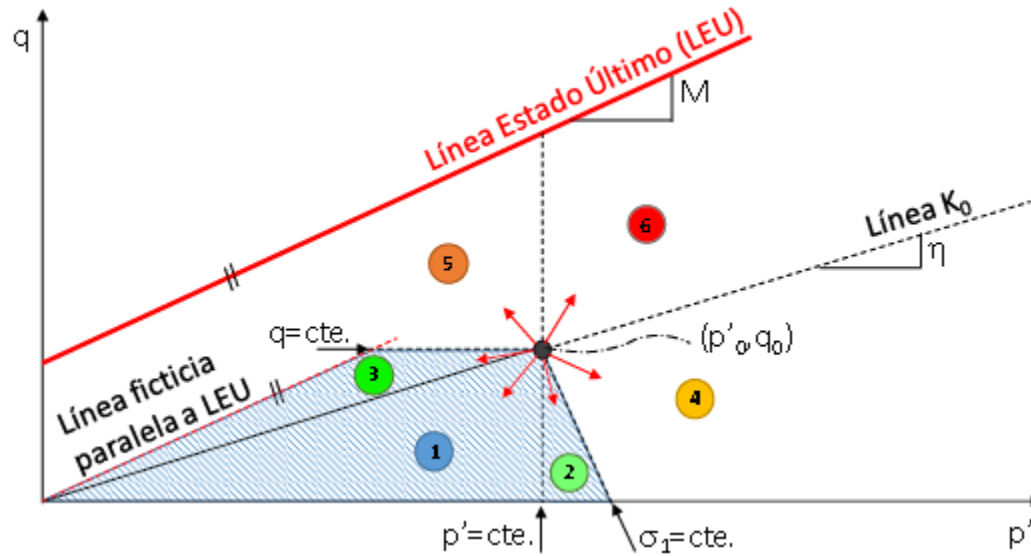
Registro 33.

Fuente: "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la ubicación de los materiales al interior del socavón, producto de la subsidencia en FLAC3D. Se comparan las imágenes del modelo en agosto de 2022 y enero de 2023, según la entrada de valores que se aplican en el modelo. Se puede observar en enero 2023 cómo la grava suelta se acumula al fondo del socavón por la pérdida lateral de las paredes.



Registros



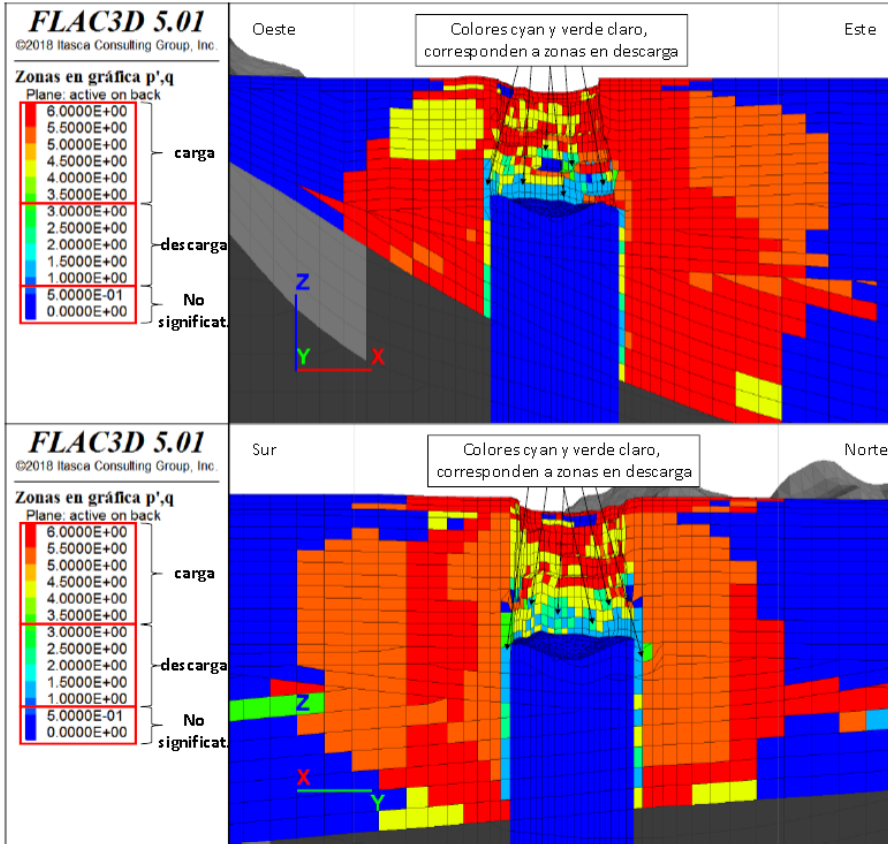
Registro 34

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las zonas achuradas post-subsidencia (1, 2 y 3), constituyen descarga del material. La zona 4, 5 y 6 corresponde hacia donde se desplaza el estado tensional comprimiendo los materiales, es decir, aumentando su confinamiento, por esta razón en esta área no hay descarga de material.,



Registros



Registro 35.

Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los estados tensionales finales post-subsidencia, según zonas de la Figura 10-15: arriba, en corte este-oeste y, abajo, en corte norte-sur. Los cuadros en celeste y verde corresponden a las zonas en descarga.



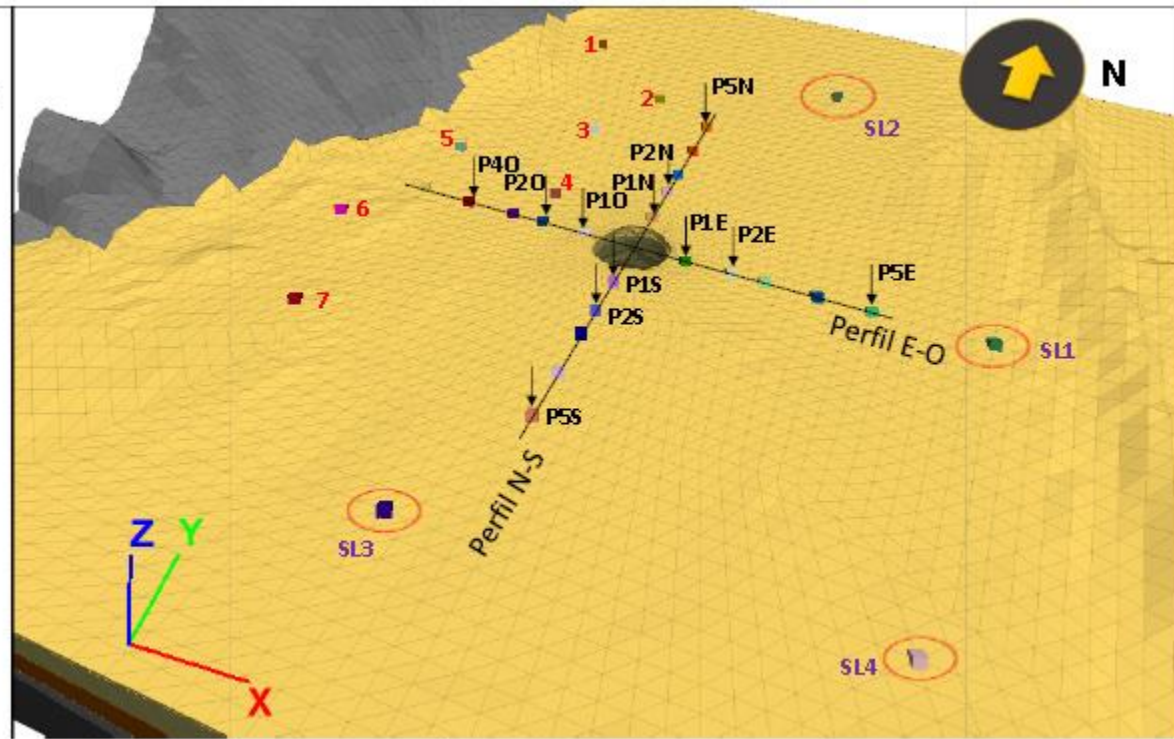
Registros

FLAC3D 5.01

©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

ZGroup

- Group Slot: Any
- Enrocado
 - Grava_Alt
 - Grava_suelta
 - Grava_UG1
 - Grava_UG2
 - Grava_UG3
 - Roca_UG4
 - Roca_UG5



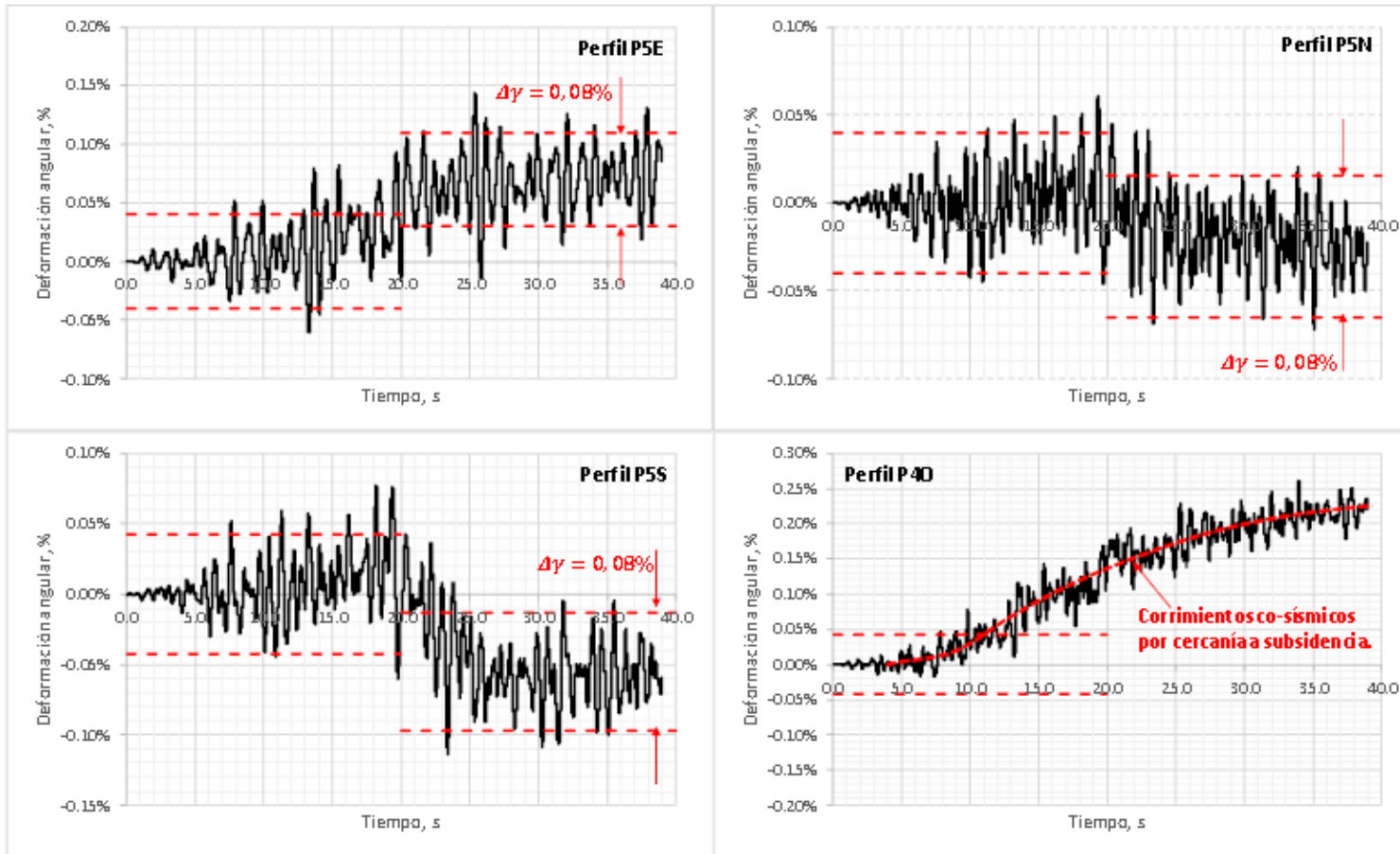
Registro 36.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los puntos de control para la medición de deformación angular en perfiles E-O y N-S. Las flechas de color negro representan los perfiles verticales en los puntos de control; se observa que, en todas las direcciones, salvo hacia el oeste, se consideran los puntos 1, 2 y 5, mientras que en este en vez del punto 5, se utiliza el punto 4.



Registros



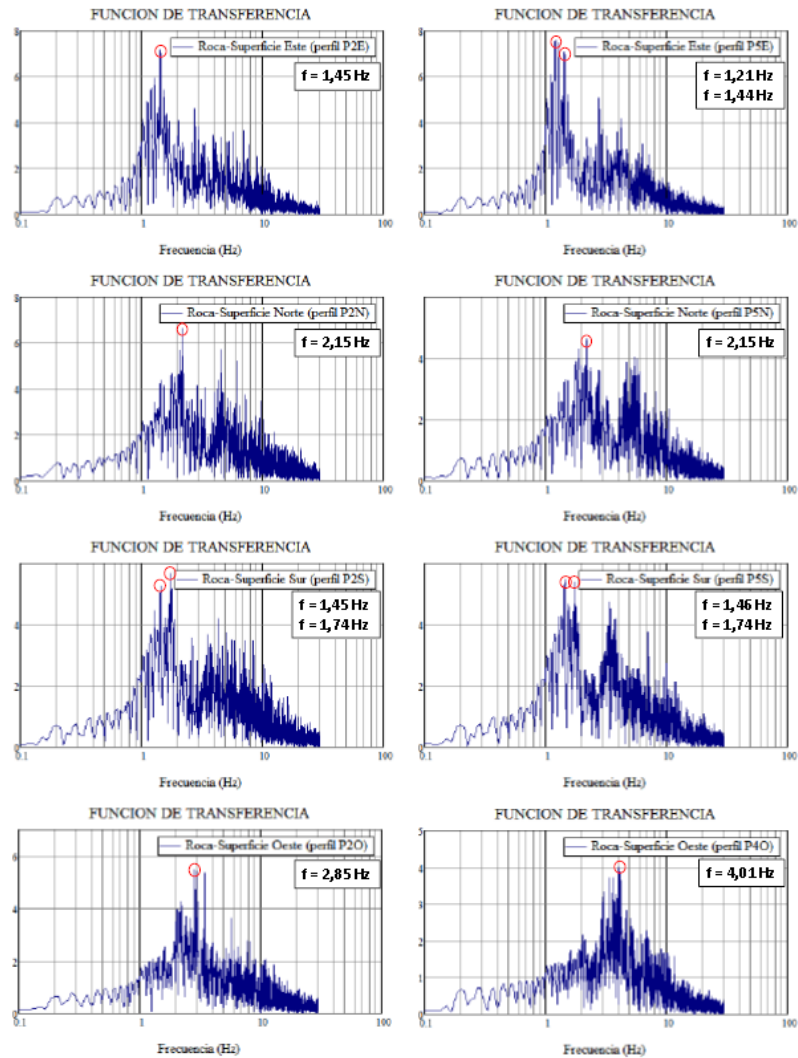
Registro 37.

Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones angulares en el tiempo, en perfiles de deformación alejados de la subsidencia (P5E, P40, P5N y P5S)



Registros



Registro 38.

Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las funciones de transferencia en distintos sectores en torno a la subsidencia.



Registros

Material	Altura de zona en el modelo, z_m (m)	Estimación degradación módulo de rigidez, G/G_0 ()	Frecuencia teórica máxima transmitida sin filtro del modelo, f (Hz)
Roca sana blocosa con vetillas de calcita, UG5	15,0	1,00	$\leq 21,3$
Roca oxidada muy blocosa, UG4	10,0	1,00	$\leq 16,8$
Grava areno limosa, UG3	7,0	0,60	$\leq 10,0$
Grava areno limosa, UG2	4,0 – 5,0	0,60	$\leq 10,0$
Grava arenosa, UG1	2,0	0,60	$\leq 10,0$

Registro 39.

Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las frecuencias transmitidas por los materiales en cada unidad geotécnica.



Registros

Unidad Geotécnica	UG-1
Tipo de suelo	Grava arenosa
Densidad de terreno, γ (kN/m ³)	20,0
Ángulo de fricción, ϕ (°)	37
Cohesión, c (kPa)	10,0
Módulo de Deformación Estático (kg/cm ²)	410
Módulo de Poisson, ν (-)	0,32

Unidad Geotécnica	UG-2
Tipo de suelo	Grava areno limosa
Densidad de terreno, γ (kN/m ³)	21,0
Ángulo de fricción, ϕ (°)	38
Cohesión, c (kPa)	86,0
Módulo de Deformación Estático (kg/cm ²)	$280 \cdot z^{0.50}$
Módulo de Poisson, ν (-)	0,30

Unidad Geotécnica	UG-3
Tipo de suelo	Grava areno limosa
Densidad de terreno, γ (kN/m ³)	22,5
Ángulo de fricción, ϕ (°)	39
Cohesión, c (kPa)	89,0
Módulo de Deformación Estático (kg/cm ²)	$340 \cdot z^{0.56}$
Módulo de Poisson, ν (-)	0,27

Nota: Profundidad "z" en metros.

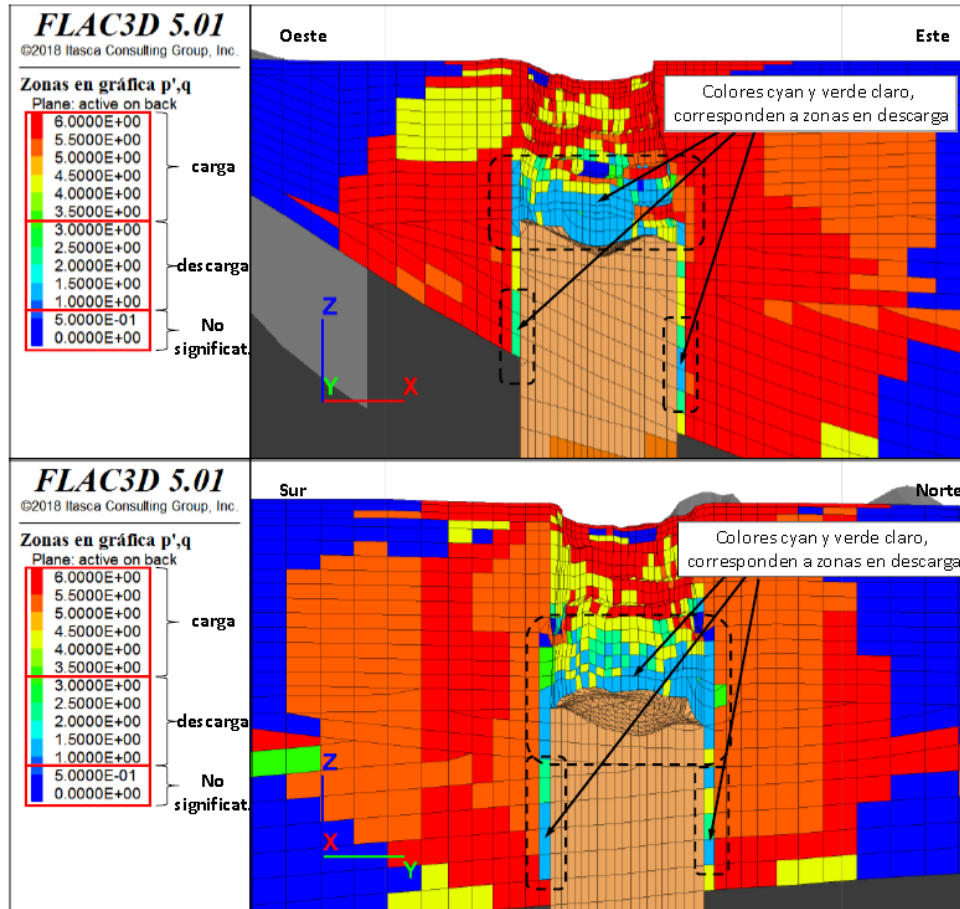
Registro 40.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la caracterización geotécnica ajustada de las unidades UG1, UG2 y UG3.



Registros



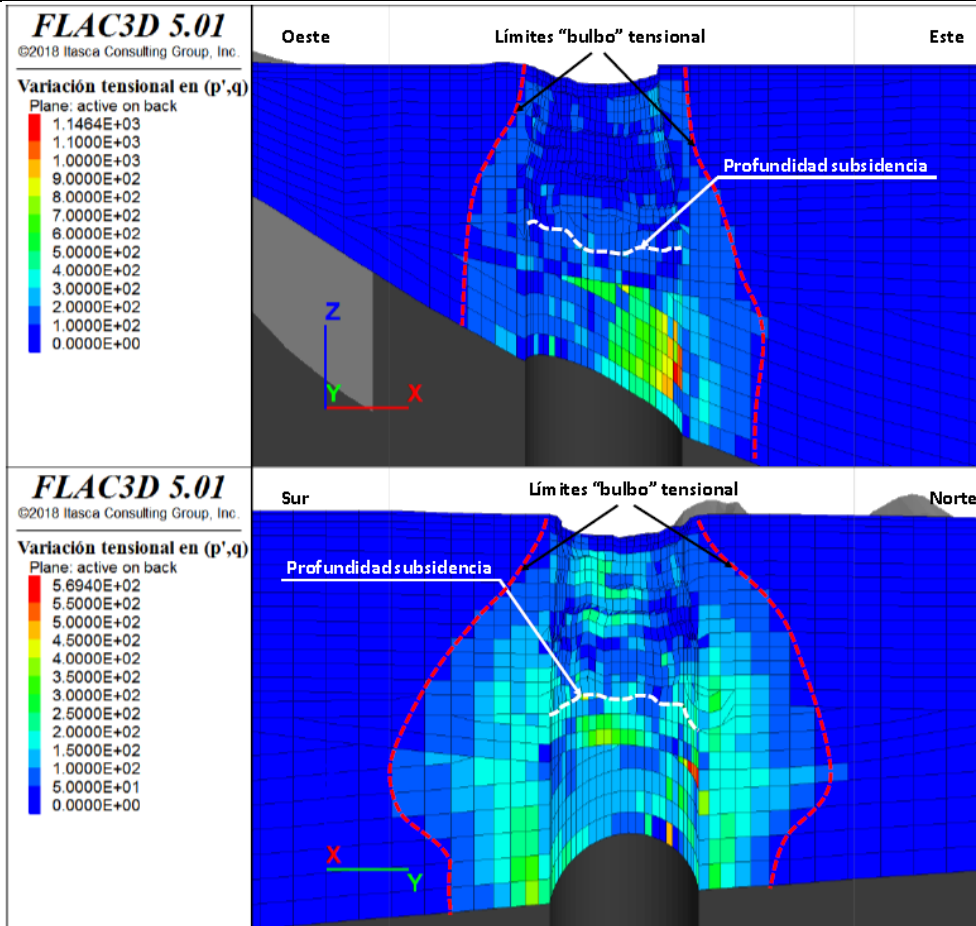
Registro 41.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las zonas en carga (valoración 4 a 6) y zonas en descarga (valoración a 1 a 3) en torno a la subsidencia, luego de la actualización de los parámetros geotécnicos.



Registros



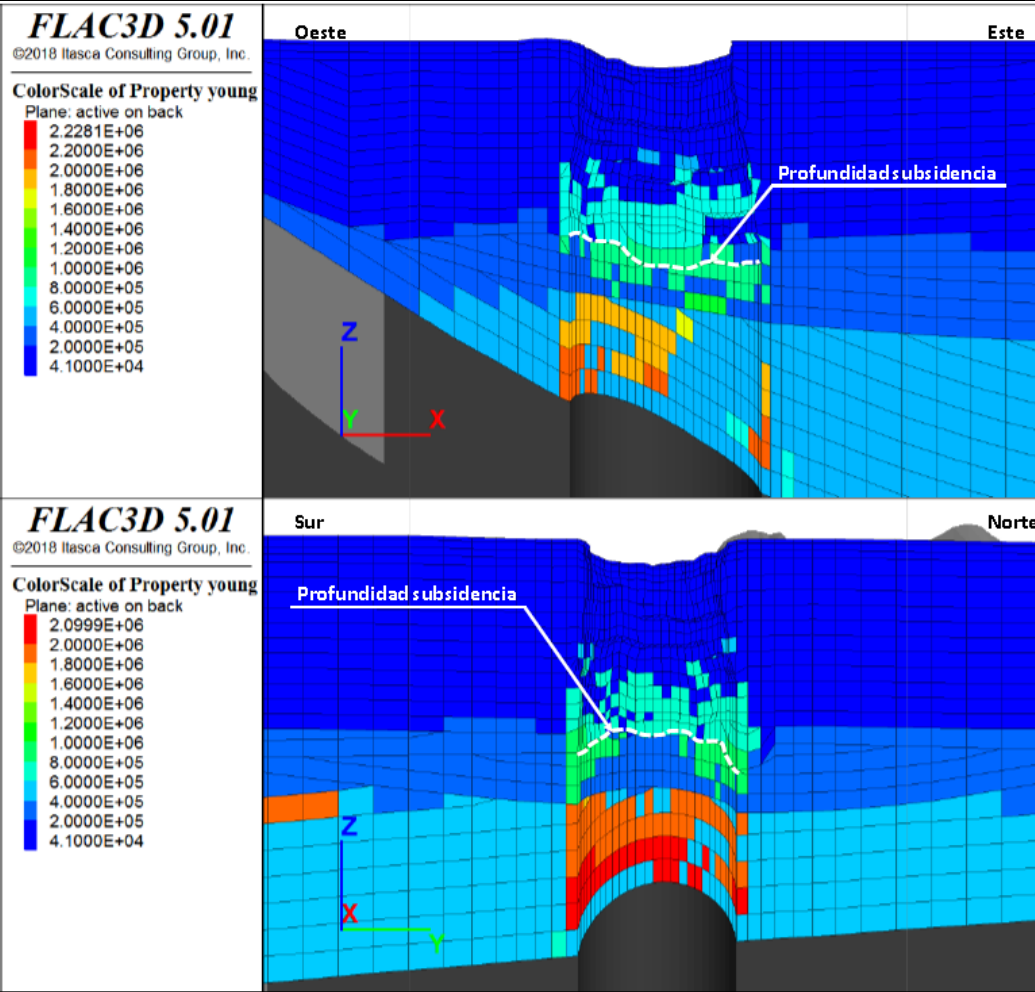
Registro 42.

Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del bulbo de incremento tensional en torno a la subsidencia. Valores en kPa. La línea blanca indica la profundidad de la subsidencia.



Registros



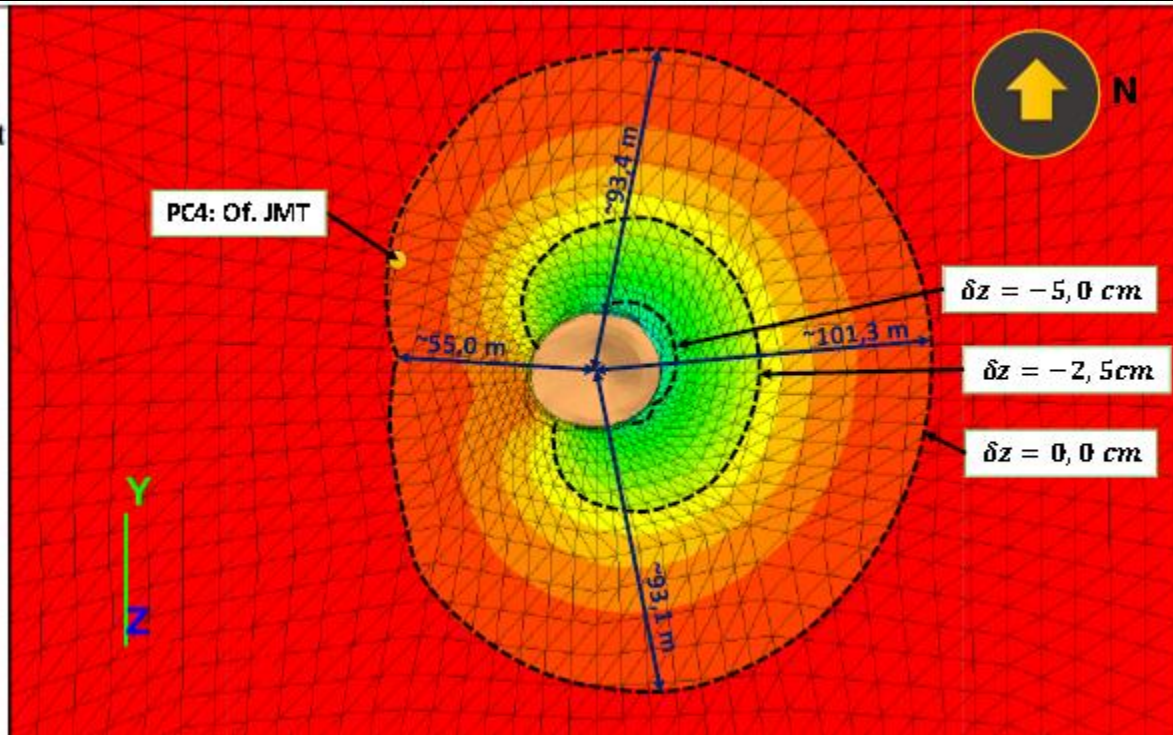
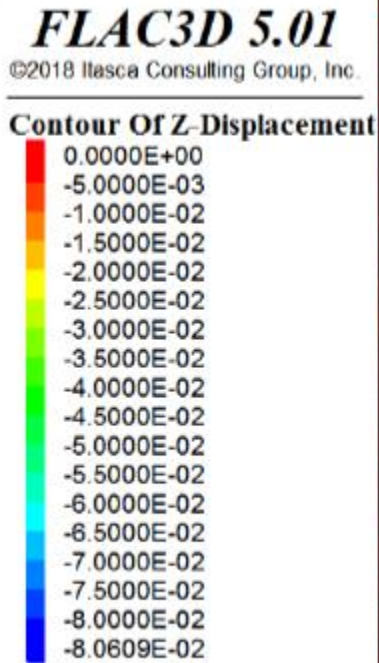
Registro 43.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la modificación del Módulo de Deformación producto de la subsidencia. Valores en kPa.



Registros



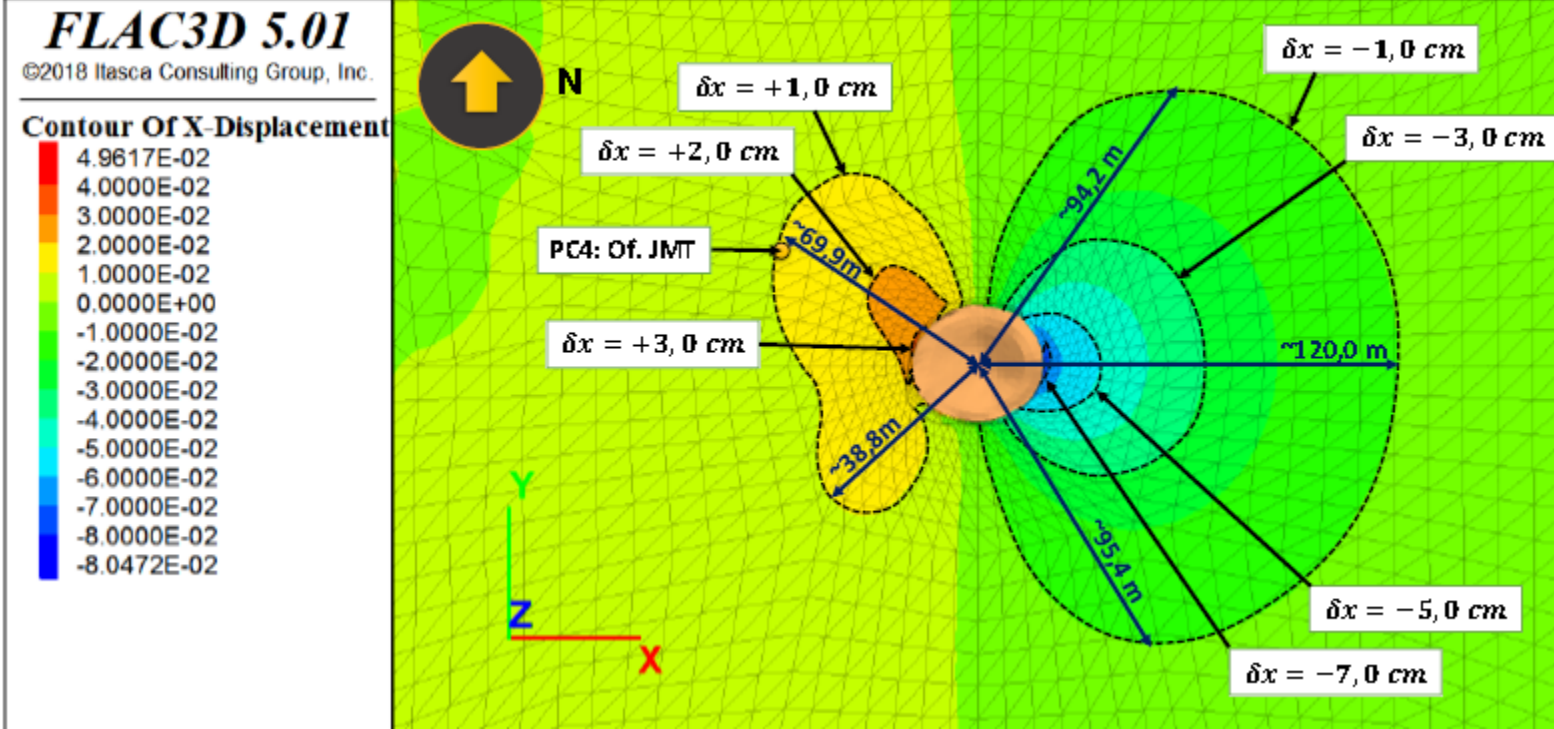
Registro 44.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones verticales en torno a la subsidencia. Los valores están expresado en metros.



Registros



Registro 45.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones horizontales en dirección este-oeste en torno a la subsidencia. Los valores están expresado en metros.

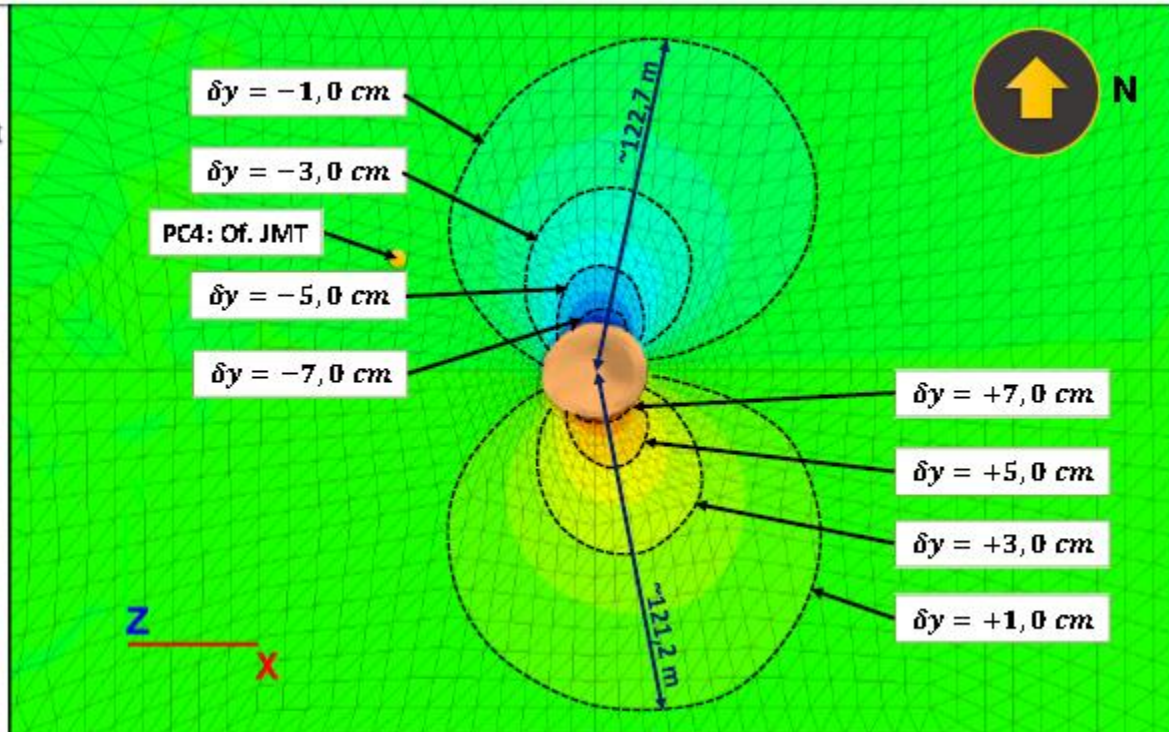
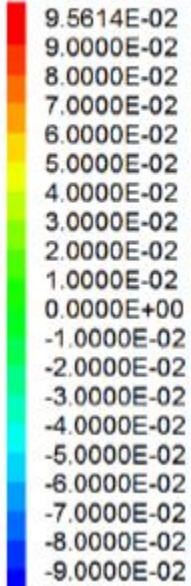


Registros

FLAC3D 5.01

©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

Contour Of Y-Displacement



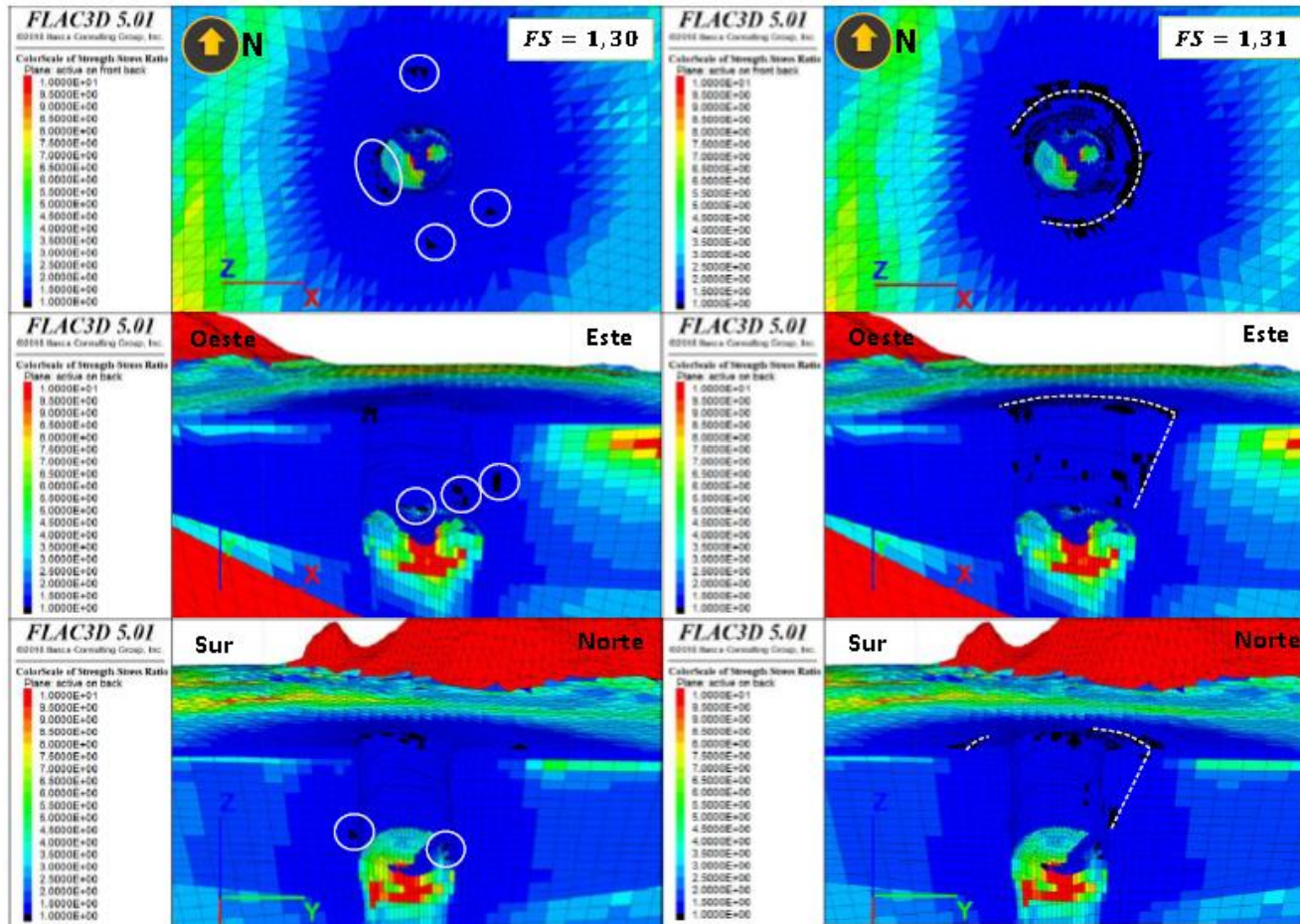
Registro 46.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones horizontales en dirección norte-sur en torno a la subsidencia. Los valores están expresado en metros.



Registros



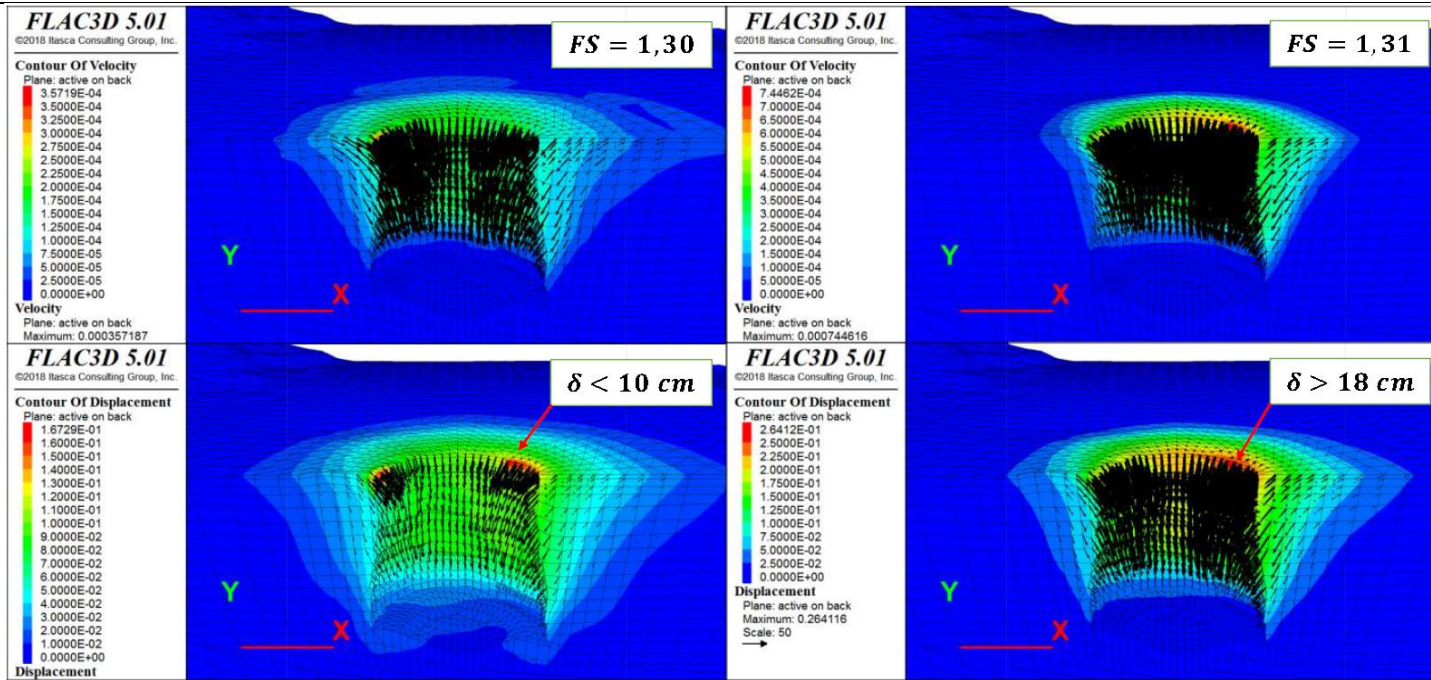
Registro 47.

Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la razón Strength/stress (fuerza/estrés) en torno a la subsidencia para factores de seguridad estática de FS = 1,30 (izquierda) y FS= 1,31 (derecha).



Registros



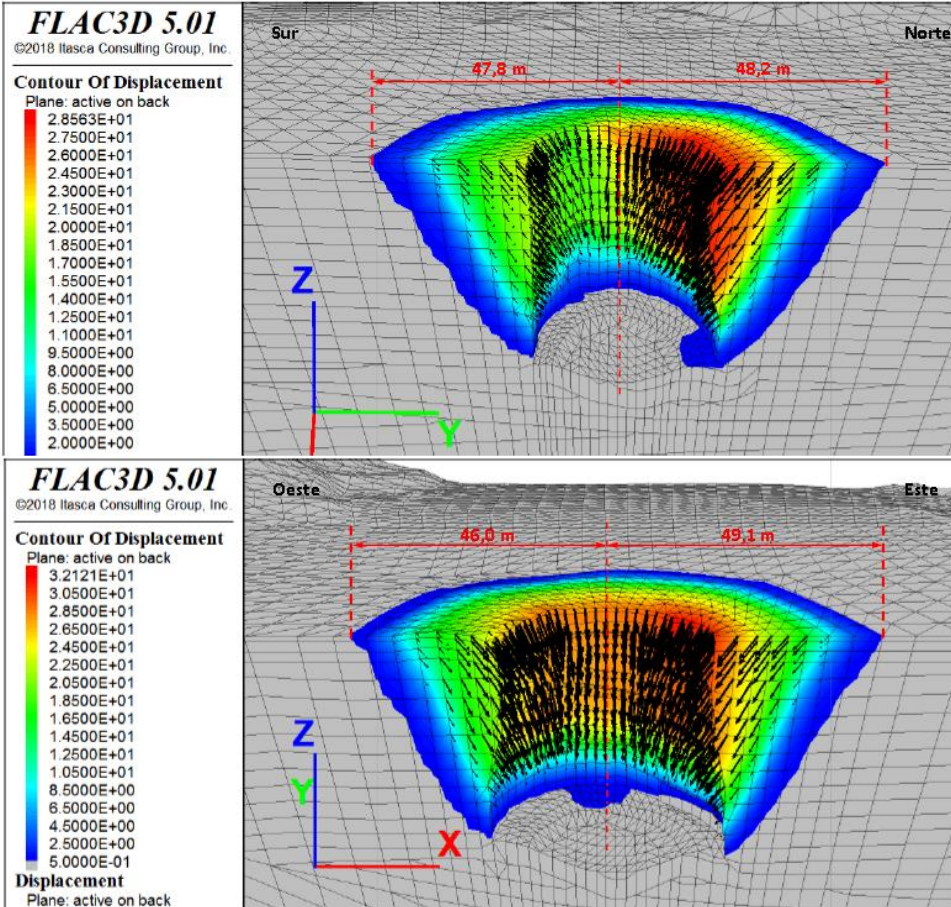
Registro 48.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las velocidades (arriba) y deformaciones (abajo) en torno a la subsidencia en corte este-oeste: $FS = 1,30$ (izquierda) y $FS = 1,31$ (derecha). Valores en m/s y en m, según corresponda



Registros



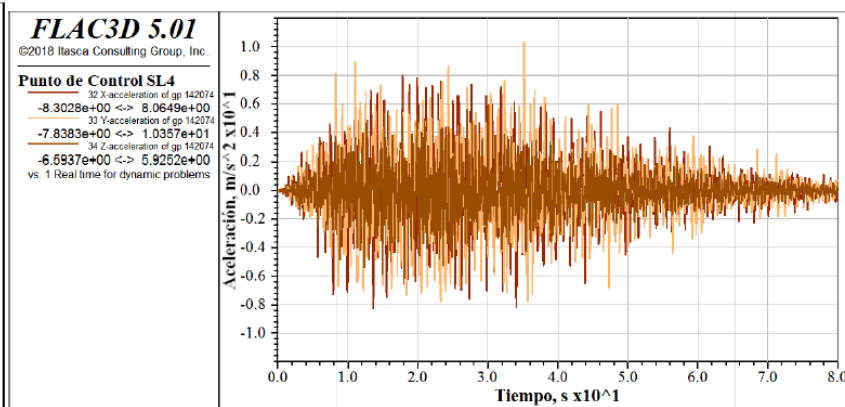
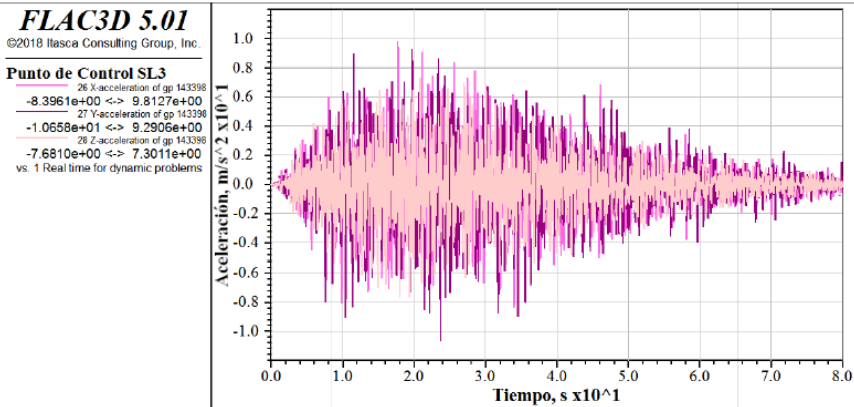
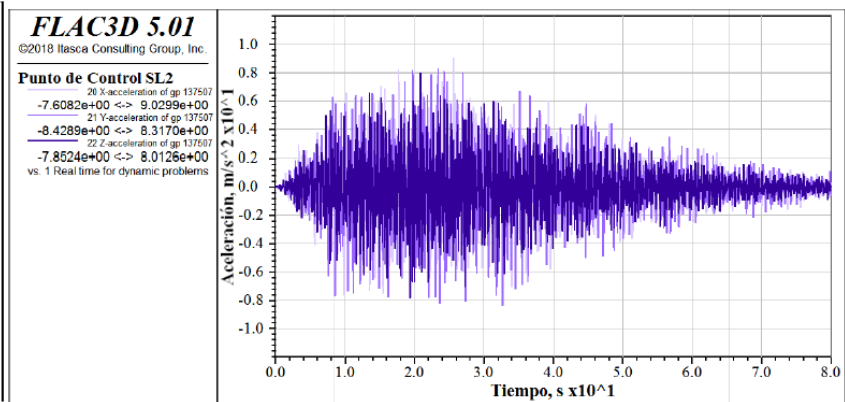
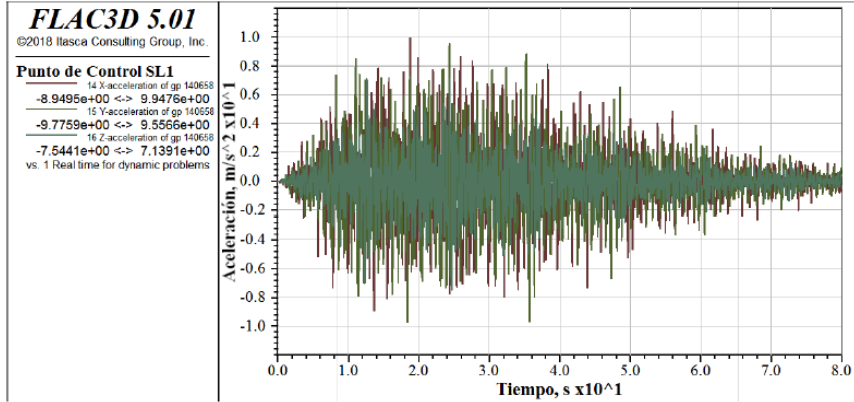
Registro 49.

Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones no convergidas en corte norte-sur (arriba) y este – oeste (abajo), por reducción de parámetros geotécnicos de resistencia. Valores en m.



Registros



Registro 50.

Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los registros sísmicos en superficie libre en los puntos de control: SL1 (verde) a 190 al este de la subsidencia; SL 2 (azul) a 200 metros al norte y 69 al este de la subsidencia; SL3 (rosado) a 200 metros al sur y 34 m al oeste de la subsidencia; y SL4 (café) a 180 m al sur y 180 m al este del eje de la subsidencia.



Registros

Punto Control	Aceleración sentido este – oeste (X)	Tiempo (s) de mayor aceleración	Punto Control	Aceleración sentido norte -sur (Y)	Tiempo (s) de mayor aceleración
SL1	-8,9495 <-> 9,9476	10 a 40	SL1	-9,7759 <-> 9,5566	10 a 40
SL2	-7,6082 <-> 9,0299	10 a 40	SL2	-8,4289 <-> 8,317	10 a 40
SL3	-8,3961 <-> 9,8127	10 a 40	SL3	-10,658 <-> 9,2906	10 a 40
SL4	-8,3028 <-> 8,0649	10 a 40	SL4	-7,8383 <-> 10,357	10 a 40

Punto Control	Aceleración plano vertical (Z)	Tiempo (s) de mayor aceleración
SL1	-7,5441 <-> 7,1391	10 a 40
SL2	-7,8524 <-> 8,0126	10 a 40
SL3	-7,6810 <-> 7,3011	10 a 40
SL4	-6,5937 <-> 5,9252	10 a 40

Registro 51. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las aceleraciones y tiempos de mayor aceleración registrados en los puntos de control SL1, SL2, SL3 y SL4 en torno a la subsidencia

Registros

Punto de control	Aceleración dirección Este-Oeste (g)	Aceleración dirección Norte-Sur (g)	Aceleración dirección Vertical (g)
SL1	1,01	-1,00	-0,77
SL2	0,92	-0,86	0,82
SL3	1,00	-1,09	-0,78
SL4	-0,85	1,06	-0,67

Registro 52. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las aceleraciones máximas evaluadas en los puntos de control de superficie libre, SL1 a SL4.



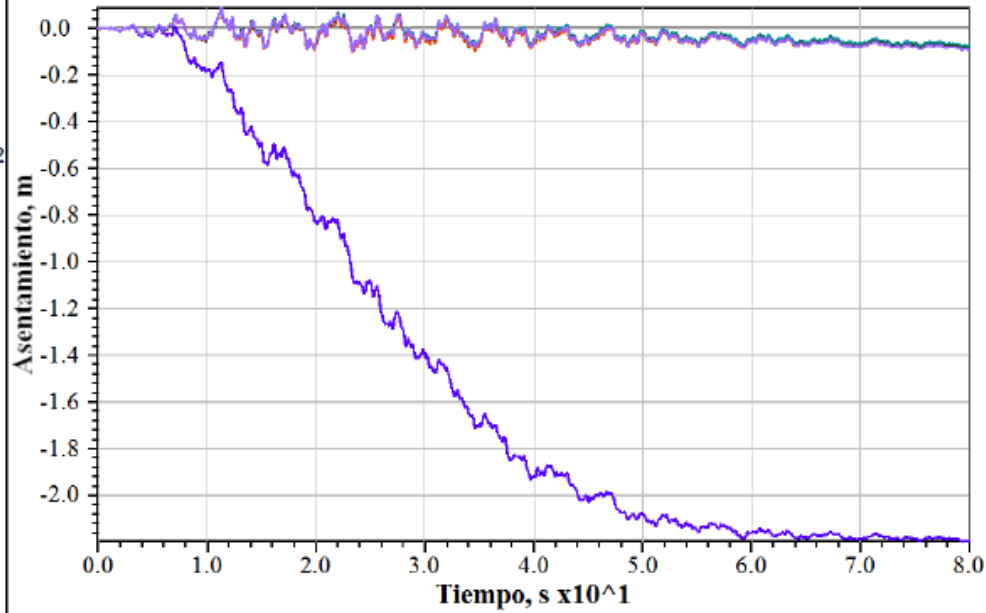
Registros

FLAC3D 5.01

©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

Perfil Asentamientos Este

- Desplazam. Z en P1E
-2.1976e+00 <-> 1.4034e-02
 - Desplazam. Z en P2E
-1.0117e-01 <-> 8.0807e-02
 - Desplazam. Z en P3E
-8.7520e-02 <-> 8.4346e-02
 - Desplazam. Z en P4E
-9.3779e-02 <-> 8.5325e-02
 - Desplazam. Z en P5E
-9.8749e-02 <-> 8.6548e-02
- vs. 1 Real time for dynamic problems

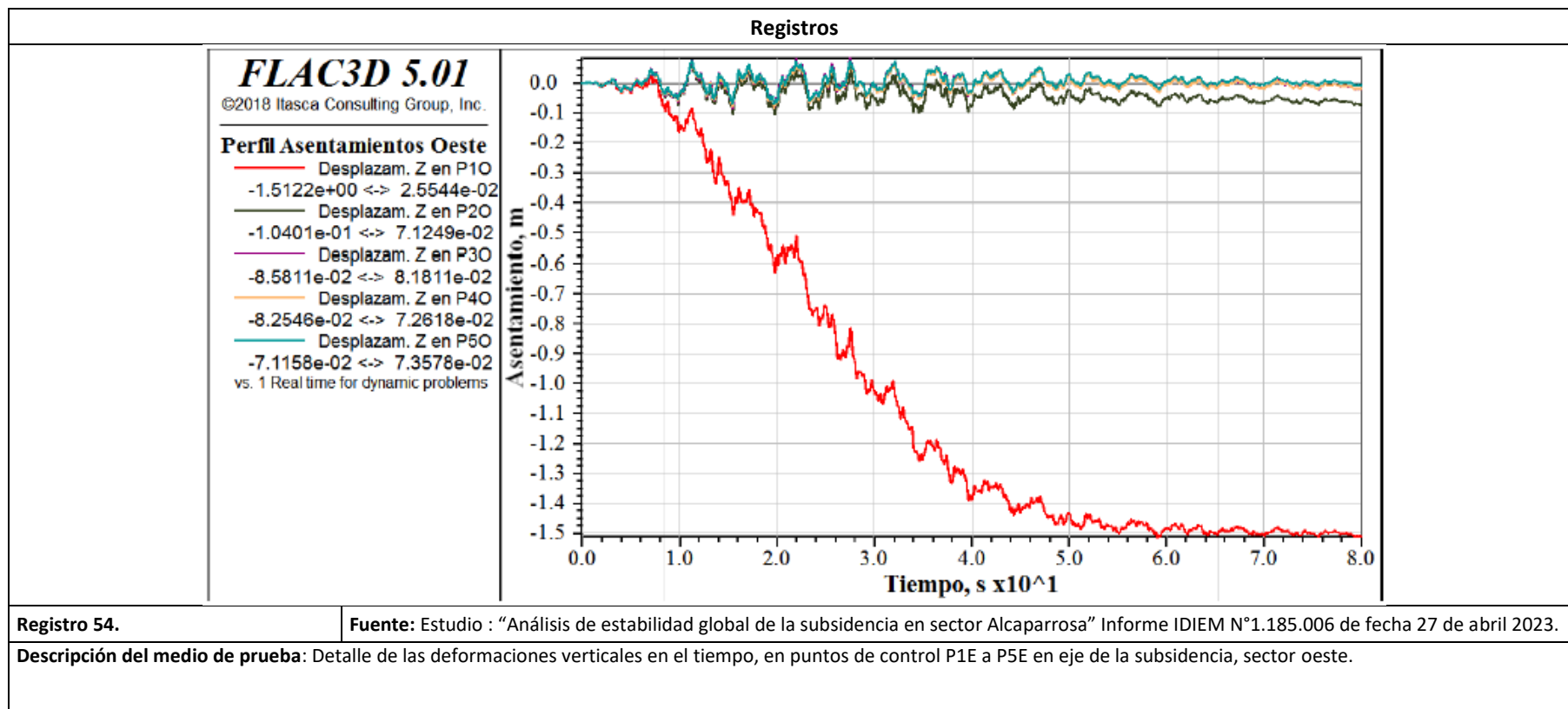


Registro 53.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones verticales en el tiempo, en puntos de control P1E a P5E en eje de la subsidencia, sector este.





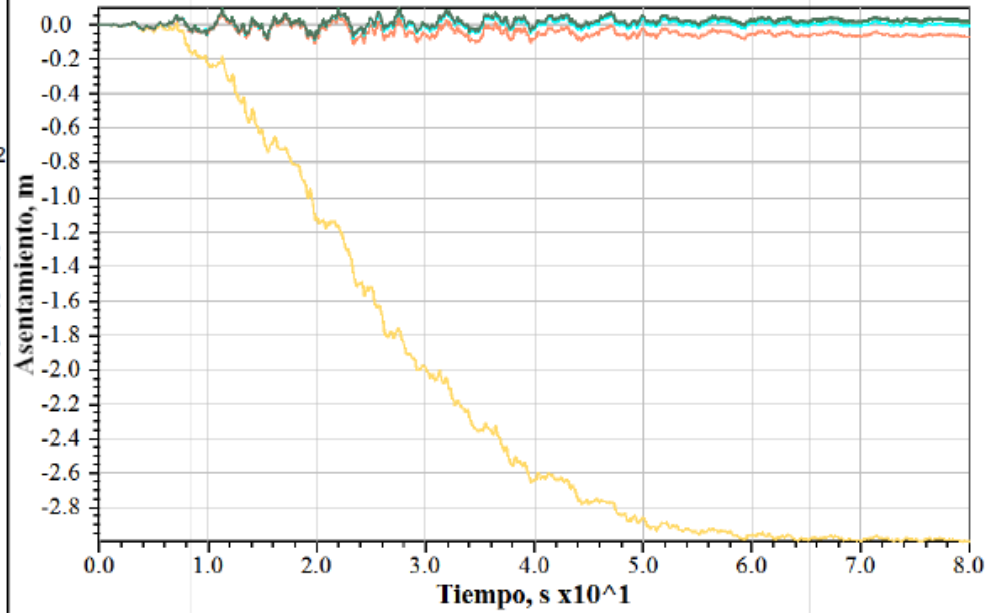
Registros

FLAC3D 5.01

©2018 Itasca Consulting Group, Inc.

Perfil Asentamientos Norte

— Desplazam. Z en P1N
 -2.9987e+00 <-> 1.3362e-02
 — Desplazam. Z en P2N
 -1.1191e-01 <-> 8.3577e-02
 — Desplazam. Z en P3N
 -8.7100e-02 <-> 9.0065e-02
 — Desplazam. Z en P4N
 -8.2567e-02 <-> 9.6281e-02
 — Desplazam. Z en P5N
 -8.2645e-02 <-> 9.5790e-02
 vs. 1 Real time for dynamic problems



Registro 55.

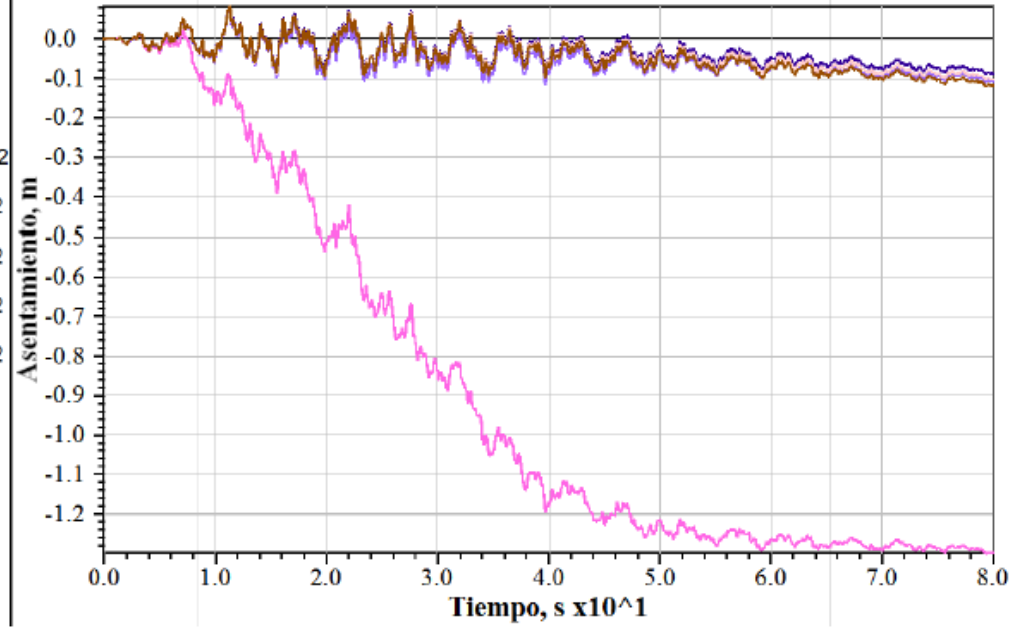
Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones verticales en el tiempo, en puntos de control P1E a P5E en eje de la subsidencia, sector norte.



Registros

FLAC3D 5.01
 ©2018 Itasca Consulting Group, Inc.
Perfil Asentamientos Sur
 — Desplazam. Z en P1S
 -1.2990e+00 <-> 2.0689e-02
 — Desplazam. Z en P2S
 -1.1285e-01 <-> 7.1737e-02
 — Desplazam. Z en P3S
 -8.8861e-02 <-> 7.9174e-02
 — Desplazam. Z en P4S
 -1.0317e-01 <-> 7.9400e-02
 — Desplazam. Z en P5S
 -1.1904e-01 <-> 8.1248e-02
 vs. 1 Real time for dynamic problems



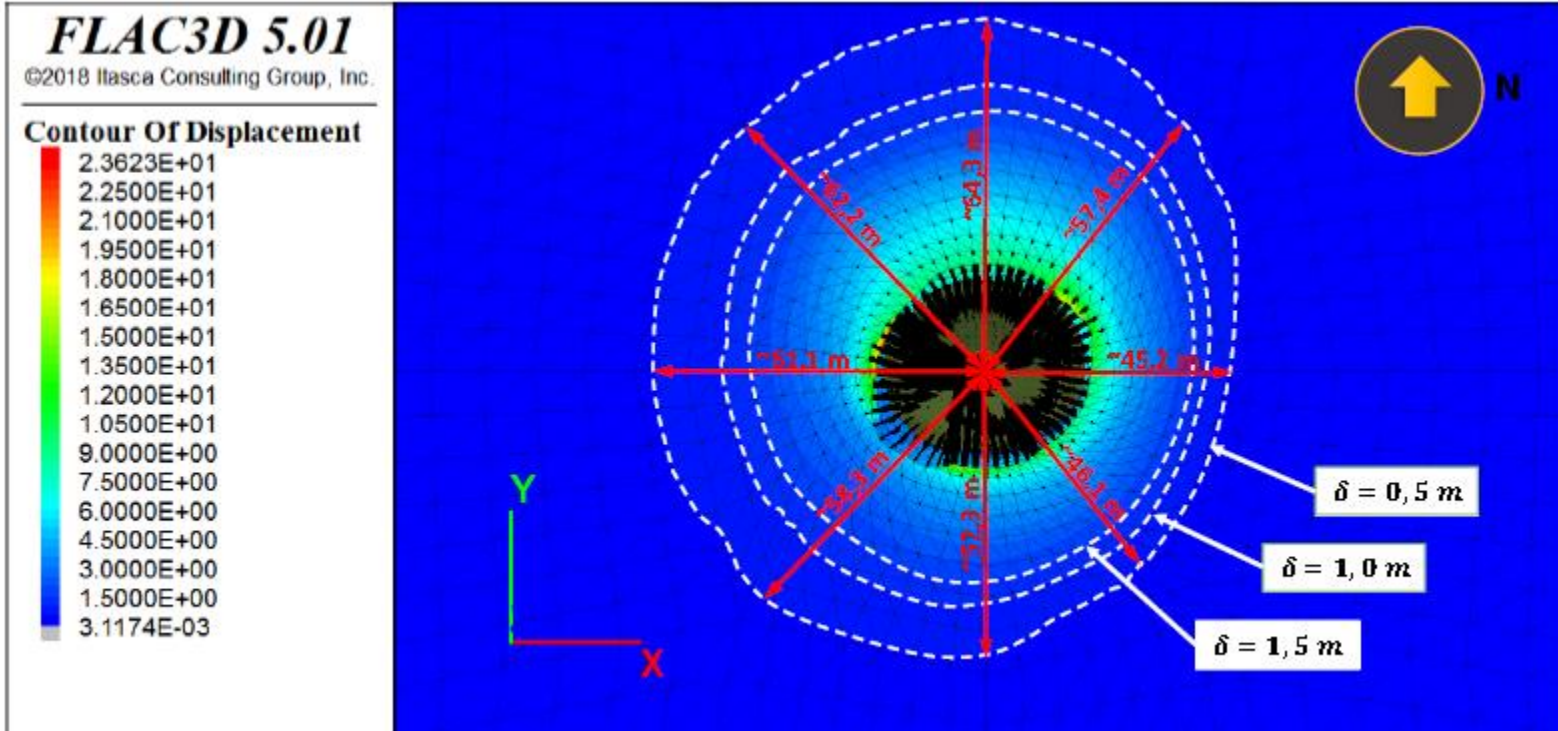
Registro 56.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones verticales en el tiempo, en puntos de control P1E a P5E en eje de la subsidencia, sector sur.



Registros



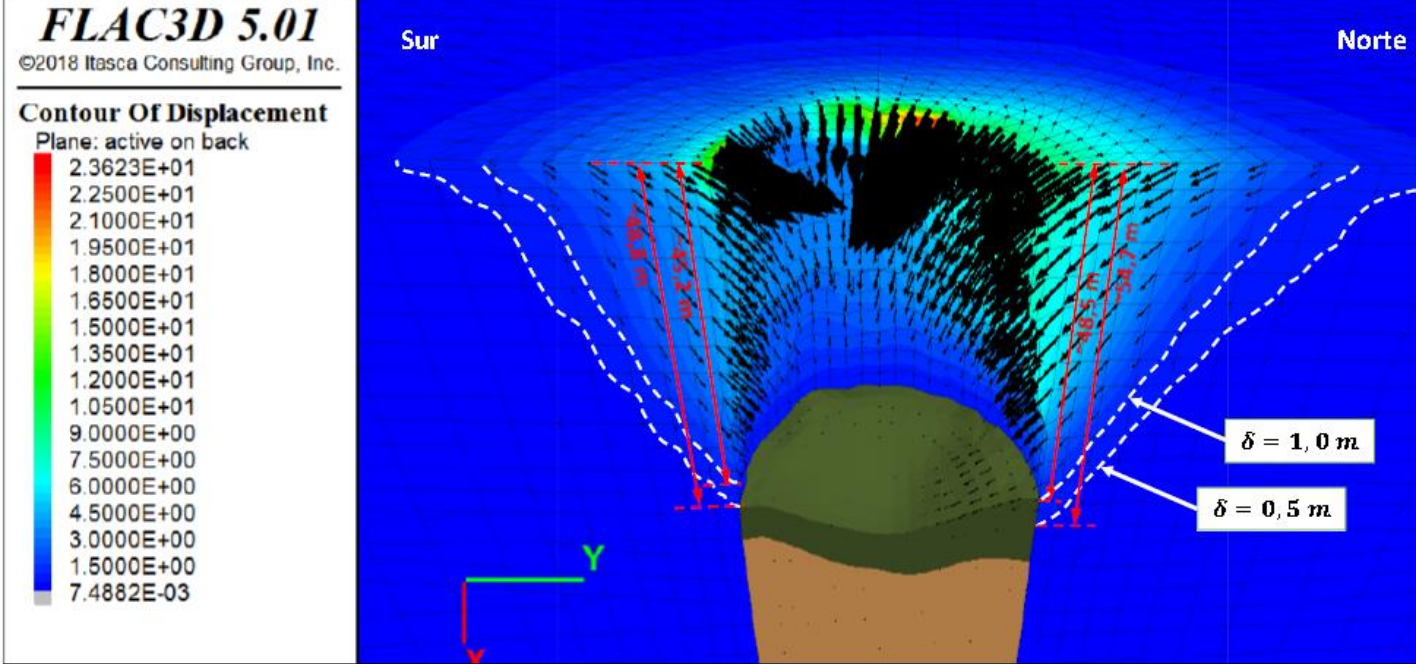
Registro 57.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la magnitud de deformación en torno a la subsidencia, una vez transcurridos 80 segundos de sismo. Valores en metros. Las líneas blancas representan las isocurvas para cada una de las deformaciones.



Registros



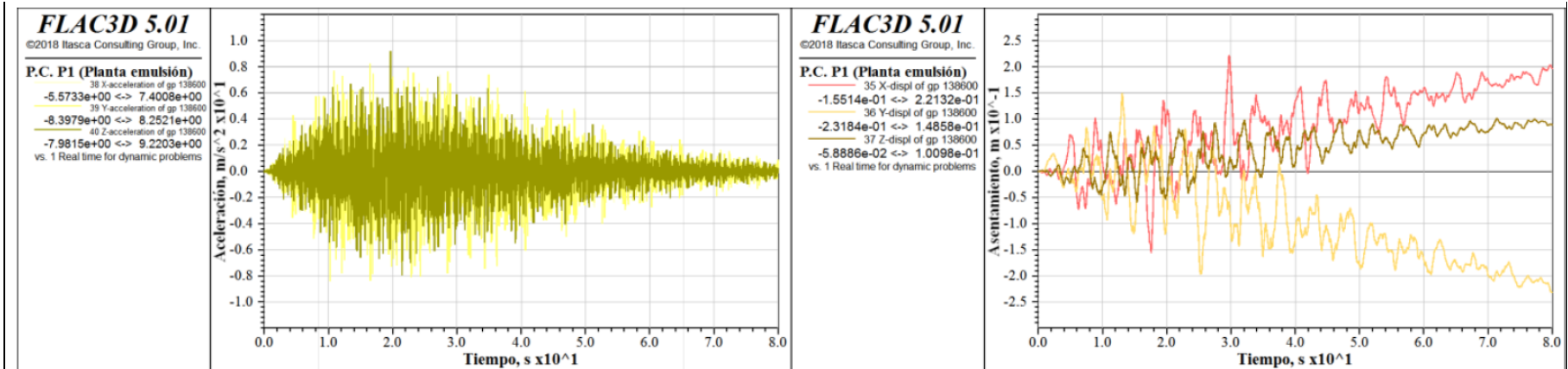
Registro 58.

Fuente: Estudio : "Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa" Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la magnitud de deformación en corte norte-sur, una vez transcurridos 80 segundos de sismo. Valores en metros. Las líneas blancas representan los vectores para cada una de las deformaciones.

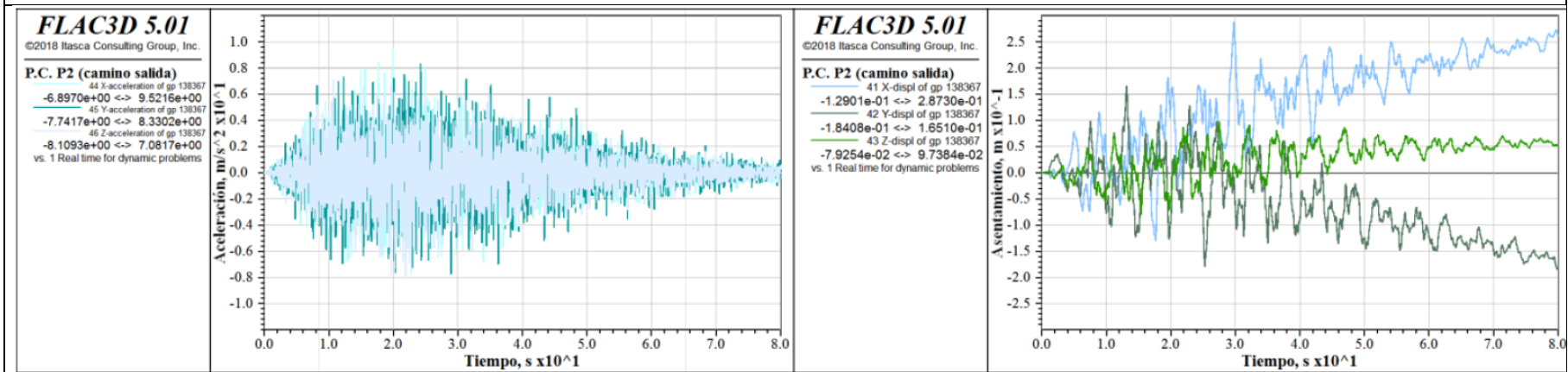
Registros





Registro 59. Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.
Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones y aceleraciones sísmicas en punto de control P1. Valores en m y m/s².

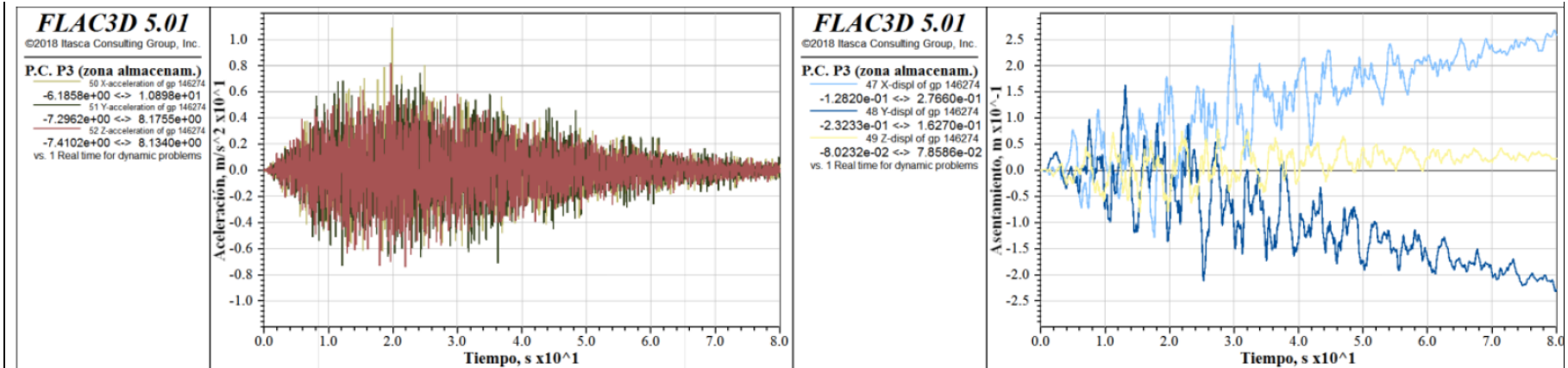
Registros



Registro 60. Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.
Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones y aceleraciones sísmicas en punto de control P2. Valores en m y m/s².

Registros

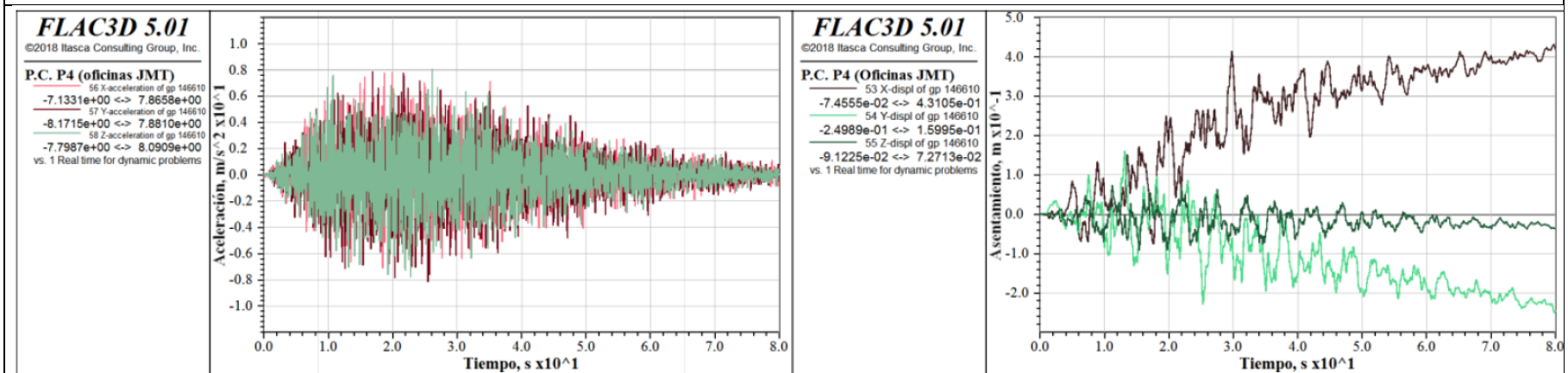




Registro 61. Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones y aceleraciones sísmicas en punto de control P3. Valores en m y m/s².

Registros

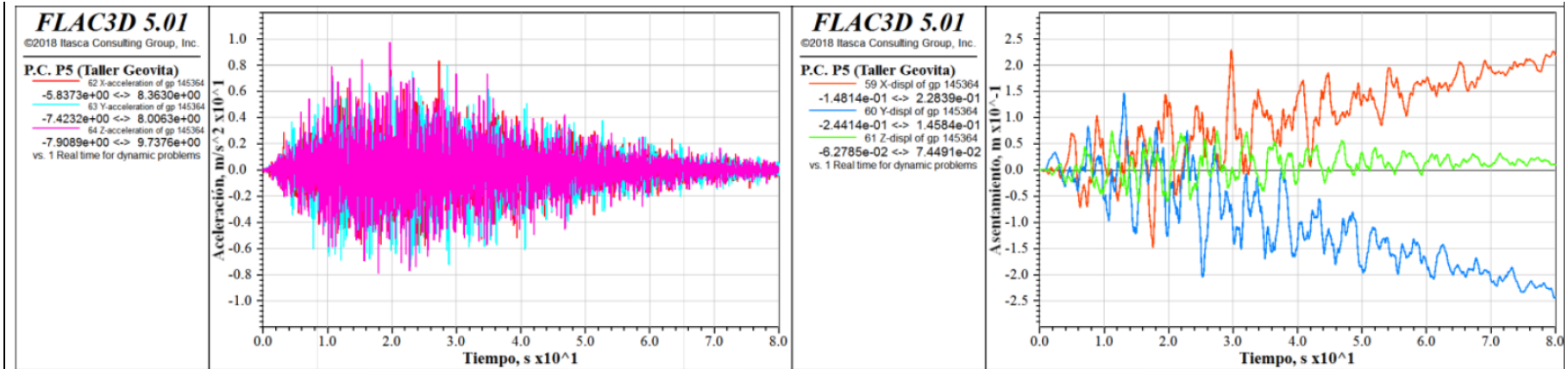


Registro 62. Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones y aceleraciones sísmicas en punto de control P4. Valores en m y m/s².

Registros

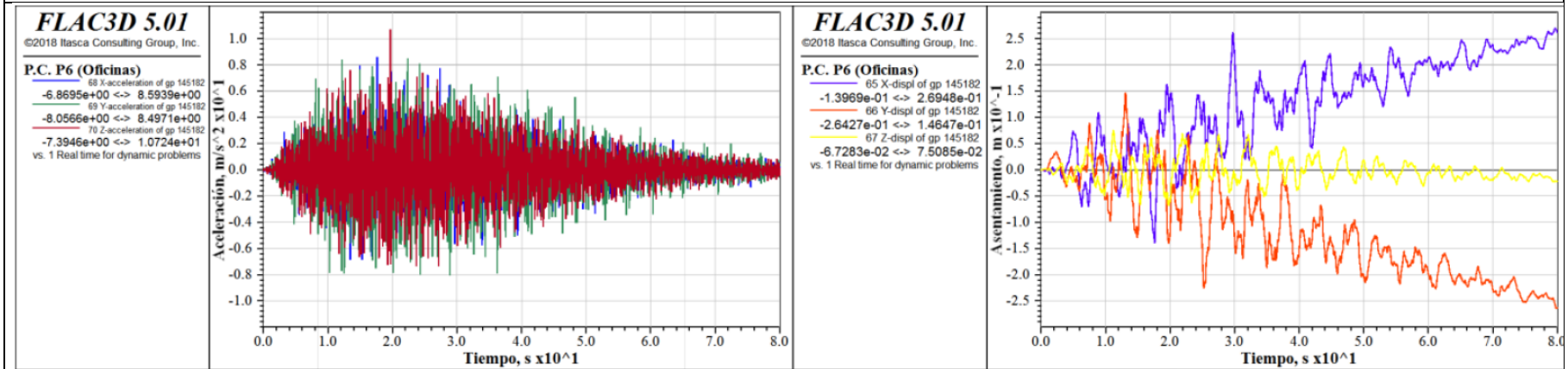




Registro 63. Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones y aceleraciones sísmicas en punto de control P5. Valores en m y m/s².

Registros

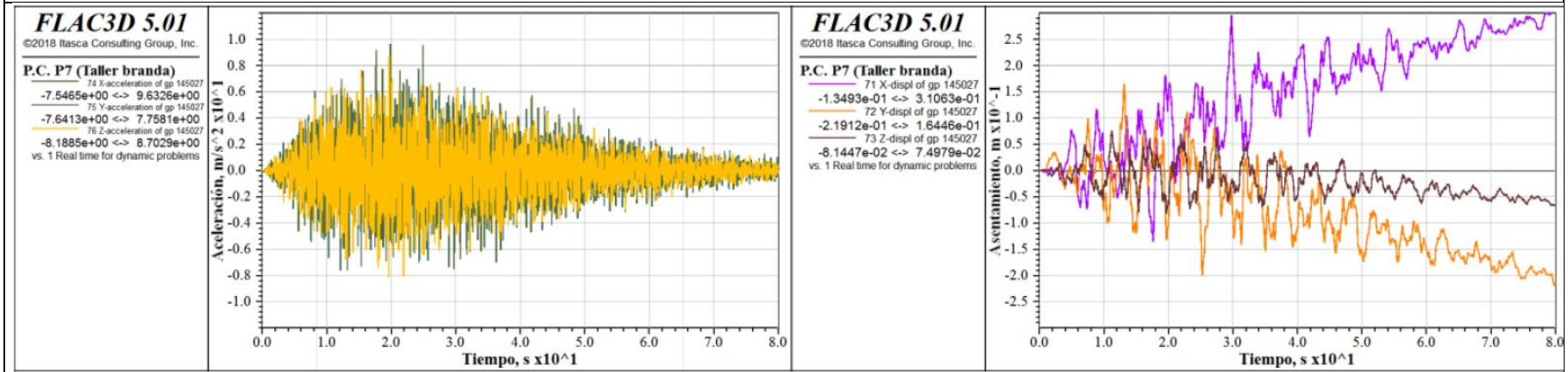


Registro 64. Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones y aceleraciones sísmicas en punto de control P6. Valores en m y m/s².



Registros



Registro 65.

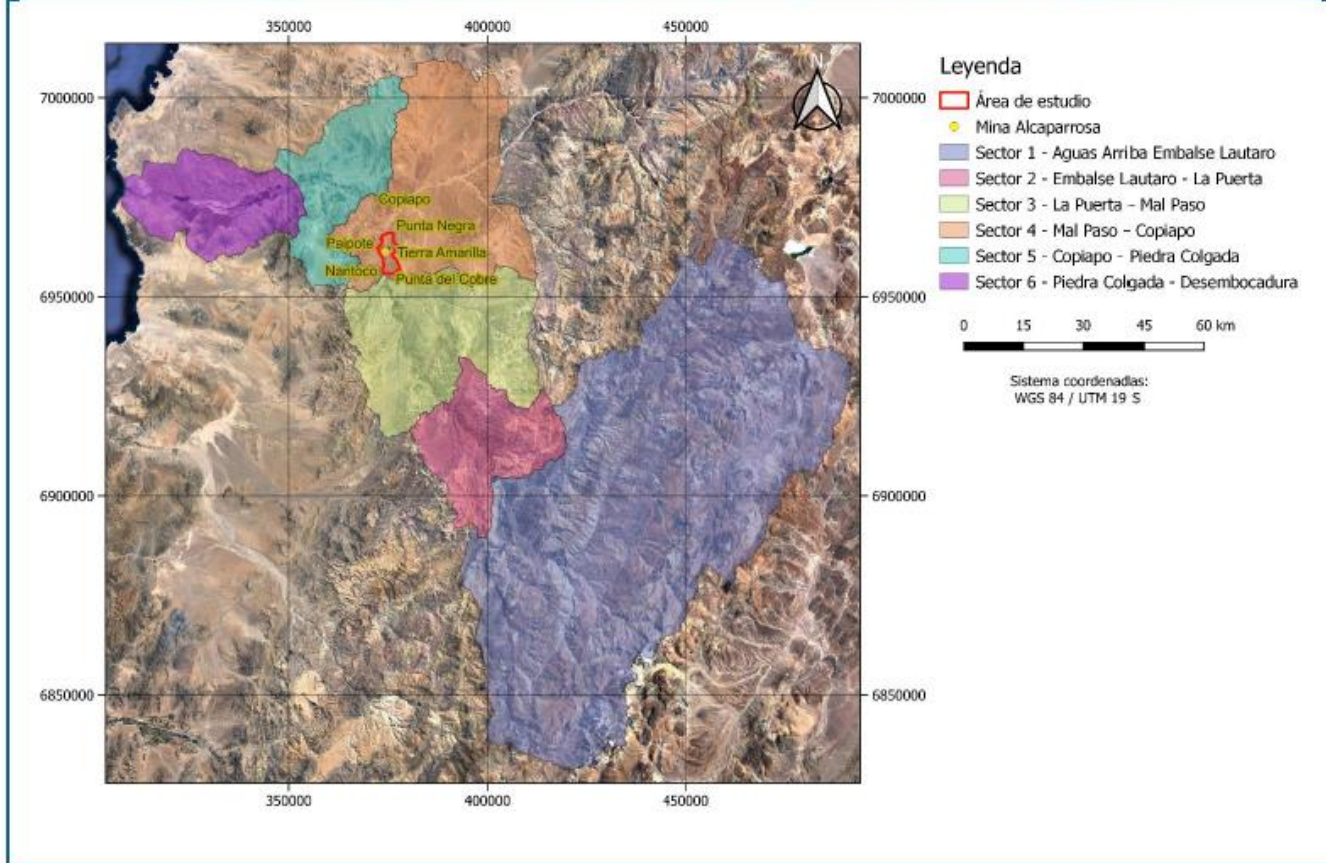
Fuente: Estudio : “Análisis de estabilidad global de la subsidencia en sector Alcaparrosa” Informe IDIEM N°1.185.006 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las deformaciones y aceleraciones sísmicas en punto de control P7. Valores en m y m/s².



Registros

Figura 3-16 Sectores Hidrológicos de aprovechamiento común del acuífero de Copiapó



Registro 66.

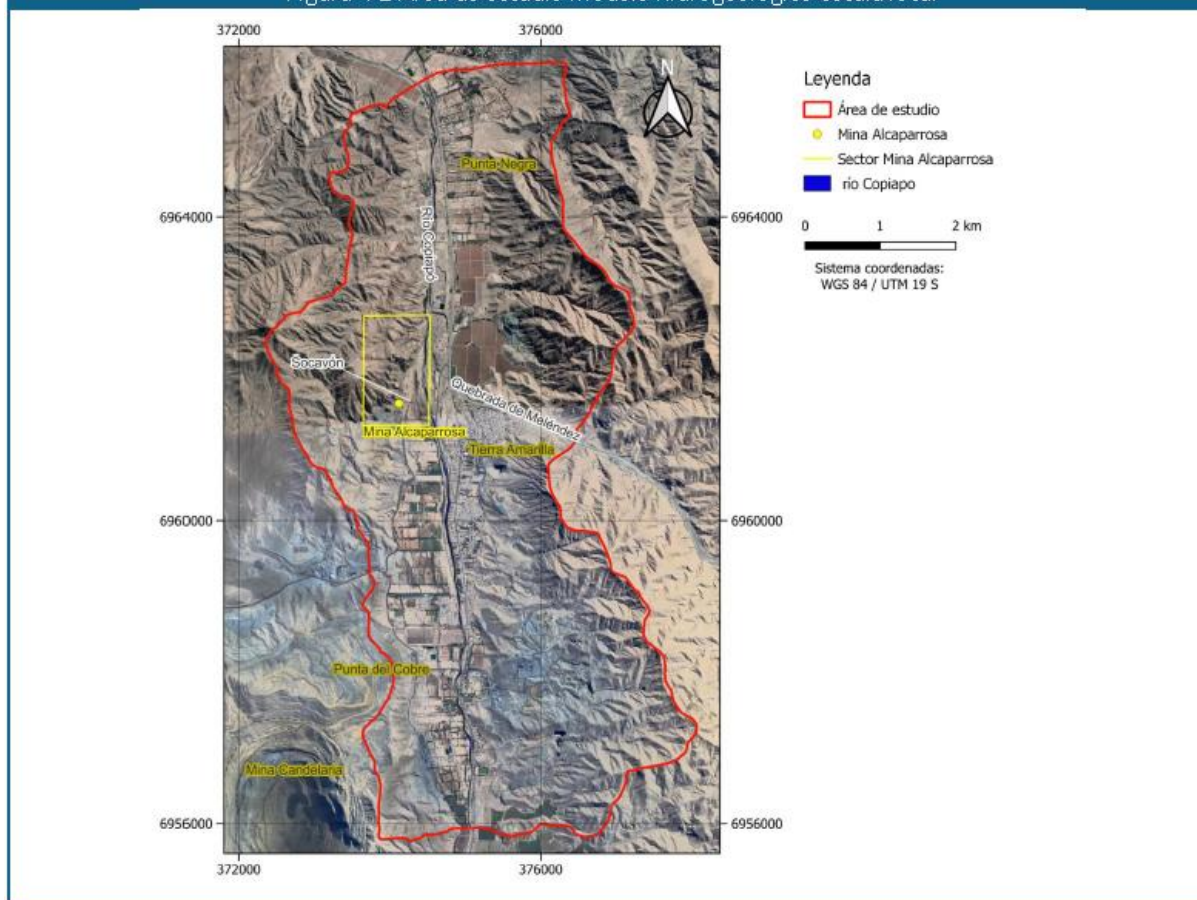
Fuente: Estudio : "Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa" Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los sectores Hidrológicos de aprovechamiento común del acuífero de Copiapó. En rojo se destaca el área de estudio.

Registros



Figura 4-1 Área de estudio modelo hidrogeológico escala local



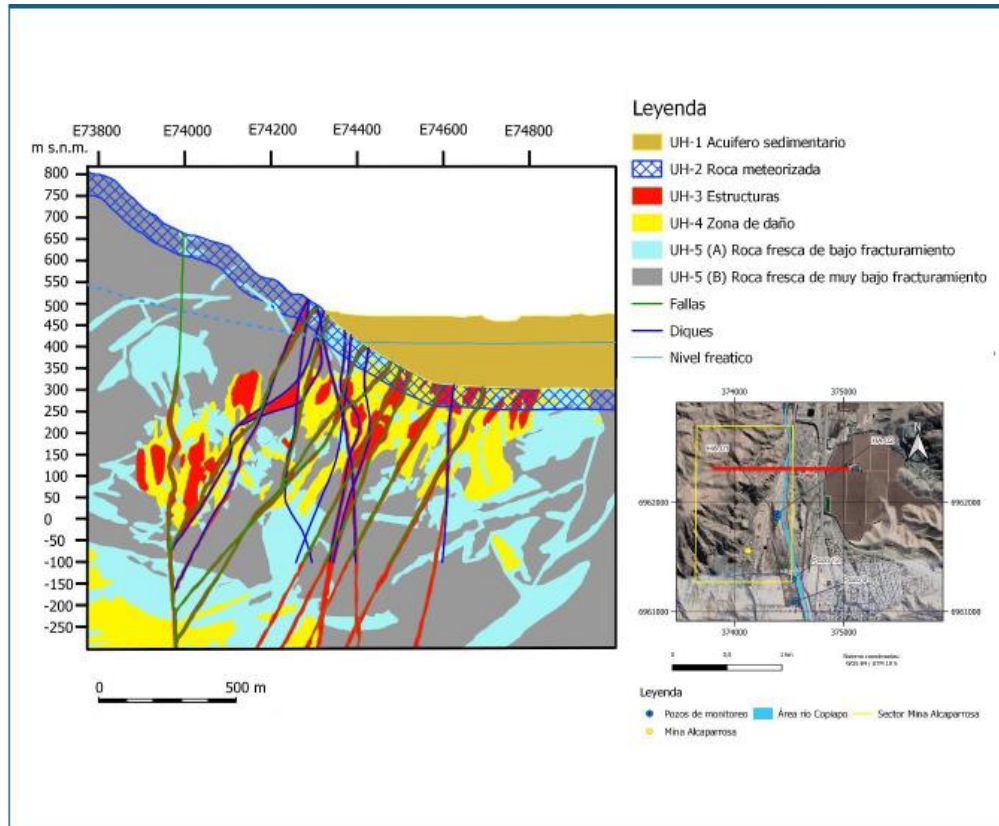
Registro 67.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del área de estudio modelo hidrogeológico escala local. En rojo se delimita el área de estudio usada para la definición del modelo.



Registros



Registro 68.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del Perfil geológico esquemático con roca meteorizada sector Mina Alcaparrosa. Con cada color se representan las distintas unidades hidrogeográficas que conforma el sector de Mina Alcaparrosa.



Registros

Tabla 4-5 Resumen resultados de ensayos hidráulicos, HA-02

Prueba N°	Tipo	Punto medio del tramo (m)	Tramo ensayado	K (m/s)	K (m/día)	Interpretación
1	Lefranc	130.75	Zona afectada por meteorización	1.2E-06	1.02E-01	Rápida recuperación de nivel
2	Packer	147.3	Falla en andesitas	2.1E-07	1.85E-02	Flujo laminar
3	Packer	164.55	Falla en andesitas	6.3E-07	5.44E-02	Flujo laminar
4	Packer	178.8	Falla en andesitas	-	-	Descartada por no levantar presión
5	Packer	194.55	Falla en andesitas	3.9E-07	3.36E-02	Flujo laminar
6	Packer	210.15	Falla en andesitas	1.6E-07	1.40E-02	Flujo laminar
7	Packer	226.05	Falla en andesitas	1.5E-07	1.28E-02	Flujo laminar
8	Packer	242.8	Intrusivo con escasas fracturas	1.0E-11*	8.64E-07*	Sin admisión

Registro 69.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del resumen resultados de ensayos hidráulicos, HA-02 pruebas packer y lefranc para el cálculo de la permeabilidad.



Registros

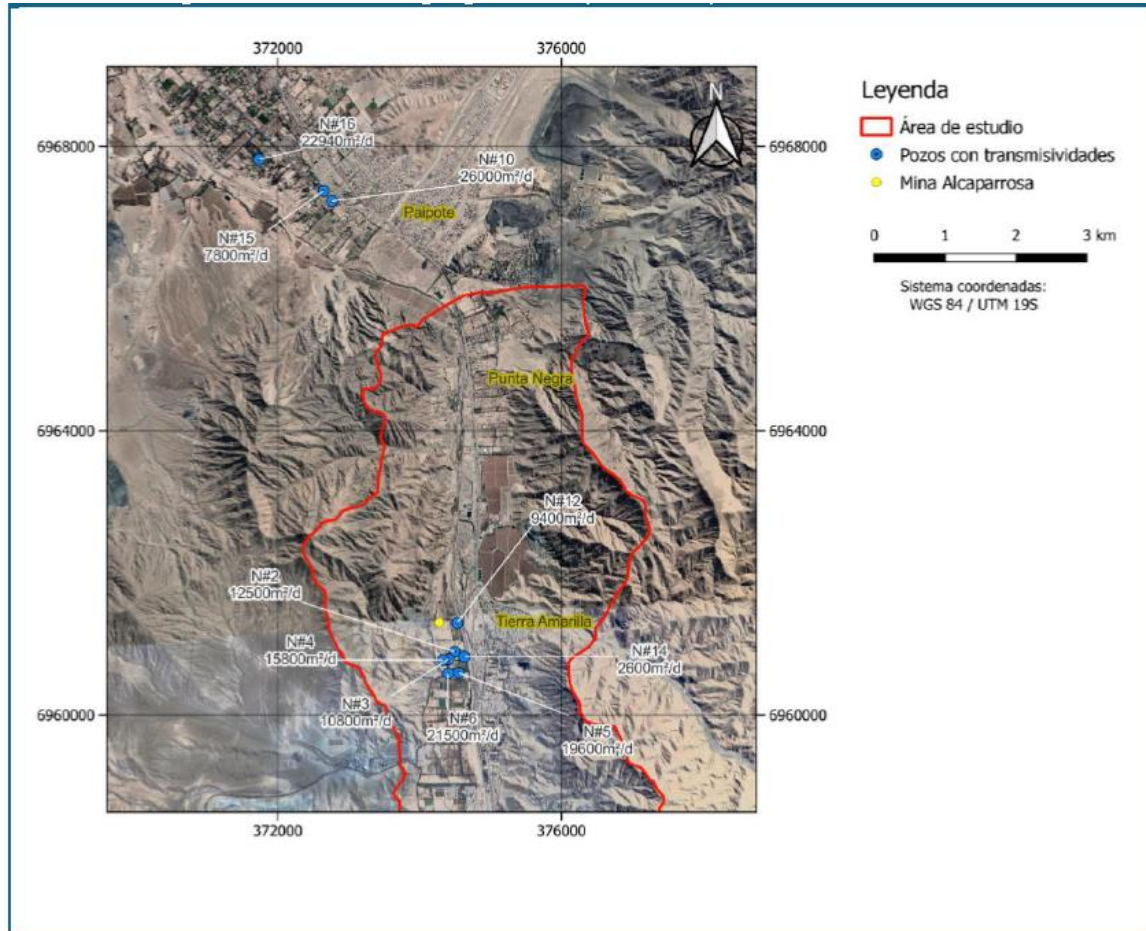
Unidad hidrogeológica		Nombre	K min (m/día)	K prom (m/día)	K max (m/día)
UH-1		Acuífero sedimentario Gravas	1.80E+01	4.32E+01	1.37E+02
UH-2		Roca meteorizada Roca meteorizada	8.64E-03	8.64E-02	8.64
UH-3		Estructuras Muy alto fracturamiento	8.64E-04	8.64E-03	8.64E-02
UH-4		Zona de daño Fracturamiento medio	8.64E-05	8.64E-04	8.64E-03
UH-5	A	Roca fresca Bajo fracturamiento	8.64E-07	8.64E-05	8.64E-04
	B		Muy bajo	8.64E-08	8.64E-07

Registro 70. Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del resumen de unidades hidrogeológicas y su permeabilidad.



Registros



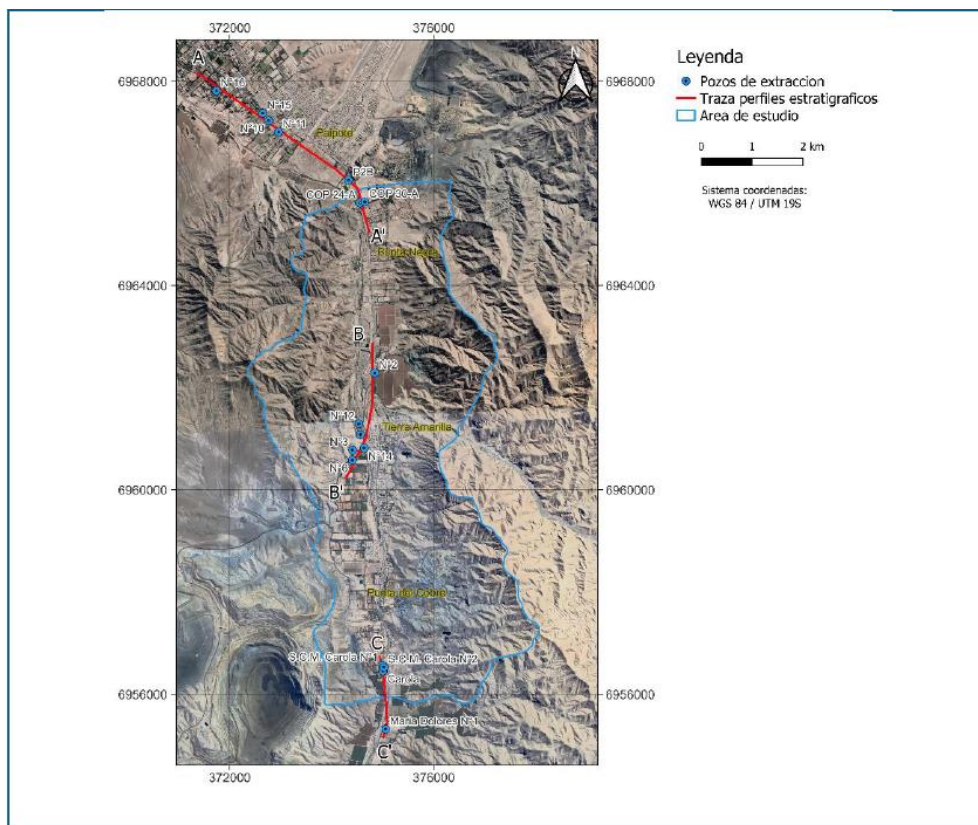
Registro 71.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la ubicación geográfica de pozos con pruebas de transmisividad en el área de estudio del modelo. En cada pozo se puede leer el registro de transmisividad.



Registros



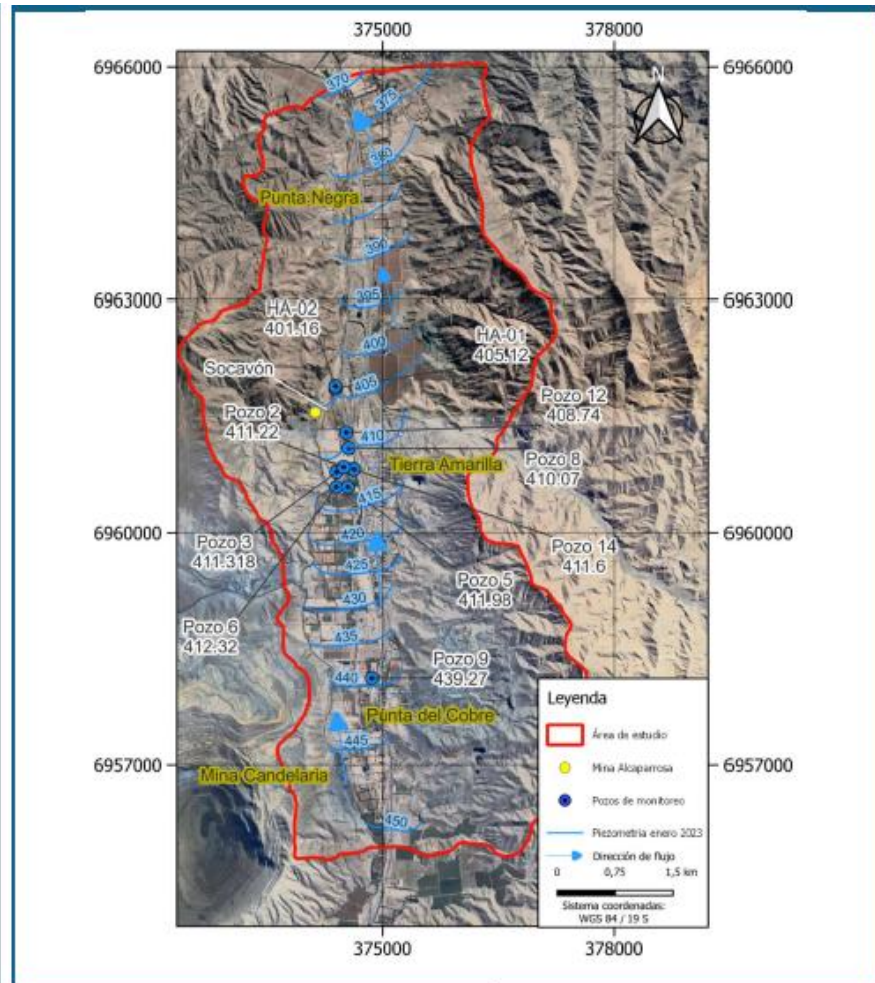
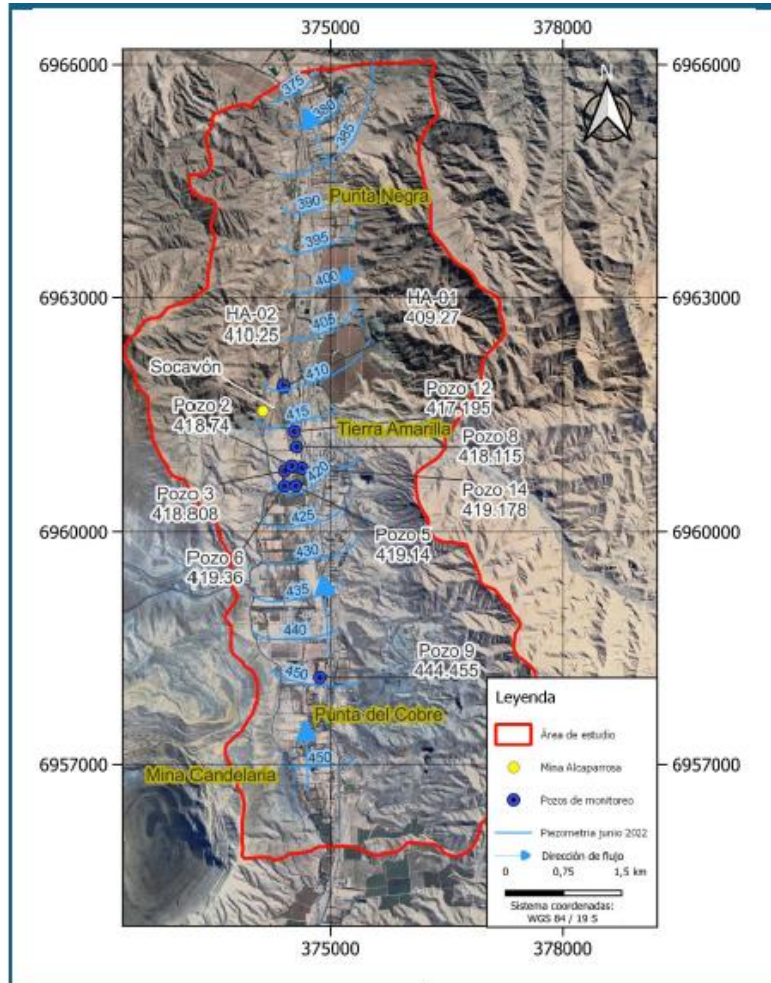
Registro 72.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del mapa de distribución de perfiles esquemáticos en la zona de estudio. Las líneas en rojo corresponde a la distribución de los perfiles estratigráficos, y la línea azul define el área de estudio.



Registros



Registro 73.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: comparación de la piezometría levantada en junio 2022 (izquierda) y enero 2023 (derecha). Se observa que todos los pozos, disminuyeron sus niveles en enero de 2023.



Registros

Nombre	Sector	Coordenada Norte (m)*	Coordenada Este (m)*	Cota (msnm)	Período de registro ¹	Comentario
HA-01	Alcaparrosa	6,961,870.37	374,391.47	472.28	Ago-18 a mar-23	Pozo instalado en 2018 instrumentado con un sensor
HA-02	Alcaparrosa	6,961,895.96	374,392.87	472.11	Ago a mar-23	Piezómetro de cuerda vibrante (4 sensores)
Pozo #2	Alcaparrosa	6,960,861.21	374,496.70	481.08	Jul-93 a mar-23	Ex – pozo de producción
Pozo #3	Alcaparrosa	6,960,788.43	374,406.13	481.25	Jun-93 a mar-23	Ex – pozo de producción
Pozo #4	Alcaparrosa	6,960,781.83	374,330.51	481.30	Jun-93 a mar-08	Ex – pozo de producción
Pozo #5	Alcaparrosa	6,960,591.81	374,550.93	483.35	Jun-93 a mar-23	Ex – pozo de producción
Pozo #6	Alcaparrosa	6,960,591.67	374,403.21	483.04	Jun-93 a mar-23	Ex – pozo de producción
Pozo #7	Alcaparrosa	s/í	s/í	s/í	Dic-97 a ago-01	Ex – pozo de producción
Pozo #8	Alcaparrosa	6,961,096.31	374,560.50	478.94	Abr-02 a mar-23	Ex – pozo de producción
Pozo #9	Palermo	6,958,123.00	374,860.00	525	May-02 a feb-23	
Pozo #10	Paipote	6,967,238.64	372,764.87	433.8	Feb-04 a jul-14	
Pozo #11	Paipote	6,967,015.57	372,954.73	436.3	Feb-04 a may-15	
Pozo #12	Alcaparrosa	6,961,296.73	374,529.78	477.59	Abr-05 a mar-23	Ex – pozo de producción
Pozo #13	Palermo	6,958,000.90	374,694.63	525	Ago-05 a jun-22	Ex – pozo de producción
Pozo #14	Alcaparrosa	6,960,824.21	374,630.64	481.39	Abr-06 a mar-23	
Pozo #15	Paipote	6,966,996.67	372,643.69	437	Mar-08 a mar-23	Pozo de bombeo aguas Chañar
Pozo #16	Paipote	6,967,777.00	371,750.00	423	Ene-11 a mar-23	Pozo de bombeo aguas Chañar
Pozo #29	Chamonate	6,978,857.00	358,628.00	292.76	Ago-06 a dic-22	
WB4	Nantoco	6,953,198.00	374,860.00	520.56	Ene-07 a dic-22	Pozo ubicado hacia 6 km al sur de Alcaparrosa
Municipalidad Tierra Amarilla		6,958,598.00	374,323.00		03-Oct-22	Medición puntual del nivel tomada durante el catastro
Pozo MACEP S.A.		6,964,151.00	374,682.00		03-Oct-22	Medición puntual del nivel tomada durante el catastro

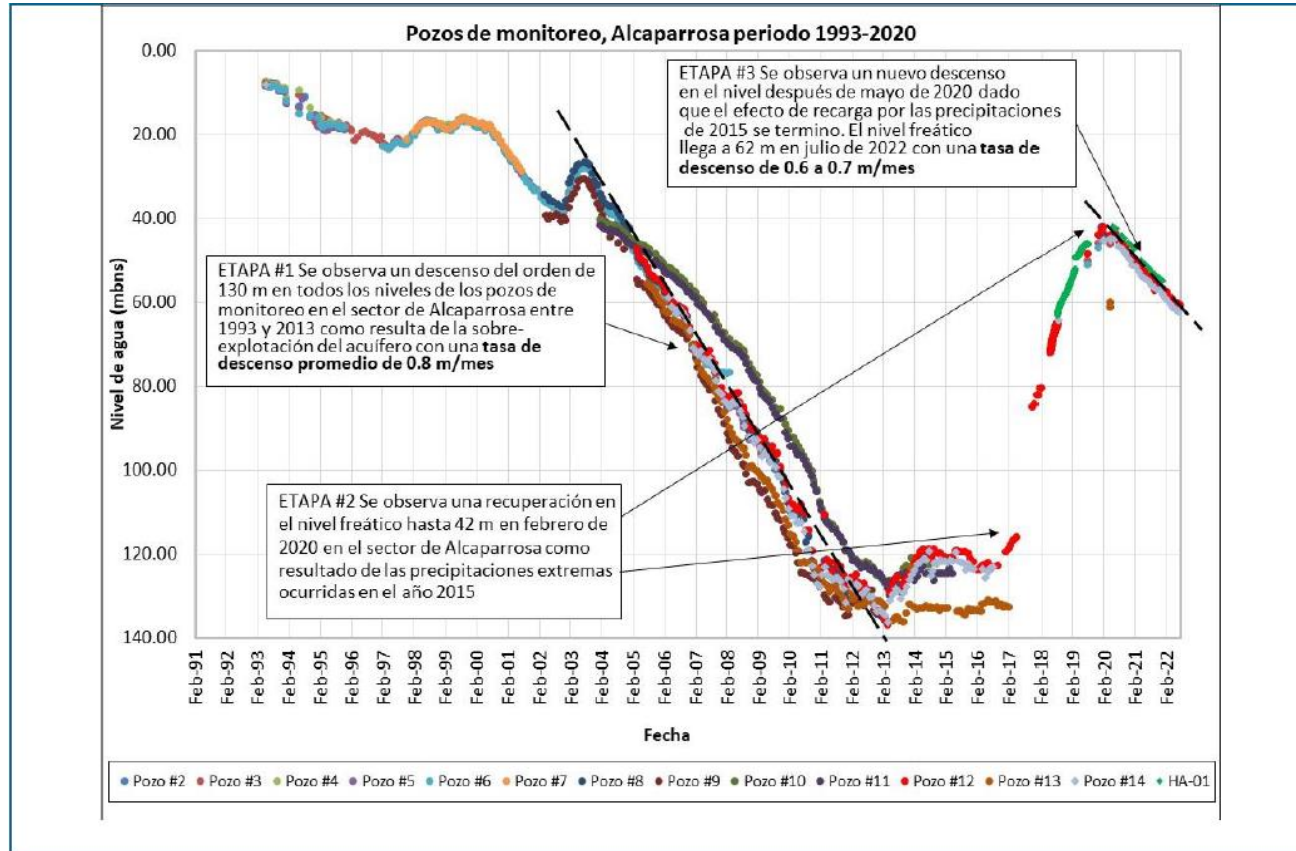
Registro 74.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los pozos entorno a Mina Alcaparrosa



Registros



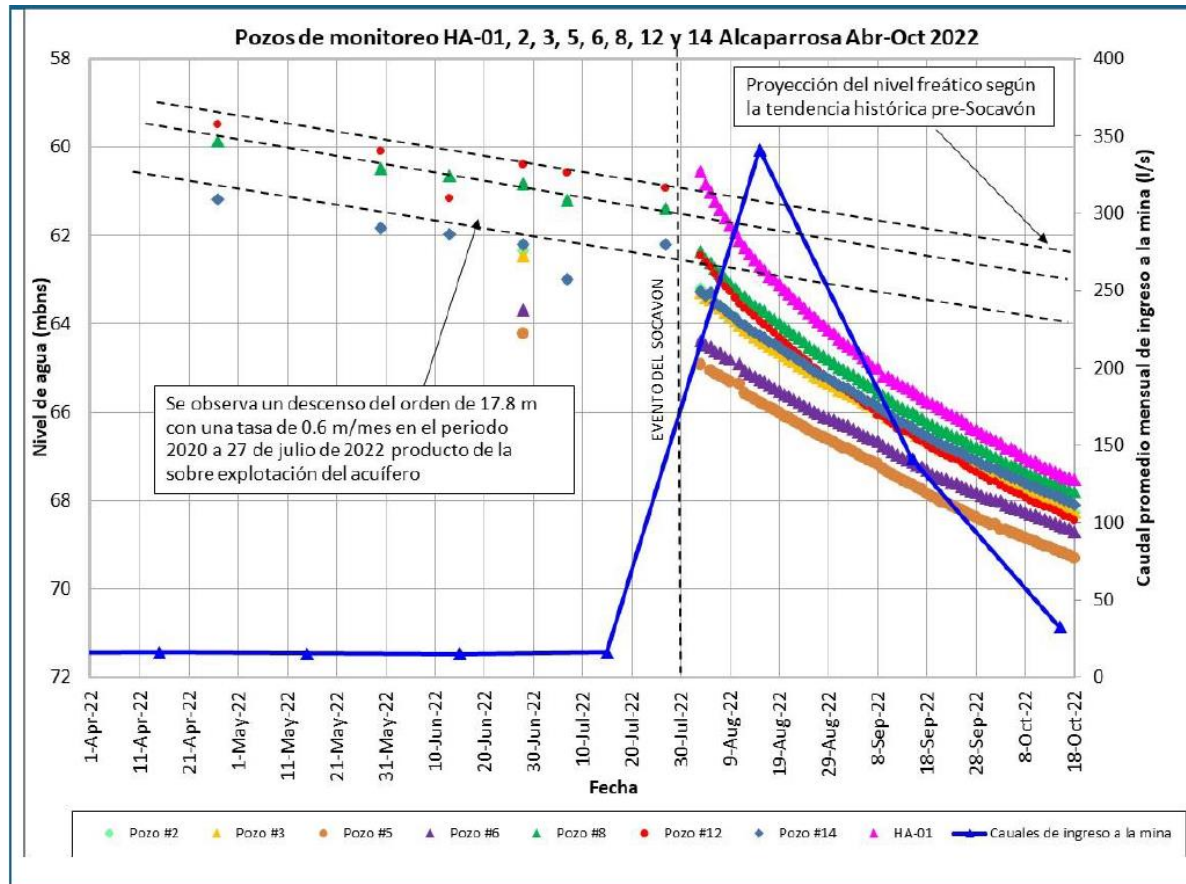
Registro 75.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del Hidrograma pozos de monitoreo sector Alcaparrosa (1993-2022). El comportamiento de los niveles freáticos de cada pozo está representados por distintos colores. En el gráfico el titular exhibe tres etapas durante todo el periodo, sin embargo, como se describe en este informe se observan cuatro etapas en todo el periodo.



Registros



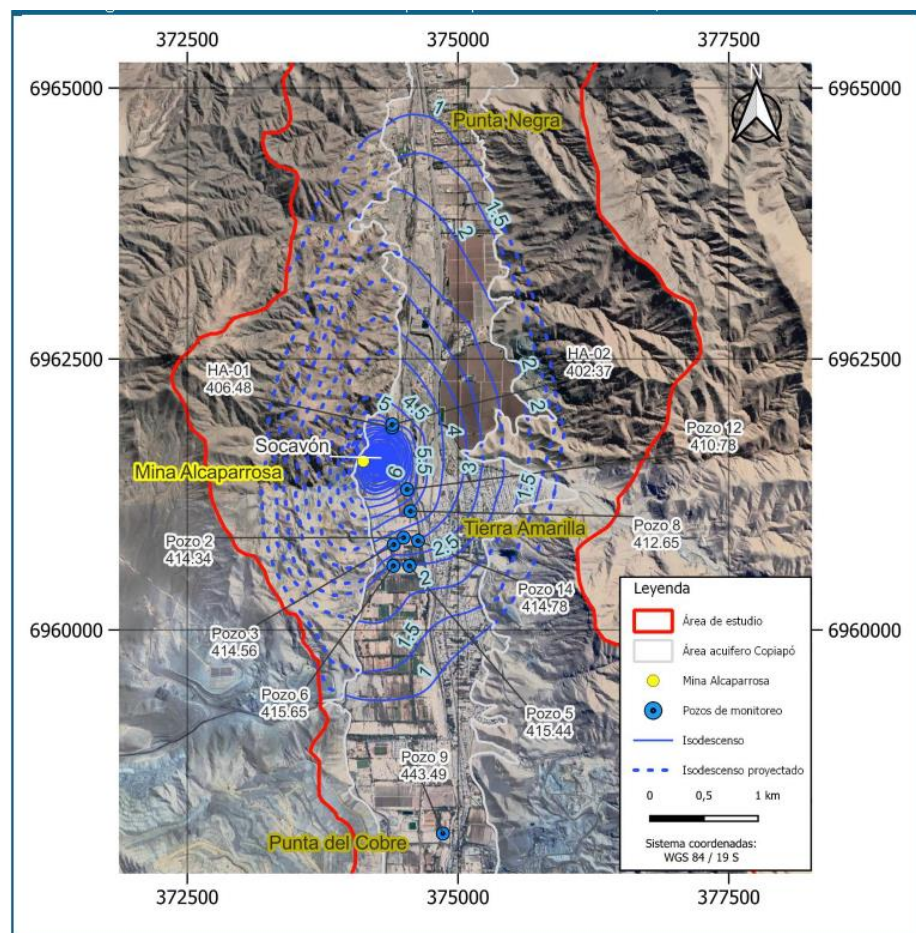
Registro 76.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023, presentado en respuesta a la segunda solicitud de la MUT Res. Ex. SMA N°1.349/2022.

Descripción del medio de prueba: Detalle del comportamiento de los niveles post evento socavón a 19 de octubre de 2022. En distintos colores se grafica el comportamiento de los pozos. La línea azul con triángulos muestra el comportamiento del caudal de ingreso de aguas a la mina.



Registros



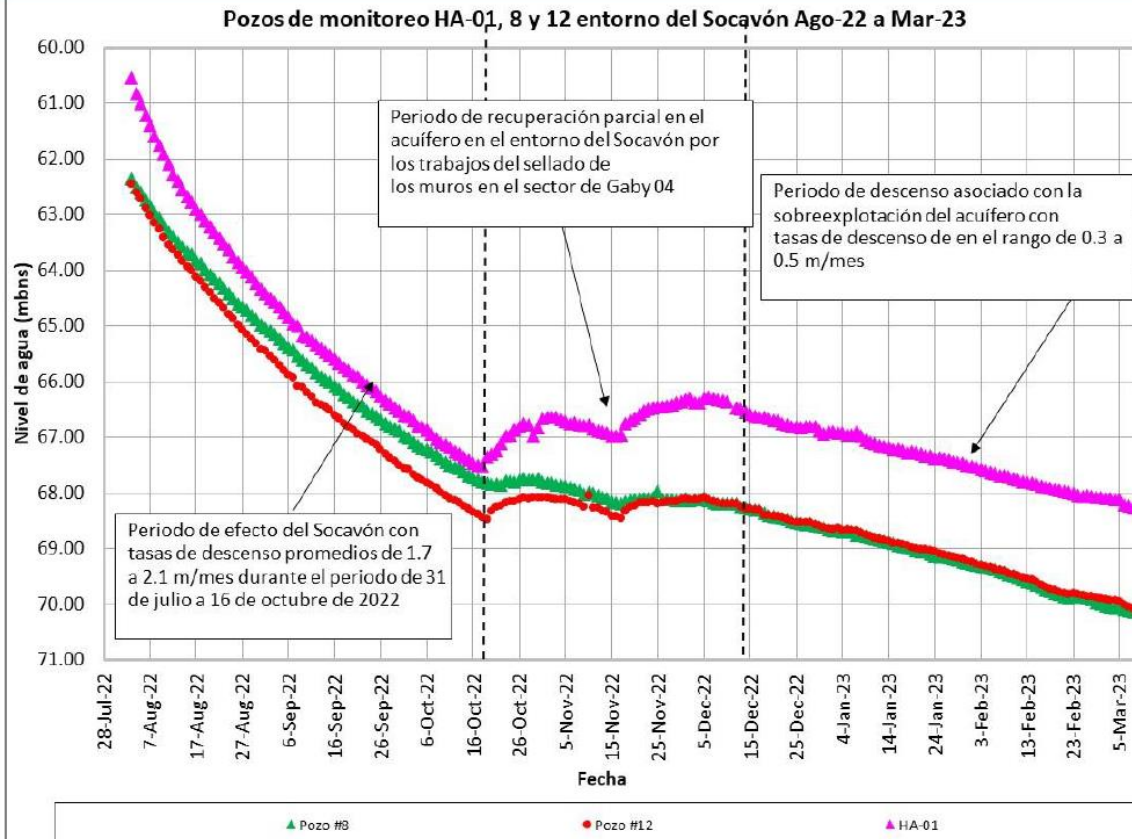
Registro 77.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la estimación del cono de depresión por efecto del socavón, 18 de octubre de 2022. En líneas azules se representa el isodescenso registrado en el área el orden de magnitud de cada uno, los cuales aumenta en la medida que se aproximan al socavón.



Registros



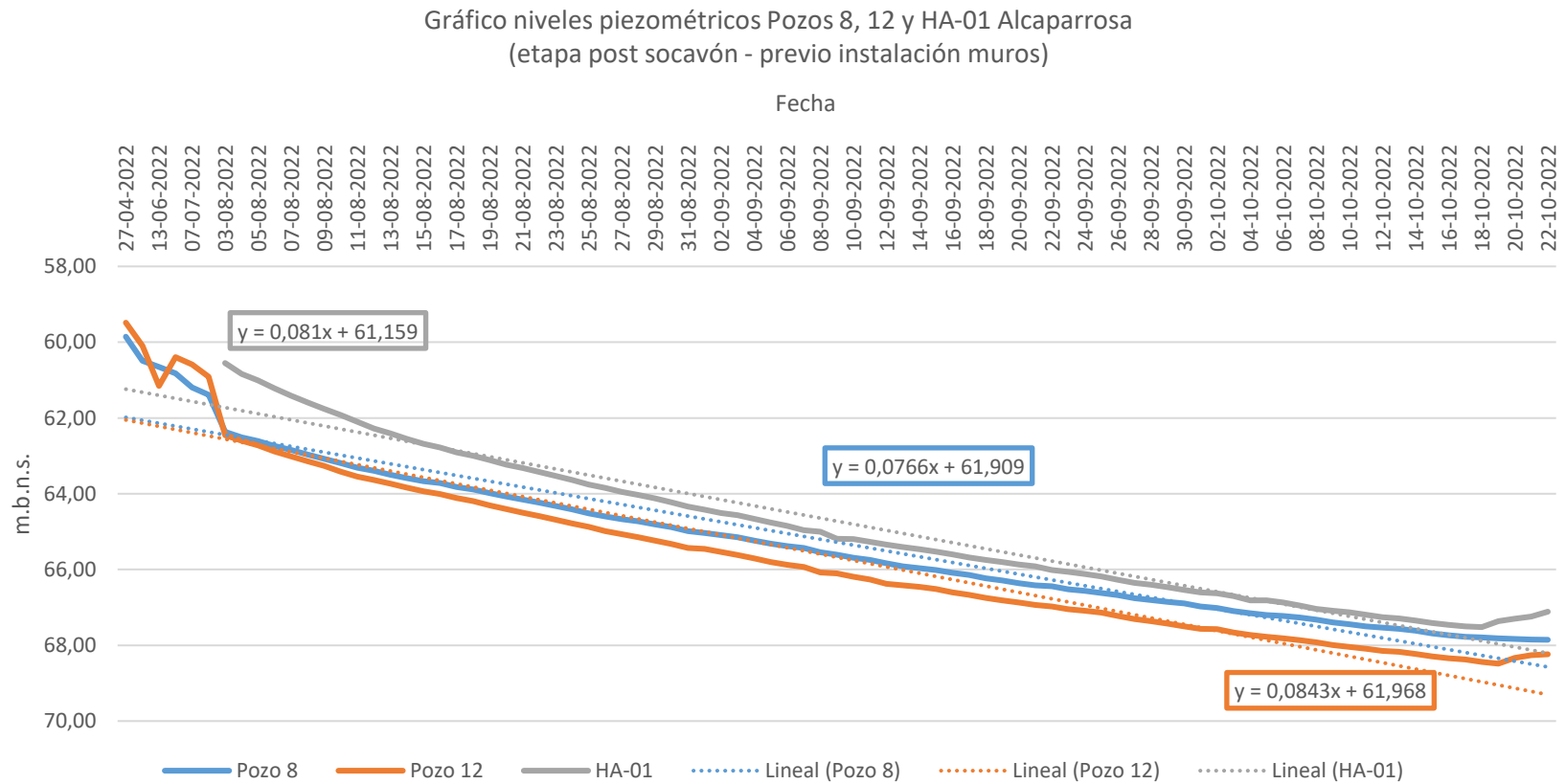
Registro 78.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del comportamiento de los niveles post evento socavón y post sellado a marzo de 2023. Se grafica el comportamiento de los niveles de los pozos 8 (verde), 12 (rojo) y HA-01 (violeta). Las líneas segmentadas representan los tres momentos que el consultor define como periodo de cambios en las curvas.



Registros



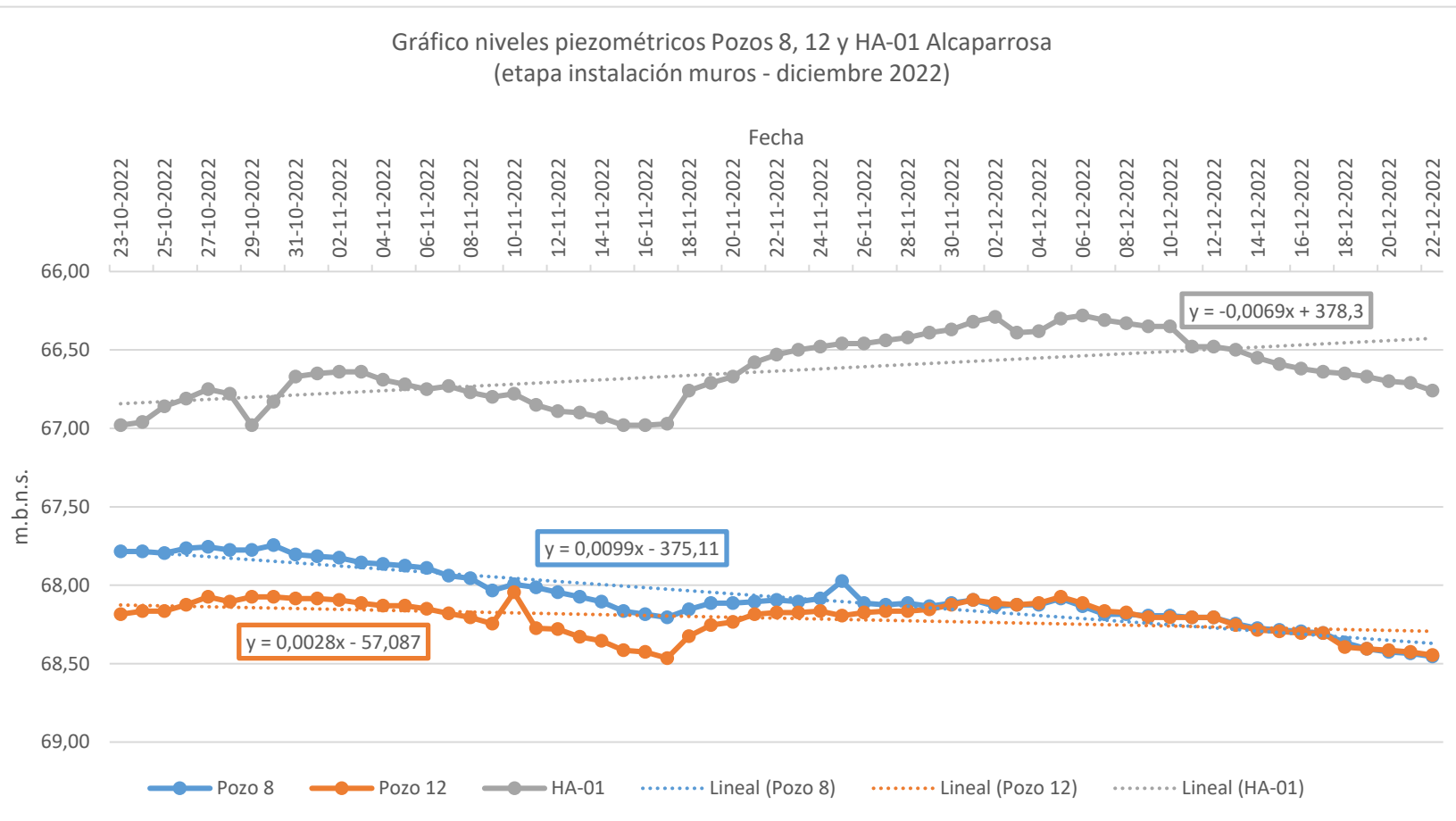
Registro 79.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Gráfico de líneas del comportamiento de los niveles freáticos de los pozos 8 (línea azul), 12 (línea naranja) y HA-01 (línea ploma) en el periodo post socavón y la fecha previa a la instalación de los muros. Se detalla la ecuación del gráfico en el cuadro según cada pozo (en cuadrado del color de la línea del pozo).



Registros



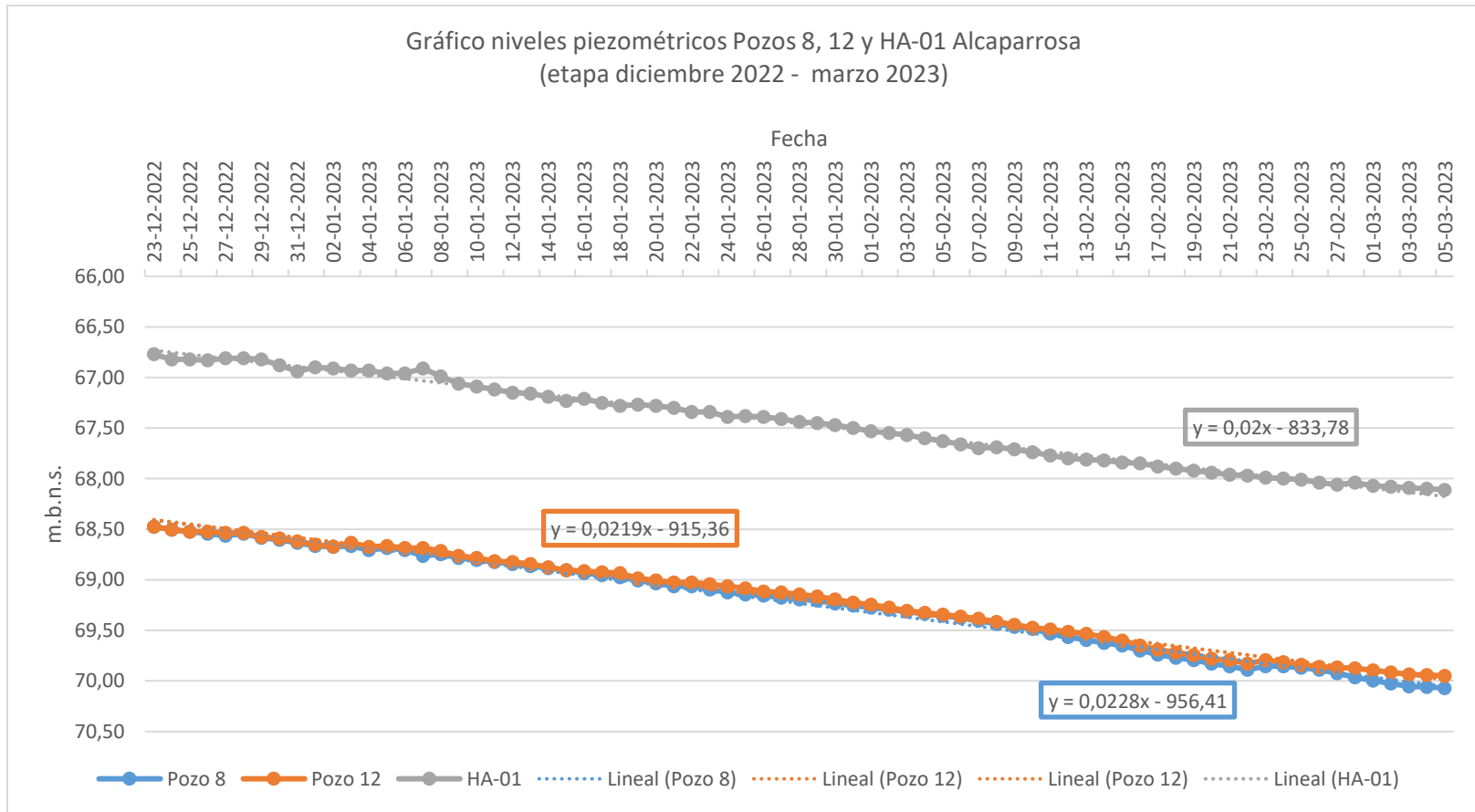
Registro 80.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Gráfico de líneas del comportamiento de los niveles freáticos de los pozos 8 (línea azul), 12 (línea naranja) y HA-01 (línea ploma) en el periodo instalación de muros y diciembre 2022. Se detalla la ecuación del gráfico en el cuadro según cada pozo (en cuadrado del color de la línea del pozo).



Registros



Registro 81.

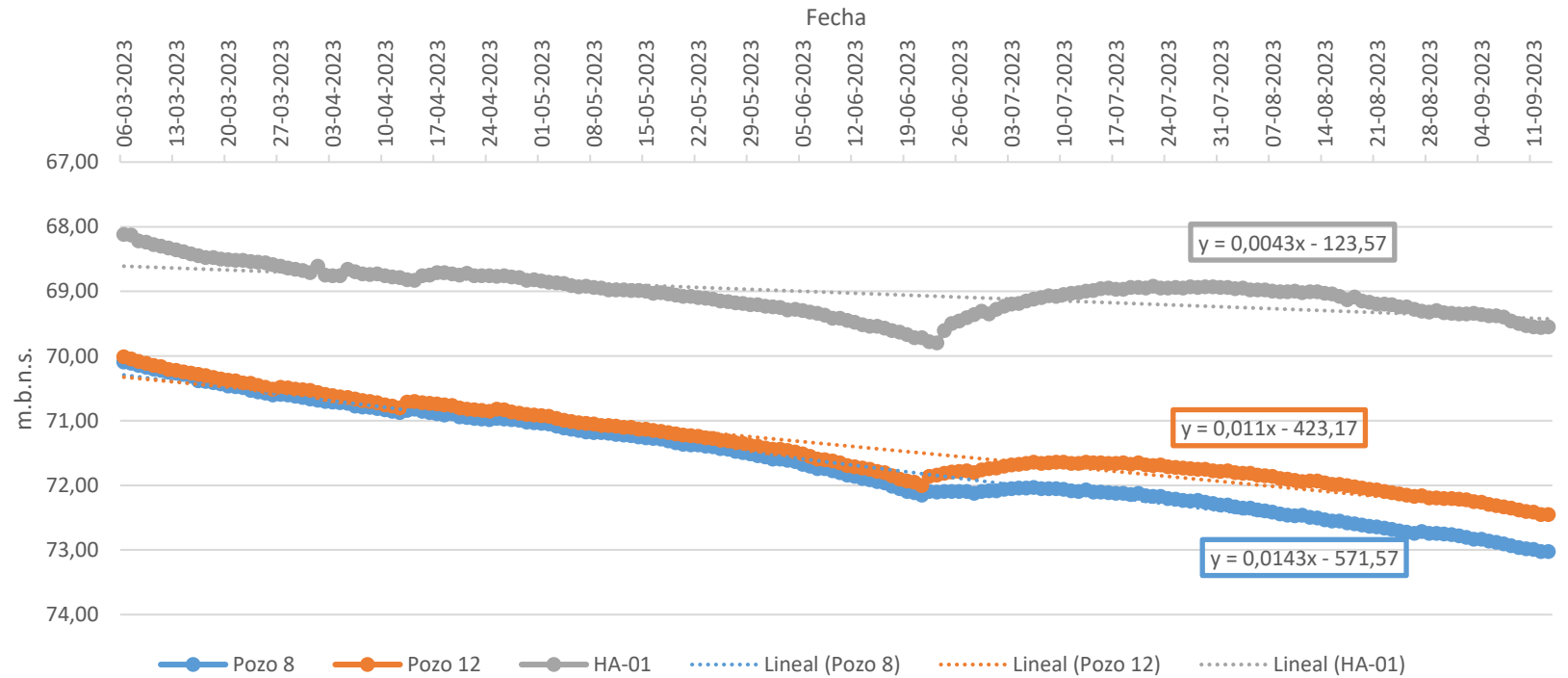
Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Gráfico de líneas del comportamiento de los niveles freáticos de los pozos 8 (línea azul), 12 (línea naranja) y HA-01 (línea ploma) en el periodo diciembre 2022 y marzo 2023. Se detalla la ecuación del gráfico en el cuadro según cada pozo (en cuadrado del color de la línea del pozo).



Registros

Gráfico niveles piezométricos Pozos 8, 12 y HA-01 Alcaparrosa (etapa marzo 2023 - septiembre 2023)



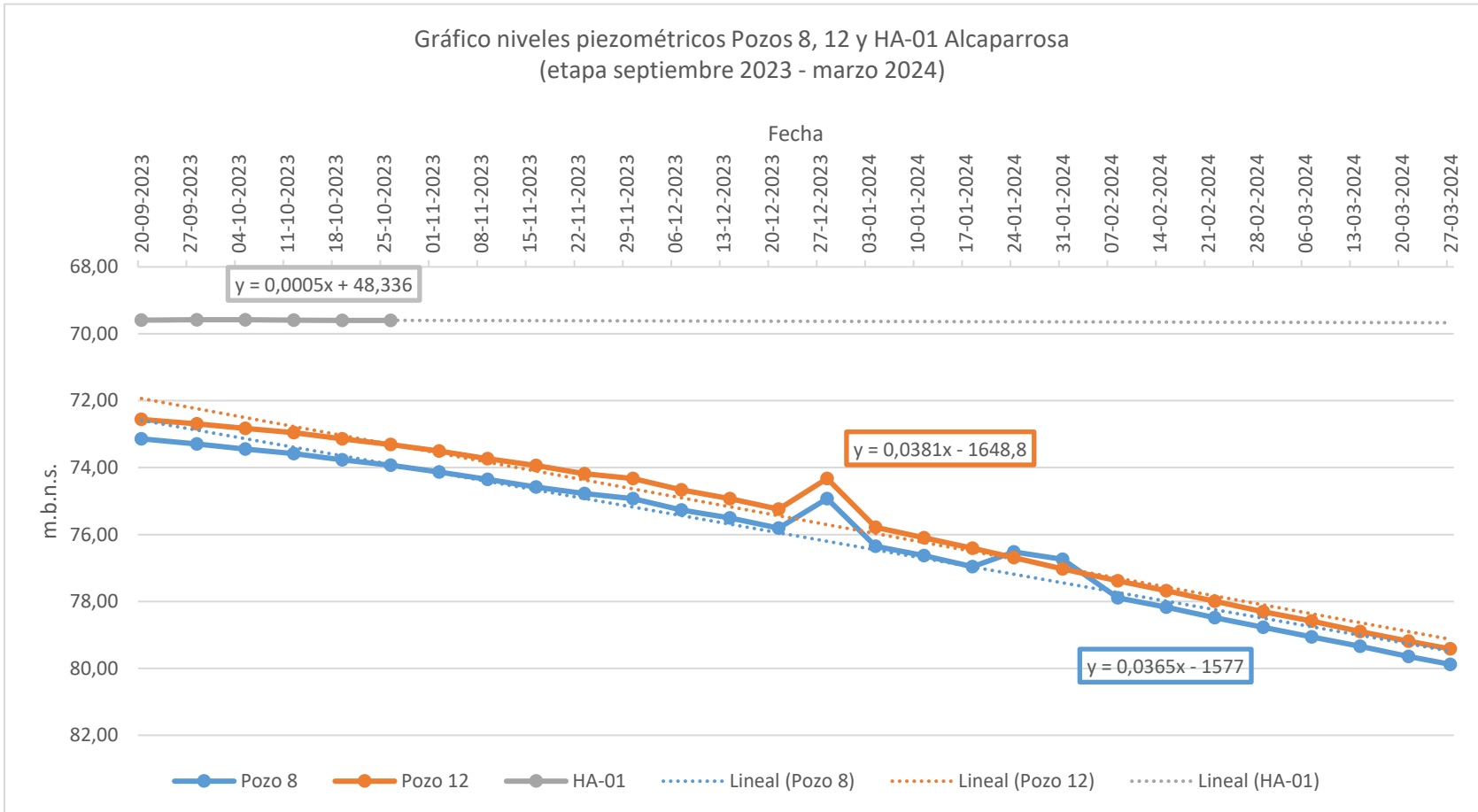
Registro 82.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Gráfico de líneas del comportamiento de los niveles freáticos de los pozos 8 (línea azul), 12 (línea naranja) y HA-01 (línea ploma) en el periodo marzo 2023 y septiembre 2023. Se detalla la ecuación del gráfico en el cuadro según cada pozo (en cuadrado del color de la línea del pozo).



Registros



Registro 83.

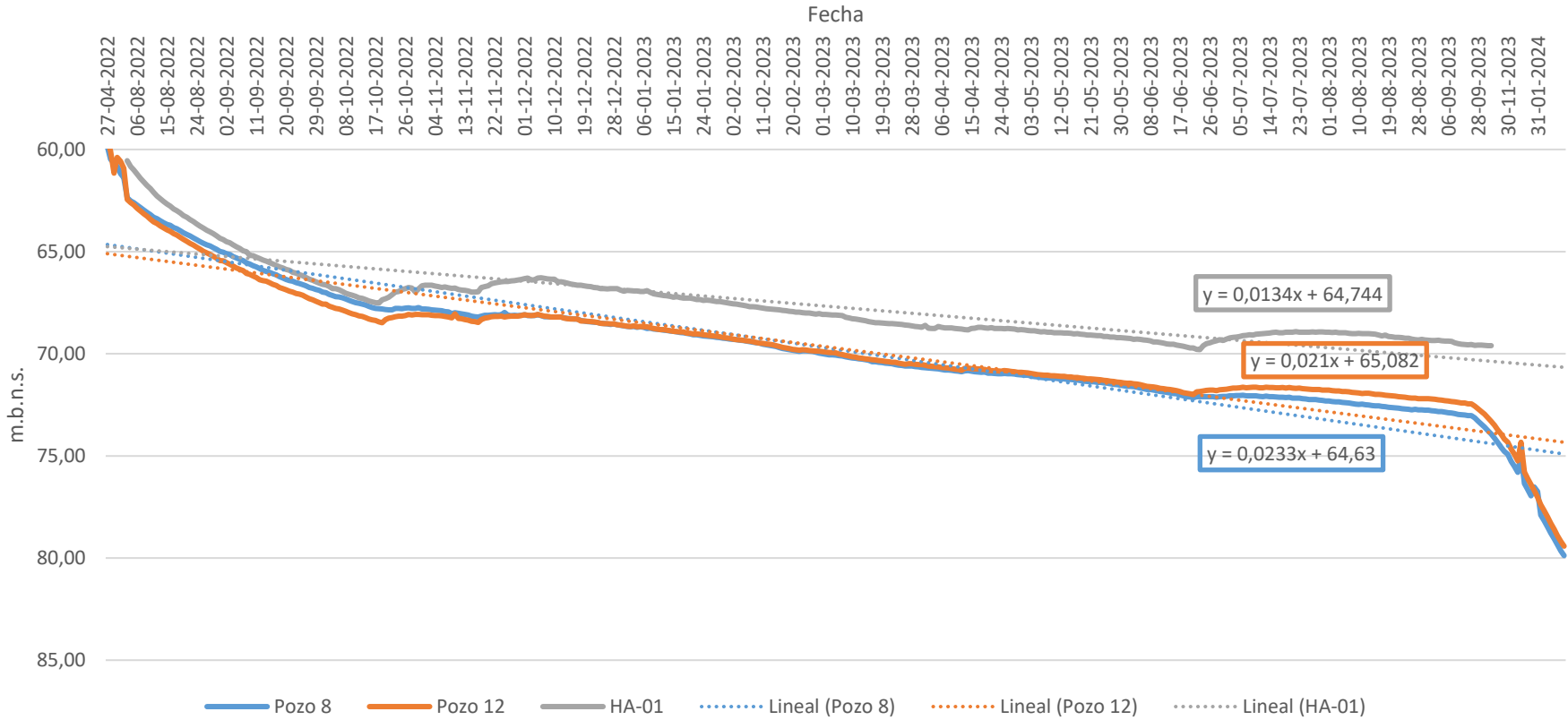
Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Gráfico de líneas del comportamiento de los niveles freáticos de los pozos 8 (línea azul), 12 (línea naranja) y HA-01 (línea ploma) en el periodo septiembre 2023 y marzo 2024. Se detalla la ecuación del gráfico en el cuadro según cada pozo (en cuadrado del color de la línea del pozo).



Registros

Gráfico niveles piezométricos Pozos 8, 12 y HA-01 Alcaparrosa (periodo julio 2022 y marzo 2024)



Registro 84.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Gráfico de líneas del comportamiento de los niveles freáticos de los pozos 8 (línea azul), 12 (línea naranja) y HA-01 (línea ploma) en el periodo julio 2022 y marzo 2024. Se detalla la ecuación del gráfico en el cuadro según cada pozo (en cuadrado del color de la línea del pozo).



Registros

Sector	Fecha	Cantidad de sondajes sellados	Caudal de infiltración antes el sello (l/s)	Reducción de flujo	Comentarios
GE-200	Julio de 2017	33	34.6	34.6 a 3.5 l/s	Reducción de flujo en 90%
Nivel 270 Gaby 12-13 – acceso Alc Sur	Julio de 2020	1	10	De 38.5 l/s a 30 l/s	Sondajes perforados hacia el sector de Gaby 1, 4 y 12
Acceso Alc Sur	Julio de 2020	3	-		Se reduce infiltración en 1.5 l/s
Nivel 256 GE	Julio de 2020	4	2.5		Se disminuye el caudal de 2.5 l/s a 0 l/s
Nivel 170 Viviana 8-9-10	Julio de 2020	7	17		Se disminuye el caudal de 17 a 13 l/s
Nivel 270 Gaby 12-13	Diciembre de 2020	1	3 - 5	De 3-5 l/s a 0 l/s	Se disminuye el caudal a 0 l/s
Nivel 200 Gaby 04	Diciembre de 2020	1	Sin información	Disminuye infiltración a 0 l/s	Se disminuye el caudal a 0 l/s se mantiene goteo local en techo y cajas en pernos
Nivel 270 estocada de evacuación sector Gaby	Agosto de 2021	1	10 - 13	Reducción de excedentes de 30.5 a 19.2 l/s	Se disminuye el caudal a 0 l/s
Nivel 155 Acceso Viviana 16	Agosto de 2021	4	0.4		Se disminuye el caudal a 0 l/s Zona se encuentra altamente fracturada con roca de mala calidad
Nivel 290 Acceso Viviana 05	Agosto de 2021	2	Sin datos		Se disminuye el aporte de agua a 1 l/s, zona se encuentra altamente fracturada con acuerdo con el sistema de Falla Viviana

Registro 85.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del programa de sellado de sondajes, mina Alcaparrosa .



Registros

Sondaje	Nivel	Fecha de sellado	Observación
AD0697	270 Sector Gaby Est. sellado	Diciembre 2020	
AD0739	270 Sector Gaby	Julio 2020	
AD0727	270 Sector Gaby	Julio 2020	
AD0743	270 Sector Gaby	Julio 2020	
AD0726	270 Sector Gaby	Julio 2020	
AD0728	270 Sector Gaby	Julio 2020	
AD0974	250 GE Sector Viviana	Julio 2020	
AD0975	250 GE Sector Viviana	Julio 2020	
AD0692	270 Sector Gaby Est evacuación	Agosto 2021	
AD0847	290 GE Sector Viviana	Agosto 2021	
AD0840	290 GE Sector Viviana	Agosto 2021	
AD0930	290 GE Sector Viviana	Agosto 2021	Sellado parcial
AD0870	290 GE Sector Viviana	Agosto 2021	

Registro 86.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los sondajes sellados 2020-2021



Registros

Sector / Nivel	Descripción
Viviana 345	Se observa un goteo leve a lo largo de la galería, techo Caserón Viviana 01 T1, en sectores asociados a la estructura caracterizada
Viviana 290	En el acceso a caserón 5 se identificaron estructuras intermedias con presencia de agua, goteo o flujo por el bloque colgante de la estructura, en cambio por el lado yacente solamente se reconoce humedad
Viviana 170	En todo el sector de la rampa de acceso se observa presencia de agua. En los techos se observa un flujo persistente a través de los pernos Split set que ha generado dificultades en la construcción del túnel
Alcaparrosa Sur 350	En el sector de la galería Costilla 2 Cx-Cl se observa una estructura de bajo ángulo con manto al Noroeste que es un conducto de un flujo importante de agua que filtra en forma de cascada por el bloque yacente
Alcaparrosa Sur 300	En el frente de la labor Base 1 GT 01 se observa una estructura con manto hacia el oeste que presenta una condición distinta a ambos lados de la falla. Hacia el oeste hay un gran flujo de agua a través de los pernos split set y goteos leves en el resto de la sección, no obstante, por el lado este de la falla se presenta humedad y goteos leves
Alcaparrosa Sur 270	Se detecta manchas de humedad en intersecciones de discontinuidades.
Galería de Exploración Este 200	Agua fluye por las perforaciones de sondajes

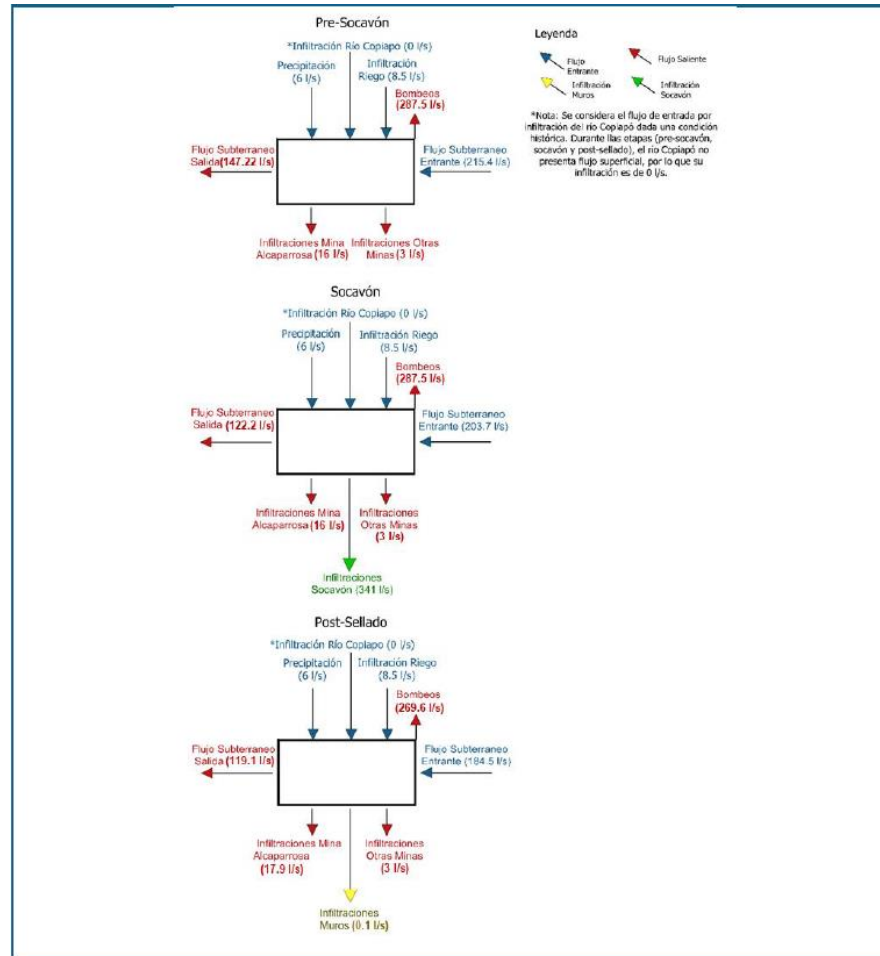
Registro 87.

Fuente: Estudio : "Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa" Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las descripciones de las condiciones de infiltraciones, Viviana, Alcaparrosa, Galería de Exploración 200



Registros



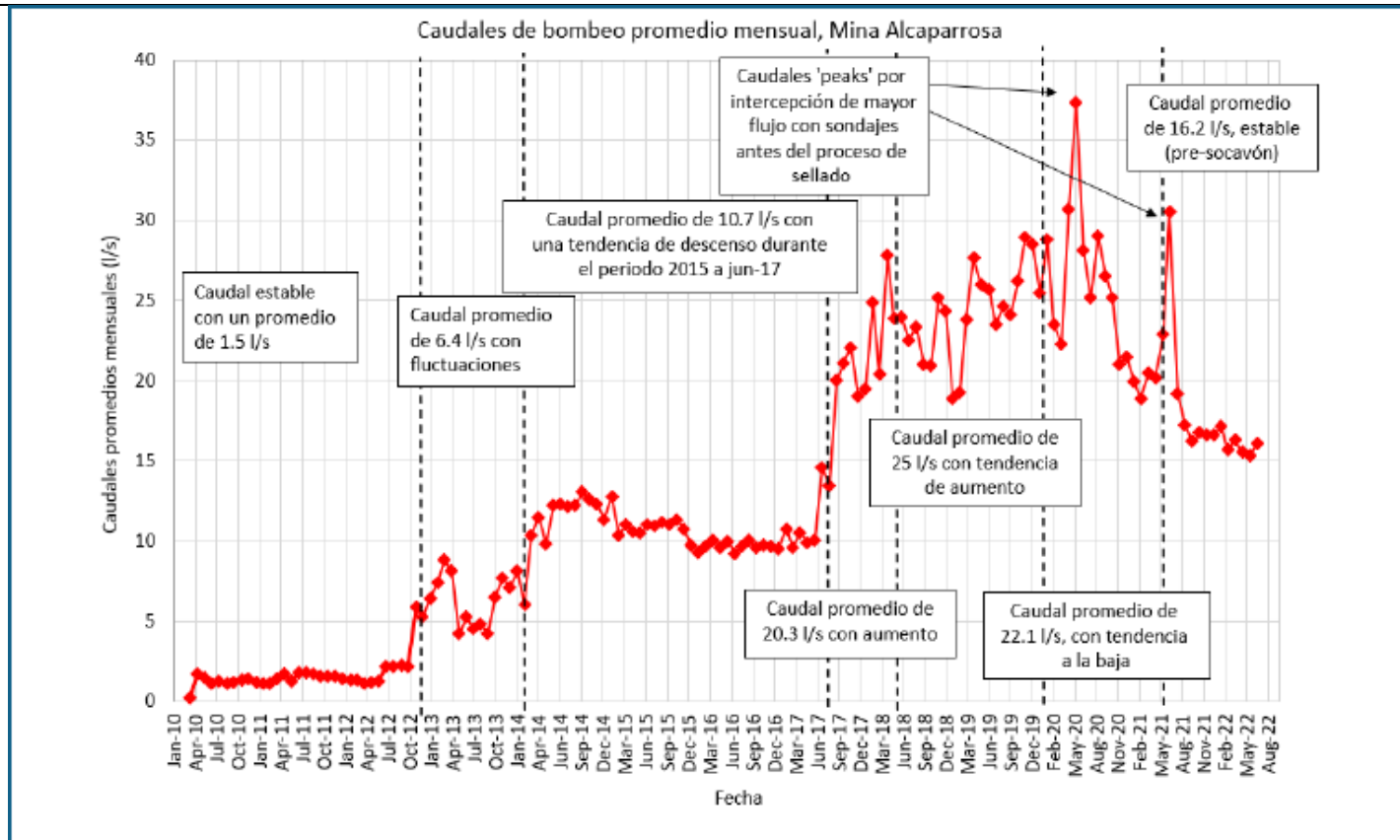
Registro 88.

Fuente: Estudio : "Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa" Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de componentes balance hídrico según eventos, por cada periodo considerado para el estudio del modelo conceptual.



Registros



Registro 89.

Fuente: Estudio : "Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa" Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del caudal de infiltración, mina Alcaparrosa (2013-2022)



Registros



Registro 90.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Detalle del caudal de infiltración que es extraído mina Alcaparrosa desde 2013 al 2022.



Registros

Componente	Caudal (l/s)		
	Pre-socavón	Efecto socavón	Post-sellado
Flujo entrante – Recarga			
Recarga subterránea de la cuenca en Sección sur	215.4	203.7	184.5
Precipitaciones directas	6.0	6.0	6.0
Recarga desde Q. Meléndez	0.1	0.1	0.1
Recarga desde infiltración (canales de regadío, riego y río Copiapó)	8.4	8.4	8.4
TOTAL FLUJO ENTRANTE	229.9	218.2	199.0
Flujo saliente – Descarga			
Descarga por agua subterránea en sección norte	147.2	122.2	119.1
Extracciones de agua	Uso minero	73.8	53.1
	Uso Agrícola	197.0	197.0
	Otros bombeos	16.7	19.5
Infiltración Mina Alcaparrosa	16.0	16.0	17.9
Infiltración efecto socavón	0	341.0	0.1
Infiltración otras minas	3.0	3.0	3.0
TOTAL FLUJO SALIENTE	453.7	769.7	409.7
Diferencia entrada - salida	-223.8	-551.5	-210.7

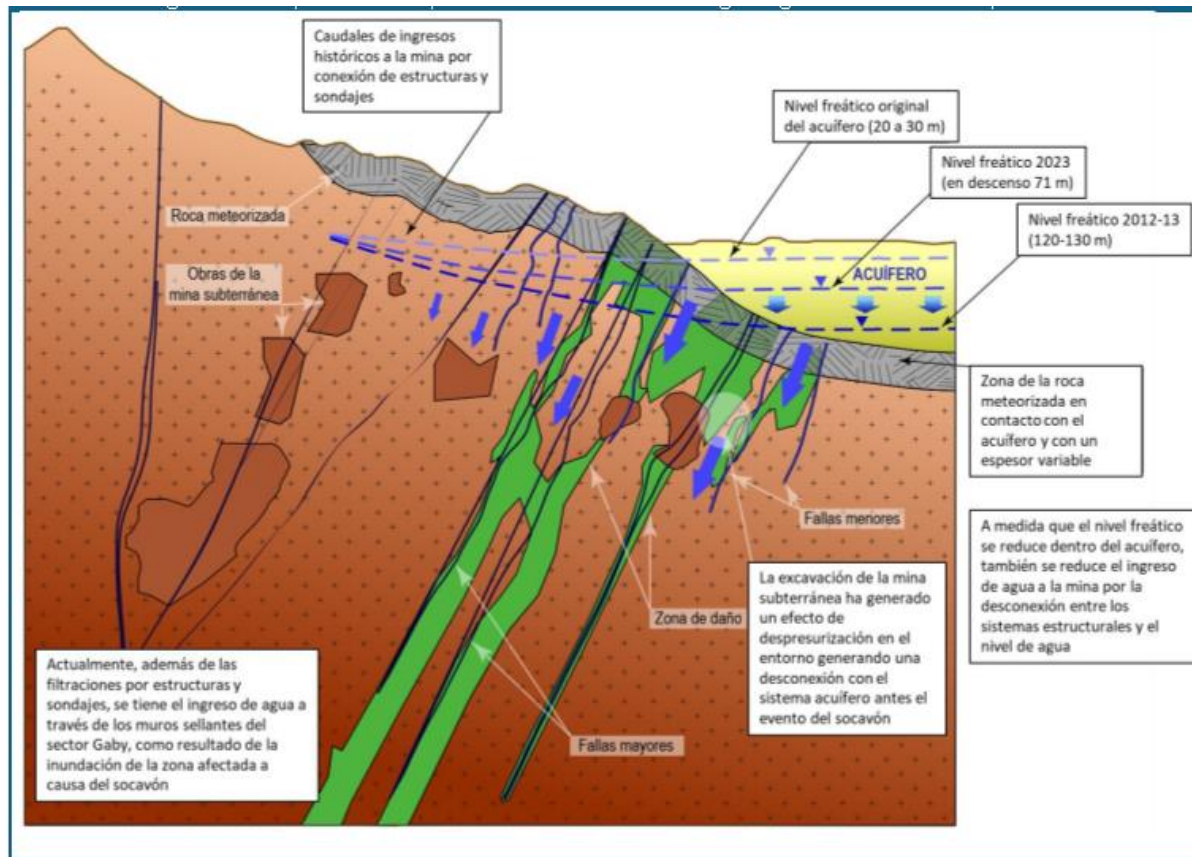
Registro 91.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del medio de prueba: Detalle del cálculo de balance hídrico del acuífero en la zona de estudio. En amarillo se destaca el valor de infiltración de Mina Alcaparrosa que utiliza el consultor, el cual no es efectivo ya que para junio de 2023 la infiltración fue de 53,82 l/s, como puede observarse en el registro anterior (90). Por lo tanto, la diferencia de entrada – salida post sello es 246,62 l/s, es decir, el flujo saliente post sellado es mayor que el flujo saliente pre socavón.

Registros





Registro 92.

Fuente: Estudio : "Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa" Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del esquema conceptual de la condición hidrogeológica de la mina Alcaparrosa. En los cuadros se caracterizan los distintos factores que definen conceptualmente la condición hidrogeológica del sector.



Registros

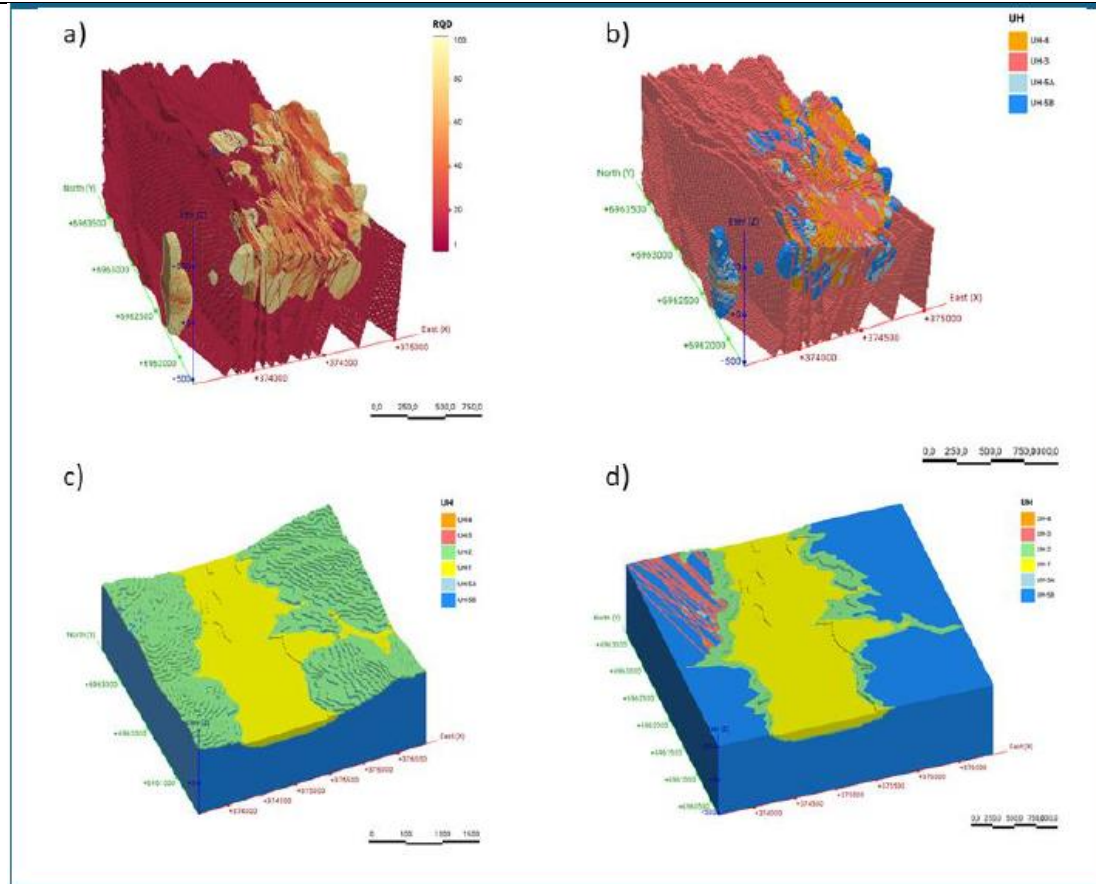
Unidad hidrogeológica		Nombre	RQD min (%)	RQD prom (%)	RQD max (%)
UH-1		Acuífero sedimentario	Gravas y arenas	-	-
UH-2		Roca meteorizada	Roca meteorizada	6	35
UH-3		Estructuras	Muy alto fracturamiento	0	35
UH-4		Zona de daño	Fracturamiento medio	40	58
UH-5	A	Roca fresca	Bajo fracturamiento	65	73
	B		Muy bajo fracturamiento	80	82

Registro 93. Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del resumen de las unidades hidrogeológicas y sus propiedades con detalle en el RQD mínimo, máximo y promedio.



Registros



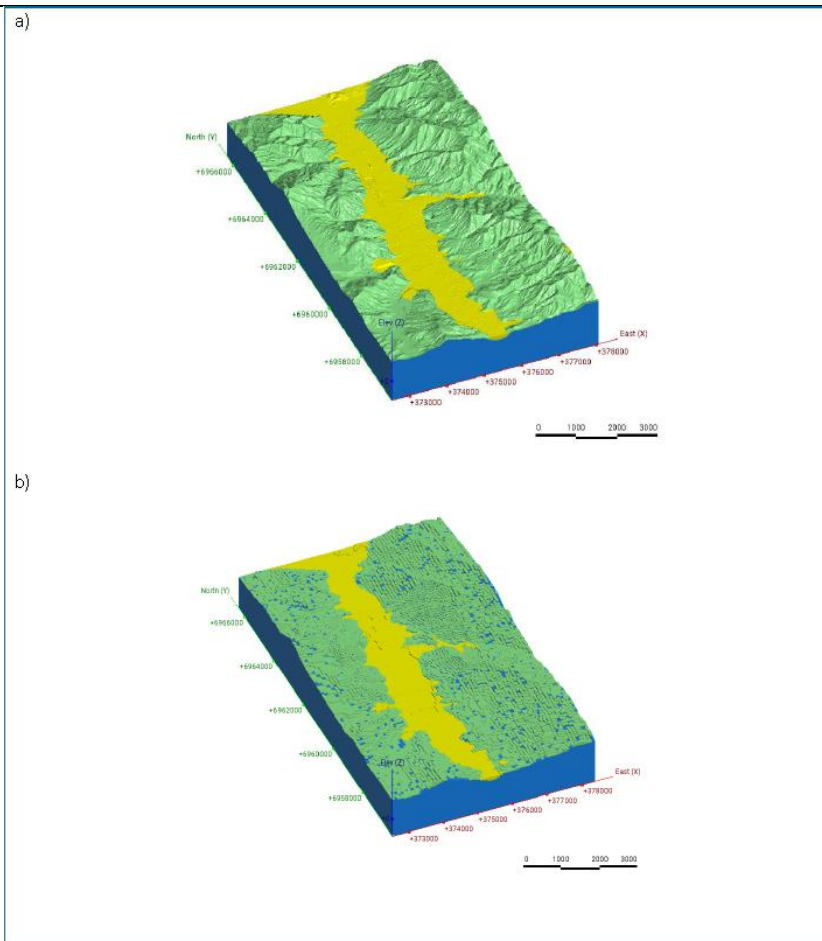
Registro 94.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo de bloques RQD y unidades hidrogeológicas. a) Modelo de bloques RQD. b) Modelo de bloques discretizado a 10 m x 10 m x 5 m y reclasificado a Unidades Hidrogeológicas. c) Modelo de bloques UH-1, UH-2 UH-5A a 10 m x 10 m x32 m. d) Modelo de bloques UH-1, UH-2, UH-3, UH-5A y UH-5B, sector mina.



Registros



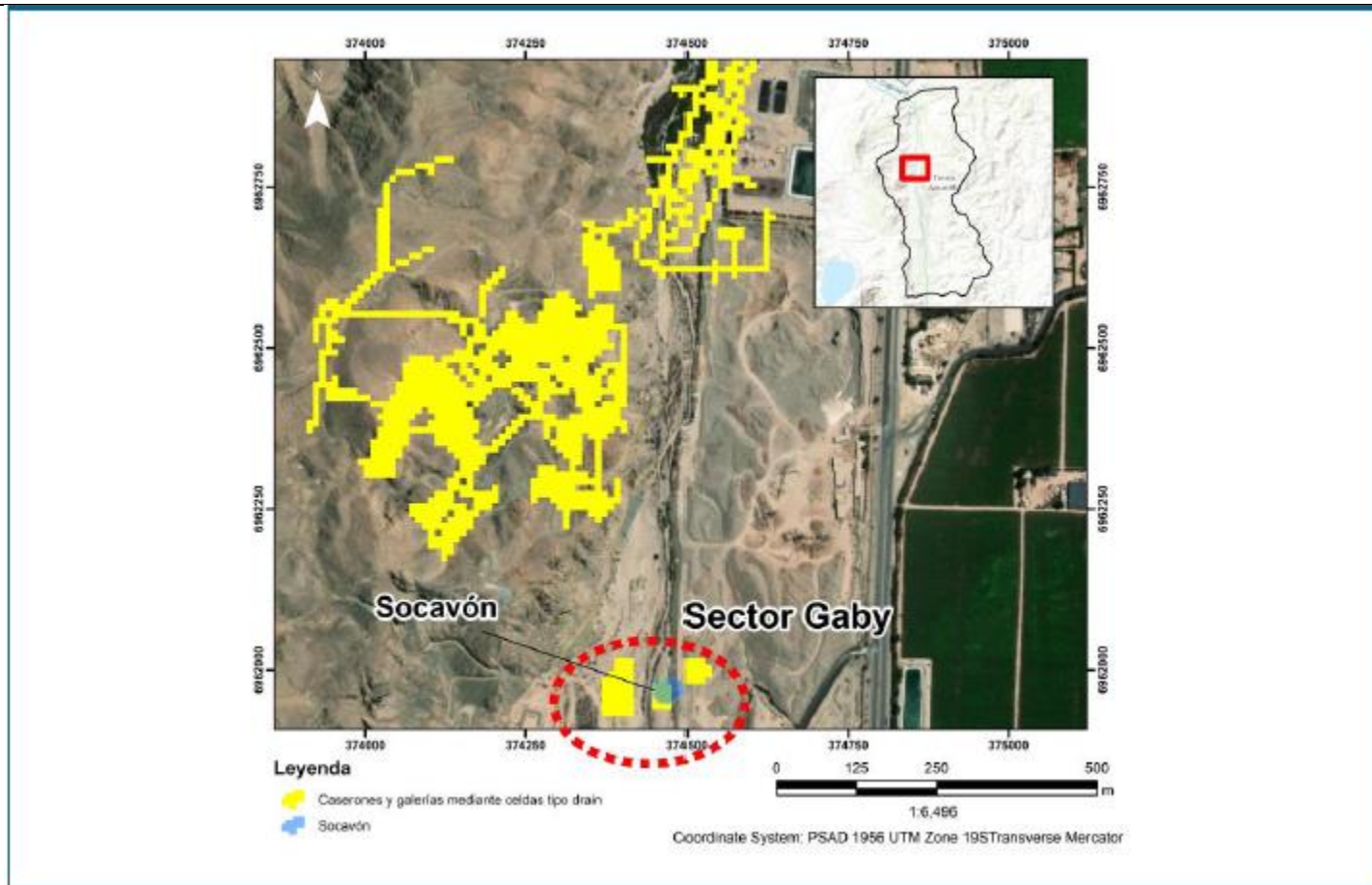
Registro 95.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del modelo de bloques RQD y unidades hidrogeológicas. a) Modelo de bloques RQD. b) Modelo de bloques discretizado a 10 m x 10 m x 5 m y reclasificado a Unidades Hidrogeológicas. c) Modelo de bloques UH-1, UH-2 UH-5B a 10 m x 10 m x32 m. d) Modelo de bloques UH-1, UH-2, UH-3, UH-5A y UH-5B, sector mina.



Registros



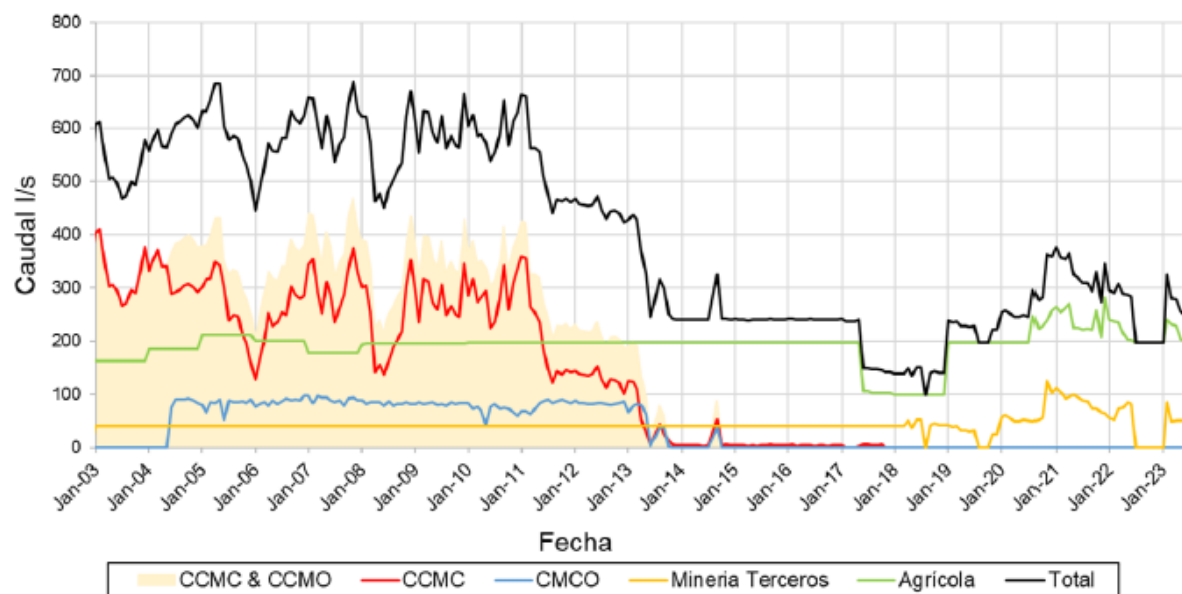
Registro 96.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle Representación de caserones y galerías mediante condiciones de borde tipo drain para junio de 2022. Capa 9 (258 a 226 m. s.n.m.).



Registros



Registro 97.

Fuente: Estudio : "Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa" Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle del caudal extraído por bombeo desde enero de 2003 hasta julio de 2023.



Registros					
	Unidad hidrogeológica	Conductividad hidráulica (m/día)	Ss (1/m)	Sy (%)	n (%)
	UH1	50.37	1.00E-04	30	31
	UH2	0.0864	1.00E-07	3	3
	UH3	0.00864	1.00E-07	7	7
	UH4	0.00432	1.00E-07	1	1
	UH5-A	8.64x10 ⁻⁵	1.00E-07	1	1
	UH5-B	8.64x10 ⁻⁷	1.00E-07	1	1

Registro 98. Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las propiedades hidráulicas iniciales para cada unidad hidrológica. Se destaca en amarillo el valor de la unidad UH4 el cual es menor que la conductividad eléctrica de la UH3.



Registros							
Pozo	Coordenada	Coordenada	Cota (m s,n,m)	Nivel medido (m s,n,m)	Nivel simulado (m s,n,m)	Error (m)	
	Norte (m)	Este (m)					
Pozo #8	6,961,471.31	374,745.50	478.94	418.19	417.96	0.23	
Pozo #12	6,961,671.73	374,714.78	477.59	417.75	416.86	0.89	
Pozo #14	6,961,199.21	374,815.64	481.39	420.27	420.30	-0.03	
HA-01	6,962,245.37	374,576.47	472.28	sin registro	414.36	-	
HA-02	374,577.87	6,962,270.96	472.11	sin registro	414.3	-	
Pozo #9	375,045.00	6,958,498.00	472.11	459.84	435.55	24.29	
Pozo #13	374,879.63	6,958,375.90	472.11	462.24	436.02	26.22	

Registro 99. Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los niveles simulados y niveles medidos en pozos usados para calibración. El error indicado en la tabla corresponde a la diferencia entre el valor del nivel medida y el valor del nivel simulado.



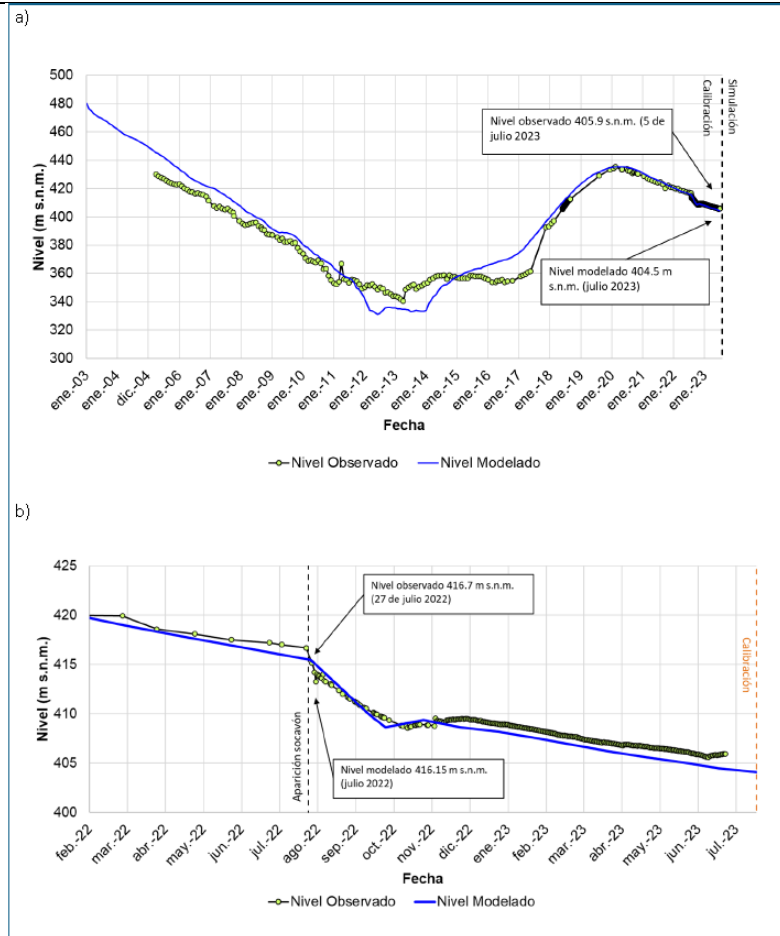
Registros						
Unidad hidrogeológica	$K_x^* = K_y^*$ (m/día)	K_z^* (m/día)	S_s (1/m)	S_y (%)	n (%)	
UH1	50	5	1.00E-04	10	31	
UH1 (2)	30	3	1.00E-04	10	31	
UH2	8.64E-02	8.64E-02	1.00E-07	3	3	
UH3	1.00E-03	2.50E-03	1.00E-07	10	7	
UH4	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-07	1	1	
UH5-A	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-07	1	1	
UH5-B	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-07	1	1	

Registro 100. Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de las propiedades hidráulicas calibradas. En amarillo, se destacan las conductividades hidráulicas según las direcciones cartesianas X e Y; se puede observar que este plano.



Registros



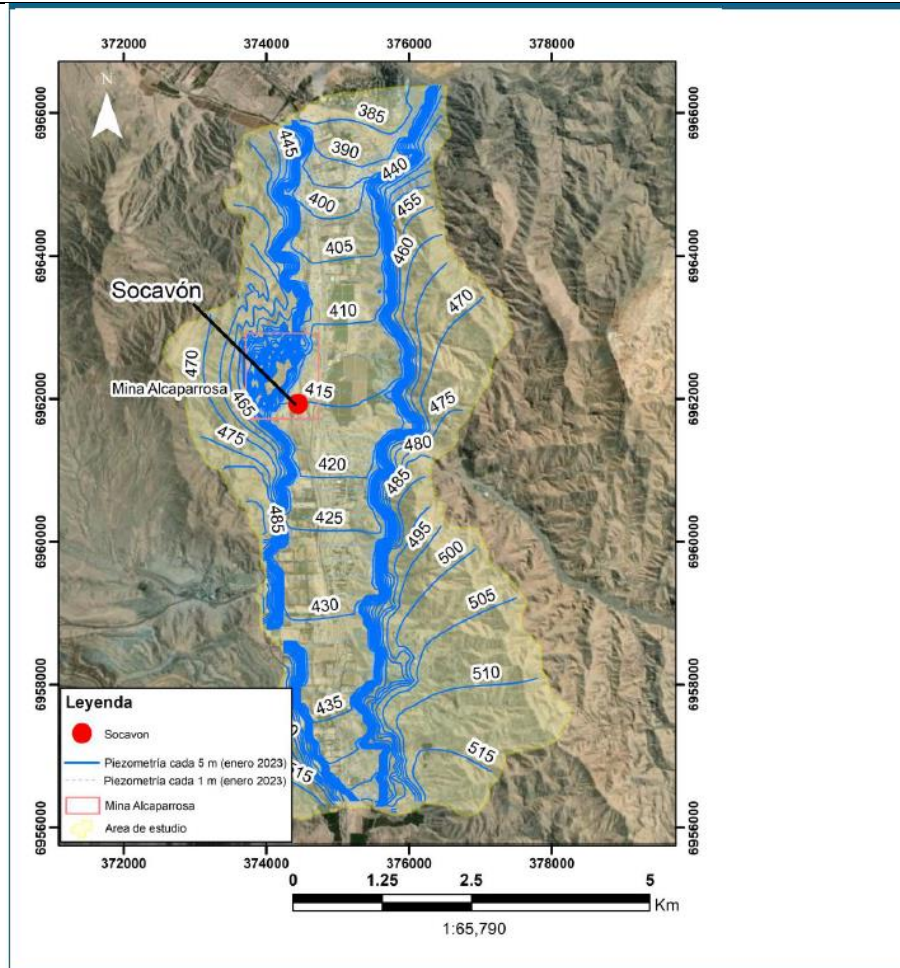
Registro 101.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los niveles modelados y niveles medidos en el pozo 12. La línea azul representa el nivel modelo, mientras que los círculos en verde representan los datos observados en este pozo.



Registros



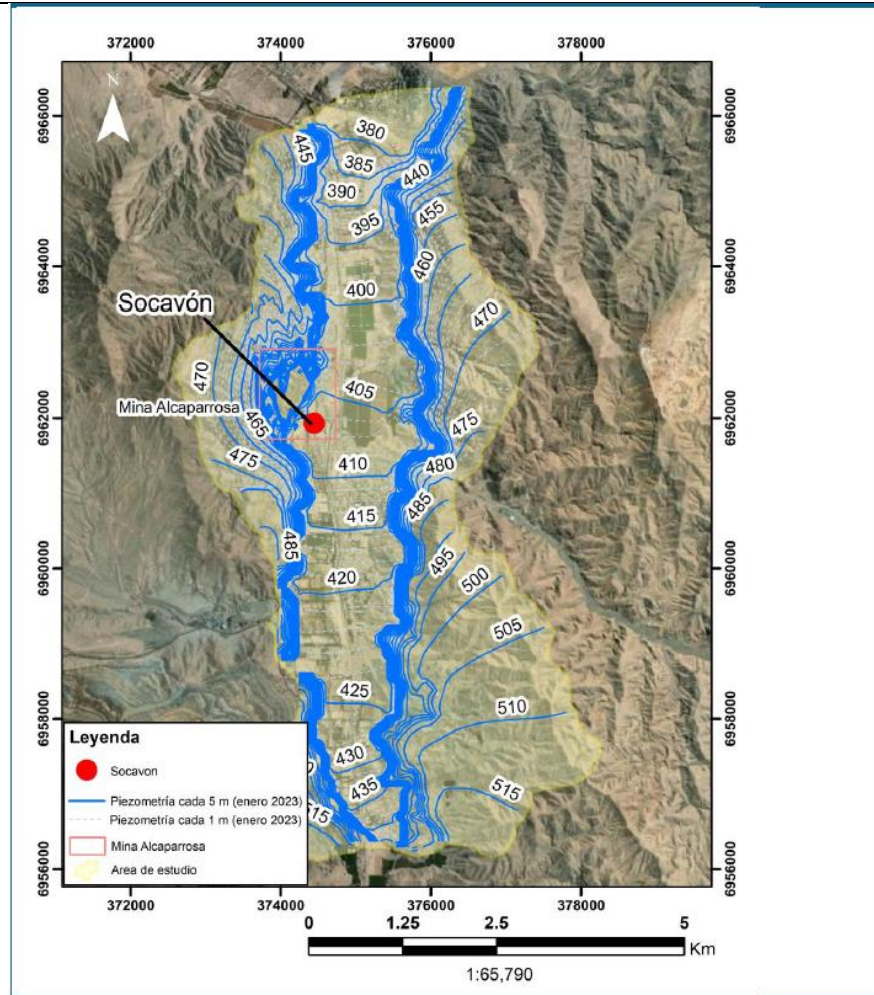
Registro 102.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la piezometría modelada pre socavón (junio 2022) en el sector mina Alcaparrosa. La línea azul representa la piezometría cada 5 metros.



Registros



Registro 103.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de la piezometría modelada post socavón (enero 2023) en el sector mina Alcaparrosa. La línea azul representa la piezometría cada 5 metros.



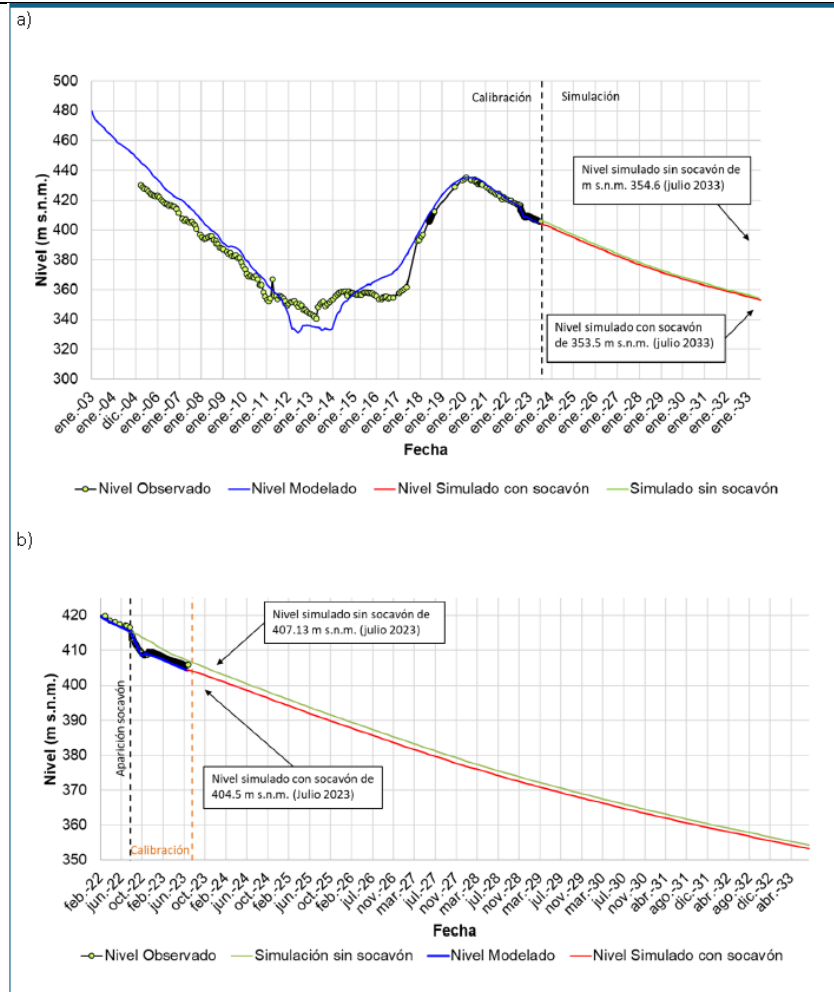
Registros			
Periodo	Caudal por Excedentes de la Mina (l/s)	Caudal Promedio modelado (l/s)	Error Absoluto (l/s)
Enero 2013 – diciembre 2015	9.5	8.3	-1.2
Enero 2016 – junio 2017	9.8	10.9	1.1
Julio 2017 – mayo 2018	20.6	12.6	-8.0
Junio 2018 – noviembre 2018	22.8	15.1	-7.7
Diciembre 2018 – abril 2020	24.8	20.3	-4.5
Mayo 2020 – julio 2022	21.3	24.2	2.8
Agosto 2022	341.1	360.0	18.9
Septiembre 2022 – julio 2023	53.5	37.6	-15.8

Registro 104. Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Detalle de los caudales promedios medidos y modelados para distintos periodos de tiempo. En amarillo se destaca el caudal de infiltración a mina extraído para el periodo septiembre 2022 y julio 2023.



Registros



Registro 105.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

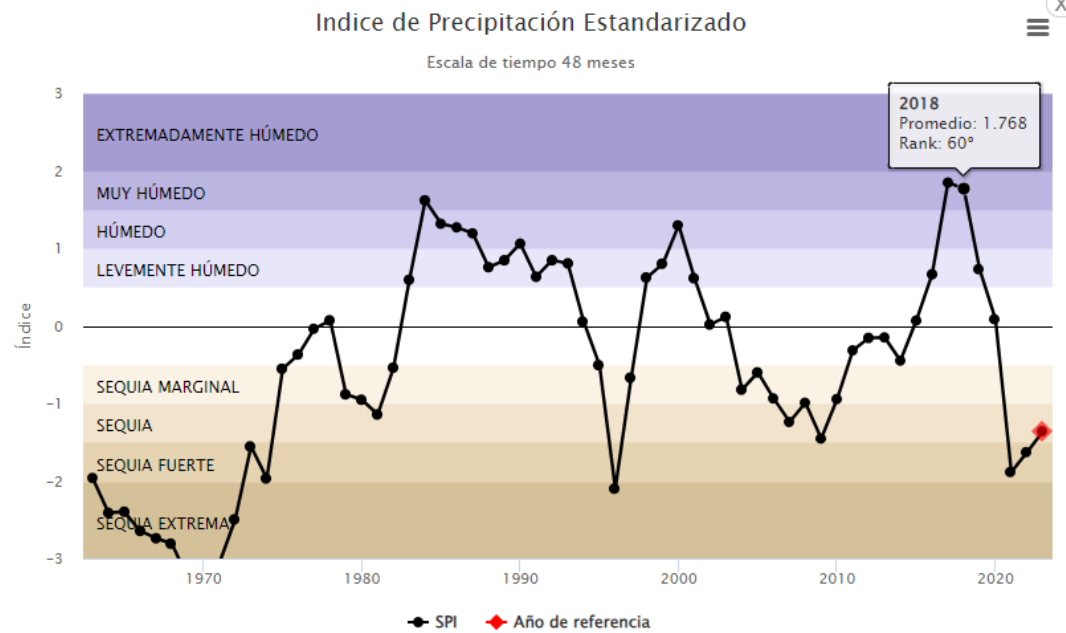
Descripción del medio de prueba: Detalle de los niveles simulados del pozo 12 del año 2023 hasta 2033. La línea azul corresponde al nivel modelado, mientras que la línea con círculos corresponde al caudal observado. La línea roja corresponde al nivel simulado con socavón y la línea verde corresponde al nivel simulado sin socavón.



Registros

R. Copiapo Medio

El indicador **SPI48** para el periodo entre **1 de julio, 2023 y 31 de julio, 2023** fue **-1.36**, correspondiente a una condición de **SEQUIA**. Este valor corresponde al **17º** período más seco en los últimos 61 años



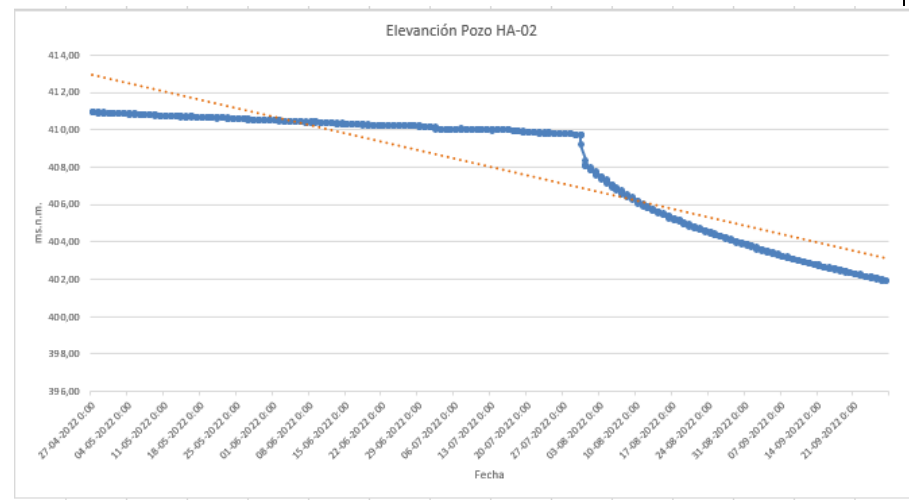
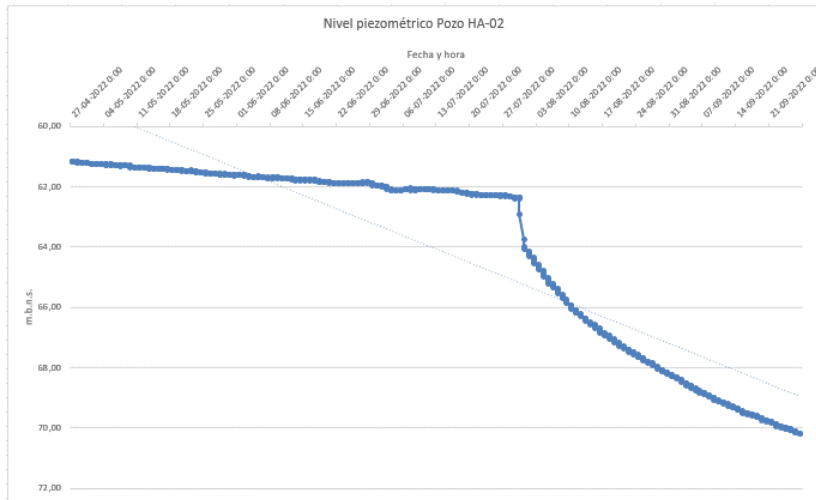
Registro 106.

Fuente: Sequías y Seguridad Hídrica Chile (<https://anidsequias.meteodata.cl/monitor/>).

Descripción del medio de prueba: Detalle de los índices de precipitación estandarizados generado por el monitoreo de datos del portal “Sequías y seguridad hídrica Chile” de la Agencia de Nacional para la Investigación y Desarrollo del Ministerio de Ciencias, Tecnologías, Conocimiento e Información del Gobierno de Chile. Se observa que el año 2017, 2018 (60° en el ranking de periodo más seco en los últimos 61 años), 2019 no fueron años en lo que técnicamente había sequía. El año 2020 aún estuvo afuera de esta condición.



Registros



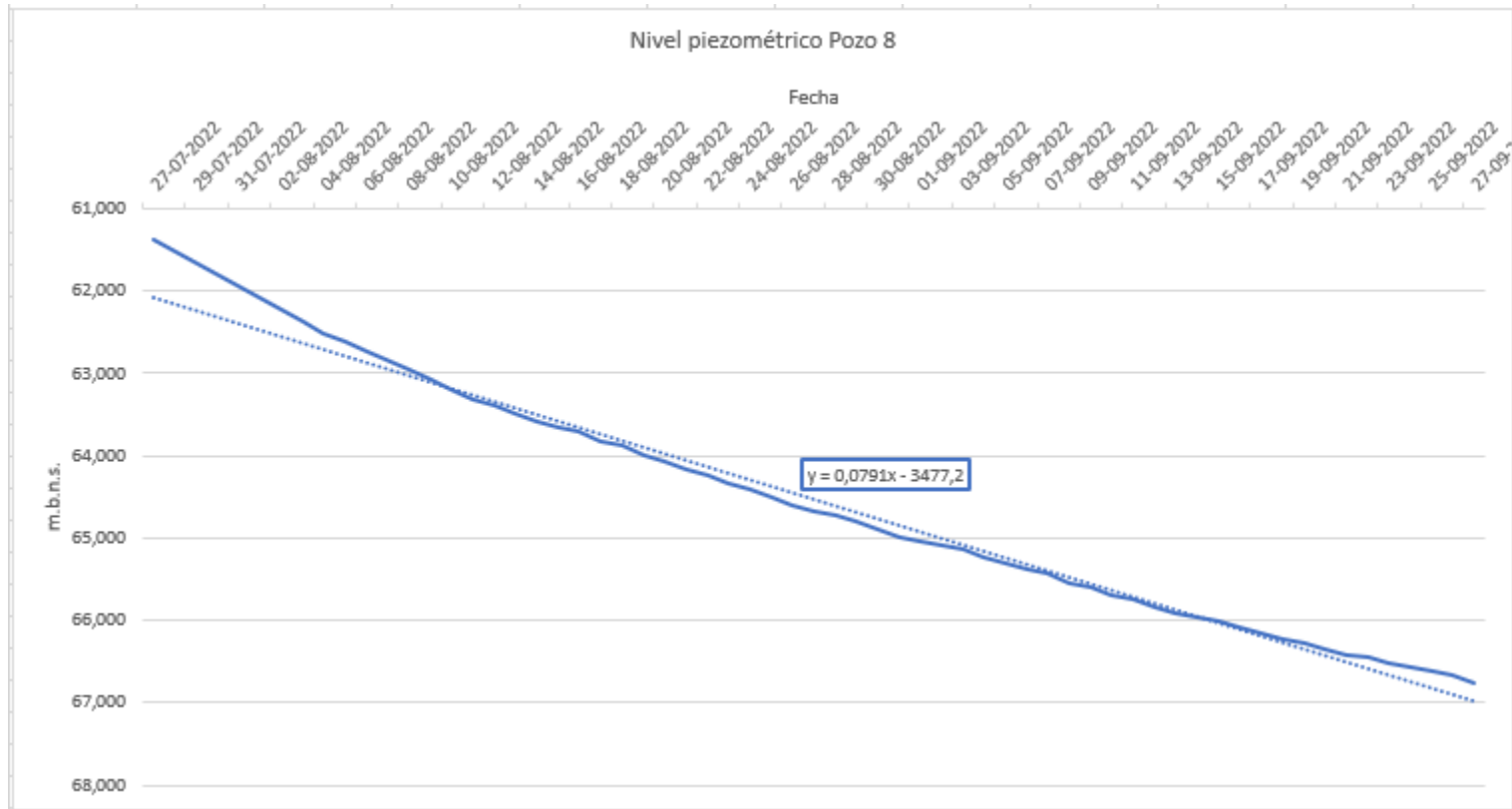
Registro 107.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Gráficos de los niveles piezométricos y de la elevación del pozo HA-02 desde abril de 2022 hasta septiembre de 2022.

Registros





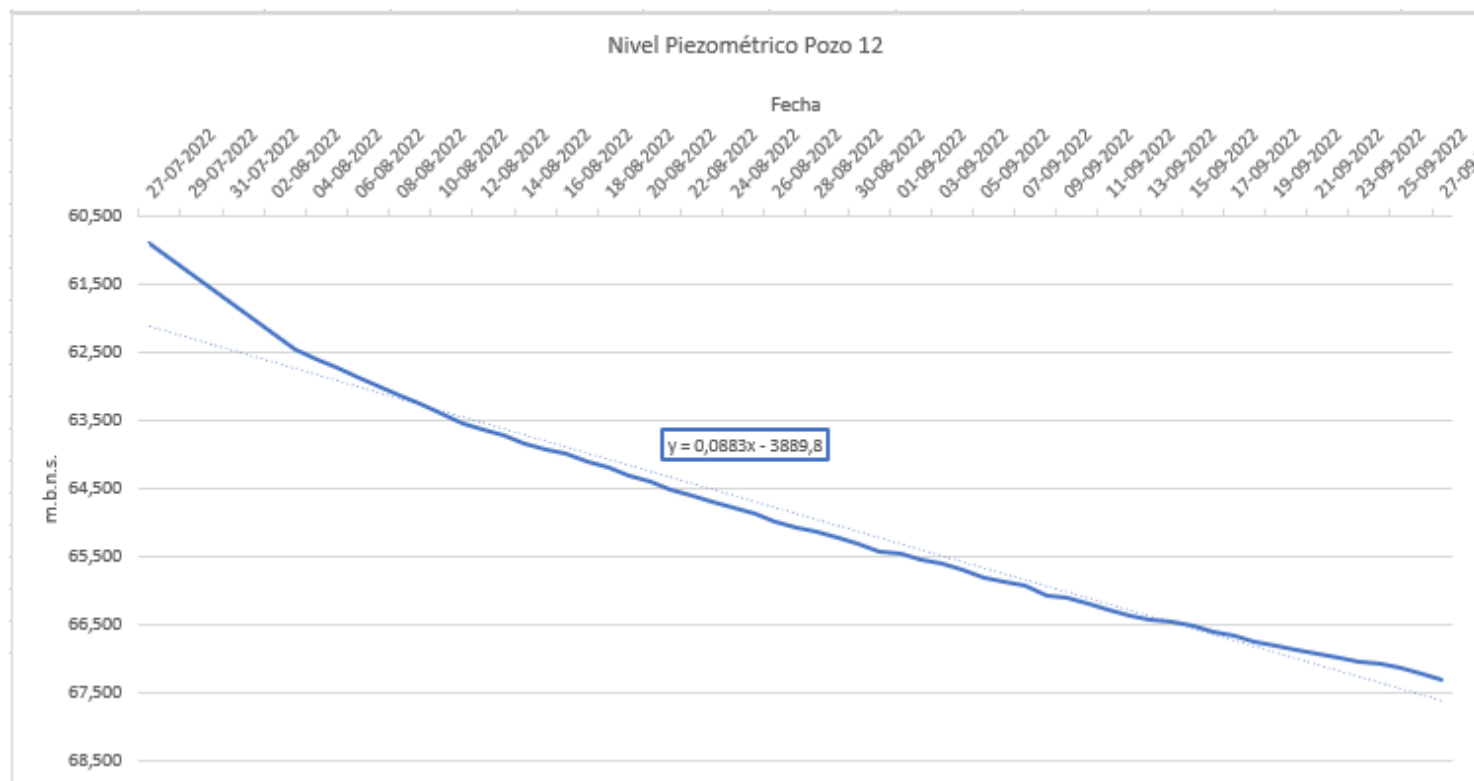
Registro 108.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Gráficos de los niveles piezométricos del pozo 8 desde 27 de julio hasta 27 de septiembre de 2022. En el cuadro se puede observar la ecuación del gráfico asociada a la línea de tendencia y su respectiva pendiente.



Registros



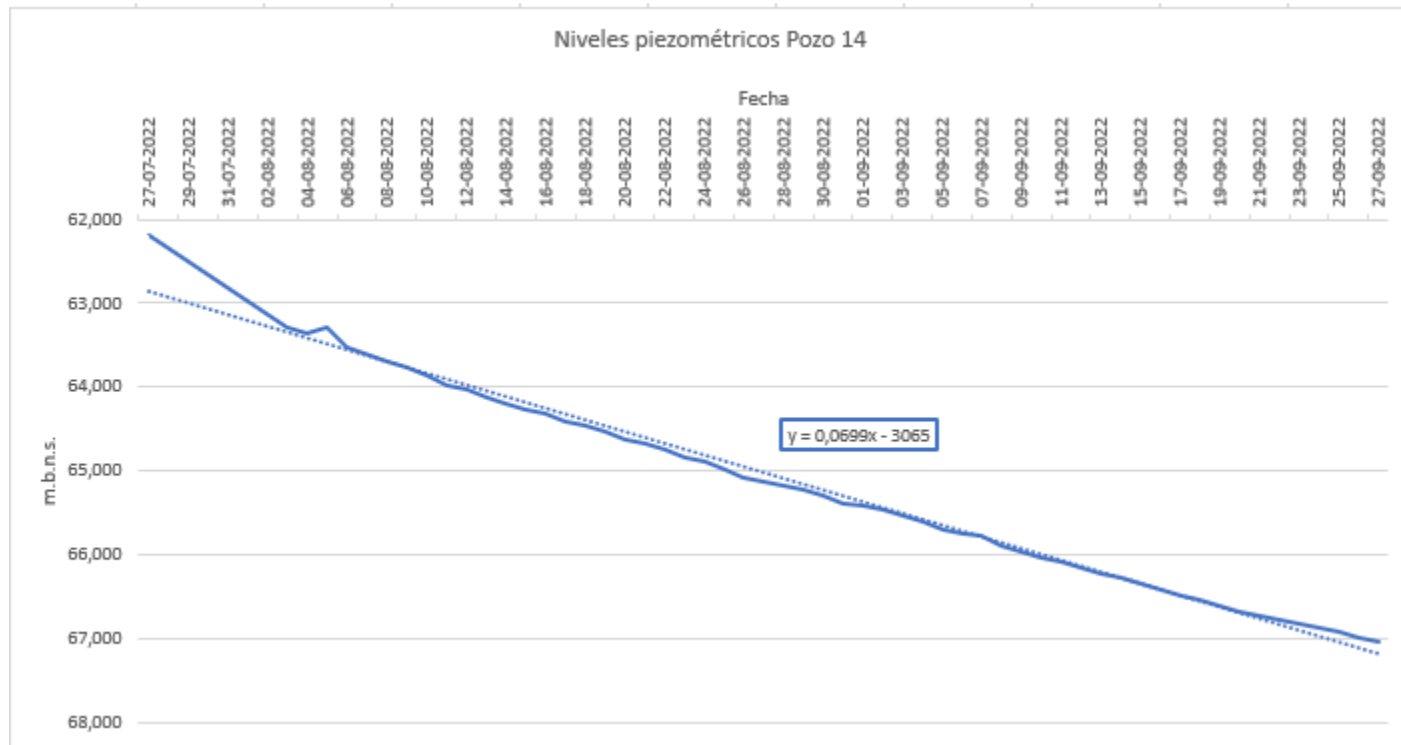
Registro 109.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Gráficos de los niveles piezométricos del pozo 12 desde 27 de julio hasta 27 de septiembre de 2022. En el cuadro se puede observar la ecuación del gráfico asociada a la línea de tendencia y su respectiva pendiente.



Registros



Registro 110.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Gráficos de los niveles piezométricos del pozo 14 desde 27 de julio hasta 27 de septiembre de 2022. En el cuadro se puede observar la ecuación del gráfico asociada a la línea de tendencia y su respectiva pendiente.



Registros



Registro 111.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Gráficos de los niveles piezométricos del pozo 9 desde 27 de julio hasta 27 de septiembre de 2022. En el cuadro se puede observar la ecuación del gráfico asociada a la línea de tendencia y su respectiva pendiente.



Registros



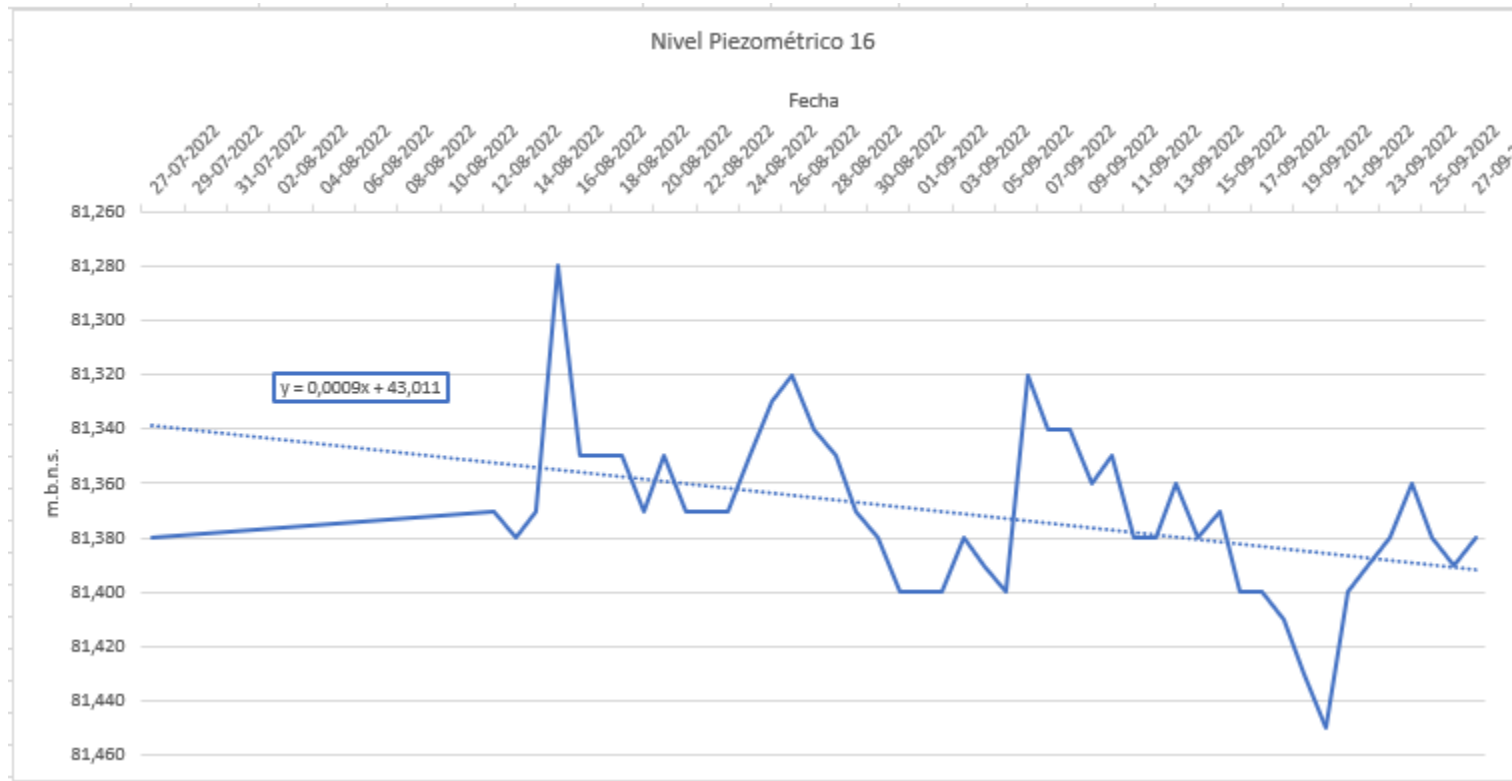
Registro 112.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Gráficos de los niveles piezométricos del pozo 15 desde 27 de julio hasta 27 de septiembre de 2022. En el cuadro se puede observar la ecuación del gráfico asociada a la línea de tendencia y su respectiva pendiente.



Registros



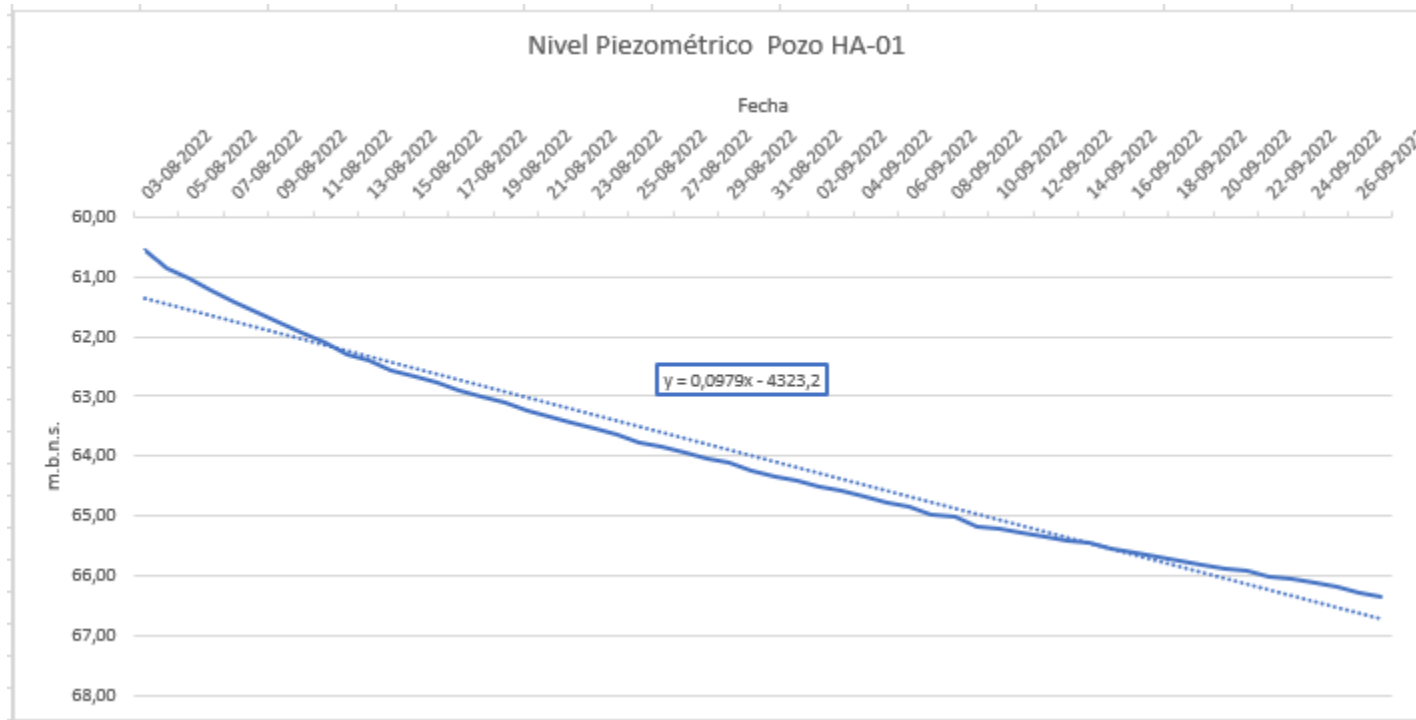
Registro 113.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Gráficos de los niveles piezométricos del pozo 16 desde 27 de julio hasta 27 de septiembre de 2022. En el cuadro se puede observar la ecuación del gráfico asociada a la línea de tendencia y su respectiva pendiente.



Registros



Registro 114.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Gráficos de los niveles piezométricos del pozo HA-01 desde 27 de julio hasta 27 de septiembre de 2022. En el cuadro se puede observar la ecuación del gráfico asociada a la línea de tendencia y su respectiva pendiente.

Registros



Mes	Volumen m3 extraído en el mes	Caudal Total (l/s)	Observaciones								
ene-13	30.368	11,67	6,92	ene-15	30.435	11,36	11,09	ene-17	25.505	9,52	14,21
feb-13	26.612	10,22		feb-15	30.905	12,77		feb-17	25.958	10,73	
mar-13	22.855	8,77		mar-15	27.762	10,37		mar-17	25.678	9,59	
Apr-13	21.107	8,14		abr-15	28.534	11,01		abr-17	27.258	10,52	
May-13	11.325	4,22		may-15	28.284	10,56		may-17	26.512	9,90	
Jun-13	13.594	5,24		jun-15	27.167	10,48		jun-17	25.985	10,03	
Jul-13	12.049	4,49		Jul-15	29.534	11,03		Jul-17	38.984	14,55	
ago-13	12.912	4,82		ago-15	29.420	10,98		ago-17	36.097	13,48	
sept-13	11.032	4,25		sept-15	29.025	11,20		sept-17	51.880	20,02	
oct-13	17.436	6,51		oct-15	29.462	10,99		oct-17	56.499	21,09	
nov-13	19.954	7,69		nov-15	29.336	11,32		nov-17	57.216	22,07	
dic-13	18.924	7,07		dic-15	28.702	11,01		dic-17	50.919	19,01	
ene-14	21.833	8,15	11,06	ene-16	26.172	9,77	9,69	ene-18	52.208	19,49	23,14
feb-14	14.541	6,01		feb-16	24.858	9,28		feb-18	60.187	24,88	
mar-14	27.752	10,36		mar-16	25.955	9,69		mar-18	54.691	20,42	
abr-14	29.841	11,51		abr-16	26.122	10,08		abr-18	72.031	27,79	
may-14	26.235	9,79		may-16	25.742	9,61		may-18	63.964	23,88	
Jun-14	31.706	12,23		Jun-16	25.890	9,99		Jun-18	62.022	23,93	
Jul-14	32.988	12,32		Jul-16	24.712	9,23		Jul-18	60.371	22,54	
ago-14	32.487	12,13		ago-16	25.874	9,66		ago-18	62.590	23,37	
sept-14	31.655	12,21		sept-16	25.932	10,00		sept-18	54.486	21,02	
oct-14	33.780	13,03		oct-16	25.638	9,57		oct-18	55.962	20,89	
nov-14	32.769	12,64		nov-16	25.231	9,73		nov-18	65.193	25,15	
dic-14	31.954	12,33		dic-16	25.874	9,66		dic-18	65.193	24,34	

Registro 115.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Tabla con el detalle de agua extraída en volumen y caudal desde Mina Alcaparrosa, por mes y por año desde el 2013 al 2018, y con los valores de caudal promedio anual (última columna).

Registros



ene-19	50.574	18,88	24,77	ene-21	59.018	22,03	20,01
feb-19	46.583	19,26		feb-21	46.377	19,17	
mar-19	63.877	23,85		mar-21	51.220	19,12	
abr-19	71.617	27,63		abr-21	49.371	19,05	
may-19	69.687	26,02		may-21	53.722	20,06	
jun-19	66.637	25,71		jun-21	58.982	22,76	
jul-19	62.887	23,48		jul-21	85.042	31,75	
ago-19	66.067	24,67		ago-21	51.602	19,27	
sept-19	62.469	24,10		sept-21	44.870	17,31	
oct-19	70.200	26,21		oct-21	43.560	16,26	
nov-19	75.088	28,97		nov-21	43.368	16,73	
dic-19	76.274	28,48		dic-21	44.375	16,57	
ene-20	68.217	25,47	27,13	ene-22	44.693	16,69	23,09
feb-20	72.109	28,78		feb-22	41.271	17,06	
mar-20	63.036	23,53		mar-22	42.113	15,72	
abr-20	57.773	22,29		abr-22	42.440	16,37	
may-20	82.139	30,67		may-22	41.663	15,56	
jun-20	96.868	37,37		jun-22	39.917	15,40	
jul-20	75.379	28,14		jul-22	43.069	16,08	
ago-20	67.371	25,15		ago-22	96.344	35,97	
sept-20	75.322	29,06		sept-22	76.675	29,58	
oct-20	71.079	26,54		oct-22	86.596	32,33	
nov-20	67.096	25,89		nov-22	85.808	33,10	
dic-20	60.857	22,72		dic-22	89.094	33,26	
ene-23	94.938	35,45	48,94				
feb-23	110.745	45,78					
mar-23	128.238	47,88					
abr-23	139.042	53,64					
may-23	152.913	57,09					
jun-23	139.505	53,82					
jul-23							
ago-23							
sept-23							
oct-23							
nov-23							
dic-23							

Registro 116.

Fuente: Elaboración propia

Descripción del medio de prueba: Tabla con el detalle de agua extraída en volumen y caudal desde Mina Alcaparrosa, por mes y por año desde el 2019 a junio 2023, y con los valores de caudal promedio anual (última columna). En amarillo se indican los meses por sobre los 35 l/s.

Registros



Sector	Fecha	Cantidad de sondajes sellados	Caudal de infiltración antes el sello (l/s)	Reducción de flujo	Comentarios
GE-200	Julio de 2017	33	34.6	34.6 a 3.5 l/s	Reducción de flujo en 90%
Nivel 270 Gaby 12-13 – acceso Alc Sur	Julio de 2020	1	10	De 38.5 l/s a 30 l/s	Sondajes perforados hacia el sector de Gaby 1, 4 y 12
Acceso Alc Sur	Julio de 2020	3	-		Se reduce infiltración en 1.5 l/s
Nivel 256 GE	Julio de 2020	4	2.5		Se disminuye el caudal de 2.5 l/s a 0 l/s
Nivel 170 Viviana 8-9-10	Julio de 2020	7	17		Se disminuye el caudal de 17 a 13 l/s
Nivel 270 Gaby 12-13	Diciembre de 2020	1	3- 5	De 3-5 l/s a 0 l/s	Se disminuye el caudal a 0 l/s
Nivel 200 Gaby 04	Diciembre de 2020	1	Sin información	Disminuye infiltración a 0 l/s	Se disminuye el caudal a 0 l/s se mantiene goteo local en techo y cajas en pernos
Nivel 270 estocada de evacuación sector Gaby	Agosto de 2021	1	10- 13	Reducción de excedentes de 30.5 a 19.2 l/s	Se disminuye el caudal a 0 l/s
Nivel 155 Acceso Viviana 16	Agosto de 2021	4	0.4		Se disminuye el caudal a 0 l/s Zona se encuentra altamente fracturada con roca de mala calidad
Nivel 290 Acceso Viviana 05	Agosto de 2021	2	Sin datos		Se disminuye el aporte de agua a 1 l/s, zona se encuentra altamente fracturada concuerda con el sistema de Falla Viviana

Registro 117.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Tabla con el detalle del programa de sondajes en Mina Alcaparrosa desde el año 2017 al año 2021. En amarillo se destacan los sondajes que tenía un flujo (caudal) de ingreso de agua por sobre los 30 l/s.



Registros

Sector / Nivel	Descripción
Viviana 345	Se observa un goteo leve a lo largo de la galería, techo Caserón Viviana 01 T1, en sectores asociados a la estructura caracterizada
Viviana 290	En el acceso a caserón 5 se identificaron estructuras intermedias con presencia de agua, goteo o flujo por el bloque colgante de la estructura, en cambio por el lado yacente solamente se reconoce humedad
Viviana 170	En todo el sector de la rampa de acceso se observa presencia de agua. En los techos se observa un flujo persistente a través de los pernos Split set que ha generado dificultades en la construcción del túnel
Alcaparrosa Sur 350	En el sector de la galería Costilla 2 Cx-Cl se observa una estructura de bajo ángulo con manteo al Noroeste que es un conducto de un flujo importante de agua que filtra en forma de cascada por el bloque yacente
Alcaparrosa Sur 300	En el frente de la labor Base 1 GT 01 se observa una estructura con manteo hacia el oeste que presenta una condición distinta a ambos lados de la falla. Hacia el oeste hay un gran flujo de agua a través de los pernos split set y goteos leves en el resto de la sección, no obstante, por el lado este de la falla se presenta humedad y goteos leves
Alcaparrosa Sur 270	Se detecta manchas de humedad en intersecciones de discontinuidades.
Galería de Exploración Este 200	Agua fluye por las perforaciones de sondajes

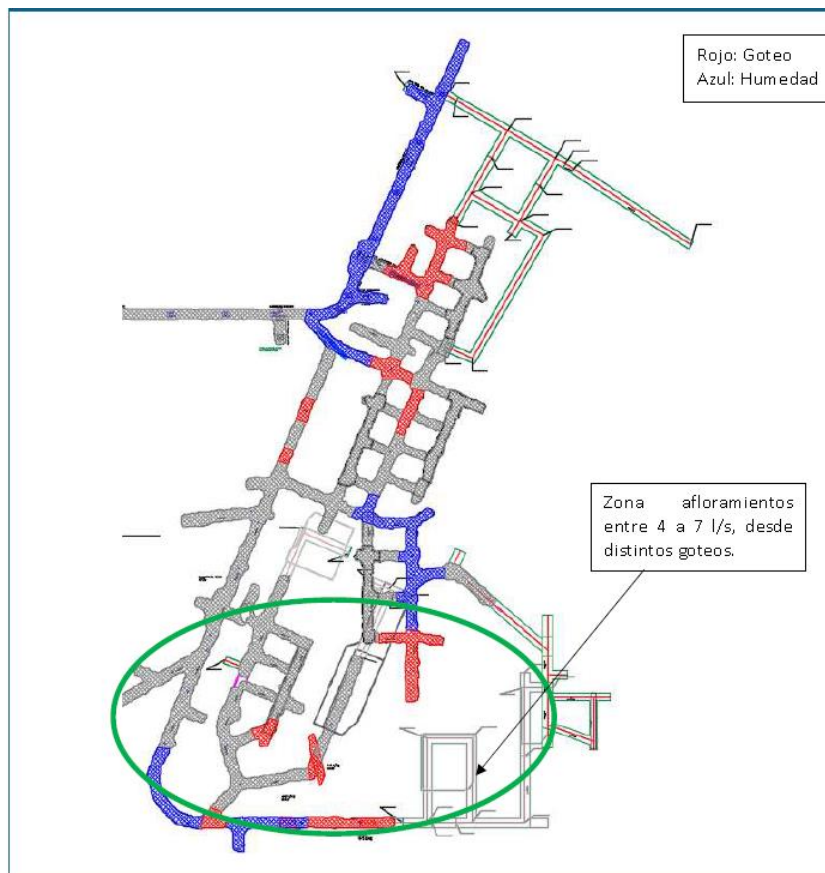
Registro 118.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Tabla con el detalle de las descripciones de las condiciones de infiltraciones en los sectores Viviana, Alcaparrosa, GE 200.

Registros





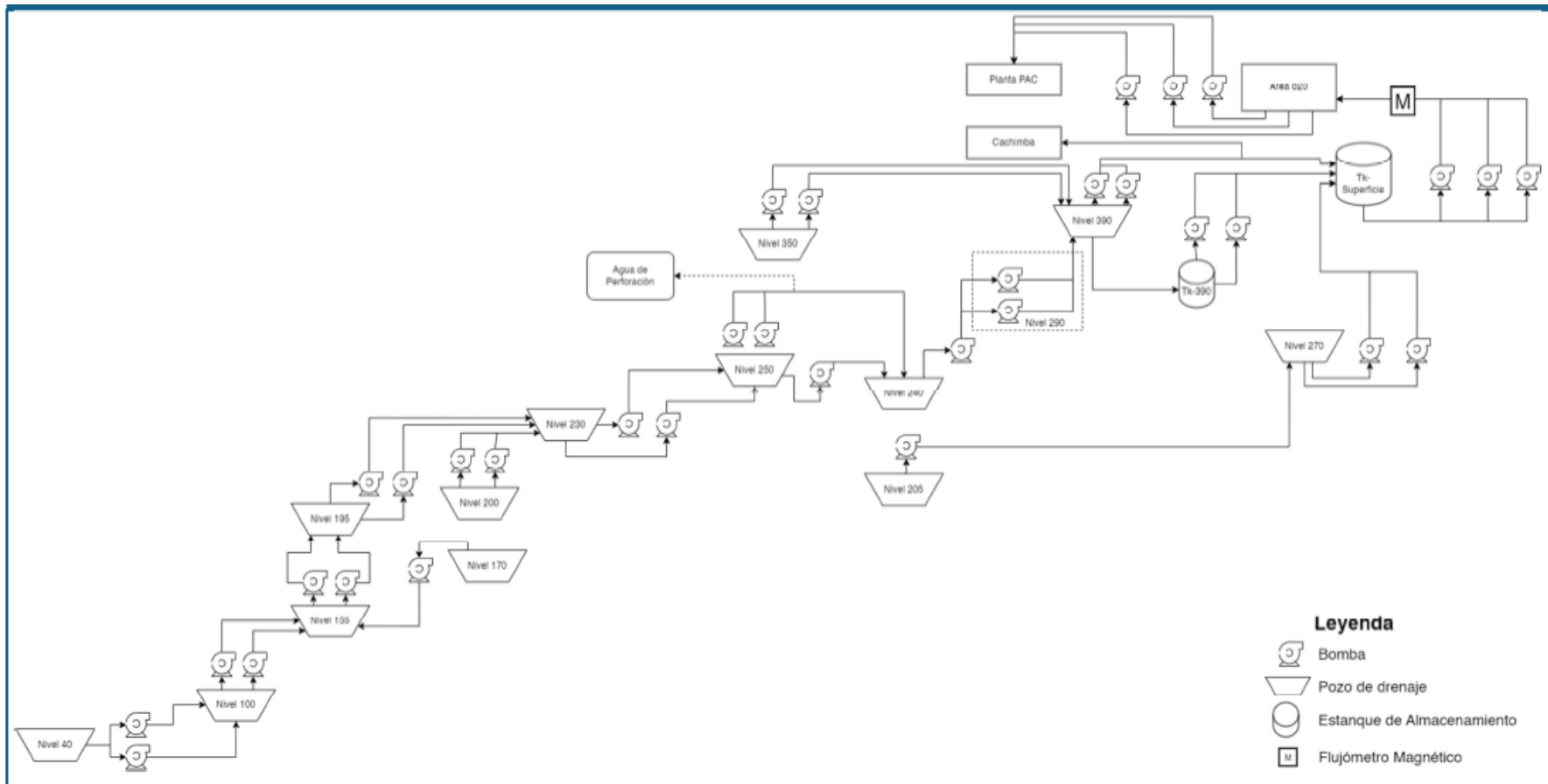
Registro 119.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Gráfica con el detalle del afloramiento de agua al interior de Viviana nivel 250. En rojo se destacan las zonas con goteo, en azul las zonas con humedad y en el círculo verde se destacan la zona con afloramientos entre los 4 y 7 l/s desde distintos goteos.

Registros



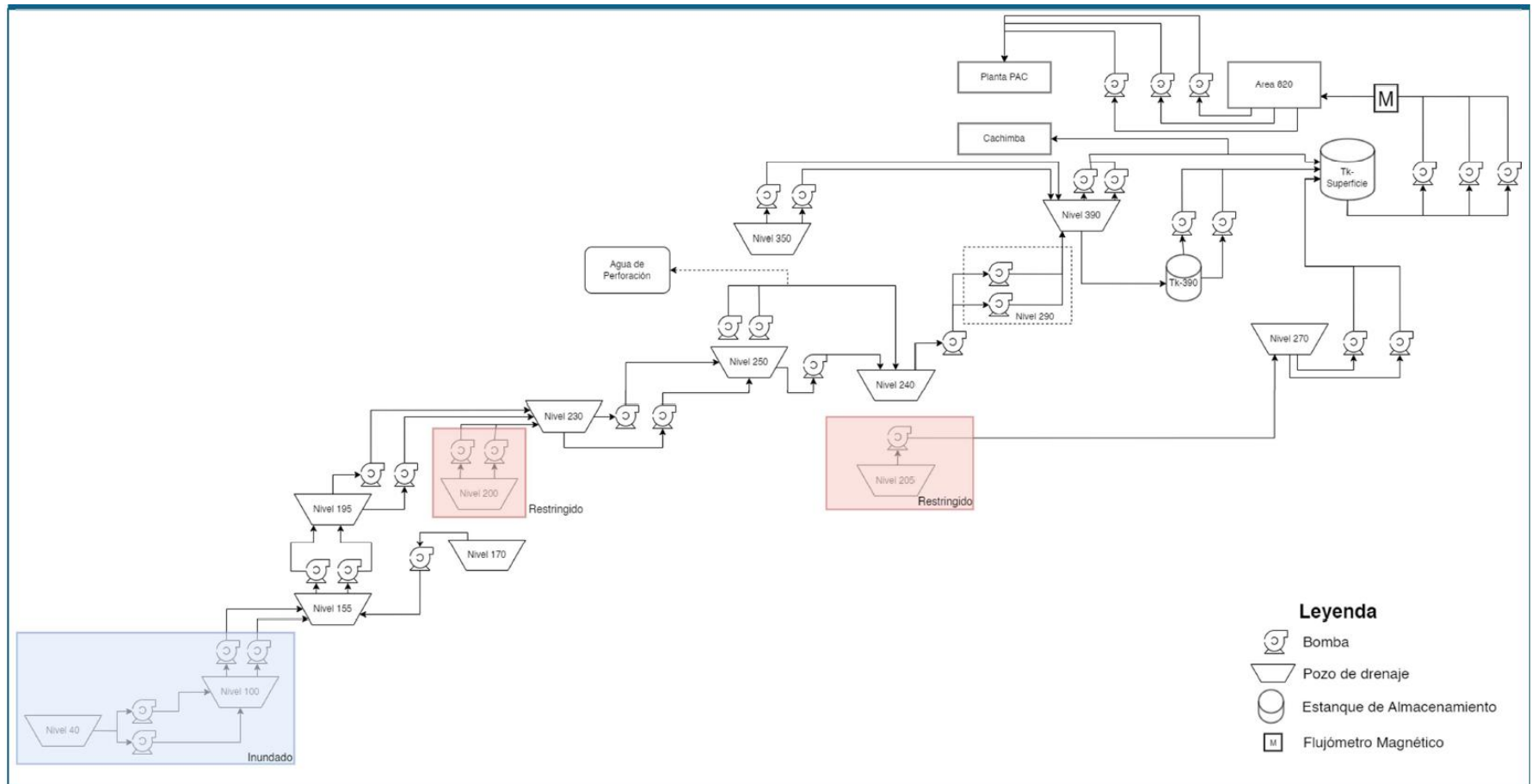


Registro 120. Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Gráfica con el detalle del sistema de drenaje previo al socavón de julio 2022.

Registros





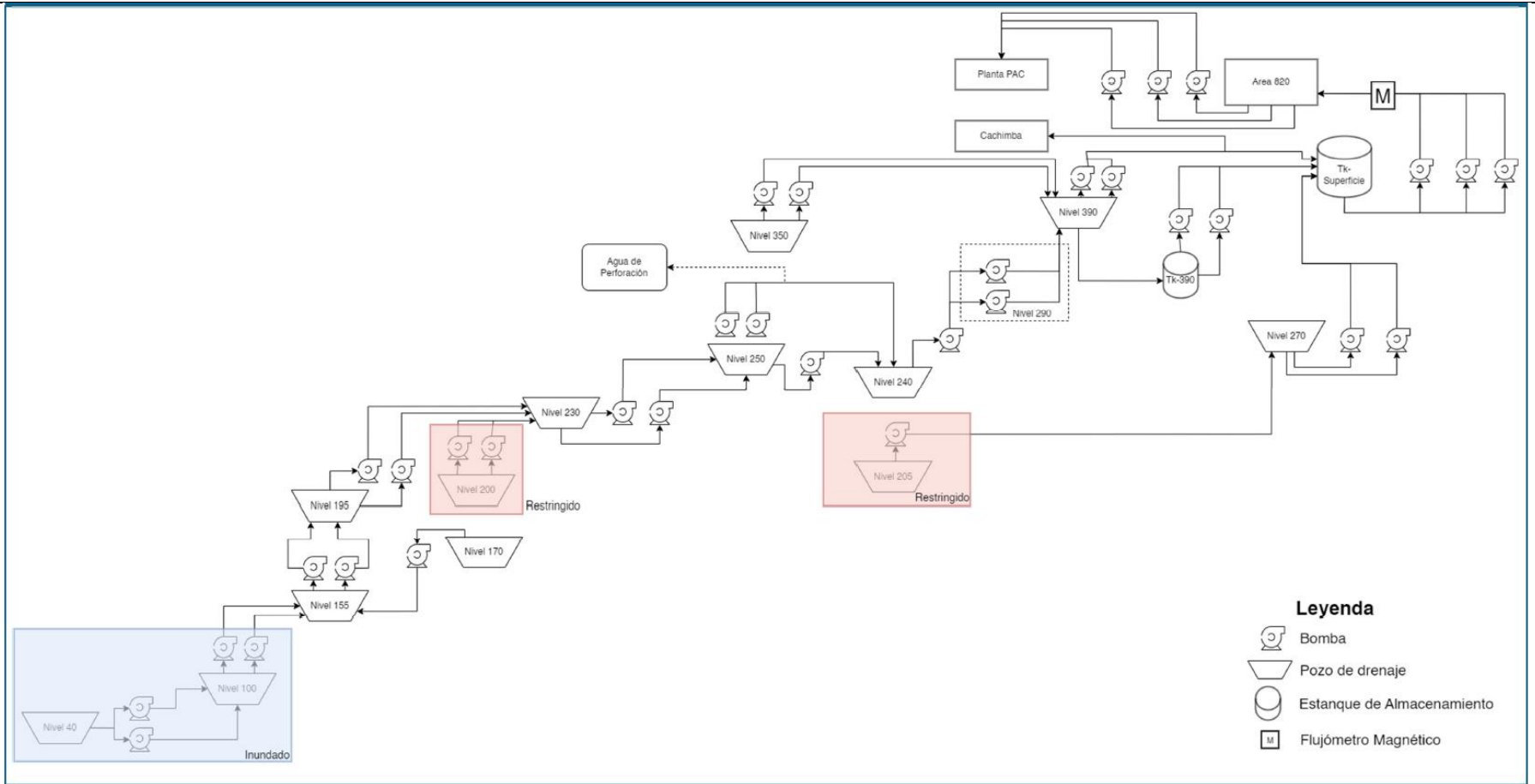
Registro 121.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Gráfica con el detalle del sistema de drenaje post al socavón de julio 2022. Lo que está en el cuadro celeste corresponde al sector de la mina que fue inundado, mientras que lo que está en cuadro rojo corresponde a los sistemas que estaban restringidos después del evento.



Registros



Registro 122.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Gráfica con el detalle del sistema de drenaje post sellado de septiembre 2022. Lo que está en el cuadro celeste corresponde al sector de la mina que fue inundado, mientras que lo que está en cuadro rojo corresponde a los sistemas que estaban restringidos después del evento.

Registros



Plano	Sector	Nivel	Año	Observaciones
VIG_AL_VI_VE_NV_155_20210408	VI	155	2021	Caudal agua canalizada pemo splitset; goteo por pernos y débil en roca; goteo
VIG_AL_DI_CE_NV_157_20211130	JO	157	2021	Goteo por pernos; goteo por pemos; goteo; humedad débil goteo
3Q_2022_AL_DI_VI_NV_170_20220713	VI	170	2022	Flujo por pernos split set
VIG_AL_DI_VA_NV_185_20200915	VA	185	2020	Humedad paredes; zona hidro húmedo
2Q_2022_AL_DI_VI_NV_250_20211005	VI	250	2021	Goteo paredes y techo; agua goteo; agua flujo; zona hidro goteo; zona hidro húmedo
VIG_AL_DI_AS_NV_350__20190820	AS	350	2019	Goteo; zona hidro húmedo; zona hidro húmedo

Registro 123.

Fuente: Estudio : “Modelo Conceptual Hidrogeológico Mina Alcaparrosa” Informe VAI N°VAIGS-IT02-022-08342 Rev_0 de fecha 27 de abril 2023.

Descripción del medio de prueba: Tabla con el detalle de la evidencia de infiltraciones en planos oficiales de Mina Alcaparrosa. Las siglas corresponden a VI: Viviana, JO: Jocelyn, VA: Valentina y AS: Alcaparrosa Sur.



6 CONCLUSIÓN

En consideración a los hechos constatados e indicados en el punto anterior, se verifican los siguientes hallazgos:

N°	Medida asociada	Hallazgos
1	<p>Resuelvo primero Res. Ex. N°1349, literal i) Realizar un estudio de estabilidad del suelo en el área de influencia directa del evento de subsidencia considerando un radio de 500 a 800 metros, debiendo fundamentar mediante un estudio geofísico u otro, la existencia o no de riesgo para los elementos naturales y construidos indicados en el capítulo VI, figura N°10 de esta resolución, a partir de lo cual se deberá determinar si éstos serán afectados o no por el incidente ocurrido y/o por otros fenómenos de subsidencias que puedan ocurrir en esta área.</p>	<p>Se cumple parcialmente la medida, toda vez que el titular si bien realizó el estudio requerido, este no cubrió todos los objetivos solicitados por esta; como por ejemplo, el estudio analiza los sismos como el único factor de riesgo, sin considerar otros factores como el efecto antrópico u otros factores naturales como aluviones; así mismo, no identifica cavidades o fallas susceptibles de generar nuevos socavones en el área; si bien el estudio alcanzó la profundidad establecida en la medida, no se midió la geotécnica del lugar, sino solo estimó los parámetros considerados en el análisis de estabilidad.</p> <p>Por otra parte, el titular no presenta los anexos o referencias en la que se basa el estudio de estabilidad de suelo presentado a la Superintendencia, en particular durante toda la revisión del estudio preparado por el consultor, se utiliza como referencia el estudio “Crempien & Abell SpA (2023). INF-004 “Estudio de amenaza sísmica”, Rev.0, Sitio Proyecto Minera Alcaparrosa Chile”, sin embargo, este no se presenta en los anexos y tampoco se ha presentado en otros procedimientos que lleva en curso esta Superintendencia, por lo que dificulta la comprensión de los supuestos que se utilizan, el origen de los datos, y la posibilidad de hacer una revisión de este.</p> <p>Es importante destacar que el origen de la medida urgente y transitoria N°1 exigida por la Superintendencia solicitaba considerar un rango de afectación entre 500 a 800 metros de distancia, de manera que se consideraran como punto de intereses (potenciales áreas a ser afectadas) los elementos construidos cercanos a la subsidencia, a saber, poblaciones y otros equipamientos, no obstante, solo se consideraron edificaciones mineras en el estudio, por ende es posible observar que se trata solo de un radio menor al exigido en el medida original y dentro del cual solo se encuentra equipamiento minero.</p> <p>Dado que el estudio de estabilidad presentó sólo estimaciones sin contar con estudios conclusivos respecto al riesgo por el fenómeno de nuevas subsidencias, fue necesario por parte de esta Superintendencia dictar con posterioridad una nueva medida urgente y transitoria por medio de la Resolución Exenta N°1899, de fecha 15 de noviembre de 2023, consistente en la ejecución de una campaña geofísica de 7 perfiles de TRE, a objeto de poder determinar el riesgo efectivo de nuevas sub</p>



N°	Medida asociada	Hallazgos
2	<p>Resuelvo primero Res. Ex. N°1349, literal ii) Entregar un estudio técnico mediante el cual el titular deberá comprobar si los volúmenes de agua alumbrada extraída históricamente por Mina Ojos del Salado han generado o no un detrimento del acuífero de aluvial del Río Copiapó u otro acuífero presente en el área (ver modelo hidrogeológico presentado en el EIA de 1999). Adicionalmente, el estudio deberá demostrar si dicha extracción fue o no uno de los factores de origen del fenómeno de subsidencia ocurrido el 30 de julio de 2022, así como determinar si es o no un factor de riesgo ante eventuales futuros fenómenos de subsidencia dentro del área influencia directa de la faena minera.</p>	<p>Se cumple parcialmente la medida debido a que el titular no ejecutó todo lo solicitado por la medida, a saber:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se indica que el titular solo presentó el modelo conceptual y numérico para el sector de Mina Alcaparrosa, sin que se profundizara si la extracción histórica ha generado un efecto o no sobre el acuífero. Si bien en los modelos se reconoce la variable de infiltración de la mina como una variable de importancia para la modelación, no se analiza en sí su efecto sobre el acuífero. Ahora bien, respecto de la inclusión de la variable en el modelo se puede indicar que esta no fue considerada en base a los valores reales sino subestimando su magnitud y, por lo tanto, generando un instrumento que modelará erróneamente el comportamiento del acuífero. - El titular no se pronuncia respecto de la segunda parte de la medida, es decir no descarta o asevera si el manejo del drenaje pudo ser un factor asociado a la subsidencia. Lo anterior, considerando lo señalado por parte del SNGM, en su “Informe de Investigación Accidente Alto potencial Alcaparrosa” (SNGM, marzo 2023), el cual concluye lo siguiente: <i>“Una de las causas principales del evento guarda relación con la calidad de información geológica de entrada para la elaboración del proyecto minero, lo que conllevó a un diseño minero que sobre estimó las características resistivas y auto soportantes del macizo rocoso, y que no consideró el efecto del nivel freático en el desarrollo de la mina”</i> (énfasis agregado). <p>Es de relevancia destacar que del registro 76 de este informe, se constata que al menos 9 días antes que ocurriera el socavón comenzó a aumentar el ingreso del agua al interior de la mina. De los registros es posible observar que cuando ocurre el evento del socavón, ya estaba ingresando a la mina alrededor de 150 l/s, valor muy superior a los 25 l/s que se venían registrando.</p> <p>Finalmente, es importante señalar que de la revisión de la presentación de los estudios entregados por el titular para dar cuenta del cumplimiento de esta medida la empresa concluyó que la ocurrencia del socavón tuvo un efecto restringido y netamente a una escala local dentro del acuífero. Sin perjuicio de lo anterior, el</p>



N°	Medida asociada	Hallazgos
		<p>procedimiento de fiscalización de la DGA, Res. Ex. DGA Atacama N°1034, el organismo concluye que “COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA OJOS DEL SALADO, realizó actos y obras durante el desarrollo de las labores de explotación en la Mina Alcaparrosa que consecuentemente originó afectaciones del acuífero granular del río Copiapó, formando una nueva conexión hidráulica entre este último y el interior de la mina subterránea” (énfasis agregado), por ende, existe una nueva configuración del acuífero. A lo anterior, se debe sumar que el titular no consideró en el modelo conceptual hidrogeológico, preparado por el mismo consultor, los caudales de infiltración de la mina, la inconsistencia de los valores de conductividad hidráulica a las unidades hidrogeológicas UH-3 y UH-4, y la inclusión en la calibración y simulación la variable “entrada del almacenamiento”. Dados estos antecedentes, el modelo hidrogeológico no representaría la hidrogeología del acuífero en el sector de mina Alcaparrosa.</p>
3	<p>Resuelvo primero Res. Ex. N°1349, literal iii) Realizar un monitoreo de la cota del nivel freático diario de los pozos HA-02, y pozos 8 al pozo 16. Para el pozo HA-01 la frecuencia de monitoreo deberá ser horaria. Los resultados deberán ser informados en planilla Excel editable, siguiendo el formato establecido en la RE SMA N°894/2019, que “Dicta Instrucciones para la Elaboración y Remisión de Informes de Seguimiento Ambiental del Componente Ambiental Agua”.</p>	<p>Se cumple con la medida debido a que el titular entregó los registros de los pozos requeridos.</p> <p>Del análisis de la información se da cuenta de la afectación de los niveles piezométricos luego de ocurrida el evento del socavón y permite demostrar la relación de conexión entre la subsidencia y el acuífero del río Copiapó.</p>
4	<p>Resuelvo primero Res. Ex. N°1349, literal iv) Entregar análisis hidrogeoquímicos de compuestos principales y elementos trazas de las aguas subterráneas alumbradas en el sector del caserón Gaby. Los resultados deberán ser informados en planilla Excel editable, siguiendo el formato establecido en la antes referida RE SMA N°894/2019.</p>	<p>Se cumple la medida debido a que el titular realizó el análisis hidroquímico requerido. Del análisis no se presentaron superaciones relevantes que destacar, salvo la superación del sulfato.</p>
5	<p>Resuelvo primero Res. Ex. N°1349, literal v) Entregar un estudio técnico que tenga los siguientes dos objetivos: i) evaluar la efectividad del sistema de drenaje subterráneo instalado en la actualidad y ii) proponga alternativas de mejoras de funcionamiento dado el escenario generado a partir del incidente, las que deberán ceñirse a la normativa sectorial correspondiente</p>	<p>Se cumple con la medida establecida en cuanto a forma y entrega de la información. Esto es, el titular entrega el estudio técnico considerando los dos objetivos de requeridos, sin embargo, en cuanto al fondo de lo requerido se concluye lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se constata que el consultor considera que el sistema drenaje que tiene instalado Mina Alcaparrosa es eficiente y suficiente para manejar los caudales de infiltración que llegan a la mina, y que este solo se vio sobre pasado por el suceso de la subsidencia y posterior socavón, no obstante señala que con las



N°	Medida asociada	Hallazgos
		medidas implementadas por este respecto de los sellos de los niveles se pudo reestablecer la eficiencia del sistema, la cual aún será mejorada una vez que se concrete el sellado total de todas las infiltraciones provenientes de los muros en el sector Gaby. De la información entregada para dar cuenta del cumplimiento de la medida, se constató que el sistema de drenajes tiene una capacidad nominal subestimada, por lo que no fue posible conocer con exactitud qué capacidad de bombeo tiene exactamente, ya que el propio titular entregó registros que superan la capacidad nominal del sistema (junio 2020, abril 2023, mayo 2023 y junio 2023).
6	Resuelvo primero Res. Ex. N°1349, literal vi) Realizar un estudio de biodiversidad del Sitio Prioritario Río Copiapó, considerando al menos el área de influencia de componente hidrología señalado en EIA proyecto “Continuidad Operacional Mina Alcaparrosa”.	Se cumple la medida solicitada toda vez que el titular presentó dos estudios (fauna y flora y vegetación) que dan cuenta de la descripción de la biodiversidad en el área de Mina Alcaparrosa.

7 ANEXOS

Dada la extensión y magnitud de los anexos se detalla el enlace del portal del Sistema Nacional de Información Ambiental SNIFA, donde se pueden encontrar todos los anexos que se utilizaron para la elaboración de este informe de fiscalización: <https://snifa.sma.gob.cl/MedidaProvisional/Ficha/369>

