



AguaEx SpA  
RUT 76.110.192-7  
Rosario Norte 100, Oficina 801  
Las Condes – Santiago  
Fono: 2-2321 7150  
[mpaolini@aguaex.com](mailto:mpaolini@aguaex.com)  
Cel: +56 9 99945749

Compañía Contractual Minera Ojos del Salado  
Mina Alcaparrosa  
Att. Geraldine Estay Cubillos  
Presente,

Santiago de Chile, 19 de diciembre de 2023

**Propuesta Técnica**  
**Apoyo en la caracterización de subsuelo de la zona de subsidencia, Mina**  
**Alcaparrosa, III Región de Chile**  
**1798 Revisión D**

Estimada Sra. Estay,

Tengo el agrado de enviarle nuestra propuesta técnica y económica (1798\_RevD) de apoyo en geofísica como continuación en la investigación geotécnica e hidrogeológica del evento de subsidencia cerca de la mina Alcaparrosa, comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama, del actual servicio en curso bajo la Orden de Servicio **OC 4500192925**. Esta propuesta incluye el ajuste por IPC en los precios unitarios de los servicios cotizados (precio base: octubre-2022), la definición del nuevo alcance de los estudios de acuerdo con lo solicitado en reunión de fecha 17-11-2023, y ajuste en el cronograma del desarrollo de las actividades.



## **1 INTRODUCCIÓN**

A continuación, se presentan las directrices técnicas para la ejecución del servicio solicitado en las dependencias de mina Alcaparrosa, comuna de Tierra Amarilla, Región de Atacama, de acuerdo con los objetivos y el alcance establecido por el cliente.

### **1.1 Antecedentes**

En agosto del 2022, Mina Alcaparrosa sufrió el desarrollo de una subsidencia de 32 m de diámetro y de 62 m de profundidad muy cerca de su propiedad, en la comuna de Tierra Amarilla. Actualmente, las autoridades tanto el Servicio Nacional de Minería (Sernageomin), la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) como La Dirección Nacional de Aguas (DGA), abrieron investigaciones en contra de la minera.

Minera Ojos del Salado solicitó a AguaEx en octubre de 2022 una caracterización multimétodo del subsuelo con la finalidad de brindar apoyo al desarrollo de un modelo conceptual hidrogeológico de la zona.

AguaEx ha realizado a la fecha la adquisición de 15 perfiles de Tomografía Eléctrica 2D, dos perfiles de TEM, cuatro perfiles CEOS y 620 estaciones gravimétricas, distribuidos en superficie tanto como al interior y al exterior de la faena, en el sector del socavón y en zonas transversales al eje del valle.

Considerando la Resolución Exenta N° 1899, del 15 de noviembre de 2023, Minera Ojos del Salado solicita a AguaEx realizar una propuesta para la ejecución de una campaña geofísica a partir de mediciones de tomografía eléctrica.

De igual forma, Minera Ojos del Salado solicita cerrar el mallado de gravimetría en el caso que se permita el ingreso al área de exclusión.

A continuación, se detallan los objetivos y el alcance del estudio.



## 1.2 Objetivos

El objetivo general del estudio es dar continuidad a la investigación del subsuelo en la cercanía del sitio de subsidencia.

Los objetivos específicos del estudio son:

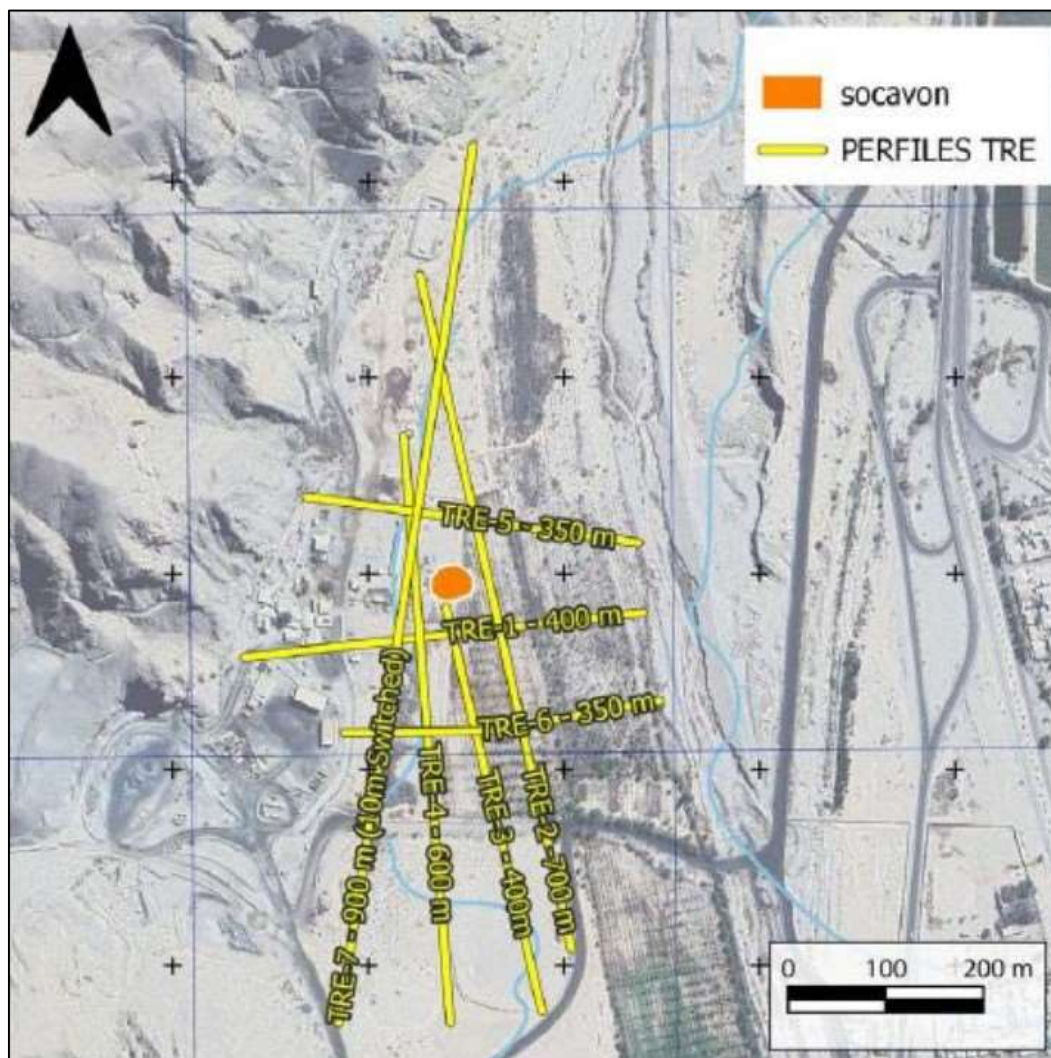
1. Definición de posibles cavidades existentes, no colapsadas ubicadas en la proximidad del socavón, a partir de la caracterización del subsuelo por medio de tomografía eléctrica ERT-2D.
2. Ampliación del modelo gravimétrico a partir de la adquisición de estaciones gravimétricas dentro de la zona de exclusión.

## 1.3 Alcance

Minera Ojos del Salado solicita a AguaEx Geociencias una actualización al alcance del estudio, a partir de la caracterización del subsuelo por medio de tomografía eléctrica ERT-2D (Ilustración 1). Para alcanzar los objetivos planteados, la Resolución Exenta N° 1899, indica la realización de siete perfiles ERT-2D, a un espaciamiento entre electrodos de 5 metros, sin indicar la profundidad de investigación deseada (**Ilustración**, Tabla 1).

**Tabla 1. Alcance tomografía eléctrica.**

PERFIL ERT-2D	Espaciamiento electrodos	Longitud (m)
TRE-5	5 m	350
TRE-1	5 m	400
TRE-6	5 m	350
TRE-7	5 m	900
TRE-4	5 m	600
TRE-3	5 m	400
TRE-2	5 m	700
TOTAL:		3700



**Ilustración 1: Ubicación de la zona de estudio para los perfiles de Tomografía Eléctrica ERT-2D (fuente: Resolución Exenta N° 1899).**



## ***Etapas 2***

En la Etapa 2 se propone continuar con el levantamiento gravimétrico con la adquisición de 70 estaciones, con el objetivo de ampliar el modelo gravimétrico dentro de la zona de exclusión, para seguir con la investigación de presencia de cuerpos de déficit de masa que serán interpretados como zonas de labor minera, zonas donde se pueda acumular agua y las cuales causan riesgos de subsidencia.

El desarrollo de la gravimetría será realizado en forma de malla, por lo que dentro de la zona primaria de trabajo de 500 metros por 1000 metros se propone realizar una malla de puntos gravimétricos con 25 metros de espaciamiento entre ellos.

Todos los puntos serán replanteados con GPS RTK. El modelo digital de elevaciones necesario para realizar las correcciones topográficas necesarias por utilizar viene o de SRTM o de parte del mandante. Para el caso de que no exista, se podrá realizar un levantamiento LIDAR para obtenerlo y será cotizado aparte.

Todos los puntos gravimétricos serán procesados de acuerdo con los estándares de la industria.

## **Metodología y Descripción del Servicio**

La metodología asociada al levantamiento geofísico se describe en detalle en el *Anexo II*.

Equipo de trabajo en terreno compuesto por:

### ***Gravimetría y Tomografía eléctrica***

- Un operador geofísico
- Dos a cuatro ayudantes, dependiendo de los requerimientos logísticos.
- Camioneta(s) 4x4 estándar
- Instrumento de medición gravimétrica, marca Scintrex
- Instrumento de medición eléctrica, marca Guideline Geo
- GPS diferencial (con corrección en tiempo real), con estación base RTK.

Se procede a planificar el levantamiento en el área de estudio, posterior a la aprobación de la carpeta de arranque, acreditaciones del personal, reunión de arranque (si aplica) verificando las ubicaciones de los perfiles, contar con permisos necesarios para poder trabajar en el área, inspección en terreno verificando accesos y en caso de ser necesario replantearlos buscando con ello la ejecución de un trabajo seguro.



## Cronograma de ejecución

El desarrollo del trabajo geofísico se realiza iniciando la carpeta de arranque, acreditaciones de personal e inducciones necesarias (de ser requeridas) y por la experiencia previa de AguaEx, se estima que dure 4 semanas, aproximadamente.

Al inicio de los trabajos se realizará una reunión de inicio con el fin de homologar criterios y ratificar el completo entendimiento del servicio contratado.

El tiempo estipulado para el desarrollo de las actividades en terreno es de un turno 8x6. El tiempo variará en función del diseño de adquisición, los parámetros a considerar para cada metodología y la disponibilidad de accesos al área de trabajo, por lo cual es necesario revisar el alcance y cronograma posterior a la visita a terreno donde se podrá acotar con más detalle.

La etapa de procesamiento, graficación se estima una duración de 15 días hábiles. Informe y presentación de resultados se estima en una duración de 15 días hábiles.

En total para el servicio se calcula una duración de dos meses, desde la carpeta de arranque, inducciones, hasta la entrega del informe y presentación de resultados. (Ilustración 2).

Apoyo en la caracterización de subsuelo de la zona de subsidencia, Mina Alcaparrosa, III Región de Chile 1798 Revisión B																																				
			Semanas																																	
ID			1	2	3	4																														
Adjudicación																																				
Carpeta de arranque - acreditaciones																																				
Preparación y logística																																				
Inicio ejecución trabajo - visita área																																				
						Días																														
MÉTODO	metros / estaciones	Avance (días)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
ERT	3700	6.2																																		
subtotal:		6.2																																		
Gravimetría	70	2.0																																		
subtotal:		2.0																																		
Total días:		8.0																																		
Procesamiento de datos y graficación			15																																	
Interpretación, informe y presentación			15																																	

**Ilustración 2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES, Revisión B.**

Como parte de este proceso, se realizará en terreno un reconocimiento de las áreas donde se deben ejecutar los estudios, así como establecer el sistema de coordenadas, Datum y



Geoide de elevación sobre el cual se trabajará. Por experiencia de AguaEx, el más empleado y extendido es UTM WGS84 19S. Pero puede ubicarse un punto de referencia topográfica en el sector para poder unir ambas redes topográficas, o bien para poder usar coordenadas locales.

## Precios

La propuesta económica se presenta en el Anexo I y las Condiciones generales y de servicio en el Anexo II.

Se adjuntan a la presente propuesta:

- Anexo I: Propuesta Económica
- Anexo II: Condiciones Generales del servicio
- Anexo III: Metodología ERT-2D
- Anexo IV: Metodología Gravimetría
- Anexo V: Certificados ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001

A la espera de una buena acogida, se despide cordialmente,

AguaEx SpA

Mónica Paolini  
Líder Business Development



## ANEXO II





AguaEx SpA.  
RUT 76.110.192-7  
Rosario Norte 100 Of 801  
Las Condes – Santiago - Chile  
Email: [sherlitz@aguaex.com](mailto:sherlitz@aguaex.com)  
Fono: (56 2) 23217150  
Cel: +569 65657975

## **ANEXO A LA PROPUESTA CONDICIONES GENERALES Y DE SERVICIO**

### **Condiciones Comerciales**

Todos los costos son más el Impuesto al Valor Agregado de 19% que serán agregados en el momento de facturación. Para el caso de que precios estén expresados en UF o USD, éstos serán convertidos a pesos chilenos al tipo de cambio oficial del día de facturación.

La propuesta está condicionada a la modalidad de pago descrita en la oferta económica que en ningún caso puede exceder el plazo de 30 días corridos.

La propuesta tiene una validez de 90 días calendarios desde la fecha de envío.

Para contratos u ordenes de servicio de duración de seis meses o más, aplicará el reajuste semestral acorde a la variación IPC a todos los precios indicados. La fecha de reajuste en todos los casos es a seis meses posterior a la fecha de envío de la propuesta en primera revisión.

La modalidad de cobro de la propuesta es a costo unitario considerando el servicio y el alcance de trabajo descrito, salvo definición específica en los términos de referencia enviada de parte del mandante. Cualquier alcance adicional se realizará una vez recibida la aprobación mediante una orden de cambio u otro medio de registro escrito.

### **Gastos Reembolsables**

Sí durante la preparación o ejecución del contrato el mandante imparte de manera unilateral cambios en el requerimiento en materia de seguridad, equipo específico de protección personal, comunicación radial, sistemas de monitoreo o de seguridad vehicular, sistemas de seguridad adicionales a los conocidos durante la preparación de propuesta, su implementación se cobrará aparte como reembolsable a costo efectivo. Similarmente, uso de sistemas de comunicación contractual, de supervisión, de RRHH, o de facturación requerido por el mandante y no comunicado por escrito dentro de las bases de cotización o licitación, estos serán implementados

---



conforme y cobrados como gasto reembolsable a costo efectivo. Esto puede incluir tanto sistemas de licenciamiento de software, como dispositivos físicos o capacitación necesaria para el adecuado funcionamiento de los sistemas.

La presente propuesta incluye todos los gastos necesarios para realizar el trabajo a excepción de aquellos indicados en las bases en la sección "Aportes de parte del mandante". Si a solicitud del cliente se deba incurrir en otros gastos, éstos serán reembolsables con cargo adicional de 15% por conceptos de administración y logística.

### **Cobro de Stand-by y Recargo por Falta de Acceso**

El proceso de presupuestación se realizará aplicando un óptimo entre la entrega oportuna con la calidad de servicio esperada, y ejecución en el menor tiempo factible. Por ende, nuestros precios son competitivos y gozan de una excelente razón precio-calidad.

AguaEx comprende que interactuará dentro de una industria compleja, que requiere de íntima comunicación y coordinación entre varias empresas y los distintos puntos de contacto del mandante, por ello estamos preparados para superar este desafío con destreza. No obstante, en la realidad pueden ocurrir situaciones fuera de una ejecución óptima. AguaEx asume, a su entero costo, cualquier desperfecto logístico y de ejecución que sea atribuible a acción o inacción nuestra.

A su vez, demandamos que el mandante asuma por aquellos momentos que involucra tiempo perdido de personal nuestro ya asignado al servicio por causas no atribuibles a acción o inacción de AguaEx que se definen en lo siguiente:

1. A solicitud del mandante
2. Condiciones climáticas adversas para el trabajo seguro dentro del turno en curso
3. Imposibilidad de desmovilizar, ante cualquier causa, sea por eventos naturales, corte, manifestaciones, entre otros
4. Falta de acceso al área sea por falta de autorizaciones o impedimento físico
5. Falta de cumplimiento para iniciar o continuar el turno en terreno a pesar de acuerdo de fecha de inicio por escrito entre las partes. Este cobro aplica solamente para el turno inminente por iniciar o el turno en curso, es decir con el personal ya comprometido a trabajar para el mandante. El valor máximo por cobrar en esta situación corresponde a cinco días independiente del largo del turno.

Asimismo, se cobrará el valor de stand-by en adición al valor de servicio prestado en situaciones donde la distancia de caminata segura entre el vehículo y el punto de trabajo sea mayor a 500 metros. Este adicional se cobra como Recargo por Falta de Acceso.



El cobro de Stand-By y Recargo por Falta de Acceso se cobrará a partir de eventos de medio día de cuatro horas de duración en etapas de medio día, de los cuales el primer evento de cuatro horas por contrato AguaEx asume a su costo.

### **Cobro de contingencia**

Tanto a solicitud del cliente, como para servicios con un elevado grado de incertidumbre, AguaEx podrá agregar un monto para contingencias al presupuesto económico. Este presupuesto adicional, a decisión del mandante, se cobrará por completo en contratos a suma alzada, o bien se cobra a valor efectivamente utilizado en contratos a precios unitarios.

### **Disponibilidad de recursos para la ejecución del contrato**

AguaEx, dentro de sus ofertas, provee cronogramas o plazos de ejecución para la entrega de resultados. No obstante, debido al tiempo muy variable que puede transcurrir durante la etapa de revisión y adjudicación del contrato, así como para la fase contractual y acreditación, las fechas comprometidas pueden cambiar ya que los recursos comprometidos pueden haberse asignados para otros trabajos. AguaEx realizará el mejor esfuerzo en cumplir las fechas de inicio y término de trabajos, sin embargo, las fechas indicadas en la presente oferta son referenciales.

### **Obligaciones de AguaEx**

1. AguaEx provee todo material, equipo y persona capacitada necesarios para la realización del trabajo de acuerdo con las mejores prácticas establecidas en la industria, en cumplimiento de objetivo, alcance y plazo negociado con el mandante.
2. AguaEx movilizará a personal y equipos a la zona de estudio y realizará la logística de campo necesaria para que este equipo sea operativo; proporcionará los vehículos para movilizar su propio personal y equipo por la duración del estudio. Además, es responsable de su mantención o reemplazo en caso de falla.
3. AguaEx es responsable de validar la aplicabilidad del método, de la técnica y del equipo durante el inicio del servicio. Asimismo, supervisará los trabajos desde el punto de vista técnico, operativo y trabajo seguro.
4. AguaEx llevará a cabo registros diarios que incluyen el avance de trabajo, elementos logísticos y otros relevantes para el contrato. Este registro estará disponible para el mandante a diario.



## Obligaciones del Mandante

1. El Mandante es responsable de revisar y aprobar si corresponde de manera oportuna todos los antecedentes necesarios enviados por AguaEx para el pronto inicio de actividades contratados. Esto puede incluir revisiones de carpetas de arranque, acreditaciones, acceso a áreas específicas, entre otros. La no revisión y aprobación oportuna podría incurrir en demoras de fecha de inicio, o incluso el cobro de Stand-By para turnos inminentes ya acordados por escrito.
2. El Mandante es responsable de conseguir oportunamente los permisos de zona y de trabajo necesarios para la ejecución de los estudios.
3. Los accesos a los emplazamientos son de responsabilidad del mandante. Los emplazamientos deben ser accesibles en camioneta 4\*4. Cualquier otra modalidad (mulares, motos 4\*4, arrieros, caminando a los sitios de medición, etc.) deben ser informadas previamente para efectos de presupuesto. La falta oportuna de acceso al área, no informado, genera un avance menor a lo presupuestado y por tanto genera atrasos en la ejecución y causará el cobro de stand-by y recargo por falta de acceso.
4. La entrega del área es responsabilidad del mandante. Esta área debe estar con peligros controlados (particularmente cuando existan zonas minadas, puentes en mal estado, pantanos, al menos). La presencia de peligro debe ser advertida en la fase de presupuesto y debidamente identificadas en terreno para el fácil entendimiento de personal de AguaEx.
5. La presencia de variables del medio ambiente natural, social o patrimonial bajo algún estatus de protección deben ser advertidas en la fase de presupuesto y debidamente identificadas en terreno para el fácil entendimiento de personal de AguaEx.
6. La existencia de áreas contaminadas debe ser comunicado por el mandante por escrito.
7. Es responsabilidad del mandante informar oportunamente a AguaEx de cualquier requerimiento (inducciones, cambios en procedimientos en gestión de pases, cursos de manejo especiales, entre otros), que impliquen una estadía mayor a la presupuestada, no imputable al trabajo de propio de la medición. Contrariamente se cobrará el valor de stand-by por el tiempo necesario para llegar a superar esta etapa.



## **Condiciones de Servicio**

AguaEx SpA es una empresa que presta servicios basados en las mejores prácticas establecidas en la industria. Se esfuerza todos los días para consistentemente brindar un servicio de primera calidad, de máximo beneficio para sus clientes y ofreciendo soluciones prácticas en apoyo a los proyectos.

En las geociencias se trabaja con incertidumbre relacionada al subsuelo, la atmósfera y la hidrósfera. A pesar de que AguaEx utiliza métodos y técnicas de mejores prácticas, no puede garantizar aplicación exitosa de métodos geofísicos ni garantizar resultados. AguaEx no otorga ningún tipo de garantía, ni expresa ni implícita.


Los servicios de AguaEx culminan con entrega de datos, información, diagnóstico y opiniones. El cliente es exclusivamente responsable para el uso de estos entregables, su interpretación y recomendación, así como acciones posteriores basadas en ellas.

En ningún caso, AguaEx es responsable por daños indirectos o consecuenciales, como lucro cesante o negocio perdido.

La responsabilidad total atribuible a AguaEx se limita en todos los casos al valor del trabajo realizado bajo el contrato vigente.

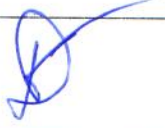

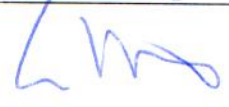



## ANEXO III

	METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	Código: MT-02
	Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado	Versión: 02 Fecha: 01-10- 2020

## METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA



Preparado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre: Dayana Silva	Nombre: <i>Yoila Torres</i>	Nombre: <i>Imy Berth</i>
Cargo: Ingeniero Geofísico	Cargo: <i>Geofísico</i>	Cargo: <i>Geofísico</i>
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Fecha: 01-10- 2020	Fecha: <i>01-10-2020</i>	Fecha: <i>01.10.20</i>

	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA</b>	<b>Código: MT-02</b>
	<b>Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado</b>	<b>Versión: 02</b> <b>Fecha: 01-10- 2020</b>

## Tomografía Eléctrica

Los métodos de prospección eléctrica tienen como objetivo principal obtener información de la distribución de resistividades de los materiales del subsuelo y su caracterización. Esta propiedad está intrínsecamente relacionada con la litología, variaciones en la porosidad, permeabilidad y contenido de fluidos en las rocas.


La tomografía eléctrica pertenece al grupo de los métodos geofísicos de campos potenciales, y más concretamente a los geoelectrónicos, que consiste en determinar, con alta resolución espacial (horizontal y vertical), la distribución de resistividades aparentes en el subsuelo a partir de un número muy elevado de medidas realizadas en superficie con el uso de un resistivímetro.

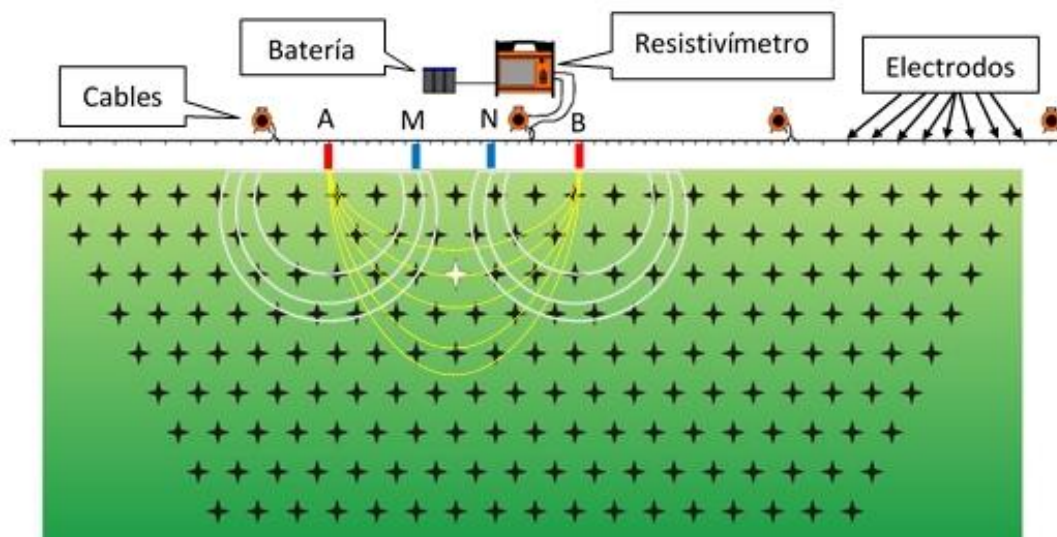


Este resistivímetro inyecta en el terreno una corriente continua de intensidad conocida (mA) mediante dos electrodos de corriente (A y B). Al inyectar corriente en el terreno, se genera un potencial eléctrico entre ambos electrodos, el cual puede ser medido mediante otros dos electrodos denominados M y N (electrodos de potencial) que registran la diferencia de potencial (mV). Con estas dos medidas conocidas (intensidad de corriente y diferencia de potencial) se obtiene la resistividad aparente del material afectado por la corriente eléctrica en varios puntos del subsuelo. Esta técnica, proporciona conjuntamente información lateral y en profundidad.

El sistema en general consta de un resistivímetro, un conjunto de electrodos, una batería externa y un juego de cables multiconectores (Ilustración 1).



	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA</b>	<b>Código: MT-02</b>
	<b>Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado</b>	<b>Versión: 02</b> <b>Fecha: 01-10- 2020</b>




**Ilustración 1.** Dispositivo de medición de tomografía eléctrica donde se muestra el punto de medida (punto blanco) para la posición de los electrodos del cuadrípolo (A,B-M,N) y los puntos de medida que se obtendrían desplazando y variando la distancia entre electrodos (puntos negros). En amarillo, se representan las líneas de flujo eléctrico y en gris los isopotenciales (lugar geométrico donde el potencial de campo es constante).

AguaEx cuenta con equipos cuyo sistema de adquisición es multi-electródico, ya que es posible utilizar una variedad de configuraciones geométricas (arreglos) entre electrodos, los cuales mantienen dependencia con el objetivo de estudio. Actualmente, se utilizan varias configuraciones diferentes (Wenner, Dipolo-Dipolo, Wenner-Schlumberger, Polo-Polo, Polo-Dipolo, Gradiente Múltiple, etc.), en función de variables como resistencia de contacto del suelo, profundidad requerida, espacio en superficie para extender cables, nivel de detalle que se requiere, entre otros.

Adicionalmente, gracias al equipo de amplio rango dinámico que posee AguaEx Geociencias se pueden adquirir datos de cargabilidad del terreno mediante el registro del decaimiento del potencial inyectado con una tasa de muestreo de 1 kHz y una resolución de 24 bits para obtener un modelo de Polarización Inducida.

#### Proceso de datos y modelización

El procesamiento de datos se realiza a través de un algoritmo tomográfico que reconstruye la distribución de las resistividades del subsuelo a partir de las resistividades aparentes registradas. Este se basa en una rutina iterativa (inversión por mínimos cuadrados) que implica la determinación de un modelo 2D del subsuelo, que posteriormente es representado en una sección que muestra la variación espacial de la resistividad.

	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA</b>	<b>Código: MT-02</b>  <b>Versión: 02</b>
	<b>Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado</b>	<b>Fecha: 01-10- 2020</b>

En este proceso de inversión se discretiza el modelo inicial (los puntos de resistividad aparente medidos) en una serie de "bloques" (o celdas de la malla) distribuidos tanto en dirección vertical como horizontal, asignándole valores de resistividad a cada bloque. Posteriormente se calcula su respuesta y es comparada con los datos de entrada, obteniéndose un error medio cuadrático. De forma iterativa se van ajustando estos valores de resistividad hasta conseguir un mínimo de error o alcanzar un máximo de iteraciones. Mientras mayor es la cantidad de datos obtenida, mas celdas puede tener la malla resultante y, por lo tanto, mas detallados son los resultados.


Finalmente, a partir de la información de la reconstrucción tomográfica, combinado con el uso de información adicional, se puede llegar a generar mapas de humedad en función de profundidad desde superficie. Además, y siendo este uno de los aspectos más importantes, permite que el juego de datos se procese en conjunto en dos, tres e incluso en cuatro dimensiones (incluyendo el tiempo en caso de monitoreo) ya que existe suficiente información para poder emplear los algoritmos tomográficos.

#### *Aplicaciones principales:*

- Detección de cambios en la estructura somera del subsuelo.
- Detección de contaminación de suelos y acuíferos.
- Monitoreo de filtraciones en el subsuelo.
- Diagnóstico del estado de piletas.
- Búsqueda de aguas subterráneas.
- Estudios geotécnicos y arqueológicos, entre otros.
- Exploración de yacimientos metálicos.

#### *Ventajas del proceso tomográfico:*

- Capacidad de procesar la información 2-D, 3-D y 4-D con considerable aumento de certeza geométrica.
- Esta técnica adquiere 20 veces más información comparado con los anticuados SEV en tiempo y esfuerzo comparable, con el resultado de disminuir la incertidumbre y aumentar la capacidad de identificar accidentes como fallas, cavernas o contaminaciones de agua.
- El modelado tomográfico es mucho menos sensible a elementos conductores o resistivos, tiene capacidad de resolver geometrías más complejas.
- Permite registrar de forma simultánea datos de Resistividad y Cargabilidad con los que se pueden generar modelos de Resistividad eléctrica del terreno, así como Polarización Inducida, que ayuda a descartar falsas interpretaciones.


	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA</b>	<b>Código: MT-02</b>  <b>Versión: 02</b>
	<b>Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado</b>	<b>Fecha: 01-10- 2020</b>

- Debido a la densidad de datos adquiridos, es posible generar gradientes verticales y horizontales de resistividad, lo que permite realizar interpretaciones cualitativas y cuantitativas de los datos.

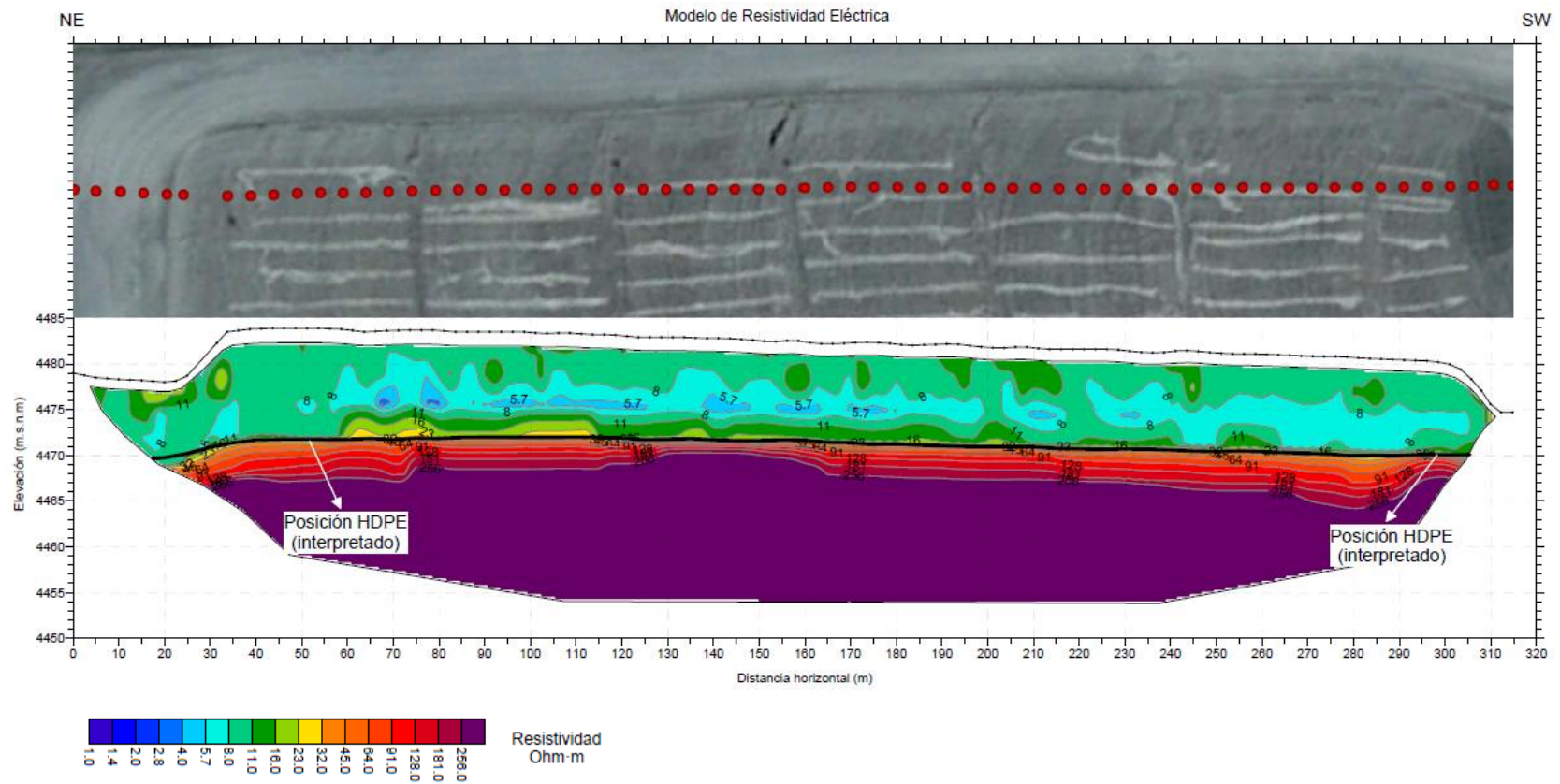
#### *Desventajas*

- Se necesita extender una gran longitud de cables y electrodos, lo que puede causar problemas de acceso o disponibilidad de terreno, especialmente en ambientes industriales mineros.
- Similarmente a la técnica de SEV, la tomografía depende del contacto galvánico, además hay que preparar el suelo con agua en zonas áridas para bajar la resistencia de contacto.


Control de Cambios			
Versión y Fecha	Punto	Qué Había	Qué Hay
01 (27-07-2018)	No Aplica	No Aplica	Primera versión del documento
02 (01-10- 2020)	ERT, Proceso de los datos	Lenguaje no simplificado. Cambios en el contenido.	Segunda versión del documento

	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA</b>	<b>Código: MT-02</b>
	<b>Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado</b>	<b>Versión: 02</b> <b>Fecha:01-10- 2020</b>

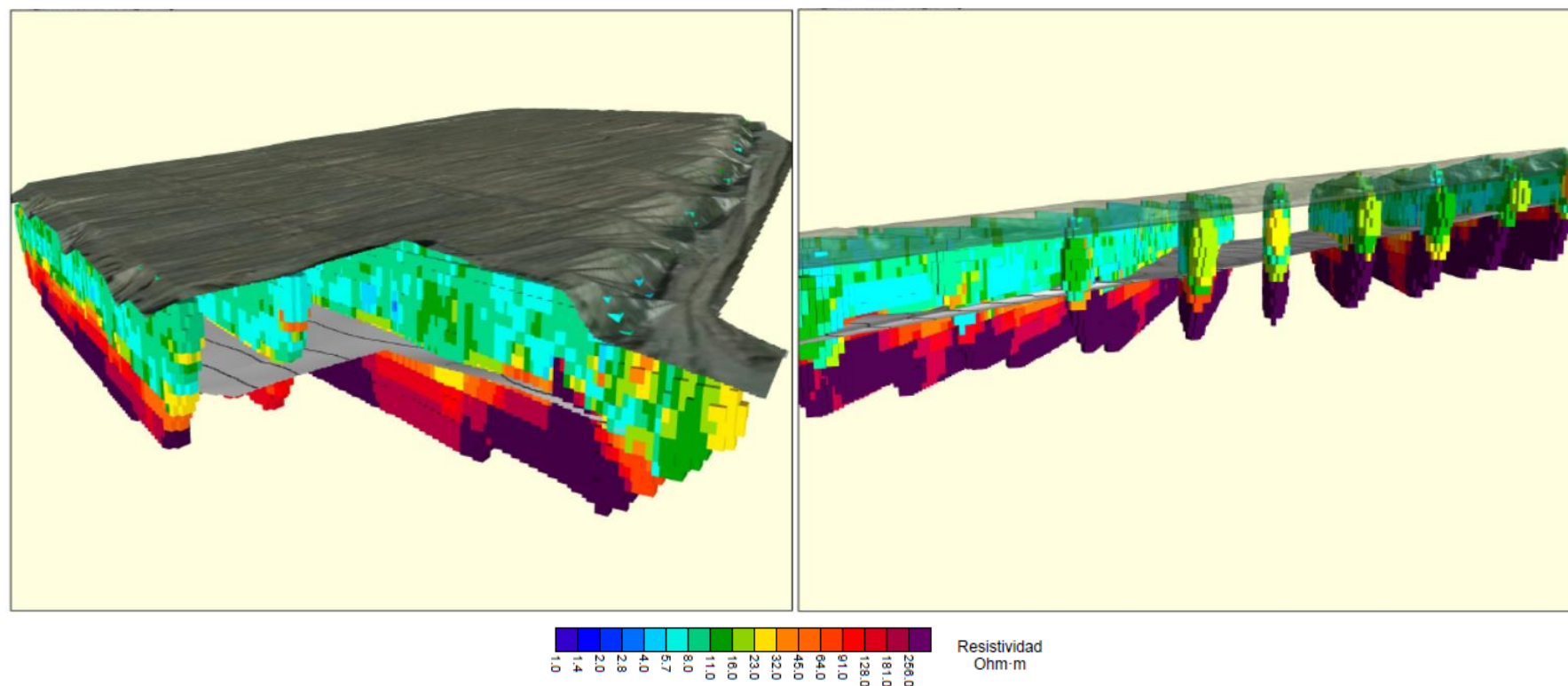
### Sección Resultante 1



**Ilustración 2: Modelo de resistividad eléctrica de una Pila Permanente, resultante del procesamiento de datos de tomografía eléctrica. Se observa la posición de la carpeta HDPE interpretada, a partir del aumento brusco de resistividad debido a las propiedades aislantes de la misma.**


	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA</b>	<b>Código: MT-02</b>
	<b>Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado</b>	<b>Versión: 02</b> <b>Fecha: 01-10- 2020</b>

*Sección Resultante 1: Imagen 3D*

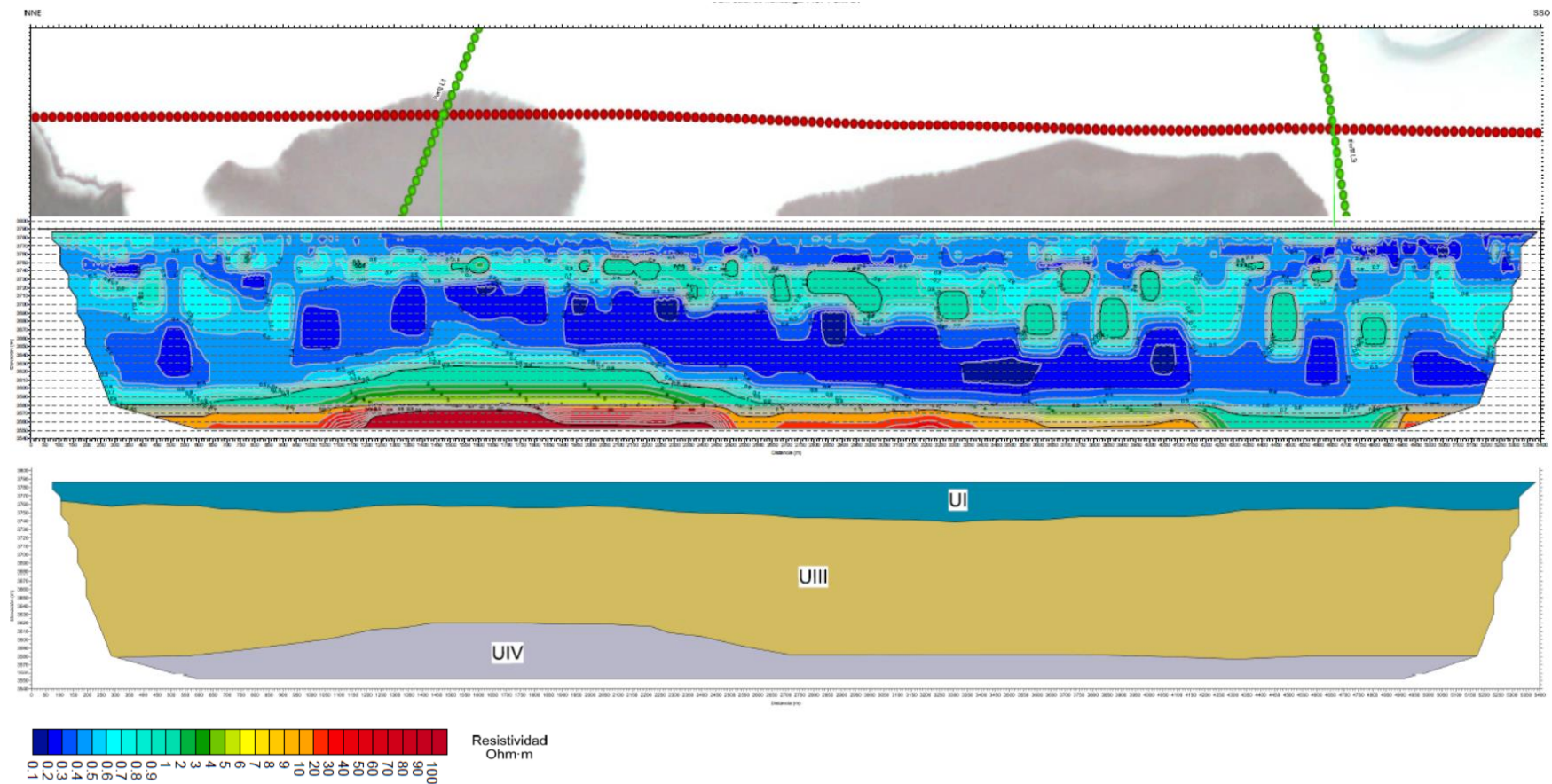


**Ilustración 3: Imágenes de vista 3D en detalle de zonas de intersección de perfiles de tomografía eléctrica, donde se aprecian los distintos niveles de resistividad y la superficie del HPDE interpretado.**



	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA</b>	<b>Código: MT-02</b>
	<b>Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado</b>	<b>Versión: 02</b> <b>Fecha: 01-10- 2020</b>


### Sección Resultante 2:



**Ilustración 4: Modelo de resistividad eléctrica resultante del proceso de datos de tomografía eléctrica e interpretación que plantea tres unidades geofísicas en función de los cambios de resistividad. Perfil de 5400m**



#### ANEXO IV


	METODOLOGÍA DE TRABAJO GRAVIMETRÍA	Código: MT-18
	Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado	Versión: 02 Fecha: 01-10-2020

## METODOLOGÍA DE TRABAJO GRAVIMETRÍA



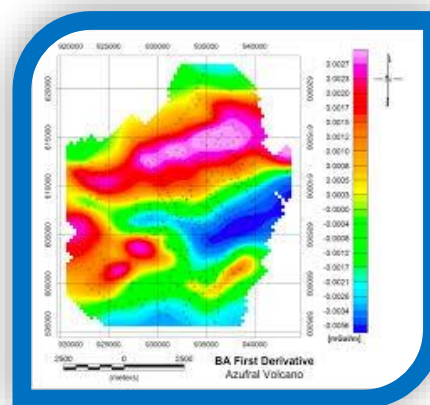
Preparado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Nombre: <i>Luisana Gutiérrez</i>	Nombre: <i>Dayana Silva</i>	Nombre: <i>Juan Benito</i>
Cargo: <i>Geofísico</i>	Cargo: <i>Geofísico</i>	Cargo: <i>Geofísico</i>
Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>
Fecha: <i>01/10/2020</i>	Fecha: <i>01-10-2020</i>	Fecha: <i>01-10-20</i>



	METODOLOGÍA DE TRABAJO GRAVIMETRÍA	Código: MT-18
	Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado	Versión: 02 Fecha: 01-10-2020

## Gravimetría

El método gravimétrico permite detectar variaciones en la densidad de las unidades geológicas presentes en el subsuelo, midiendo las variaciones del campo gravitatorio de la Tierra que surgen de las diferencias de densidad entre las rocas del subsuelo e interpretando los valores registrados. El valor medio de la gravedad de la Tierra es casi constante, del orden de los 980 cm/seg<sup>2</sup>, y para poder detectar cambios de densidad, es necesario medir  $10^{-5}$  de este valor. Para ello se requieren instrumentos muy sensibles.




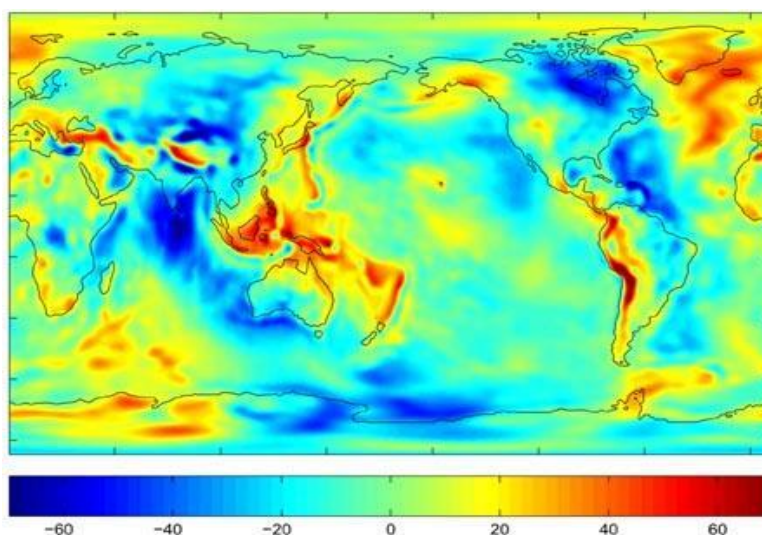
Es un método de prospección que detecta fundamentalmente grandes estructuras de carácter regional, y para pequeños yacimientos de minerales, el requisito será un fuerte contraste de densidad y una buena información geológica de base. Generalmente el método se complementa con otros métodos geofísicos, sirviendo de reconocimiento previo a la sísmica para prospección petrolífera.

### *Fundamento Físico:*

Las leyes físicas sobre las cuales se fundamenta el método gravimétrico son la primera y segunda Ley de Newton. A partir de estas leyes se define la aceleración de gravedad, causada por la atracción de la masa de la Tierra.

La forma elipsoidal, la rotación, el relieve irregular de la superficie y la distribución interna de la masa de la Tierra hacen que la gravedad varíe sobre su superficie. En la ilustración 1 se muestra un gráfico de las anomalías del campo gravitacional terrestre.

	METODOLOGÍA DE TRABAJO GRAVIMETRÍA	Código: MT-18
	Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado	Versión: 02 Fecha: 01-10-2020




**Ilustración 1. Anomalías del campo gravitacional de la Tierra (mGal)**

El método gravimétrico es importante en la búsqueda de depósitos minerales, ya que los cuerpos mineralizados aumentan o disminuyen la atracción de gravedad en una región determinada, debido a que poseen densidades mayores o menores a las de las rocas circundantes respectivamente.

De las variaciones medidas de la componente vertical del vector de gravedad en superficie, solo interesan aquellas producidas por cambios litológicos y/o estructurales de cuerpos de interés en el subsuelo, por lo cual se deben aislar las variaciones provenientes de estos cuerpos de interés. Este proceso requiere de una serie de correcciones a los datos adquiridos, que serán detalladas más adelante.

La gravedad se puede medir de manera absoluta o relativa. La primera requiere de un tiempo considerable para efectuar la medición, y los instrumentos son complejos y poco comunes en prospección gravimétrica. La determinación del valor relativo de la gravedad requiere de instrumentos de diseño más simple, prácticos y de fácil traslado, y son los que determinan la diferencia de gravedad entre dos estaciones.

Las mediciones registradas en la superficie de la Tierra generalmente no sirven para hacer interpretaciones directas de las estructuras geológicas del subsuelo, ya que estas se ven afectadas por diferentes factores que encubren las anomalías buscadas. Sin embargo, estos factores son predecibles y pueden ser removidos de los valores medidos. Entre estos factores se encuentran la posición (latitud) y elevación del punto de medición, la topografía del terreno circundante, y efectos temporales como las mareas terrestres y la deriva

	METODOLOGÍA DE TRABAJO GRAVIMETRÍA	Código: MT-18
	Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado	Versión: 02 Fecha: 01-10-2020

instrumental. La remoción de estos efectos indeseables de la gravedad medida en superficie es la labor en el procesamiento de los datos gravimétricos.

*Correcciones a realizar sobre los datos adquiridos:*

- **Corrección por mareas terrestres:** Remover los efectos de la ubicación relativa entre el punto de medición sobre la superficie terrestre, y la ubicación cambiante en el espacio del Sol y la Luna, sobre el campo gravitatorio terrestre.
- **Corrección por Deriva instrumental:** Las mediciones gravimétricas pueden variar en una misma estación a través del tiempo por causas instrumentales.
- **Corrección por Latitud:** Dado que es necesario medir variaciones de menos de una millonésima de la gravedad normal, la gravedad de la Tierra debe considerarse variable con la latitud.
- **Corrección de Aire Libre:** Esta corrección toma en cuenta el efecto que causa la gravedad debido a la altura de la estación con respecto a un punto de referencia.
- **Corrección de Bouguer:** Para aplicar esta corrección se tiene en cuenta la atracción del material rocoso situado entre el nivel del mar y la estación ubicada a una altura  $h$ .
- **Corrección Topográfica:** Esta corrección pretende eliminar el efecto causado por las irregularidades del terreno cercano y lejano a la estación de medición, es decir, considera los valles y las montañas.


En campo se realizan las mediciones gravimétricas en cada estación con su ubicación determinada por GPS diferencial. La determinación del valor de gravedad relativa en cada estación se obtiene comparando cada lectura con un valor de referencia medido en una estación base, donde la gravedad absoluta es conocida.

El procesamiento comienza con la descarga de los datos del gravímetro. Estos datos se obtienen en un archivo .txt y luego se exportan a Excel para aplicar las diferentes correcciones antes descritas debido a los efectos que sufren los datos de gravedad.

Los resultados se pueden representar mediante perfiles o mapas con la anomalía de Bouguer.

*Aplicaciones del método:*

- Caracterizar estructuras geológicas.
- Exploración de petróleo y minerales.
- Estudios de aguas subterráneas.
- Mapeo Geológico Regional.

	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO GRAVIMETRÍA</b>	<b>Código: MT-18</b>
	<b>Aplicado a: Sistema de Gestión Integrado</b>	<b>Versión: 02</b> <b>Fecha: 01-10-2020</b>

*Ventajas:*

- Fácil de adquirir en campo. Se requiere de poco personal y pocos equipos de adquisición.
- Método no invasivo.

Control de Cambios			
Versión y Fecha	Punto	Qué Había	Qué Hay
01 (23-10-2019)	No Aplica	No Aplica	Primera versión del documento
02 (05-05-2020)	Gravimetría	Ecuaciones y lenguaje no simplificado.	Segunda versión del documento



## ANEXO V





## Quality Management System Certificate

Se certifica que el Sistema de Gestión de la Calidad de:

*This is to certify that the Quality Management System of:*

### Aguaex SPA

Rosario Norte 100, oficina 801, Las Condes, Santiago, Chile

Ha sido auditada conforme a la norma:

*(Has been assessed for compliance with the following standard:)*

### ISO 9001:2015

Este certificado es válido para el siguiente campo de aplicación:

*(This Certificate is valid for the following scope:)*

### Adquisición, proceso e interpretación de datos en el ámbito de las Geociencias

Certificado No.:CH249 - 2  
FCR Certificaciones SpA.  
Av. Antonio Varas 175 oficina 402  
Providencia, Santiago, Chile

**Fecha de Certificación: 10/02/2022**  
*(Date of certificate)*

**Fecha de Expiración: 01/10/2024**  
*(Expiration date)*



**FCR**  
CERTIFICATION  
*[Signature]*  
FCR - Firma Autorizada



This certificate will remain valid for the subsequent three following years subject to the company's maintenance of its system according to the required standard. This will be annually audited by FCR. Este certificado mantendrá su vigencia durante los próximos tres años, sujeto al mantenimiento del sistema de gestión de la organización de acuerdo a la correspondiente norma, el cual será auditado anualmente por FCR.





## Occupational Health & Safety Management System Certificate Certificate

Se certifica que el Sistema de la Seguridad y Salud en el Trabajo de:  
*This is to certify that the Occupational Health & Safety Management System Certificate of:*

### **Aguaex SPA**

**Rosario Norte 100, oficina 801, Las Condes, Santiago, Chile**

Ha sido auditada conforme a la norma:

*(Has been assessed for compliance with the following standard:)*

### **ISO 45001:2018**

Este certificado es válido para el siguiente campo de aplicación:

*(This Certificate is valid for the following scope:)*

**Adquisición, proceso e interpretación de datos en el ámbito de las  
Geociencias**

Certificado No.:CH249 - 3B  
FCR Certificaciones SpA.  
Av. Antonio Varas 175 oficina 402  
Providencia, Santiago, Chile

**Fecha de Certificación: 10/02/2022**  
*(Date of certificate)*

**Fecha de Expiración: 01/10/2024**  
*(Expiration date)*



**FCR**  
CERTIFICATION  
*[Signature]*  
FCR - Firma Autorizada



This certificate will remain valid for the subsequent three following years subject to the company's maintenance of its system according to the required standard. This will be annually audited by FCR. Este certificado mantendrá su vigencia durante los próximos tres años, sujeto al mantenimiento del sistema de gestión de la organización de acuerdo a la correspondiente norma, el cual será auditado anualmente por FCR.





## Environmental Management System Certificate

Se certifica que el Sistema de Gestión Medioambiental de:

*This is to certify that the Environmental Management System of:*

### Aguaex SPA

Rosario Norte 100, oficina 801, Las Condes, Santiago, Chile

Ha sido auditada conforme a la norma:

*(Has been assessed for compliance with the following standard:)*

### ISO 14001:2015

Este certificado es válido para el siguiente campo de aplicación:

*(This Certificate is valid for the following scope:)*

**Adquisición, proceso e interpretación de datos en el ámbito de las Geociencias**

Certificado No.:CH249 - 2A  
FCR Certificaciones SpA.  
Av. Antonio Varas 175 oficina 402  
Providencia, Santiago, Chile

**Fecha de Certificación: 10/02/2022**  
*(Date of certificate)*

**Fecha de Expiración: 01/10/2024**  
*(Expiration date)*



**FCR**  
CERTIFICATION  
*[Signature]*  
FCR - Firma Autorizada



This certificate will remain valid for the subsequent three following years subject to the company's maintenance of its system according to the required standard. This will be annually audited by FCR. Este certificado mantendrá su vigencia durante los próximos tres años, sujeto al mantenimiento del sistema de gestión de la organización de acuerdo a la correspondiente norma, el cual será auditado anualmente por FCR.