

UCH-FC
U. Ambiental
R. 7411
C. 1



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

“ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN QUEBRADA GUAMANGA: COMPARACIÓN ENTRE LA SITUACIÓN PRE-OPERACIONAL Y LA SITUACIÓN OPERACIONAL ACTUAL DE LA MINERA MANTOVERDE, DE ANGLOAMERICAN NORTE”.

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

Francisca Camila Rojas Álvarez



Directora de Seminario de Título : Sra. Suzanne Magri Nicol.

Profesora Patrocinante : Mg. Julio Hidalgo Carvajal

Septiembre de 2014

Santiago - Chile



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el o (la) candidato (a):

FRANCISCA CAMILA ROJAS ALVAREZ

“ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN QUEBRADA GUAMANGA: COMPARACIÓN ENTRE LA SITUACIÓN PRE-OPERACIONAL Y LA SITUACIÓN OPERACIONAL ACTUAL DE LA MINERA MANTOVERDE, DE ANGLOAMERICAN NORTE”.

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Sra. Suzanne Magri Nicol.

Directora Seminario de Título

Mg. Julio Hidalgo Carvajal.

Profesor Patrocinante

M.Cs. Sylvia Copaja Castillo.

Presidenta

Dra. Isel Cortes Nodarse.

Correctora

S. Copaja

J. Hidalgo

S. Copaja

I. Cortes

Santiago de Chile, Septiembre 2014

RESEÑA



Soy Francisca Rojas Álvarez y nací el 11 de Octubre de 1988 en Santiago. Realicé mis estudios hasta tercero básico en el Colegio Madre Vicencia, en la comuna de Estación Central. Curse el resto de mi enseñanza básica y media en el Colegio Santa Cruz, en la comuna de Santiago Centro, lugar en el cuál me integre al Grupo de Guías y Scout Ñimolfun del Hospital San Borja Arriarán.

Al concluir la enseñanza media en el año 2006, realicé un año de preuniversitario, ingresando en el año 2008 a la Carrera de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias. Lugar donde tuve la posibilidad de participar activamente en la Rama de Atletismo y Natación, aprendiendo nuevas disciplinas como el lanzamiento de jabalina, salto largo y las carreras de medio fondo (800 m y 3.000 m). En el caso de la Rama de Natación pude integrar un Equipo Master Internacional de la Facultad de Ciencias, el cual participó en competencias en Chile, Perú y Uruguay.

Como parte de mi formación profesional, realicé mi Unidad de Investigación en el Laboratorio de Productos Naturales del Dr. Carlos Areche, realizando mi Unidad de Investigación en “Aislación e identificación de metabolitos secundarios en *Azorella Compacta* y *Usnea Barbata*.”, la cual fue publicada por el Journal of Pharmacy a Pharmacology en Mayo del 2013.

Posterior al egreso en Agosto de 2013 y luego de una larga búsqueda en Enero de 2014 me incorporé a la Gerencia de Sustentabilidad de la Operación Mantoverde de Angloamerican Norte en la Región de Atacama, donde realicé mi Seminario de Título en Calidad de Aguas Subterráneas de la Quebrada Guamanga.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a la Operación Mantoverde por acogerme en estos 6 meses y darme la oportunidad de realizar mi Seminario de Título en la Gerencia de Sustentabilidad y vivenciar el trabajo y la vida en una operación minera.

Mis mayores agradecimientos a mi directora de tesis la Sra. Suzanne Magri, quién sin conocerme me tendió una mano, confió en mis capacidades y otorgó todas las libertades para desarrollarme laboralmente. Agradezco a Sra. Carla Peña, Gerente de Sustentabilidad por permitirme integrarme al equipo de trabajo. A Noemi Contreras y Nadia Rojas por tener la mejor de las disposiciones a enseñarme y alegrarme los días.

A mi profesor Patrocinante Sr. Julio Hidalgo Carvajal por toda la orientación y apoyo brindado.

A mi profesora correctora, Sra Isel Cortes por su dedicación y rigurosidad, que me impulso a sacar lo mejor de mí.

Agradezco a mi entrenador y gurú Oscar Muñoz, quién me enseñó a confiar en mis capacidades y a nunca rendirme.

Agradezco a mi pareja y amigo, Helmuth Sievers Morales por ser mi apoyo incondicional, confiar en mí y alentarme una y otra vez a conquistar mis metas. Gracias por todo tu amor, comprensión y cariño, que en este proceso que ha sido crucial.

A mis amigas: Andrea, Camila, Carolina, Katherine y Yenderi que siempre tuvieron la palabra indicada para subirme el ánimo.

A mi equipo de Natación Master, le agradezco el estar siempre presente, e integrarme siempre en los proyectos del equipo, a pesar de la distancia.

Agradezco a mis padres Jaime Rojas y Bernardita Alvarez, por apoyarme en mis decisiones y acompañarme en el largo camino. A mi familia: Isadora, Eduarda, Rayen, Teotista, y Genovena, por darme todo su cariño desde la distancia.

TABLA DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivo de estudio.....	2
1.2 Sistema de Estudio	4
1.3 Marco Teórico	7
1.3.1 Proceso Productivo General de la Operación Mantoverde	7
1.3.2 Caracterización Pre Operacional de la Quebrada Guamanga.....	12
1.3.3 Calidad química del agua pre operacional del acuífero Guamanga.	14
1.3.4 Caracterización Operacional Actual de la Quebrada Guamanga	16
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
II. MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1 Materiales.....	19
2.2 Método	20
III. RESULTADOS	22
3.1 pH.....	23

3.2	Sólidos Totales Disueltos (STD).....	26
3.3	Concentración de Calcio	28
3.4	Concentración de Magnesio	30
3.5	Concentración de Sodio	31
3.6	Concentración de Potasio	32
3.7	Concentración de Bicarbonato	33
3.8	Concentración de Cloruro	37
3.9	Concentración de Sulfato	39
3.10	Nivel Freático.....	45
3.11	Iones Minoritarios	51
3.12	Contexto Regional.....	54
IV.	DISCUSIÓN.	58
V.	RECOMENDACIONES	62
5.1	Seguimiento en Terreno	62
5.2	Análisis de Bases Técnicas.	64

VI. CONCLUSIONES.....	67
VII. REFERENCIAS	68
VIII. ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación geográfica de los actuales pozos de monitoreo.	6
Tabla 2: Resultados del monitoreo hidroquímico de calidad de agua de la campaña de Línea Base.	14
Tabla 3: Concentración de microelementos en aguas subterránea de los pozos de sondaje de Línea Base.	15
Tabla 4: Resultados de la compilación del monitoreo hidroquímico de 2013.	22
Tabla 5: Concentraciones de los iones en la campaña de Línea Base EIA, 1993.	42
Tabla 6: Concentraciones de los iones en la campaña 2013.	42
Tabla 7: Concentración de iones minoritarios en aguas subterránea del año 2013.	52
Tabla 8: Promedio de las concentraciones identificadas durante las campañas de 2013 en la red de monitoreo de la DGA de la región de Atacama.	56
Tabla 9: Evaluación de los procedimientos comprometidos en el contrato de monitoreo de calidad de aguas de la operación Mantoverde mediante la razón del cumplimiento.	63

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Ubicación geográfica de la Operación Mantoverde.	4
Figura 2: Mapa de la ubicación de los actuales pozos de Monitoreo de Quebrada Guamanga.	6
Figura 3: Descripción del proceso productivo de obtención de Cobre mediante Lixiviación en Pilas de la Operación Mantoverde.....	7
Figura 4: Esquema del proceso de Extracción por Solvente y Electro-Obtención del proceso productivo de la Operación Mantoverde.	10
Figura 5: Esquema de reacción del hidroxima con el Cobre del proceso productivo de la Operación Mantoverde.....	11
Figura 6: Acercamiento el plano de niveles piezómetros de la cuencas del Distrito Minero Mantoverde.	17
Figura 7: Comparación de pH entre la situación pre y post operacional.	24
Figura 8: Evolución del pH en los pozos de monitoreo.	26
Figura 9: Comparación de sólidos totales disueltos entre la situación pre y post operacional.	27
Figura 10: Evolución de los sólidos totales disueltos en los pozos de monitoreo.	28
Figura 11: Comparación de la concentración de Calcio entre la situación pre y post operacional.	29
Figura 12: Comparación de la concentración de Magnesio entre la situación pre y post operacional.	30

Figura 13: Comparación de la concentración de Sodio entre la situación pre y post operacional.	32
Figura 14: Comparación de la concentración de Potasio entre la situación pre y post operacional.	33
Figura 15: Comparación de la concentración de Bicarbonato entre la situación pre y post operacional.	34
Figura 16: Evolución de la concentración de Bicarbonato en los pozos de monitoreo. ...	35
Figura 17: Evolución del pH en el período 2000 a 2006.	37
Figura 18: Comparación de la concentración de Cloruro entre la situación pre y post operacional.	38
Figura 19: Evolución de la concentración de Cloruro en los pozos de monitoreo.	39
Figura 20: Comparación de la concentración de Sulfato entre la situación pre y post operacional.	40
Figura 21: Evolución de la concentración de Sulfato en los pozos de monitoreo.	41
Figura 22: Diagrama de Stiff.	43
Figura 23: Evolución de los niveles freaticos de los pozos estaticos.....	45
Figura 24: Evolución de los niveles freaticos de los pozos dinámicos.	46
Figura 25: Dendrograma de Agrupacion de los punto de muestre pre operacionales (EIA 1993)	48
Figura 26: Dendrograma de Agrupacion de los punto de muestreo actuales (2013)	50
Figura 27: Red Hidrográfica de la Dirección General de Aguas de la Región de Atacama.	55

LISTA DE ABREVIATURAS.

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

DIA: Declaración de Impacto Ambiental.

MV: Mantoverde.

Aguas arriba: Pozos del sector BSK, GWP-1A, GWP-1B, GWP-1C

Aguas Abajo: Pozos WM-06 y sector Gighlino (GWP-2)

SX: solvent extration (extracción por solvente)

EW: electrowinnig (electro-obtención)

PLS: pregnant leach solution (solución rica en Cobre)

ROM: run of mine (tamaño post tronadura)

STD: sólidos totales disueltos

RESUMEN.

En el presente Seminario de Título tiene como propósito estudiar y analizar la calidad de las aguas subterráneas de Quebrada Guamanga, investigando la evolución de éstas y la posible aparición de contaminantes a raíz de 20 años de operación de la Minera Mantoverde de Angloamerican.

La metodología empleada fue la recopilación de antecedentes que permitan caracterizar las condiciones pre operacionales del acuífero (EIA, 1993) como las condiciones operacionales actuales (DIA, 2013). Esto fue complementado con el levantamiento de datos históricos del monitoreo de calidad química de aguas subterráneas de Quebrada Guamanga entre los años 1997 y 2013. Fueron procesados por medio de comparación directa entre ambas situaciones (gráficos), Diagrama de Stiff y Análisis Estadístico de No Paramétrico de Clúster.

Se determinó que la calidad química de las aguas del Acuífero de Guamanga se ha deteriorado debido a las alzas de las concentraciones de macroelementos como el Calcio, Magnesio, Potasio y Cloruros. Lo que se deben a los descensos del nivel freático, que ha concentrado los iones naturalmente disponibles en el acuífero. Este efecto se debe a las actividades intensivas de extracción de agua realizada por la operación Mantoverde en el acuífero, los cuales han impactado de forma diferenciada el acuífero, acentuándose en el sector Gighlino (aguas abajo).

Las concentraciones de iones minoritarios como As, Cu, Cr, Hg, Cd, Se y Pb no han experimentados alzas, manteniéndose en el rango de la situación pre operacionales mostrada en el Estudio de Línea Base del año 1993. En base a los antecedentes

presentados, se plantea que en 20 años de operación no se ha contaminado químicamente el Acuífero de Guamanga a raíz de la percolación de metales desde las pilas de lixiviación, pero sí ha repercutido en los niveles freáticos del acuífero, que afecta las concentraciones de sales que naturalmente forman parte de este.

ABSTRAC

This Degree Seminar has the purpose of evaluate and analyse the water chemistry underground quality of Quebrada Guamanga, investigating it's evolution and the evidences of pollutions after 20 years of Mantoverde operation Mining of Angloamerican. The methodology used was the collection of information about the background to characterize the pre-operational condition of the aquifer (by the study presented in EIA, 1993) and about the current operational conditions in the study presented in DIA, 2013. It was completed with the compilation of historical monitoring of water chemistry underground quality of Quebrada Guamanga between years 1997 to 2013. The comparison of bouth situations was performed by graphics like, Stiff Diagram and Cluster analysis. It was determinated that the water chemistry underground quality of Quebrada Guamanga has been damaged because of the increment of macro-element concentration as calcium, magnesium, potassium and chloride. It was explained by the water table drop that concentrate the native ions in the aquifer. This effect is due to intensive water extraction carried out by Mantoverde mining operation activities in the aquifer, which have been impacted differentially, that is accentuated in Gighlino sector (downstream). The microelements concentrations have not experimented an increase, keeping the pre-operational situation that is shown in the Base Line Study, 1993. According to this, the 20 years of Mantoverde operation mining haves not been chemically polluted the Guamanga aquifer for percolation of heavy, but have been damage the water table, affecting the concentration of the native salts of the aquifer.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad minera en Chile es un polo de desarrollo que ha cobrado mayor protagonismo en las últimas décadas. Ya en los años '80 alcanzó una producción de 1,4 millones de toneladas anuales de Cobre, que en la década siguiente tuvo un crecimiento sostenido, llegando a una producción de 4 millones de toneladas de Cobre anual. Actualmente la tasa de crecimiento ha disminuido situándose la producción entorno a las 5,3 millones de toneladas anuales, lo que ha permitido que Chile tenga el 32% de la producción mundial de Cobre en los últimos años. (Consejo Minero, 2014)

En este marco de robustecimiento de la producción minera en Chile, han surgido nuevos desafíos que apuntan hacia la modernización de la producción, tomando en cuenta no sólo la eficiencia de los procesos, sino que su correcto desempeño ambiental. Así, los planes de desarrollo minero actuales contemplan las externalidades propias de los procesos, invirtiendo en nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente, planes de mitigación, reparación, compensación y seguimiento ambiental.

Lo anterior, se enmarca en las políticas de desarrollo sustentable, que actualmente gobiernan las estructuras de negocios internacionales y que se han transformado en un distintivo de las grandes empresas.

A nivel país en el año 1990 el Presidente de la Republica firmó el decreto que creó la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), que se encargaría de crear la institucionalidad ambiental para el país. Este órgano fue integrado por un comité interministerial conformado por los Ministros de Salud, Economía, Agricultura, Minería,

Vivienda y Transporte, y presidido por el Ministro de Bienes Nacional. (Camus y Hajek, 1998)

Este organismo inició el programa de “Evaluación de Impacto Ambiental” que a pesar de no estar vigente la ley ni su reglamento, comenzó a ser aplicado por los ministerios en sus proyecto de inversión de acuerdo al “Instructivo Presidencial: Pauta Para La Evaluación Ambiental De Proyectos De Inversión” y a otros estudios y textos de apoyo elaborados por la institución. (Camus y Hajek, 1998)

En este contexto, es que en el año 1993 de forma voluntaria, se presenta el Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Minero Mantoverde al Programa de Evaluación de Impacto Ambiental, obteniendo Resolución de Calificación Ambiental favorable en diciembre de 1993. (Batias y col, 1993)

La Operación Mantoverde consiste en la explotación a cielo abierto de Óxidos de Cobre, cuyos minerales de alta ley son procesados mediante Lixiviación en Pilas y los de baja ley mediante Lixiviación en Botaderos; luego por medio de la Extracción por Solvente (SX) y Electro-Obtención (EW), se obtienen cátodos de Cobre de alta pureza. (Batias y col, 1993)

1.1 Motivo de estudio

Al analizar en perspectiva la actual situación de la Operación Mantoverde con la proyectada en el Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Minero Mantoverde” (EIA, 1993) se evidencian muchas disimilitudes. En cuanto a la producción estimada inicialmente, fue de 42.000 toneladas anuales de Cobre y una vida útil de 16 años. En la

actualidad, tras 20 años de operación y con producciones anuales que bordean las 62.000 toneladas de Cobre y una vida útil hasta el año 2017, se ejemplifica la diferencia entre el proyecto inicial y lo que finalmente es la Operación Mantoverde.

En la misma tendencia, el abastecimiento de aguas de la Operación Mantoverde fue proyectado por medio de la construcción de la Planta Desalinizadora Mantoverde, la cual ha sido retrasada. En su lugar, la operación se ha abastecido de agua por medio de la adquisición de derechos de aprovechamiento de aguas de pozos ubicados en el Valle de Copiapó y Quebrada de Guamanga. Lo anterior ha sido complementado con las aguas del proceso minero obtenidas de los pozos Dewatering que se originan con la explotación de los rajos. De esta forma se ha suplido por 20 años el abastecimiento de agua de la operación y hoy frente a la entrada en funcionamiento de la Planta Desalinizadora Mantoverde surge la interrogante de evaluar si la extracción intensiva de agua desde los pozos de Quebrada Guamanga ha impactado la calidad y cantidad del acuífero, ya que si bien el acuífero está confinado este se relaciona en forma dinámica con su entorno, siendo el sustento para la escasa vida vegetacional de la zona.

Es importante destacar que la Quebrada de Guamanga corresponde a uno de los sitios prioritarios de conservación regional, por albergar 14 especies de flora nativa, de las cuales, una se encuentra en estado de “peligro” y dos de ellas en estado “vulnerable”. (Squeo y Meneses, 2008)

1.2 Sistema de Estudio

La Operación Minera Mantoverde está ubicada en la Comuna y Provincia de Chañaral, III Región de Chile, a 56 km al sureste del Puerto de Chañaral a una altitud de 900 msnm, como se evidencia en la siguiente figura:



Figura 1: Ubicación geográfica de la Operación Mantoverde.

El sistema de estudio corresponde a Quebrada Guamanga, la cual tiene una extensión de 465 kilómetros cuadrados, que se origina a los pies del Monte Chivato (2.016 msnm) frente al pueblo Inca de Oro y se transforma en conjunto con la Quebrada Salitrosa en afluentes de la Quebrada Flamenco que desemboca al mar en el balneario del mismo nombre. (Bastidas y col, 1993)

La cuenca está rodeada de cerros con elevación entre los 1.000 y 2.000 msnm, y se desarrolla en dos direcciones a lo largo de su extensión. En el primer sector tiene

orientación sureste a noroeste por unos 35 km hasta la Cuesta los Pozos, donde toma orientación de este a oeste por 15 km hasta la confluencia con la Quebrada Salitrosa. (Bastidas y col, 1993)

Quebrada Guamanga es una cuenca arreíca, donde existe una red de pozos de monitoreo de calidad de aguas subterráneas pertenecientes a la Operación Mantoverde. La cual está constituida por un conjunto de 3 pozos en el sector llamado BSK (GWP-1A, GWP-1B, GWP-1C) ubicados 4,9 kilómetros al sur de la operación, en el sector “aguas arriba”. Al sur de estos, se encuentran los pozos GWE-5 y GWE-3, que fueron parte del Estudio de Línea Base y que actualmente no son monitoreados. En el sector de la operación, entre las pilas de lixiviación Heap y el Dump Sur está el pozo WM-03. Aguas abajo de la operación, hacia el oeste, después del cruce al pueblo El Salado está el pozo WM-06, y 1,9 kilómetros más abajo está el sector Gighlino donde están los pozos P-1730 y GWP-2 como se ve en la siguiente figura:

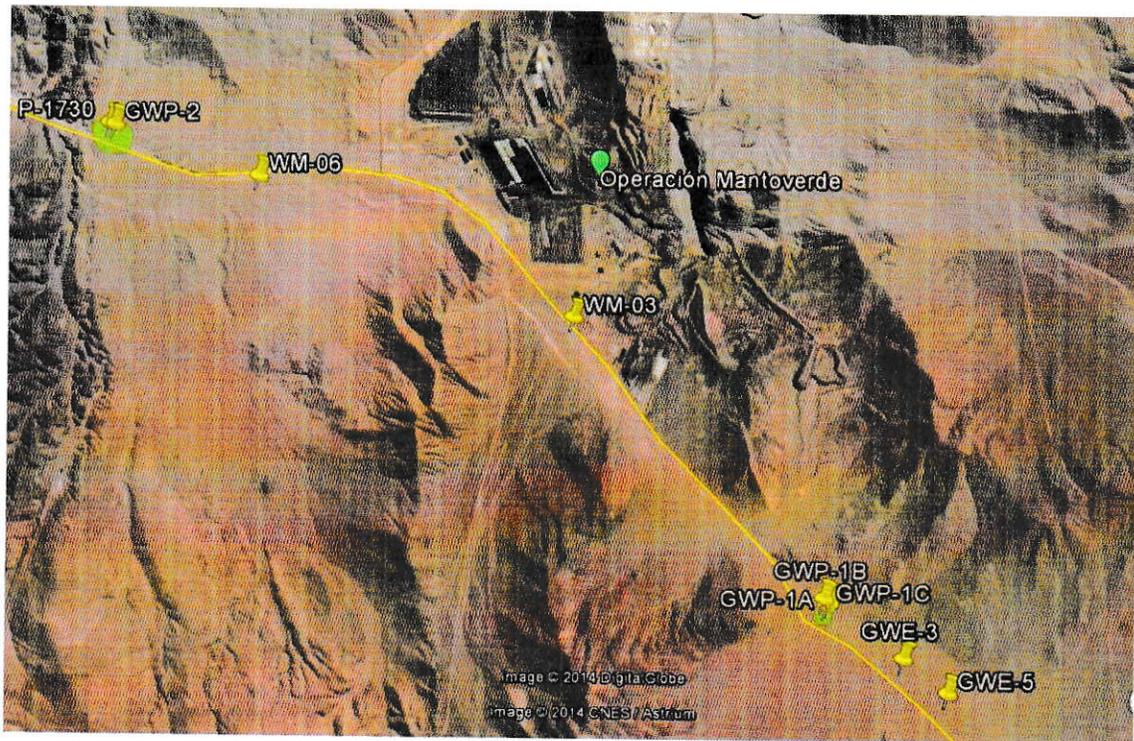


Figura 2: Mapa de la ubicación de los actuales pozos de Monitoreo de Quebrada Guamanga.

El detalle de la ubicación geográfica de los pozos que actualmente forman parte del monitoreo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1: Ubicación geográfica de los actuales pozos de monitoreo.

N°	Identificación	Ubicación coordenadas UTM WGS84 - Huso 19S	
		Norte	Este
1	GWP-1A	7057001	371007
2	GWP-1B	7057017	370983
3	GWP-1C	7056989	370981
4	GWP-02	7063156	361468
5	WM 03	7060766	367554
6	WM 06	7062497	363342

1.3 Marco Teórico

1.3.1 Proceso Productivo General de la Operación Mantoverde

En la Operación Mantoverde se realiza la explotación a cielo abierto de los Óxidos de Cobre, cuyos minerales de alta ley son procesados mediante Lixiviación en Pila, y los de baja ley mediante Lixiviación en Botaderos; luego se realiza la Extracción por Solvente (SX) y la Electro-Obtención (EW), para obtener como producto final Cobre en cátodos de alta pureza (Pasten, 2013). Lo anterior es esquematizado en la siguiente figura:

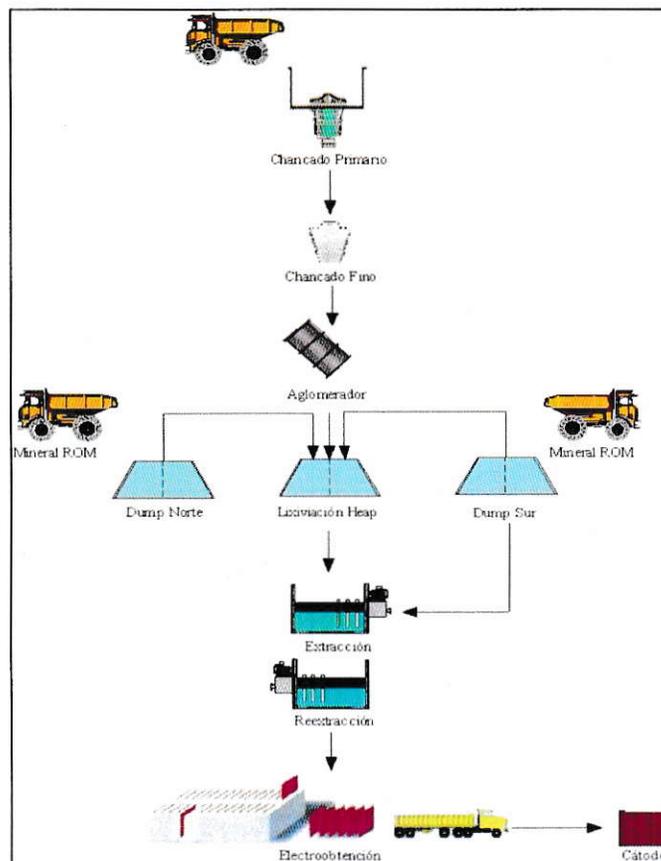


Figura 3: Descripción del proceso productivo de obtención de Cobre mediante Lixiviación en Pilas de la Operación Mantoverde.

La operación considera la explotación actual de 4 rajos: Kuroki, Punto 62, Mantoverde Sur y Montecristo. Ésta se basa en el uso de perforadoras diésel, cargadores frontales para la extracción y camiones para los traslados: del mineral a planta, de los minerales marginales a stock del material y de estériles a los botaderos. (Pasten, 2013)

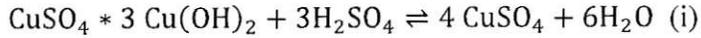
La planta está integrada por las áreas de: Chancado, Aglomeración, Lixiviación (Heap y Dump), Extracción por Solvente (SX) y Electro-Obtención (EW).

El mineral proveniente de la mina es enviado al circuito de reducción de tamaño y clasificación (Chancado primario, secundario, terciario y planta de harnero). El producto es contactado con Ácido Sulfúrico concentrado y refino para formar mineral aglomerado, que es transportado a la etapa de Lixiviación, mediante una serie de correas transportadoras y apilador radial, iniciando así el ciclo de riego mediante una serie de soluciones aciduladas. Por otra parte, el mineral Dump es apilado a granulometría ROM, curado directamente sobre la pila mediante la adición de Ácido Sulfúrico concentrado. Finalizada la etapa de curado se inicia con el riego mediante soluciones aciduladas, el drenaje rico en Cobre (PLS) es transportado mediante canaletas y tuberías a la piscina que alimenta la Lixiviación Heap y la Extracción por Solvente (SX). Una vez finalizada la etapa de Lixiviación Heap, el remanente o ripio es transportado a botaderos, mediante el uso de un sistema compuesto de roto pala, correas transportadoras y apiladoras móviles. (Pasten, 2013)

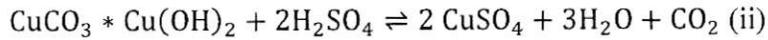
En el proceso de Lixiviación en Pilas, ya sean en las dinámicas (Heap) y las estáticas (Dump) el Cobre, en sus diferentes formas minerales, reacciona con el Ácido Sulfúrico

como se ilustran en las siguientes ecuaciones, siendo las especies de Malaquita y Crisocola las más abundantes en la Operación Mantoverde: (Torres, 2014)

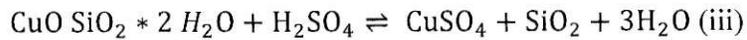
Brocantita



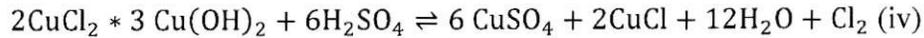
Malaquita



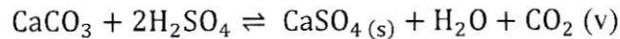
Crisocola



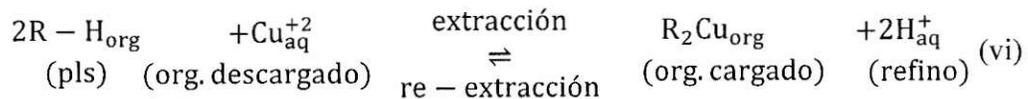
Atacamita



Principal Ganga



El PLS¹ proveniente de la Lixiviación se envía a la Planta de SX², donde se realiza la purificación líquido-líquido (solución rica-solución orgánica), obteniéndose una solución de Sulfato de Cobre libre de otras impurezas (electrolito cargado). (Pasten, 2013)



¹ PLS: Pregnant leach solution, solución rica en Cobre.

² SX: Solvent extration, extracción por solvente.

En este proceso de SX se extrae el Cobre, rechazando otros iones como el Fe, Cl, Mn, Ca y Mg por medio de la regulación del pH. Este proceso está constituido por dos etapas: la Etapa de Extracción y la de Re-Extracción, como se ve en la ecuación (vi) y se evidencia en la siguiente figura:

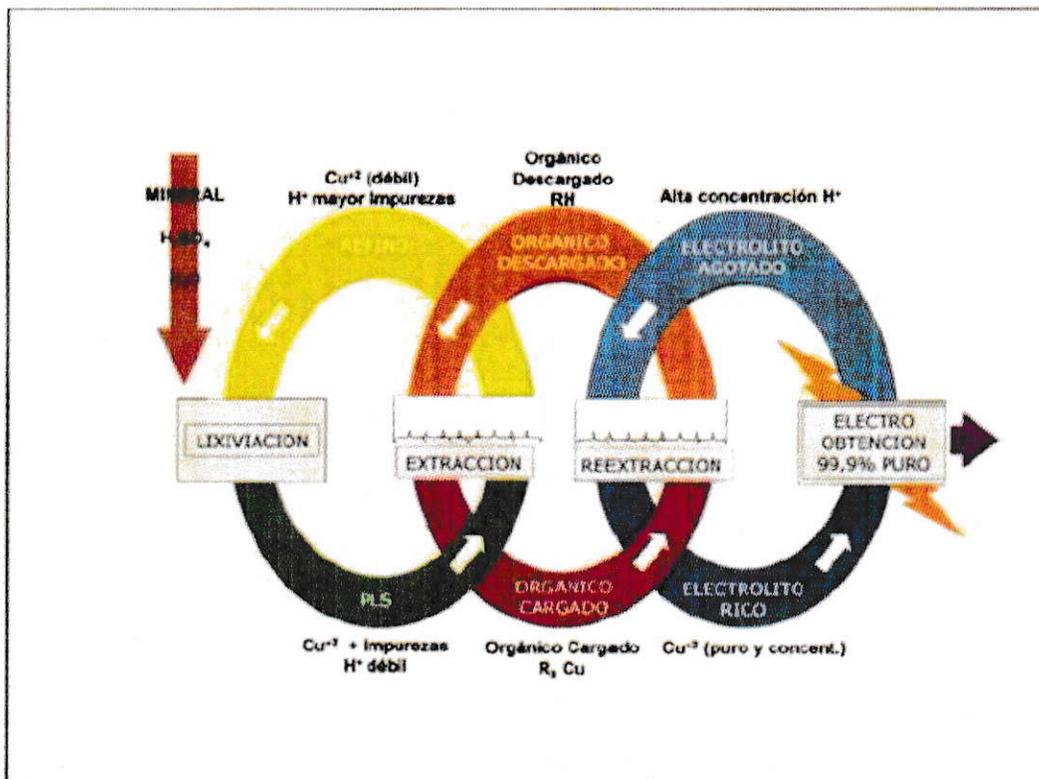


Figura 4: Esquema del proceso de Extracción por Solvente y Electro-Obtención del proceso productivo de la Operación Mantoverde.

La etapa de Extracción o de carga el reactivo, se inicia cuando el efluente de la Lixiviación (fase acuosa) rica en iones se mezcla con la fase orgánica (orgánico descargado), la cual ésta compuesta por un reactivo extractante (Oxima) y un diluyente orgánico. Al ponerse en contacto y con la agitación indicada, ocurre la transferencia de especies metálicas a la fase orgánica formando un complejo órgano-metálico. Lo anterior, origina la fase orgánica

cargada con la especie metálica y la solución acuosa descargada (refino). Posteriormente en la etapa de Re-Extracción se obtiene la solución orgánica descargada, que es recirculada a la etapa de Extracción y la solución rica en iones de Cobre es enviada a la siguiente etapa de Electro-Obtención. El proceso de Extracción y Re-extracción está gobernado por el pH, siendo este el que favorece un sentido específico de la reacción, por ejemplo, al aumentar el pH el equilibrio está desplazado hacia el proceso de extracción mientras que al disminuir el pH, (acidificar) se favorecerá la Re-Extracción. (Torres, 2014)

El extractante utilizado para recuperar el Cobre es una hidroxima, siendo las más comunes la aldoxima (2-hidroxi-5nonil salicilaldoxima) y la cetoxima (2-hidroxi-5 nonil acetofenonaoxima) (Torres, 2014). Esta reacción se ilustra en la siguiente figura:

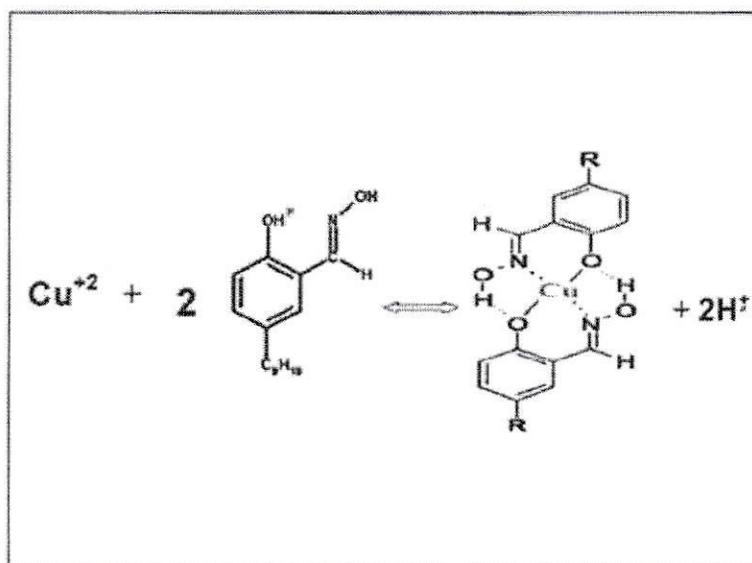


Figura 5: Esquema de reacción del hidroxima con el Cobre del proceso productivo de la Operación Mantoverde.

El electrolito cargado de Cobre es bombeado hacia la Planta de Electro-Obtención, donde por medio de la aplicación de corriente eléctrica continua a través de un ánodo/cátodo, se obtiene Cobre metálico electro-depositado y Ácido Sulfúrico que retorna al proceso de Lixiviación. (Pasten, 2013)

1.3.2 Caracterización Pre Operacional de la Quebrada Guamanga

A partir de la estructuración del Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Minero Mantoverde (EIA, 1993) se obtuvo información sobre la Quebrada Guamanga, caracterizándose las condiciones pre operacionales del sector y del acuífero.

A partir del Estudio Geológico realizado en esos años se determinó la existencia de Gradioritas, Adamelitas en el sector aguas arriba de la operación y la presencia de Tonalitas en la zona aguas abajo. (Bastidas y col, 1993). Este conjunto de rocas plutónicas poseen altas cantidades de Cuarzo (SiO_2), Plagioclasas $((\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_3\text{O}_8)$ y Feldespatos Alcalinos $((\text{K,Na,Ca,Ba,NH}_4)(\text{Si,Al})_4\text{O}_8)$ (Roca Plutónica, 2014) en diferentes proporciones, otorgando un basamento rocoso naturalmente alcalino.

Por otra parte los Estudios Hidrogeológicos de esa época determinaron que el acuífero era principalmente freático, con un coeficiente de almacenamiento de $3,3 \times 10^{-4}$ (adimensional) en sectores aguas arriba y de $2,3 \times 10^{-4}$ (adimensional) en el sector agua abajo (Bastidas y col, 1993), característico de acuíferos confinados. (Hidráulica, 2014) También se mostraron profundidades variables a lo largo de la quebrada con una pendiente descendiente en sentido este oeste, que se invertía en las cercanías de la operación comprometiendo parcialmente la continuidad del acuífero, lo anterior se puede evidenciar en el Anexo 1.

Como parte de los Estudios Hidrogeológicos realizados en 1993, se estimó la existencia de posibles recargas del acuífero, concluyendo que dadas las escasas precipitaciones, sumado a las condiciones térmicas de la zona, cualquier precipitación ocurrida era totalmente evapotranspirada, por lo que se descartó la recarga del acuífero producto de escorrentía e infiltraciones, y la existencia de otros acuíferos en el sector. (Bastidas y col, 1993)

Otro de los aportes en la caracterización de Quebrada Guamanga fue con los test de infiltración realizados en esos años, que mostraron infiltraciones en el orden de 0,02- 0,04 metros por día, (Bastidas y col, 1993) valores característicos de materiales limosos que son considerados prácticamente impermeables.

Finalmente en base al conjunto de estudios realizados en esos años, se determinó que el acuífero en un sistema confinado de 20 kilómetros de largo, 1 kilómetro de ancho promedio y un nivel saturado promedio de 35 metros. (Bastidas y col, 1993)

1.3.3 Calidad química del agua pre operacional del acuífero Guamanga.

En el ámbito químico, se realizaron dos campañas de monitoreo de calidad de las aguas subterráneas en Quebrada Guamanga en el año 1992, para un conjunto de parámetros que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 2: Resultados del monitoreo hidroquímico de calidad de agua de la campaña de Línea Base.

Pozo	Lab	pH	TSD mg/L	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	HCO ₃ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁻ mg/L	As mg/L	Cu mg/L
GWE-3	LQS	6,3	1540	267	51,7	180	10,6	79	577	535	0,01	0,05
	SGS	6,28	1920	160	49	366	-	59	528	580	0,01	0,05
	SGS	6,29	1919	160	49	365	-	59	528	559	-	-
	LQS	6,2	1535	251	64	183	10,9	76	549	534	-	-
GWP-1A	SGS	8	1693	130	34,1	373	13,2	46	586	696	-	-
GWP-1C	SGS	7,66	1673	147	32,2	373	13,4	24	577	684	-	-
GWP-2	SGS	7,59	2630	266	63,2	522	20,1	44	1195	732	-	-
	SGS	5,55	2620	272	62,8	520	19,7	44	1195	726	-	-
P-1730	LQS	5,8	3420	356	123,2	658	20,4	65	1164	868	0,01	0
	LQS	5,8	3495	356	130,6	626	20,8	65	1182	840	0,01	0
	SGS	6,06	3224	229	78	679	-	41	1196	694	-	-
	SGS	6,06	3373	227	77,2	630	-	41	1196	675	-	-
SWE-1	LQS	6,6	3965	593	28,8	538	13,5	77	1141	953	-	-
	LQS	6,6	3980	564	36,4	538	14,1	66	1190	1200	-	-

Tabla 3: Concentración de microelementos en aguas subterránea de los pozos de sondaje de Línea Base.

Pozo	Lab	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Cd mg/L	O2 mg/L	Hg mg/L	Pb mg/L	Se mg/L	Zn mg/L
GWE-3	LQS	0.03+	0,15	0,03	0	0	0	0	0	0,045+
	SGS	0,24+	<0,01	--	--	--	--	--	--	--
	CIMM	--	--	--	--	--	--	--	--	--
GWP-1C	LQS	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	SGS	<0,01	<0,01	--	--	--	--	--	--	--
	CIMM	--	0,75	--	--	--	--	--	--	--
GWP-2	LQS	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	SGS	<0,01	<0,01	--	--	--	--	--	--	--
	CIMM	--	1,6	--	--	--	--	--	--	--
P-1730	LQS	0.03+	--	0,03	0	0	0	0	0	0.11
	SGS	0,39	<0,01	--	--	--	--	--	--	--
	CIMM	--	--	--	--	--	--	--	--	--
SWE-1	LQS	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	SGS	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	CIMM	--	--	--	--	--	--	--	--	--

La ubicación geográfica de los puntos de monitoreo enunciados en la tabla 2 y 3 se puede visualizar en la figura 2.

1.3.4 Caracterización Operacional Actual de la Quebrada Guamanga

En el marco de la Declaración de Impacto Ambiental Continuidad Operacional Mantoverde (2) presentado en 2013, se elaboró un Estudio Hidrogeológico en cual se caracterizó el acuífero presente en el sector mina y el de la Quebrada Guamanga.

En el marco del Estudio Geológico realizado en 2013, por medio de los mapas regionales de SERNAGEOMIN se evidenció presencia de Gradioritas, Dioritas y Monzodioritas. (Adenda 4 DIA Continuidad Operacional Mantoverde (2), 2013), siendo esta última una roca plutónica también compuesta por Plagioclasas y Feldespatos. Esto ratifica la composición química caracterizada en la situación pre operacional.

Sumado a lo anterior, se describió la presencia de un sistema de falla que intersecta el acuífero en el sector sur de la quebrada, conectando el acuífero de Guamanga a otros cuerpos de agua ubicados al norte. (Adenda 4 de la DIA Continuidad Operacional Mantoverde (2), 2013) De esta forma se desmiente lo planteado en el EIA 1993, existiendo un punto de recarga del acuífero en el sector sur de la quebrada. En base a Estudios de Hidrogeología del año 2010, que cuantificó esta recarga en el orden de los 5 a 7 milímetros por año según el documento: “Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de los Acuíferos Costeros Ubicados entre Los Ríos Salado y Huasco, III Región de Atacama” (DGA, 2010).

En base a lo planteado anteriormente y los niveles piezométricos levantados en el año 2013 se estructuró un modelo de flujo de aguas del acuífero que se puede ver en la siguiente figura:

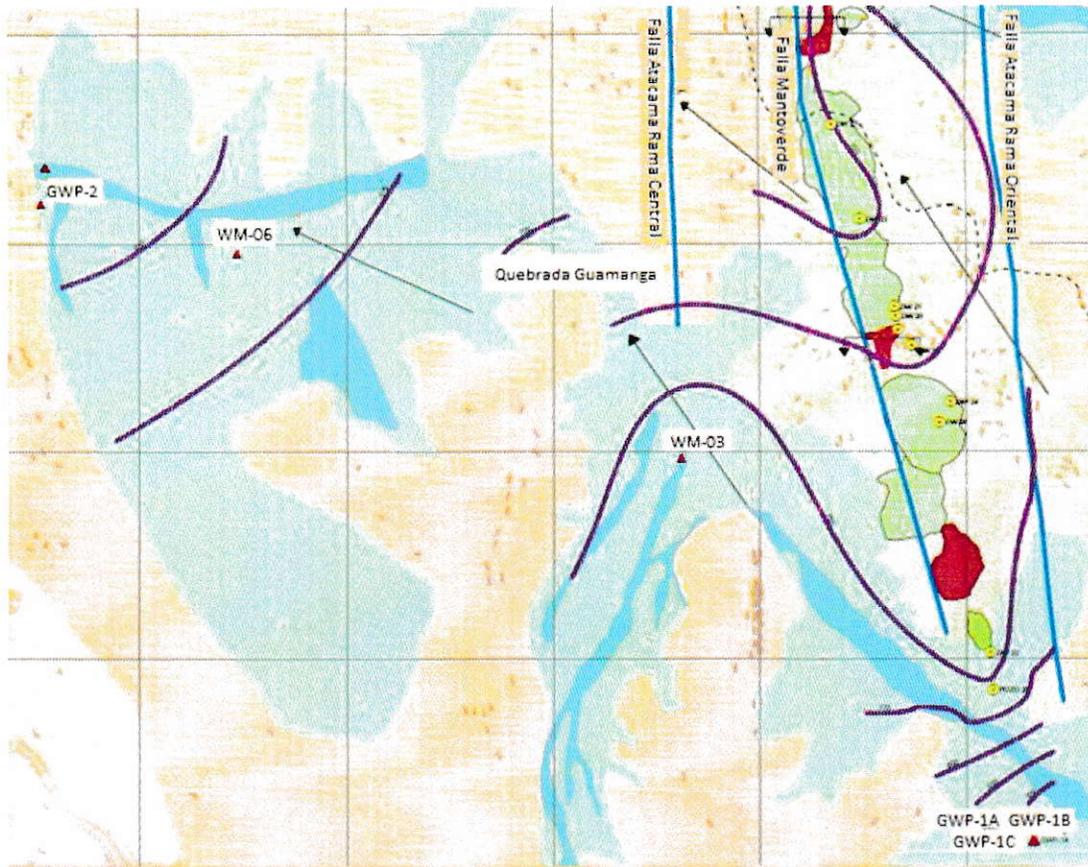


Figura 6: Acercamiento el plano de niveles piezómetros de la cuencas del Distrito Minero Mantoverde.

A partir de las isovalores mostrados en la figura (líneas moradas) se aprecia que el flujo del agua subterránea circula desde el sur de la Quebrada Guamanga hacia el noroeste, identificándose la presencia de otros acuíferos en el área sur y su punto de conexión a ellos, a través de la Falla Mantoverde (línea azul). También es posible ver el angostamiento del acuífero, el cual ocurre en las cercanías de la operación, aguas abajo del pozo WM-03 y que puede estar relacionado a la diferencia química entre ambos sectores del acuífero.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Estudiar y analizar la calidad de agua de la napa freática de la Quebrada Guamanga, investigando la evolución de ésta y la posible aparición de contaminantes a raíz de la entrada en operación de la Minera Mantoverde, comparando la situación pre-operacional, detallada en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA, 1993), con la situación post-operacional mostrada en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA, 2013).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente las condiciones del acuífero de la Quebrada Guamanga antes de la operación de la Minera Mantoverde, para los parámetros de pH, sólidos totales disueltos, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Bicarbonato, Cloruro, Sulfato y nivel freático.
- Caracterizar fisicoquímicamente las condiciones actuales del acuífero de la Quebrada Guamanga tras 20 años de operación de la Minera Mantoverde, para los parámetros de pH, sólidos totales disueltos, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Bicarbonato, Cloruro, Sulfato y nivel freático.
- Identificar presencia de contaminantes en la napa freática y su evolución desde la puesta en marcha de la operación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Documentos

Los materiales empleados en la elaboración de este Seminario de Título fueron los siguientes estudios e informes:

- Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Mantoverde 1993.
- Declaración de Impacto Ambiental Continuidad Operacional Mantoverde (2) 2013
- Adenda 4 del proceso de evaluación de Declaración de Impacto Ambiental Continuidad Operación Mantoverde (2), 2013.
- Informes mensuales y consolidados de calidad de aguas emitidos por el Centro de Estudios de Medición y Certificación de Calidad Copiapó (CESMEC).
- Informes históricos de calidad de aguas emitidos por el Laboratorio Químico Ambiental del Servicio Nacional de Geología y Minería de Copiapó. (SERNAGEOMIN).
- Informes históricos de calidad de aguas emitidos por el Centro de Investigación Minero y Metalurgia (CIMM).
- Plan de muestreo en terreno de CESMEC.
- Bases Técnicas del Contrato N 7.13.0008.1 “Monitoreo Hidroquímico”

Elementos tecnológicos usados:

- Software estadístico “Statistical Product and Service Solutions” (SPSS).
- Software Multipropósito Microsoft Office 2013.

2.2 Metodología

- Realizar la recopilación de todos los antecedentes del Estudio de Impacto Ambiental (1993), que permita caracterizar la situación pre-operacional de la Quebrada Guamanga (Estudios Geológicos, Metrológicos, Hidroquímico, Hidrogeológicos, etc.).
- Realizar la recopilación de todos los antecedentes de la Declaración de Impacto Ambiental (2013), que permita caracterizar la situación operacional actual de la Quebrada Guamanga (Estudios Geológicos, Metrológicos, Hidroquímico, Hidrogeológicos, etc.).
- Recopilar todos los informes históricos de monitoreo de calidad de aguas de la Quebrada Guamanga y unificarlos en una base de datos, con el correspondiente certificado digital del laboratorio.
- Realizar una limpieza de datos que permita eliminar todo aquel dato insuficiente, como los valores de límite de detección informados como resultado en los certificados de laboratorio o aquellos valores que presentaran una variación puntual superior al 30% del promedio del total de datos.
- Construir una tabla con los monitoreos realizados durante 2013 para los mismos parámetros analizados en el Estudio de Línea Base de 1993 y obtener promedio para cada uno de los punto de monitoreo, estableciéndolo como situación 2013.

- Realizar la gráfica de la situación operacional actual (DIA, 2013) para los parámetros de Línea Base, contraponiéndolo con la situación identificada en el Estudio de 1993.
- Asociar al gráfico anterior, la evolución del comportamiento histórico de los parámetros que forman parte del monitoreo histórico.
- Unificar las concentraciones de: Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Bicarbonato, Sulfato y Cloruro en miliequivalente por litro de cada punto de muestreo y mostrar ambas situaciones (1993-2013) por medio de Diagrama de Stiff.
- Realizar el análisis estadístico no paramétrico sobre los parámetros antes mencionado que permita asociar los puntos de muestreo por comportamiento químico para la situación de los años 1993 y 2013.
- Compilar las concentraciones para elementos trazas de los mismos parámetros investigados en el Estudio de Línea Base del año 1993 y evaluar comportamiento actual.
- Comparar las características de calidad química con otras estaciones de muestreo de la región de Atacama.
- Realizar un estudio de las bases técnicas y estructurar una guía de terreno para acompañar la campaña de muestreo verificando el cumplimiento de los puntos comprometidos en el contrato.
- Asistir a la visita de terreno del laboratorio CESMEC para el monitoreo de la calidad de aguas subterráneas de la Quebrada Guamanga

- Contraponer los resultados identificados en terreno y proponer mejoras.

III. RESULTADOS

El plan de monitoreo histórico de la calidad de las aguas subterránea de la Operación Mantoverde considera la medición mensual de los parámetros: nivel freático, pH, conductividad, STD, Cloruros y Sulfato, mes por mes se agrega la medición de Cobre y Arsénico. Sumando a lo anterior, de forma trimestral en los meses de Marzo, Julio y Noviembre se analiza las concentraciones de Aluminio, Cadmio, Cromo, Hierro, Manganesio, Mercurio, Selenio, Plomo y Zinc.

A partir de la recopilación histórica de los monitoreos de calidad de agua subterránea de la operación, se realizó un cuadro resumen con el promedio de las 12 campañas mensuales del año 2013 para los mismos parámetros del Estudio de Línea Base (EIA, 1993), y así tener un punto de comparación similar para evaluar la situación actual del acuífero:

Tabla 4: Resultados de la compilación del monitoreo hidroquímico de 2013.

Pozos	pH	Parámetros									
		STD mg/L	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	HCO ⁻³ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ⁼⁴ mg/L	As mg/L	Cu mg/L
GWP-1A	7	2055	384	31	450	14	51	616	614	0,002	<0,05
GWP-1B	7	2041	204	33	459	14	42	615	604	0,002	<0,05
GWP-1C	7	2015	196	31	451	14	43	602	605	0,002	<0,05
WM-03	7	3035	243	38	498	15	44	731	647	0,002	<0,05
WM-06	7	2898	386	74	698	21	48	1302	682	0,002	<0,05
GWP-2	7	3641	438	67	682	19	57	1411	701	0,004	<0,05

El detalle de la recopilación de las campañas de 2013 se aprecia en el Anexo 2

A continuación se detalla la descripción por parámetro de la situación actual mostrada en la tabla anterior, con la contraposición de la situación pre operacional mostrada en el Estudio de Línea Base enunciado en el marco teórico y la evolución del parámetro en el monitoreo histórico de calidad de agua subterránea de la operación:

3.1 pH

En la siguiente figura se muestra el comportamiento del pH en su situación pre operación (color azul) y la situación operación actual (color anaranjado), donde se puede apreciar que los pozos del sector BSK o aguas arriba (GWP-1A, GWP-B y GWP-1C) presentan un pH levemente inferior a los pH mostrados en el Estudio de Línea Base, disminuyendo en alrededor de un punto. En el caso de los pozos aguas abajo estos presentan actualmente un pH = 7 que es levemente superior al registrado en el Estudio de Línea Base del año 1993 (pH = 6,57). Al evaluar estas diferencias por el método estadístico análisis de varianza (Anova) se identificó que no existen diferencias significativas entre la situación pre operación y la situación actual ($p\text{-value} > 0,005$), el detalle de análisis se muestra en el Anexo 3.

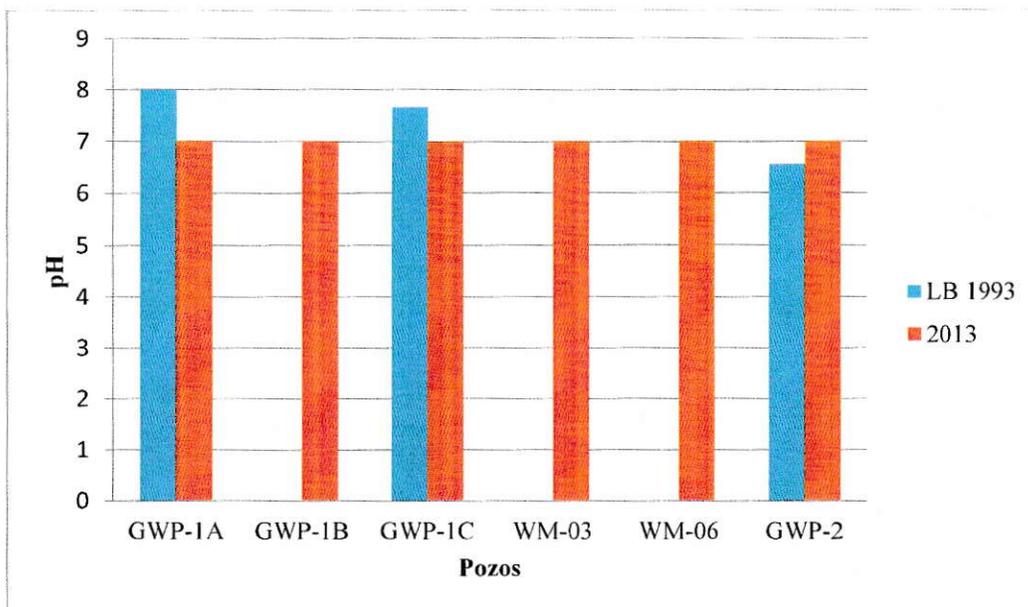


Figura 7: Comparación de pH entre la situación pre y post operacional.

Los valores guardan relación con la composición calcárea enunciada en los Estudios Geológicos, donde el basamento rocoso está compuesto por Plagioclasas y Feldespatos Alcalinos. Lo cual dificulta las actividades productivas de la operación, ya que deben mezclar mineral con Cobre, con diferentes porcentajes de Carbonato para que puedan ingresar a proceso, ya que altas concentraciones de Carbonato consumen mayores volúmenes de Ácido Sulfúrico generando la principal ganga del proceso (CaSO_4) como ilustra en la ecuación v (página 9).

Al ver la evolución del parámetro de pH, mostrada en la figura 8, se aprecia la tendencia básica del conjunto de pozos, presentando desde el año 1997 hasta el año 2007 valores de pH superiores a 7.5. En el año 2008 se aprecia una disminución puntual de pH en los pozos del sector Gighlino (P-1730 y GWP-2) que no se mantiene hacia fines de ese año,

pero si constituye un precedente de alteración puntual de las condiciones fisicoquímicas del acuífero.

A partir de año 2009, se identificó que los valores de pH cambiaron de ser valores con decimales a números enteros, lo cual puede indicar un cambio en la metodología de medición. Al verificar las campañas de mediciones en terreno en los meses de Febrero, Marzo y Abril se evidenció el uso de una técnica colorimétrica (papel pH) que explica el sesgo de este parámetro, el cual resulta insuficiente para entregar una visión de la situación actual del acuífero.

Si se evalúa el cambio en los resultados de pH por tipo de método, potenciométrico (datos entre los años 1997 y 2008) y colorimétrico (datos de 2009 en adelante) por análisis de varianza (Anova) resulta insignificante, presentando valores de p-value $>0,005$ por lo tanto no son cambios significativos en los valores de pH entre los períodos evaluados. El detalle de este análisis se ilustra en el Anexo 3.

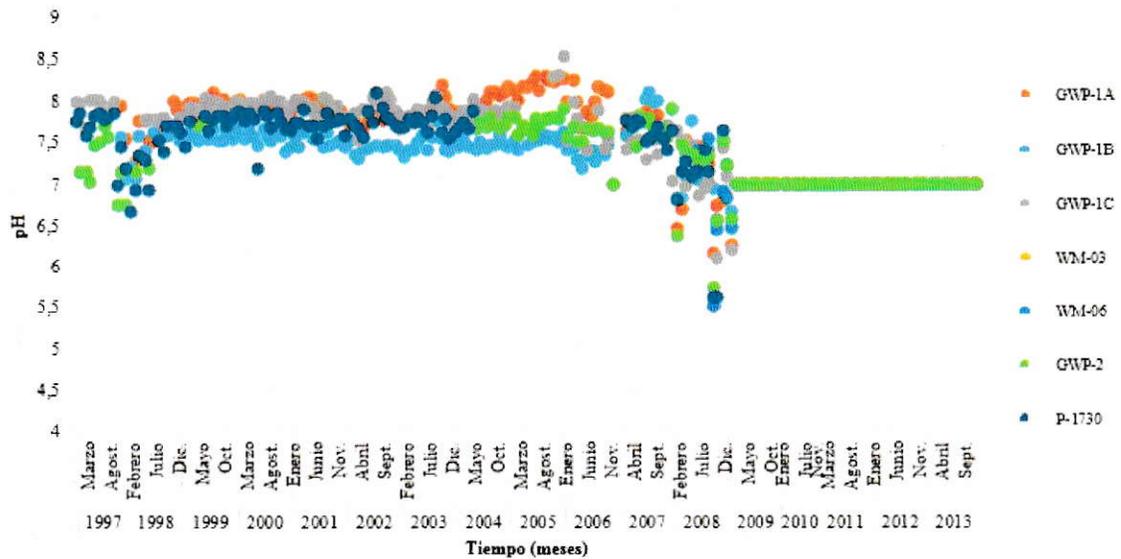


Figura 8: Evolución del pH en los pozos de monitoreo.

3.2 Sólidos Totales Disueltos (STD)

En la siguiente figura se aprecian las concentraciones de STD de Línea Base (color azul) y las obtenidas en la campaña de 2013 (color anaranjado). De forma general se puede agrupar el comportamiento por pozos, siendo los pozos aguas arriba (sector BSK) aquellos que poseen concentraciones de 2000 mg/L, mientras que en los pozos aguas abajo presentan concentraciones promedio de 3000 mg/L. Ahora bien, al comparar la situación pre operacional con la situación actual, se observa que los pozos aguas arriba presentaron un incremento aproximado de un 25% mientras que en el sector aguas abajo, específicamente el pozo del sector Gighlino sufrió un incremento del 38%.

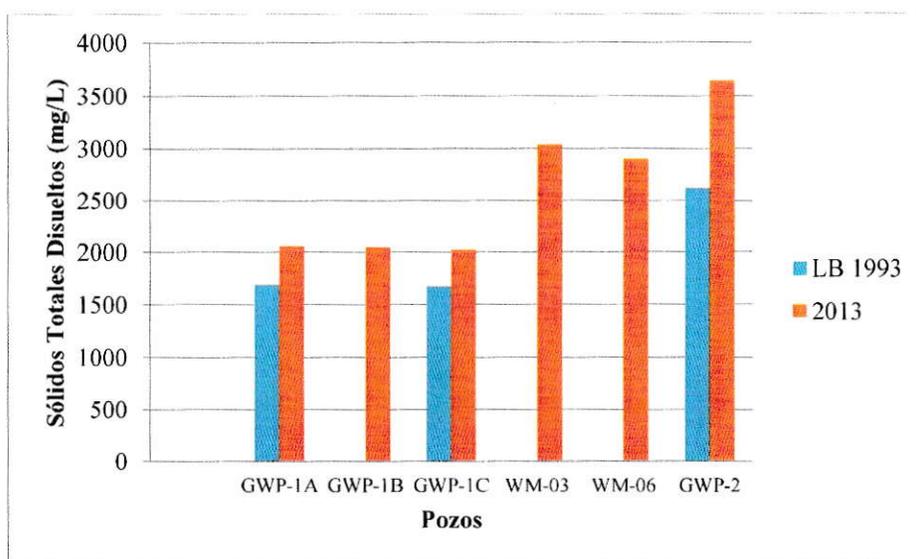


Figura 9: Comparación de sólidos totales disueltos entre la situación pre y post operacional.

Al ver la evolución de los STD en la figura 11, se hace más notoria la diferencia entre los puntos de monitoreo, presentando tendencias marcadas de comportamiento entre los pozos aguas arriba y aguas abajo. Los pozos aguas arriba (color celeste, anaranjado y gris) son los que presentan concentraciones entre los 2000 mg/L a 2500 mg/L. En el caso de los pozos agua abajo, se aprecian concentraciones de 3500 mg/L para los pozos del sector Gighlino (GWP-2 y P-1730) y aquellos pozos como WM-03 y WM-06 que se integran al plan de monitoreo en el año 2009, se muestran oscilantes entre las concentraciones de 2500 mg/L a los 3500 mg/L.

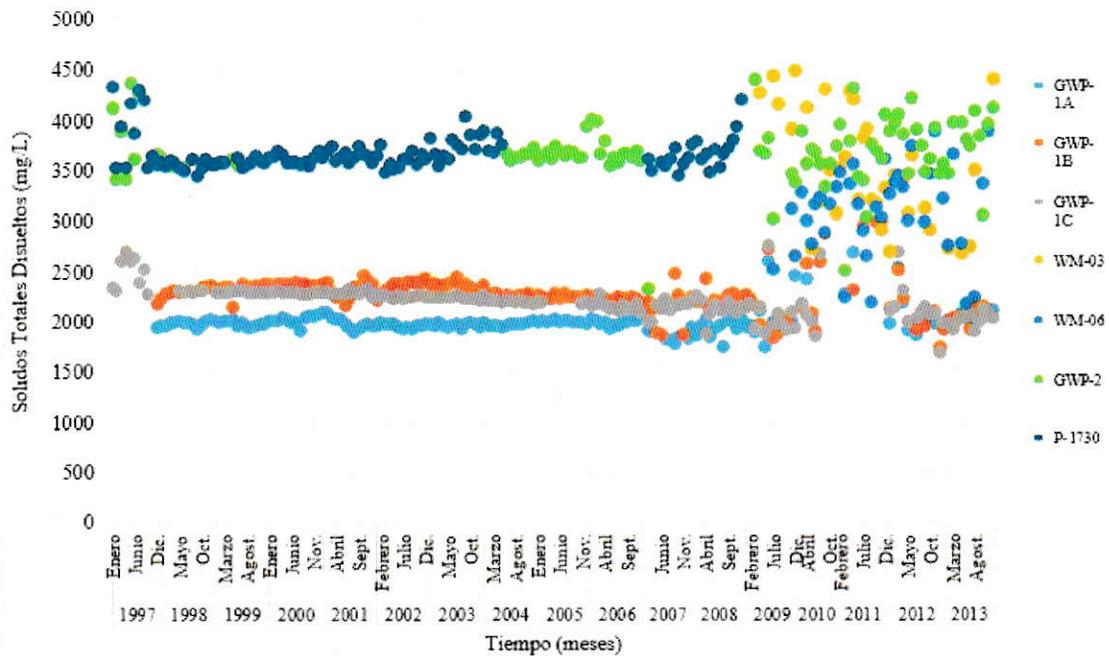


Figura 10: Evolución de los sólidos totales disueltos en los pozos de monitoreo.

Las concentraciones de STD antes mostradas guardan relación con la presencia de cationes como el Sodio, Potasio, y aniones como Cloruros, Sulfatos entre otros, estando estrechamente asociado a la naturaleza del basamento rocoso, como se evidenció en el Estudio Geológico del EIA Proyecto Minero Mantoverde (1993), y en el Estudio Geológico de la DIA Continuidad Operacional Mantoverde (2), del año 2013.

3.3 Concentración de Calcio

Al observar la siguiente figura, con las concentraciones pre operaciones (color azul) y las concentraciones operaciones actuales (color anaranjado) no se aprecia una tendencia clara, ya que las concentraciones actuales en pozos agua arriba son variables, oscilando entre los 200 mg/L a los 380 mg/L, mientras que en el sector aguas abajo varía entre los 240 mg/L a los 430 mg/L aproximadamente. Al analizar el cambio entre la situación pre

operacional a la situación actual se observa un incremento en ambos sectores que va desde el 33% al 200% aproximadamente en el caso del pozo GWP-1 A.

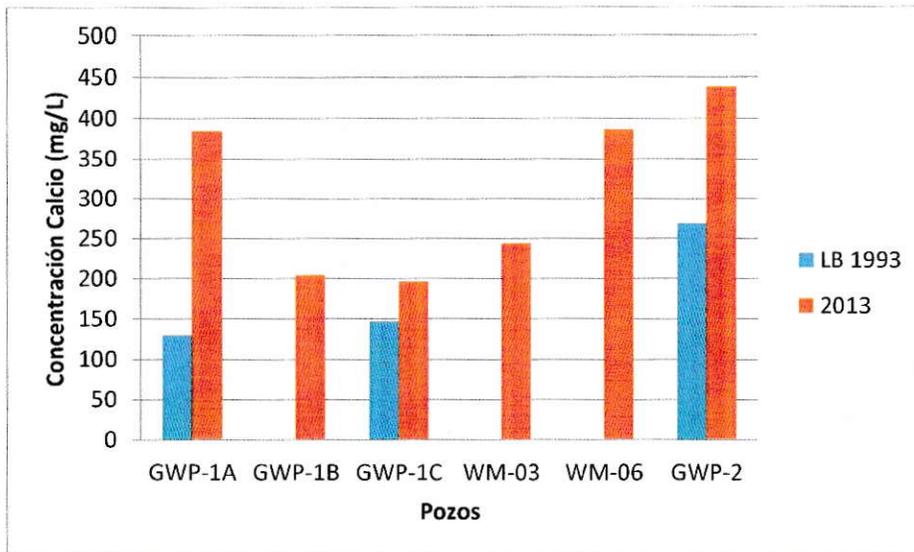


Figura 11: Comparación de la concentración de Calcio entre la situación pre y post operacional.

Este tipo de catión está asociado a la composición litológica del sector, ya que como se mostró en el marco teórico forma parte del sustrato natural del sector, siendo aportado desde las sales propias de los Feldespatos, Plagioclasas y de los Carbonatos de Calcio que abundan en el sector, como se ilustra en la ecuación v (página 9) son la principal ganga del proceso productivo.

No existe registro de la evolución histórica de este parámetro, ya que no forma parte del grupo de parámetros que se monitorea mensualmente en la operación. Sólo hay registro en la Línea Base y en algunas campañas de 2013 de la Gerencia de Proyectos.

3.4 Concentración de Magnesio

Al ver la siguiente figura, donde se detalla las concentraciones pre operacionales (color azul) y operacionales actuales (color anaranjado), se evidencia la tendencia mostrada en los STD, donde las concentraciones dependen de su ubicación en la quebrada, siendo los pozos aguas arriba los que menores concentraciones presentan y los pozos aguas abajo los que mayores concentraciones tienen, tanto pre operacional como situación actual.

De esta forma tanto en el Estudio de Línea Base como la campaña de 2013 los pozos del sector del sector BSK (aguas arriba) presentaron concentraciones de aproximadamente 30 mg/L, mientras que en la medida que se avanza hacia el poniente en la quebrada (WM-03 y WM-06) aumenta progresivamente hasta llegar a los 70 mg/L aproximadamente en el sector Gighlino.

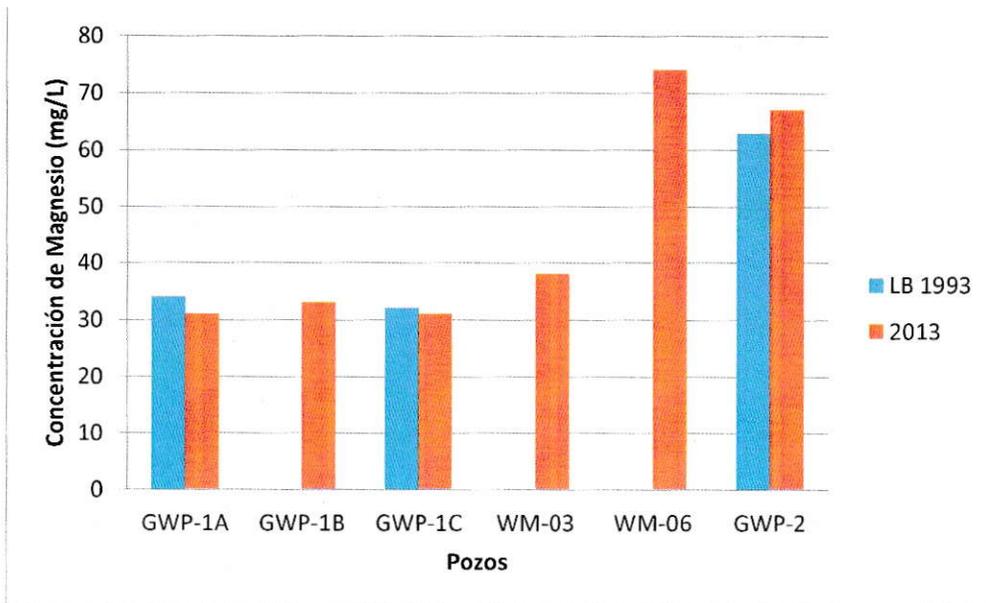


Figura 12: Comparación de la concentración de Magnesio entre la situación pre y post operacional.



Este catión, al igual que el Calcio proviene de la roca madre del sector y aporta a las concentraciones de STD identificadas anteriormente.

Este parámetro no forma parte del stock mensual de monitoreo histórico, por lo que no se tiene registro de su comportamiento a lo largo de los años.

3.5 Concentración de Sodio

En la siguiente figura se muestran las concentraciones de Sodio tanto pre operacional como situación actual, con igual clasificación de color que las gráficas anteriores.

La concentración de Sodio muestra una tendencia similar a lo anterior, con valores de 450 mg/L en los pozos del sector BSK (aguas arriba) que se han incrementado en alrededor de un 20% en 20 años, mientras que en los pozos del sector Gighlino actualmente están en el rango de los 680 mg/L con un incremento del 30 % aproximadamente.

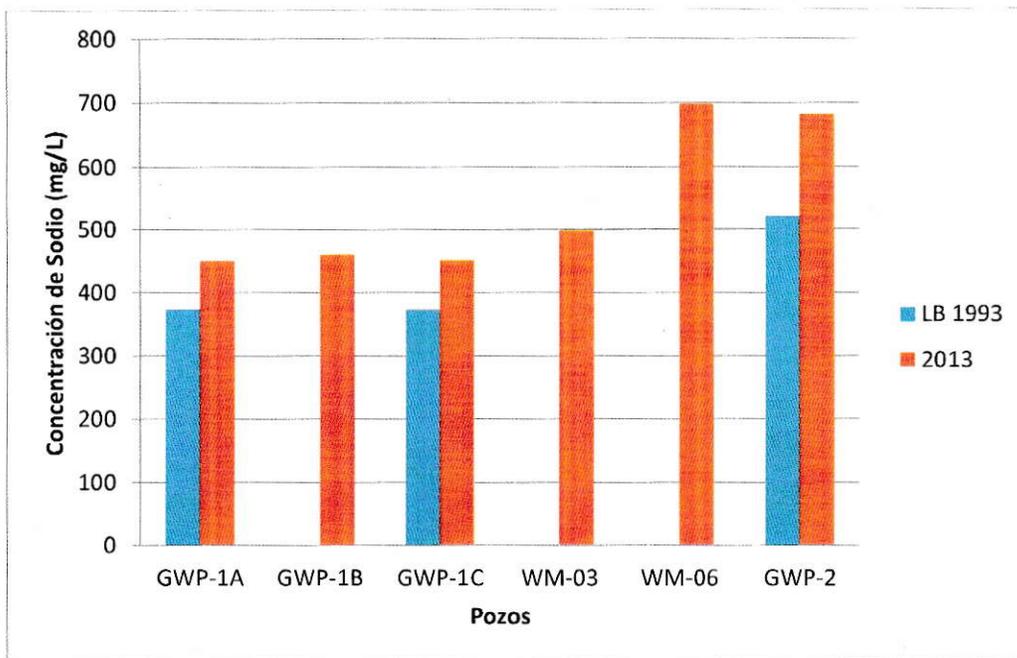


Figura 13: Comparación de la concentración de Sodio entre la situación pre y post operacional.

Si bien, este catión forma parte del sustrato natural, presenta mayores concentraciones que el Calcio y Magnesio, debido a que son sales muy solubles.

Este parámetro no forma parte del stock de mediciones mensuales de la campaña de monitoreo.

3.6 Concentración de Potasio

Al ver la siguiente figura, donde se muestran las concentraciones de Potasio, con igual clasificación de colores que las gráficas anteriores, se evidencian diferencias zonales entre ambos sectores de muestreo, mientras los pozos aguas arriba (sector BSK) presentan concentraciones promedio de 14 mg/L, los pozos aguas abajo llegan a los 20 mg/L. Sin

embargo, a diferencia de la concentración de Sodio, tras 20 años de operación, no se identifica un aumento entre la situación pre operacional y situación actual.

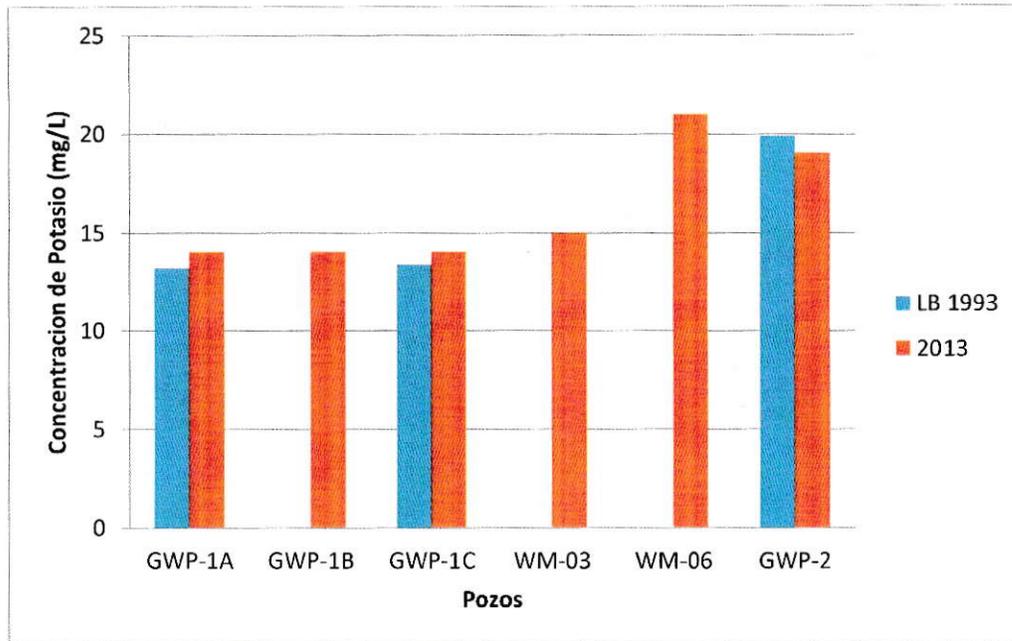


Figura 14: Comparación de la concentración de Potasio entre la situación pre y post operacional.

3.7 Concentración de Bicarbonato

En la siguiente figura, se muestran las concentraciones de Bicarbonato, con igual clasificación de color que las gráficas anteriores. Al igual que el Calcio, muestra concentraciones variables a lo largo de los pozos, no estando asociado por punto de muestreo, por lo que no hay diferencias entre el sector aguas arriba o aguas abajo. Estas concentraciones van desde los 24 mg/L a los 57 mg/L.

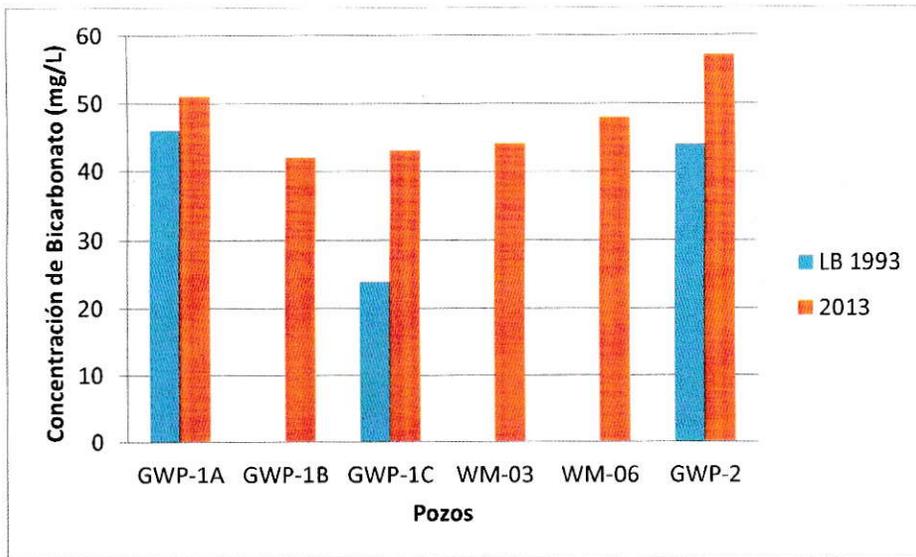


Figura 15: Comparación de la concentración de Bicarbonato entre la situación pre y post operacional.

Al analizar la evolución del Bicarbonato en su conjunto, se aprecia una tendencia diferenciadora en el período entre los años 2000 a 2006 entre los punto de muestreo, como se ve en la figura 16. Los pozos GWP-1A y GWP-1B (sector aguas arriba) presentan concentraciones en el rango de los 80 mg/L mientras que otros pozos como el pozo P-1730 (tono azulino) o GWP-2 (tono verde) presentan concentraciones en el rango de los 50 mg/L.

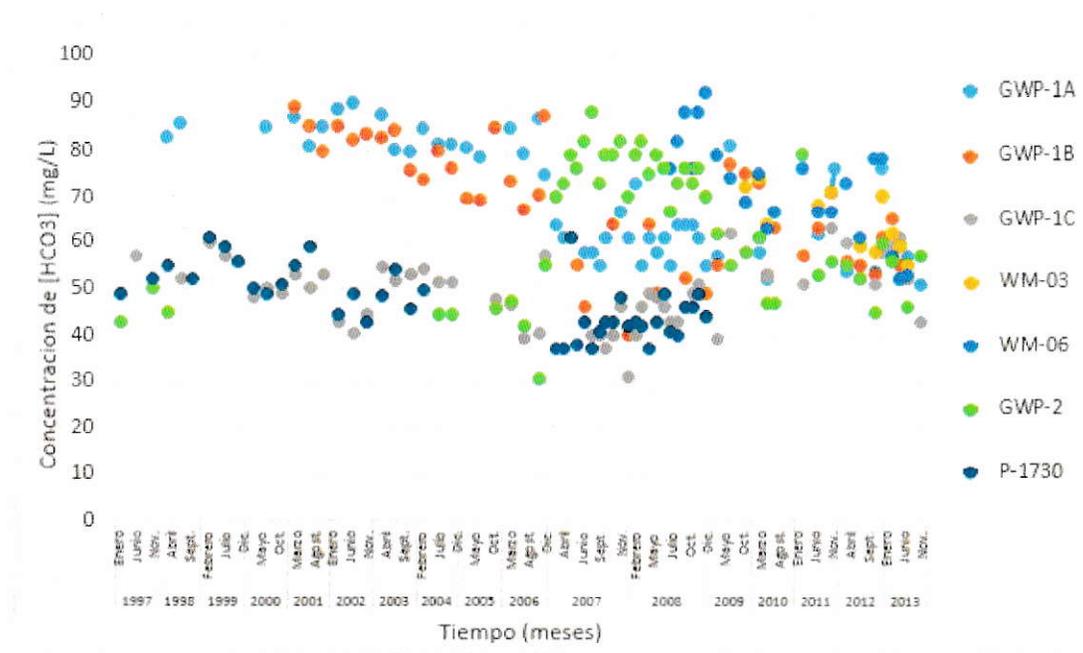
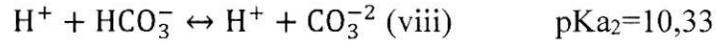
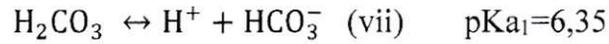


Figura 16: Evolución de la concentración de Bicarbonato en los pozos de monitoreo.

Es de esperar que aquellos pozos con mayores concentraciones de Bicarbonato (GWP-1A y GWP-1B) presentarán mayores valores de pH que los pozos aguas abajo. Al ver el comportamiento del pH entre los años 2000 al 2006 que se ilustra en la figura 17, se aprecia un comportamiento básico entre pH 7,4 y pH 8, pero al agrupar el comportamiento de pH por sector de ubicación del pozo, se aprecia que el pozos aguas arriba GWP-1A presenta concentraciones superiores a pH 7,8, mientras que el otro pozos aguas arriba (GWP-1B), presenta concentraciones promedio de pH 7,5. Al homologar el ejercicio con los pozos aguas abajo, que presentan concentraciones de Bicarbonato inferiores a los pozos del sector aguas arriba, se aprecia que el pozo P-1730 presenta un pH promedio de 7,7 mientras que el otro pozo aguas abajo (GWP-2) presenta pH promedio de 7,6, no identificándose una diferencia clara entre los pH y las concentraciones de Bicarbonatos.

Este comportamiento se debe a la influencia del equilibrio ácido base del Ácido Carbónico, el cual se muestra a continuación:



Al observar este equilibrio del Ácido Carbónico se aprecia las constantes de disociación respectivas a cada etapa. Identificándose que en la primera etapa, el Ácido Carbónico es más fuerte como ácido que el Bicarbonato como base, por lo que el Ácido Carbónico tiende a disolverse y el equilibrio esta desplazado hacia los productos, encontrándose mayores concentraciones de Bicarbonato. En el caso del segundo equilibrio, se aprecia que la constante de disolución del Bicarbonato es mucho mayor, siendo una base más fuerte en comparación con el Carbonato, por lo que el equilibrio esta desplazado hacia los reactantes, encontrándose la mayoría como Bicarbonato. El comportamiento antes enunciado explica las altas concentraciones de Bicarbonato identificadas.

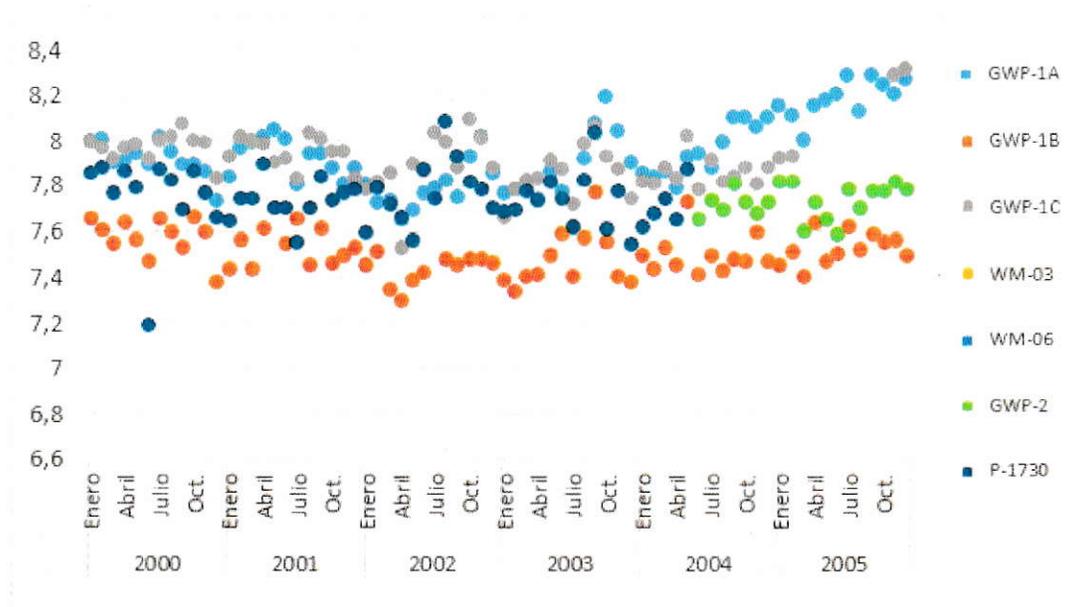


Figura 17: Evolución del pH en el período 2000 a 2006.

3.8 Concentración de Cloruro

En la siguiente figura se muestran las concentraciones de Cloruro, con igual clasificación de color que los parámetros anteriores. Para este parámetro se observa que sigue el patrón de los STD y los cationes como Magnesio o Potasio, siendo los puntos aguas arriba aquellos con menor concentraciones de Cloruro en el rango de los 600 mg/L mientras que los pozos aguas abajo llegan a los 1400 mg/L, mostró un alza en la medida que se avanza hacia el poniente en los pozos de la Quebrada Guamanga. Al analizar las variaciones en las concentraciones pre operaciones y las actuales no se evidencian grandes alzas en el sector aguas arriba, mientras que en el pozos del sector Gighlino llega a 18 % el incremento en 20 años de operación.

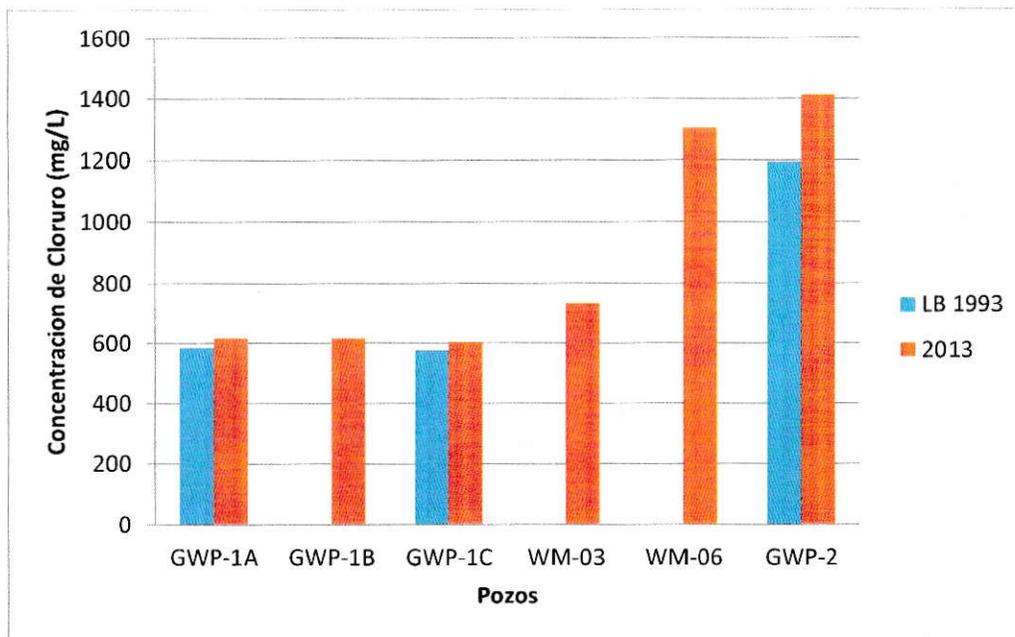


Figura 18: Comparación de la concentración de Cloruro entre la situación pre y post operacional.

Al observar el comportamiento histórico del parámetro en la figura 19, se confirma la tendencia diferenciadora entre los lugares de muestreo, siendo los pozos del sector Gighlino los que mayores concentraciones presentan entre los años 1997 y 2009. A partir del año 2009 se hace errática las concentraciones de Cloruro lo cual evidencia el deterioro del acuífero en términos de su calidad.

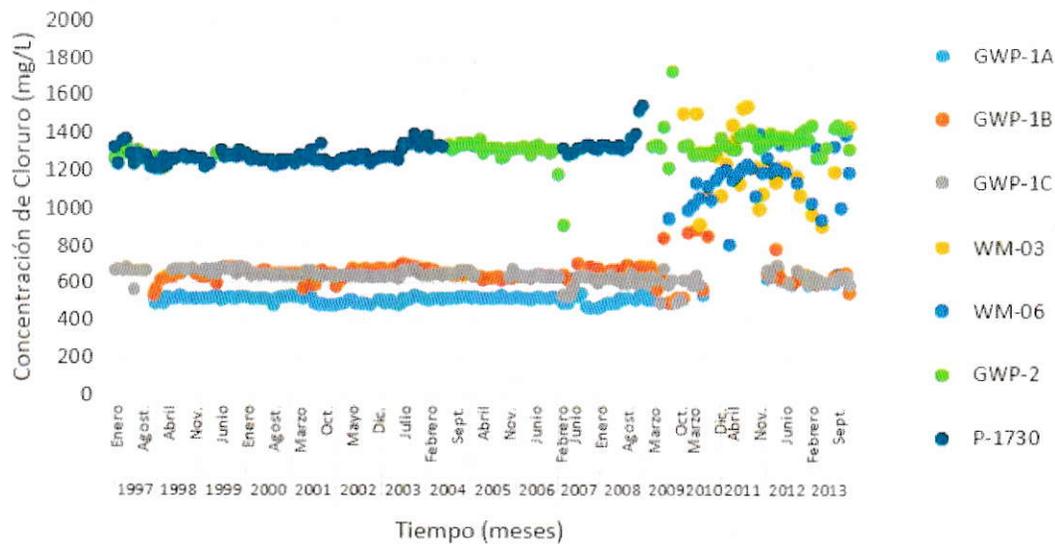


Figura 19: Evolución de la concentración de Cloruro en los pozos de monitoreo.

Se cree que el Cloruro es aportado principalmente por el mineral Atacamita ($\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$) como se ilustra en la ecuación iv (página 9), ya que el yacimiento minero es de Óxidos de Cobre principalmente.

3.9 Concentración de Sulfato

Al ver la siguiente figura, donde se muestran las concentraciones de Sulfato con igual clasificación de color que las anteriores, se ve que no existe una diferenciación por sitio de muestreo, y que este parámetro oscila entre los 600 mg/L a 700 mg/L a lo largo de los pozos de la quebrada, no presentando alzas significativas entre los datos pre operacionales y actuales.

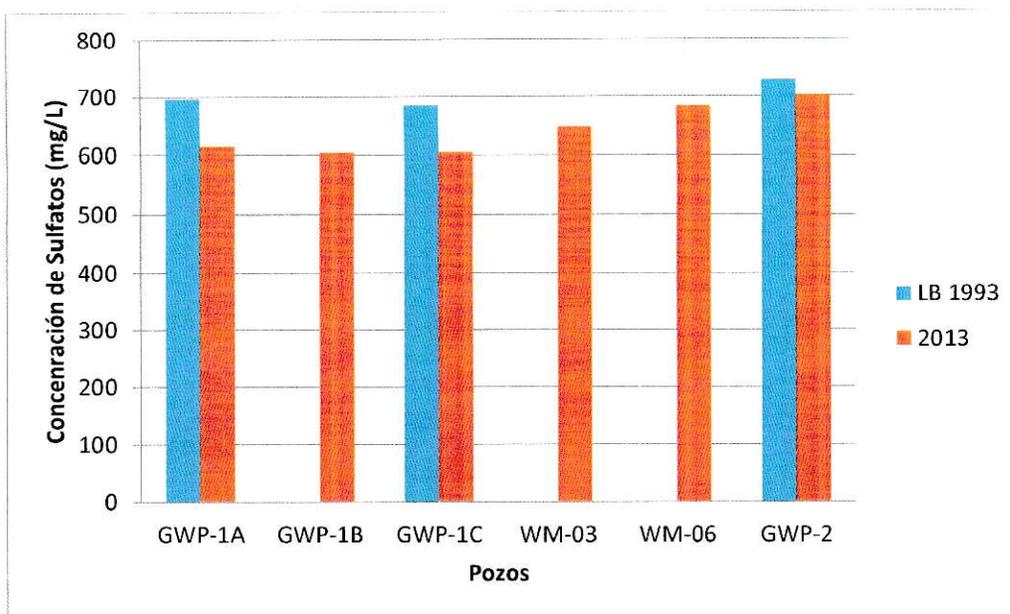
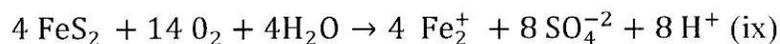


Figura 20: Comparación de la concentración de Sulfato entre la situación pre y post operacional.

Al observar el comportamiento global en el monitoreo histórico, que se detalla en la figura 21, se corrobora la tendencia antes identificada, donde no se diferencian por punto de muestreo y la concentraciones se mantienen en el rango de los 700 mg/L, observándose mayores oscilaciones a partir de 2009. Esta homogeneidad a lo largo de los punto de monitoreo del acuífero se debe a su origen, ya que está asociado a los pocos minerales Sulfurados existentes en el área, los cuales son limitados por el tipo de yacimiento (Óxidos de Cobre). Un ejemplo de este tipo de mineral es la Pirita, que al contacto con el agua entrega Sulfato al medio como se muestra a continuación



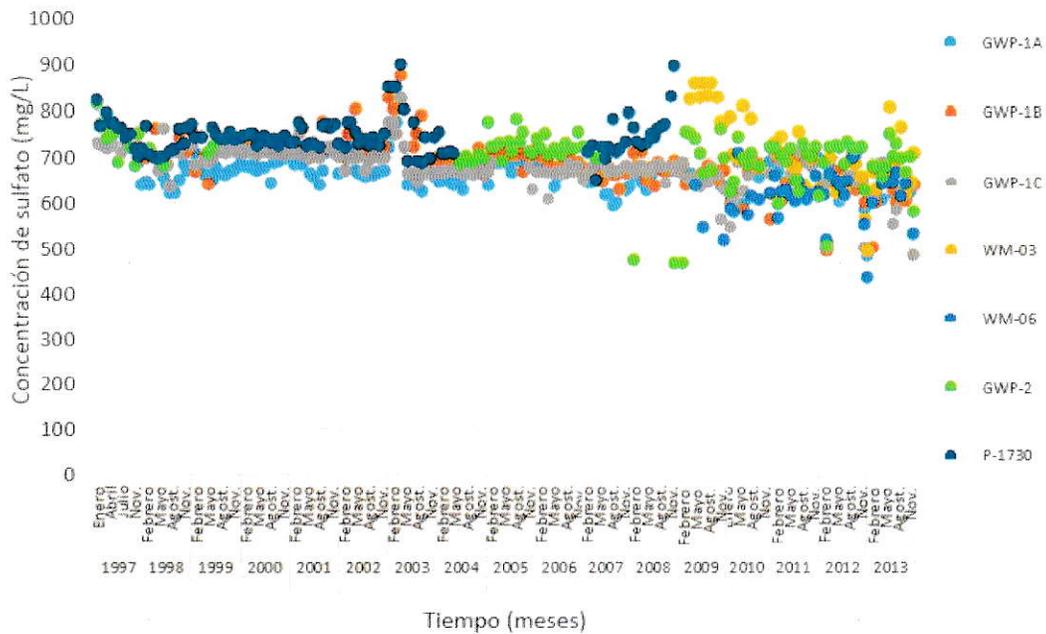


Figura 21: Evolución de la concentración de Sulfato en los pozos de monitoreo.

Como se vio en los resultados anteriores existen ciertos parámetros como son los: STD, Sodio, Potasio, Magnesio y Cloruro que presentan un comportamiento relacionados a los puntos de monitoreo, siendo los sectores aguas arriba los que menores concentraciones presentan en comparación con los sectores de agua abajo.

Para visualizar este comportamiento, por punto de muestreo se buscó representarlo por medio de Diagramas de Stiff, donde los iones Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Bicarbonato, Cloruro y Sulfato son expresados en miliequivalente por litro, como se detalla en las siguientes tablas:

Tabla 5: Concentraciones de los iones en la campaña de Línea Base EIA, 1993.

	Parámetro	Puntos de muestreo				
		GWP-1A	GWP-1C	GWE-3	GWP-2	P-1730
Concentración mg/L	HCO3	46	24	68,25	44	53
	Cl	586	577	545,5	1195	1184,5
	SO4	696	684	552	729	769,25
	Ca	130	147	209,5	269	292
	Mg	34,1	32,2	53,4	63	102,25
	Na+K	386,2	386,4	284,25	540,9	668,8
Concentración mequivalentes/L	HCO3	0,75	0,39	1,12	0,72	0,87
	Cl	16,53	16,28	15,39	33,71	33,41
	SO4	5,44	5,34	4,31	5,70	6,01
	Ca	1,62	1,83	2,61	3,36	3,64
	Mg	0,70	0,66	1,10	1,30	2,10
	Na+K	6,22	6,23	4,58	8,71	10,77

Tabla 6: Concentraciones de los iones en la campaña 2013.

	Parámetro	Puntos de Muestreo					
		GWP-1A	GWP-1B	GWP-1C	WM-03	WM-06	GWP-2
Concentración mg/L	HCO3	51	42	43	44	48	57
	Cl	616	615	602	731	1302	1411
	SO4	614	604	605	647	682	701
	Ca	215	204	196	243	386	438
	Mg	31	33	31	38	74	67
	Na+K	464	473	465	513	719	701
Concentración mequivalentes/L	HCO3	0,84	0,69	0,71	0,72	0,79	0,93
	Cl	17,38	17,35	16,98	20,62	36,73	39,80
	SO4	4,80	4,72	4,73	5,05	5,33	5,48
	Ca	2,68	2,55	2,45	3,03	4,82	5,47
	Mg	0,64	0,68	0,64	0,78	1,52	1,38
	Na+K	7,48	7,62	7,49	8,26	11,58	11,29

A partir de las tablas 5 y 6 se estructuró el Diagrama de Stiff que se muestra a continuación:

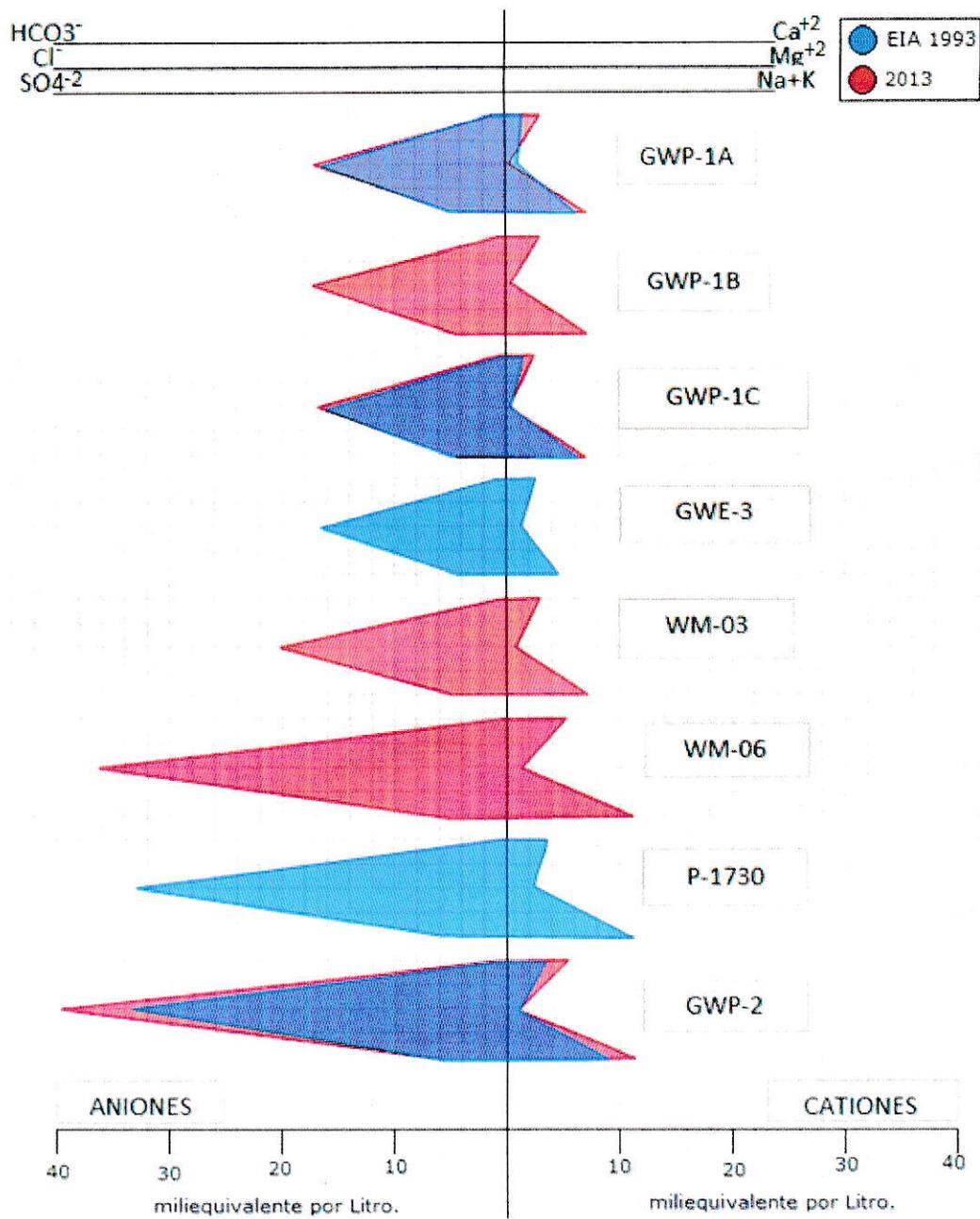


Figura 22: Diagrama de Stiff.

En el diagrama de Stiff se aprecian polígonos en tono azul, los cuales representan la situación pre operación detalla en el EIA, (1993) y en tono rojizo la situación operación actual en base al promedio de las campañas realizadas en 2013. De forma vertical están organizados por punto de muestreo en Quebrada Guamanga, estando en la parte superior los pozos aguas arriba de la operación y los polígonos inferiores corresponden a los pozos aguas abajo.

De forma general se aprecia que los polígonos superiores (pozos aguas arriba, BSK) presentan un tamaño similar entre sí y comparativamente menor que los polígonos del sector Gighlino (aguas abajo). Es así como los pozos WM-03, que se encuentran en la inmediación de la Operación Mantoverde se observa un incremento en las concentraciones de Cloruro y Sodio y en la medida que se baja por la Quebrada Guamanga, los pozos aumentan el tamaño de su polígono principalmente para los iones de Sodio, Potasio y Cloruro.

Al observar la comparación pre operacional y situación actual mostrada se aprecia que tanto aguas arriba como aguas abajo han sufrido un aumento de las concentraciones de Cloruro, Calcio y Sodio, siendo el sector aguas abajo, aquel que presenta un mayor aumento. Estos resultados están en sintonía con las tendencias identificadas anteriormente y tienden a confirmar la existencia del zócalo identificado en el Estudio de Línea Base que compromete la continuidad de este.

Sumado a los parámetros de Línea Base antes mostrados, la campaña de monitoreo de la operación considera las mediciones de niveles freáticos en los pozos, como se mencionó anteriormente, ya que esto emana de un compromiso adquirido en la RCA 0/1993:

3.10 Nivel Freático

El nivel freático es medido con un pozómetro, el cual está constituido por un electrodo unido a una cuerda graduada que al contacto con el agua emite un sonido, permitiendo identificar la profundidad a la que se encuentra el agua.

Para analizar este parámetro es necesario diferenciar los niveles freáticos por tipo de pozo, agrupando aquellos pozos estáticos (no bombeados), como son los pozos: GWP-1A, GWP-1B, WM-03 y WM-06 que se muestran en la siguiente figura:

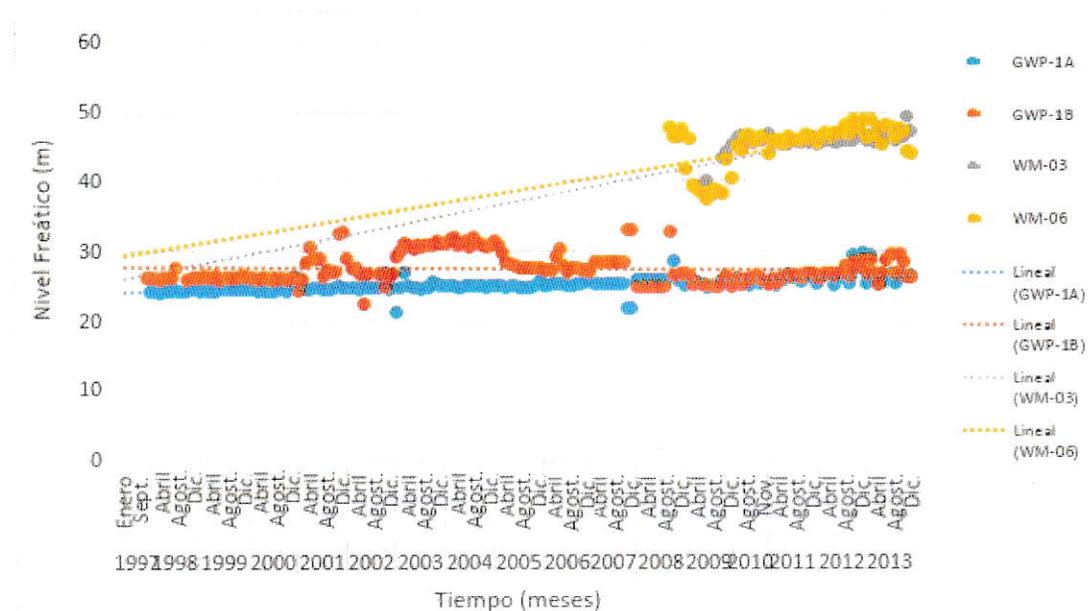


Figura 23: Evolución de los niveles freáticos de los pozos estáticos.

En esta figura es posible ver que los pozos del sector BSK (GWP-1A y 1B) aguas arriba tienen niveles freáticos en el rango de los 25 metros de profundidad, el cual no ha variado sustancialmente, presentando un aumento de unos 3 a 5 metros entre los años 2012 y 2013. En el caso de los pozos WM- 03 y WM-06 presentan el nivel freático de 45 metros

aproximadamente, con un período alterado en 2009 que se normalizo entre los años 2012 a 2013.

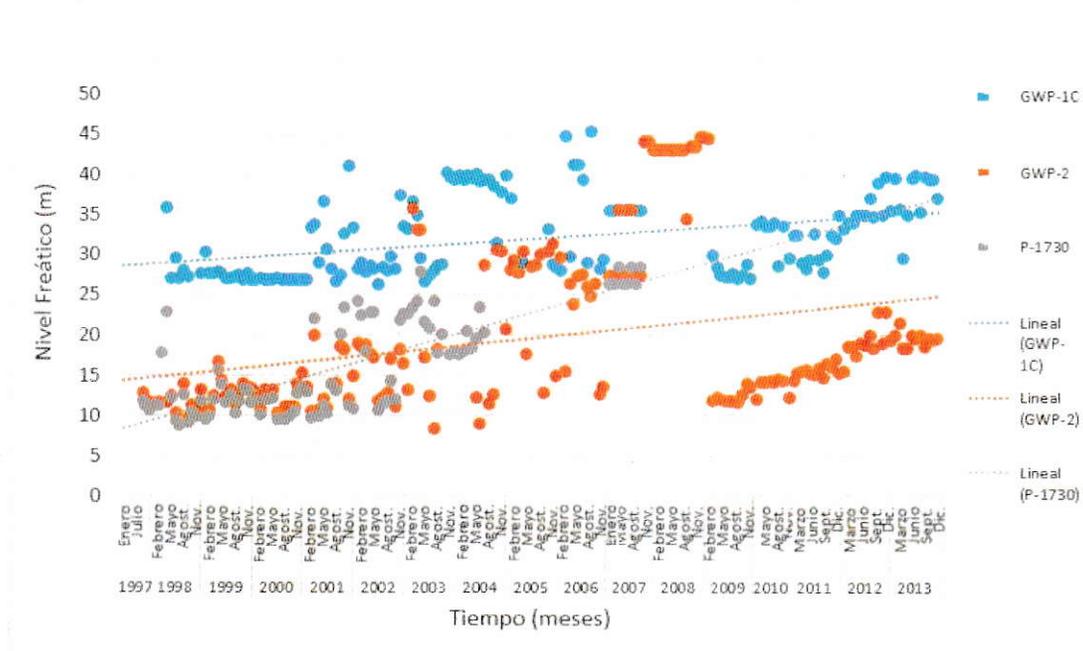


Figura 24: Evolución de los niveles freaticos de los pozos dinámicos.

Al ver el comportamiento de los niveles freáticos de los pozos dinámicos (pozos de bombeo), se aprecia que existen fuertes disminuciones del nivel freático relacionadas a períodos intensivos de extracción de agua, mientras que los aumentos del nivel freático se relacionan a períodos de ausencia de bombeo de agua.

Al ver en detalle, el pozos GWP-1C que es del sector aguas arriba presenta un nivel freático en el orden de los 25 metros en el año 1998, llegando en la actualidad a un promedio de 40 metros de profundidad en el año 2013. Al aplicar la línea de tendencias se evidencia este aumento del nivel freático variando alrededor de 15 metros.

Al realizar el mismo ejercicio para el pozo del sector Gighlino, (GWP-2) que mostraba nivel freático de 12 metros de profundidad en el año 1998, llega hoy a un promedio de profundidad de 20 metros en el año 2013, y se identifican fuertes alzas de nivel freático en algunos períodos.

Este descenso de los niveles freáticos en el conjunto de pozos es evidente, sin embargo, los pozos han sido impactados de forma diferenciada, siendo el pozos del sector BSK (aguas arriba) el que ha descendido aproximadamente 15 metros promedio en 15 años, mientras el pozo del sector Gighlino ha descendido hasta 30 metros variando su nivel freático en el período de 2008. Este impacto diferenciado en los pozos se cree está asociada a las tasas de bombeo, ya que mientras en el pozos del sector BSK existe un derecho de aguas de 3,3 L/s, en sector Gighlino se puede bombear hasta los 7,5 L/s, lo cual es respaldado por la resolución exenta N° 348 de la DGA que se ilustra en el Anexo 4. Al contextualizar las tasas de extracción con el coeficiente de almacenamiento del acuífero, se evidencia que aquel sector con menor potencial (menor coeficiente de almacenamiento) posee mayores tasas extractivas de aguas. En el pozo del sector Gighlino, es de $2,3 \times 10^{-4}$ (adimensional), mientras que en el sector aguas arriba es de $3,3 \times 10^{-4}$ (adimensional).

Los niveles freáticos están directamente relacionados con las concentraciones de iones antes vistos, ya que si bien los iones antes mostrados forman parte del acuífero en circunstancias naturales, los volúmenes cada vez más reducidos de agua producen la concentración de iones naturalmente existentes en él, mermando la calidad química del acuífero, debido a la alta presencia de sales disueltas.

Los resultados obtenidos anteriormente vuelven a plantear la diferenciación de los puntos de muestreo que se visualizó por medio de Diagrama de Stiff. Para dar un soporte formal, se analizó por medio del método “Análisis de Clúster”, para cada una de las situaciones, tanto pre operacional como actual. La asociación de puntos de muestreo del año 1993, se hizo en base al conjunto de parámetros de Línea Base, que fueron: pH, STD, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} y SO_4^{-2} . El detalle del análisis de clúster se presenta en el Anexo 5 y el resultado de agrupación se ilustra a continuación:

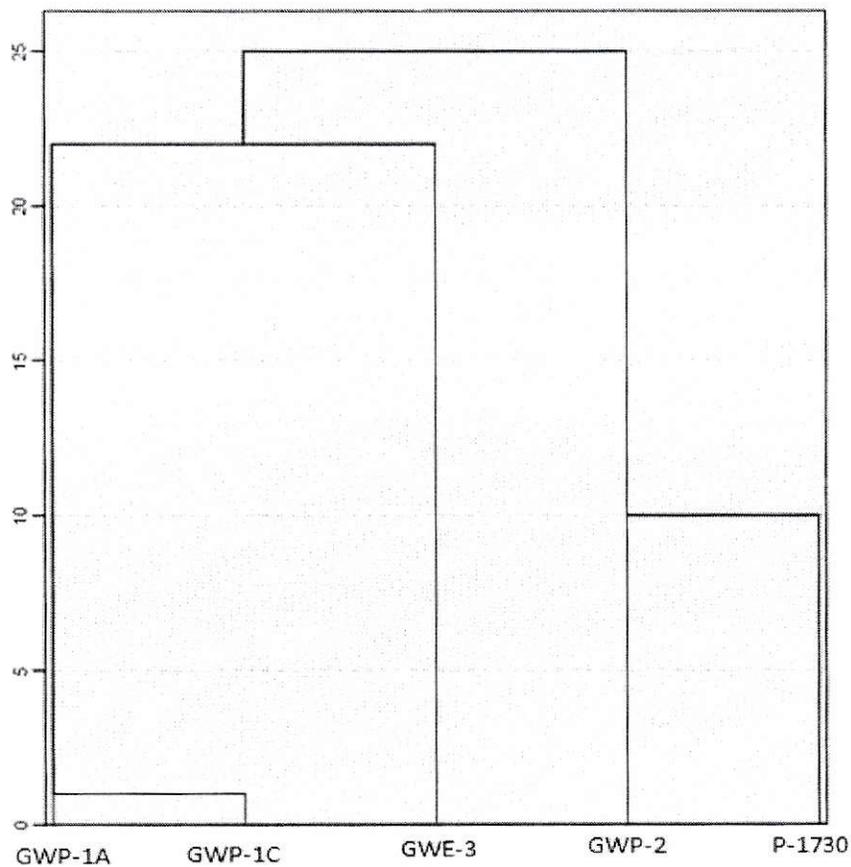


Figura 25: Dendrograma de Agrupacion de los punto de muestre pre operacionales (EIA 1993)

A partir de esta asociación de puntos de muestreo, se aprecia que químicamente los pozos del sector BSK son similares (GWP-1A y 1C), lo cual guarda relación con el punto de extracción de agua, ya que son del mismo sector del acuífero. A su vez este par de pozos fue asociado al pozo GWE-3 que físicamente se encuentra ubicado al sur de los pozos del sector BSK, alrededor de unos 1200 metros de distancia, en el sector aguas arriba de la operación. Al ver el detalle de las diferencias, vemos que el pozo GWE-3 presenta algunas concentraciones mayores de Bicarbonato, Calcio y Magnesio que los pozos del sector BSK, como se presenta en la tabla 5.

Por otra parte los pozos del sector Gighlino (GWP-2 Y P1730) son muy similares entre sí, teniendo una distancia física de unos 15 metros. Siendo estos en conjunto los más disimiles en comparación con los pozos del sector BSK y GWE-3, lo cual reafirma la diferenciación química entre ambos sectores de monitoreo mostrado por el Diagrama de Stiff.

Para el caso de análisis de la situación actual, se utilizaron los mismos parámetros de Línea Base: pH, STD, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{-2} , a lo que se sumó las concentraciones de Arsénico, por tener registros mes por medio de este parámetro y presentar valores superiores al límite de detección del método. El detalle de los parámetros se presenta en el Anexo 4.

A continuación se detalla el resultado del análisis de clúster:

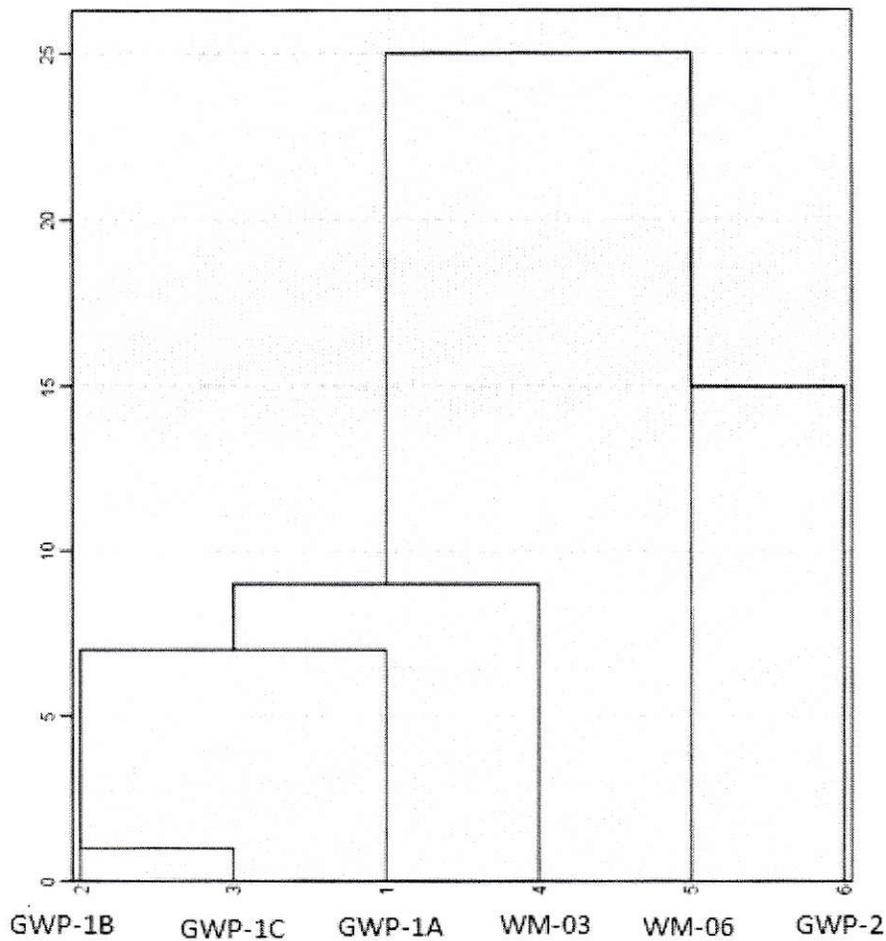


Figura 26: Dendrograma de Agrupacion de los punto de muestreo actuales (2013)

Al ver las asociaciones que realiza para la situación actual, se aprecia que nuevamente los pozos del sector BSK son similares entre sí (GWP-1B y GWP-1C), siendo el pozo GWP-1A el que presentan una pequeña diferencia dentro de los pozos del sector BSK. Los polígonos del Diagramas de Stiff muestran que estos tres pozos presentan una dimensión similar entre sí.

Posteriormente se asocia el pozo WM-03, ubicado en la operación y el conjunto de pozos del sector BSK, que en términos de distancia están a unos 5 kilómetros. Esta similitud fue

confirmada previamente por el Diagrama de Stiff que mostró polígonos de similar dimensión para estos pozos.

Al seguir analizando el Dendrograma se evidencia que el pozo WM-06 se asocia al pozo del sector Gighlino, que en términos de ubicación, están en el sector aguas abajo de la Operación Mantoverde y distante unos 2 kilómetros entre sí. Lo anterior también fue confirmado por el Diagrama de Stiff que muestran polígonos similares entre estos dos puntos de muestreo.

Finalmente el pozo del sector Gighlino y WM-06 son en conjunto los más disimiles en comparación con los pozos del sector BSK y WM-03, diferenciando los punto de muestreo por sector, siendo químicamente muy diferentes los sectores aguas arriba de la operación y los sectores aguas abajo.

3.11 Iones Minoritarios

El plan de monitoreo de la operación Mantoverde considera un conjunto de elementos que se monitorean de forma trimestral a partir de 2009. Estos parámetros han sido medidos de forma interrumpida desde del año 1997 a la fecha, por lo que no se posee una data histórica completa.

A continuación se muestra el promedio de cada parámetro compilado de la campaña del año 2013:

Tabla 7: Concentración de iones minoritarios en aguas subterránea del año 2013.

Pozo	Cr mg/L	Hg mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Cd mg/L	Se mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
GWP-1A	<0,05	<0,001	0,286	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,07
GWP-1B	<0,05	<0,001	0,2525	<0,01	0,2	<0,01	<0,01	<0,05	0,06
GWP-1C	<0,05	<0,001	1,07	0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,13
WM-03	<0,05	<0,001	0,295	0,41	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,09
WM-06	<0,05	<0,001	0,278	0,025	0,35	<0,01	<0,01	<0,05	0,07
GWP-2	<0,05	<0,001	0,205	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05

El detalle de las campañas de 2013 se muestra en el Anexo 2.

Al ver los valores de la tabla, destaca que los parámetros como Cromo, Mercurio Cadmio, Plomo y Selenio, muestran valores inferiores a los respectivos límites de detección, situación que se repite en la información hidroquímica del Estudio Línea Base de 1993, que se detalla en la tabla 3. La situación anterior, sesga la visión de la evolución de estos parámetros y su comportamiento actual, entendiendo que muchos de estos metales son nocivos en muy bajas concentraciones.

En el caso del Cromo (III) este es un microelementos esencial en los metabolismos de Lípidos y Carbohidratos, sin embargo en altas concentraciones resulta ser letal (Cromo vi), por ser un elemento fuerte oxidante que causa la irritación de ojos, piel y las mucosas. Su exposición crónica puede llegar a producir cáncer. (Chromium, 2014).

El Mercurio es altamente toxico por adsorción o inhalación y tiene una dosis letal oral entre los 20 mg a 3 g de Hg. Una de sus formas más letales son el Metil Mercurio (CH_3Hg^+), ya que se acumula en estructuras ricas en Aminoácidos, concentrándose a lo largo de la cadena trófica. (Cortes y Montalvo, 2010)

El Cadmio es uno de los 5 metales más tóxicos para el ser humano, ya que desplaza al Zn y compite con el Calcio produciendo alteraciones del material óseo y fragilidad. Es un

elemento de fácil asimilación que se acumula en riñones, hígados y vasos sanguíneos. (Cortes y Montalvo, 2010)

El Plomo es un metal tóxico de fácil acceso que puede producir vómitos, falta de apetito, mal función renal y desordenes nerviosos. A diferencia de lo anterior el Selenio es un nutriente esencial para el organismo, que en concentraciones sobre los niveles traza puede llegar a ser letal. (Cortes y Montalvo, 2010)

Los elementos como Aluminio, Manganeso, Hierro y Zinc, son microelementos esenciales y poseen una función biológica en el organismo. En el caso del Manganeso, tiene concentraciones entre los 0,15 mg/L y los 0,75 mg/L en la situación pre operacional, mientras que actualmente las concentraciones van entre los 0,02 mg/L y los 0,4 mg/L, si bien no ha presentado grandes variaciones. La Organización Mundial de la Salud, recomienda una concentración máxima de 0,4 mg/L ya que el Manganeso en altas concentraciones puede provocar efectos adversos en el sistema nervioso y respiratorio.

El Zinc también es un elemento esencial y presenta concentraciones pre operacional de 0,045 mg/L y 0,11 mg/L, que actualmente oscila entre los 0,06 mg/L y 0,13 mg/L, su presencia en aguas es limitada y no ha experimentado alzas.

A diferencia de los elementos anteriores, el Aluminio muestra concentración pre operacional de 0,03 mg/L y actualmente llega a concentraciones entre los 0,2 mg/L y los 0,35 mg/L. Mientras que el Hierro muestra concentraciones pre operacional de 0,024 mg/L y 0,39 mg/L, mientras que actualmente presenta concentraciones entre los 0,2 mg/L y 1,0 mg/L. Ambos metales han experimentado un aumento en sus concentraciones, sin

embargo estos están asociados directamente a la composición del sustrato, ya que son el tercer y cuarto elementos más abundante en la corteza terrestre.

3.12 Contexto Regional.

Para tener una vista general de la situación actual del Acuífero de Guamanga, es necesario contextualizarlo dentro del comportamiento regional de la calidad de aguas subterráneas. Para ello, se identificaron las estaciones de la red hidrográfica de la DGA, de la Región de Atacama, integrada por 5 estaciones de monitoreo de calidad de aguas subterráneas denominadas: Pozo Compañía Minera Tres Cruces, Pozo Hacienda María Isabel, Pozo Estación Los Loros, Pozo Estación el Algarrobal, Pozo Estación agua potable Vallenar y Pozo Domeyko, que se presentan a continuación:



Figura 27: Red Hidrográfica de la Dirección General de Aguas de la Región de Atacama. A partir de la información de las campañas de 2013 publicadas en la “Estadística Hidrográfica en Línea”, de la página web de la DGA, se calculó el promedio para los parámetros de las campañas de las estaciones de Atacama, excluyendo la estación Pozo Compañía Minera Tres Cruces, por no poseer data durante el período 2013. Para ser comparables con la situación de Quebrada Guamanga, se calculó el promedio de todos los pozos de la operación Mantoverde, el cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8: Promedio de las concentraciones identificadas durante las campañas de 2013 en la red de monitoreo de la DGA de la región de Atacama.

Parámetro Período 2013	Pozos					
	Promedio Pozos Guamanga.	Hacienda María Isabel	Escuela Los Loros	Estación El Algarrobal	Agua Potable Vallenar	Domeyko
pH (potenciométrico)	7	7,01	7,29	7,45	7,92	7,54
Cloruro (potenciométrico)	879,5	592,43	91,94	113,02	63,34	105,55
Arsénico (manchas de Bromuro de Mercurio)	0,0023	0,023	0,004	0,004	<0,001	0,0026
Cadmio (EAA)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Calcio (EAA)	308,5	431,56	158,166	109,11	31,36	126,69
Cobre Total (EAA)	<0,05	0,027	0,03	<0,02	<0,02	<0,02
Cromo Total (colorimetría)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Hierro Total (EAA)	0,39	0,41	0,78	0,37	3,204	0,16
Manganeso Total (EAA)	0,15	1,58	<0,02	0,74	0,45	0,03
Mercurio Total (EAA)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Plomo (EAA)	<0,05	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Potasio (EAA)	16,16	11,66	3,66	4,79	4,89	2,76
Selenio (Diaminobencidina)	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sodio (EAA)	539,66	811,78	107,13	117,23	83,94	108,7
Sulfato (Turbidimétrico)	642,16	1808,81	514,4	246,74	137,66	247,85
Zinc (EAA)	0,084	0,019	0,05	<0,01	<0,01	0,022

A partir de la tabla, se aprecia que el pH del conjunto de pozos de la región de Atacama es principalmente alcalino, lo que guarda relación con la composición zonal del sustrato.

En el caso de iones como el Calcio, Potasio y Sodio se evidencia una gran similitud con el pozo Estación Hacienda María Isabel, que al ver la proximidad física, estas se encuentran cercas entre sí, difiriendo en varios kilómetros del resto de las estaciones, ubicadas en el sector sur de la región.

Al ver las concentraciones de Cloruro, resaltan las altas concentraciones identificadas en Guamanga, en comparación al resto de las estaciones, mientras que la concentración de Sulfato se encuentra en rango intermedio.

Para los microelementos como Hierro, Manganeso y Zinc, se aprecian valores intermedios con los detectados en los pozos de la región, siendo solo el Zinc el que presenta mayor concentraciones de toda la región (0,084mg/L), pero que igualmente es inferior a la norma de agua potable chilena de 3,0 mg/L Zn (NCh.409/1 of. 2005).

Al comparar elementos tóxicos como el Arsénico, se evidencia que el promedio del acuífero Guamanga (0,0023 mg/L de As) es inferior al conjunto de pozos de la región, exceptuando al pozo de agua potable de Vallenar. Al analizar el resto de los metales como Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio y Plomo se evidencia que muestran valores inferiores a los límites de detección, lo cual es alarmante debido a la alta toxicidad de estos metales en bajas concentraciones y a la mayor disponibilidad de estas aguas al entorno. Ya que los puntos de monitoreo antes mencionados, están insertos en lugares agrícolas y en medio de comunidades, como es el caso del pozo Hacienda María Isabel que se encuentra en una quebrada con plantación de olivos y otros árboles frutales. Esta situación de disponibilidad al medio, favorece la capacidad de acumulación a lo largo de la cadena trófica y presenta un riesgo para la salud de la población circundante a mediano y largo plazo.

IV. DISCUSIÓN.

El proceso de extracción de Cobre pone en movimiento múltiples elementos que naturalmente se encuentran formando parte del sustrato, ya sea por remoción de material, que al entrar en contacto con otras matrices (atmósfera o agua) inicia una cadena de reacciones, o bien como resultado del proceso extractivo en sí. Ese es el caso de metales que forman parte del basamento rocoso rico en Cobre, que al ser curado en las pilas de lixiviación son solubilizados con Ácido Sulfúrico quedando disponibles al medio. En pasos posteriores (extracción por solvente) son seleccionados los iones de Cobre por sobre otros metales, mediante la regulación de pH, pero de igual forma los metales pasan a estar disponible al medio y ser susceptibles de percolar a la napa freática.

Al analizar las condiciones químicas del acuífero, resalta la basicidad de sus aguas, que se encuentra por sobre el pH 7, siendo un medio de difícil disolución para metales como Hierro, Aluminio, Cadmio y Arsénico. Esto es concordante con las concentraciones identificadas, tanto en la campaña de Línea Base (EIA, 1993) como en la compilación de las campañas del año 2013, donde los metales como Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo y Selenio presentan concentraciones bajo los límites de detección del método. Y Otros metales como Aluminio, Manganeso, Hierro y Zinc presentan concentraciones inferiores a 1 mg/L.

Para descartar totalmente que los metales solubilizados en el proceso productivo no han percolado a la napa freática, sería necesario el análisis de sedimentos de los pozos de monitoreo, lo cual no fue posible en el desarrollo de este Seminario de Título. Sin embargo, al contextualizar las concentraciones de los metales, la naturaleza mineralógica

del basamento rocoso (presencia de Feldespatos y Plagioclasas), es poco probable que los metales hayan percolado, ya que la acidificación del acuífero sería inminente y los primeros parámetros alterados serían el pH y Bicarbonato, los cuales se mantienen en rango básico y con una concentración promedio 60 mg/L respectivamente.

Al ver el comportamiento de otros metales que son mayoritarios en la composición del acuífero, resultan patrones de comportamiento que diferencian los sectores de monitoreo. Siendo el sector aguas arriba de la operación aquel que tiene menor concentración de Magnesio, Sodio, Potasio, Cloruro y STD, mientras que en los pozos aguas abajo de la operación las concentraciones se elevan. Al comparar la tendencia con relación al tiempo se identifican algunos incrementos tras 20 años de operación para parámetros como Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} y STD. Los iones Bicarbonato, Calcio y Sulfato presentan una composición variable a lo largo de la quebrada, y mantienen las concentraciones pre operacionales (EIA, 1993) hasta la actualidad. Las tendencias diferenciadoras para los puntos de muestreo, fueron corroboradas por medio del Diagrama de Stiff y el por análisis estadístico no paramétrico de Clúster.

El origen de las concentraciones de los iones antes mencionados, es atribuido a la composición de la roca madre mostrada en los Estudios Geológicos de Línea Base, que fueron confirmados por los informes geológicos mostrados en la Declaración de Impacto Ambiental de 2013, donde el sustrato presenta altas concentraciones de Plagioclasas y Feldespatos que están solubilizados naturalmente en el acuífero.

En este ejercicio de diferenciación de las calidades químicas de las aguas, resalta el deterioro marcado del sector aguas abajo de la operación, lo cual resulta de la sinergia de

múltiples situaciones, la primera situación es el problema de conectividad por la morfología del acuífero, que se enunció en el EIA de 1993 caracterizado por un zócalo que disminuía la conectividad entre el sector aguas arriba y aguas abajo. Esto fue respaldado por el modelo hidrogeológico de la DIA Continuidad Operacional Mantoverde (2), (2014) donde se muestra un estrechamiento del acuífero en el sector de la operación. La segunda situación es el punto de recarga de este acuífero, el cual ocurre en el sector sur de la Quebrada Guamanga, por medio de la Falla Mantoverde al sector BSK de la operación. Y finalmente las tasas extractivas de agua, las que son diferenciadas por pozos, teniendo un derecho de aprovechamiento de agua de 3,3 L/s en sector aguas arriba (sector BSK) mientras que en el sector aguas abajo esta tasa es de 7,5 L/s (sector Gighlino), lo cual concuerda con los descensos promedio de los niveles freáticos identificados, que son mayores en el sector Gighlino que en el sector de BSK. Es por esta condición diferenciadora que los iones presentes naturalmente en el acuífero muestren concentraciones más elevadas en el sector aguas abajo, ya que tienen menores volúmenes de disolución.

Se buscó información de calidad de aguas subterráneas en la región, identificando 5 estaciones de la DGA a lo largo de la Región de Atacama. Estas estaciones mostraron similitud con el comportamiento del acuífero de Guamanga en parámetros como pH, Ca, Na y K, lo cual habla del carácter calcáreo del sustrato de la región. Otros metales como Arsénico, Hierro, Manganeso y Zinc presentan concentraciones menores que las estaciones regionales. Uno de los únicos parámetros excedido por el acuífero de Guamanga en comparación con las estaciones de monitoreo regionales, fue la

concentración de Cloruro, que se cree está asociado al mineral Atacamita que forma parte de los minerales oxidados del yacimiento.

Uno de los grandes desafíos a futuro es ajustar el actual plan de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la operación, para que permita ser una herramienta que refleje el comportamiento del acuífero y así se puedan tomar medidas correctivas frente a pequeñas variaciones a modo de prevenir daños futuros. Esto en perspectiva que la operación estudia la explotación de minerales Sulfurados de Cobres en el sector, los cuales traen consigo nuevos riesgos ambientales, por lo cual, es necesario tener pleno conocimiento del comportamiento actual del acuífero.

V. RECOMENDACIONES

5.1 Seguimiento en Terreno

Se asistió a las campañas de monitoreo de calidad de aguas de la operación en la cual se toman 8 muestras puntuales, la primera en el casino, para evaluar la calidad de agua potable (NCh. 409/1), la segunda muestra se toma en el efluente de la planta de tratamiento de aguas servidas, PTAS (NCh. 1333), y la seis muestras restantes corresponden a los pozos GWP-1A, GWP-1B, GWP-1C, WM-03, WM-06 y GWP-2 respectivamente, donde sumado al análisis químico, se mide los niveles freáticos de los pozos. Esta campaña se realizar mensualmente y se asistió en los meses de Febrero (27.02.2014), Marzo (26.03.2014) y Abril (28.04.2014).

En base a los protocolos de terreno estipulados en el contrato vigente con el laboratorio externo, se elaboró una lista de verificación en terreno:

- Nivel freático (aplica a los pozos),
- Purga del bailer (aplica a los pozos),
- Medición en terreno de pH, (aplica a todos los puntos)
- Medición en terreno de temperatura, (aplica a todos los puntos)
- Medición en terreno de conductividad (aplica a todos los puntos)
- Limpieza de equipo de bailer (aplica a los pozos),
- Limpieza de equipo de envases (aplica a todos los puntos)
- Preservación en frío (aplica a todos los puntos)
- Toma de muestra.

El detalle de los resultados mensuales se encuentra en el Anexo 6.

Para verificar el cumplimiento de los protocolos en terreno, se hizo por medio de la razón entre el número de veces que realizó el procedimiento, dividido el número de veces que debía realizar el procedimiento, como se presenta a continuación:

$$\text{Cumplimiento} = \frac{\text{Numero de veces que sí se realizada el procedimiento}}{\text{Numero totales de veces que se realizó durante las tres campañas.}}$$

Tabla 9: Evaluación de los procedimientos comprometidos en el contrato de monitoreo de calidad de aguas de la operación Mantoverde mediante la razón del cumplimiento.

Parámetro		Area de Análisis.							
		GWP-1A	GWP-1B	GWP-1C	WM-03	WM-06	GWP-2	PTAS	Casino.
Mediciones in-situ	T°	1/3	0/1	2/3	2/3	1/2	1/3	1/3	3/3
	pH	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	3/3	3/3
	C.E.	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Nivel Freático	3/3	1/1	0/3	3/3	2/2	0/3	N.A	N.A
Procedimiento	Purga de Bailer	1/3	0/1	N.A	1/3	2/2	N.A	N.A	N.A
	Toma la Muestra	3/3	1/1	3/3	3/3	2/2	3/3	3/3	3/3
Limpieza de Equipos	bailer	2/3	0/1	N.A	1/3	1/2	N.A	N.A	N.A
	envases	3/3	0/1	2/3	2/2	2/2	3/3	2/3	3/3
Almacenamiento	Rotulación de envases	3/3	1/1	3/3	3/3	2/2	3/3	3/3	3/3
	Almacena en frío.	3/3	1/1	3/3	3/3	2/2	3/3	3/3	3/3

N.A.: No Aplica

A partir de la tabla resumen, se evidencia la falta de mediciones en terreno, como la medición de temperatura y pH que algunos meses no fue registrada. Esta misma tendencia se ve en la medición de niveles, sin embargo, se detectó que físicamente existen dos pozos confinados (GWP-1C y GWP-2) con la bomba fija y no es posible tomar los niveles. En el caso de la CE, no es medida por falta de equipo en terreno.

Al ver los procedimientos de purga y limpieza se observa que no se realizan en todos los puntos de muestreo, no así, la toma de muestra, que se da en la mayoría de los puntos exceptuando el pozos GWP-1B que presenta obstrucción en la zona superior del pozo.

Uno de los procedimientos realizados a cabalidad es el almacenamiento en frío y rotulaciones de muestra, las cuales poseen etiquetas impresas previamente, con el detalle de los preservantes y el análisis final de cada envase.

Durante las campañas se notó que el personal cambiaba mes a mes, manteniendo un solo supervisor, mientras que el personal que ejecuta el muestreo no mostraba conocimiento de sus actividades a desarrollar, por lo que se recomienda mantener un equipo de trabajo fijo con capacitación en los protocolos de toma de muestra y en el uso de equipos en terreno.

5.2 Análisis de Bases Técnicas.

Se proponen una serie de medidas que ajusten de bases técnicas existentes:

- Actualizar la norma de calidad de agua potable, reemplazando la NCh. 409/1 Of 84 por la NCh. 409/1 Of 2005. Cuidando de mantener la medición mensual de los parámetros monitoreado históricamente (parámetros físicos, químicos, de desinfección y bacteriológicos) y aquellos parámetros nuevos como lo son las sustancias orgánicas, plaguicidas, productos secundarios de desinfección y elementos radiactivos, realizarlos de forma semestral, dada las características no agrícolas, la inexistencia de plantas de radioactividad en la zona y los derechos exclusivos de agua en la quebrada.
- En el caso del monitoreo de aguas subterráneas se propone detallar los puntos de muestreo, con la correspondiente posición GPS, para asegurar que se monitoreen los puntos comprometidos en las RCA vigente y no otros.

- Modificar el set de monitoreo actual de muestreo a la medición de pH, CE, STD, Cl⁻ y SO₄⁻², Ar, Cu, Fe, Mo, As, Cd, Hg y Pb de forma mensual y trimestralmente realizar el set ampliado que contemple los metales históricamente monitoreados como Al, Mn, Se y Zn
- Se propone que los límites de cuantificación usados en los análisis sean los más similar a los límites de detección detallados por el Manual de Métodos de Ensayo para Aguas Potable versión 2007, de la Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- Establecer un procedimiento en caso de no conformidades, con delegados designados, y mecanismos de solución para situaciones.
- Establecer un criterio de tolerancia del 30%, donde los resultados que sobrepasen este nivel sean repetidos los análisis.
- Plantear un mecanismo de demostración de competencias mediante la participación en ensayos de aptitud organizados por el Instituto Nacional de Normalización (INN) de forma anual.

En el caso de los comportamientos identificados en terreno, se propone ajustes prácticos para asegurar el correcto monitoreo:

- Exigir personal fijo, que reciba instrucción del monitoreo en terreno y que tengan pleno conocimiento del protocolo a realizar, solicitando que mantengan este protocolo visible durante las campañas de monitoreo y que sirva de apoyo en caso de dudas.
- Se recomienda establecer una hoja de trabajo tipo check list por duplicado donde se tome nota de las mediciones realizadas en terreno, las calibraciones hechas

durante terreno y observaciones, a modo de tener un respaldo de la situación en terreno.

- Realizar un acompañamiento trimestral al monitoreo para constatar procedimientos en terreno, a modo de confirmar el cumplimiento de los protocolos acordados y en caso de no conformidades, gestionar las soluciones.

Todas las recomendaciones antes mencionadas están consolidadas en el Anexo 7 donde se muestran las nuevas bases técnicas propuestas para la operación, con el detalle correspondiente.

VI. CONCLUSIONES

Se concluye que tras 20 años de la Operación de la Minera Mantoverde, la calidad química de las aguas del Acuífero de Guamanga se ha deteriorado debido a las alzas de las concentraciones de macroelementos como Calcio, Magnesio, Potasio y Cloruros. Estas alzas se deben a los descensos del nivel freático, el cual ha disminuido 5 metros en promedio, concentrando los iones naturalmente disponibles en el acuífero. Este efecto se debe a las actividades intensivas de extracción de agua realizada por la operación Mantoverde, los cuales han impactado de forma diferenciada el acuífero, acentuándose en el sector Gighlino (aguas abajo). Lo anterior fue corroborado por Diagrama de Stiff y Análisis de Clúster.

Las concentraciones de iones minoritarios no han experimentados alzas, manteniéndose en el rango de la situación pre operacionales mostrada en el Estudio de Línea Base del año 1993, por lo que no ha aparecido contaminación a raíz de la percolación de metales desde las pilas de lixiviación.

De mantenerse esta situación de extracción intensiva de agua del Acuífero Guamanga se alteraría el equilibrio de uno de los sitios prioritarios de conservación de la Región de Atacama (Libro Rojo: Región de Atacama, 2008), ya que si bien el acuífero se encuentra confinado, es parte del sistema natural que sustenta la vida en la quebrada.

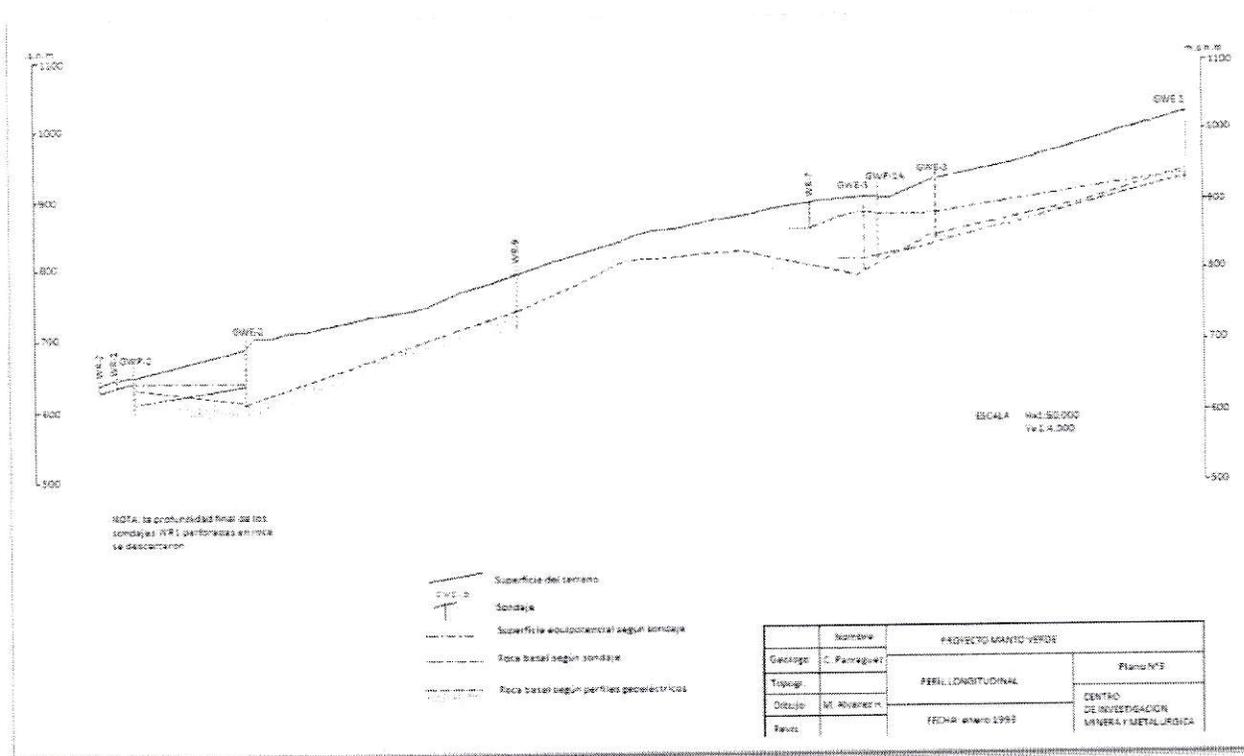
VII. REFERENCIAS

- Adenda 4, Declaración de Impacto Ambiental Continuidad Operacional Mantoverde (2) 2014.
- Análisis de Aguas.
http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf
- Análisis de Clúster.
<http://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com/2013/01/02/tema-19-analisis-cluster/>
- Bastidas, María Elena, et al. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Minero Mantoverde. Informe Final, 1993.
- Bordoli & Consultores Asociados E.I.R.L. Declaración De Impacto Ambiental “Continuidad Operacional Mantoverde (2)”. 2013.
- Camus, Pablo; Hajek, Ernst R. Historia Ambiental de Chile. Primera edición, 1998.
- CESMEC, 2013. Propuesta Técnica, Licitación 7.13.0008.1 “Monitoreo Hidroquímico” Minera Angloamerican Norte S.A. Mantoverde.
- Cortes Nodarse, Isel; Montalvo Martinez, Silvio. Aguas: Calidad y Contaminación. Un Enfoque Químico Ambiental. Primera Edición, abril de 2010.
- Drenaje Acido. <http://www.uclm.es/users/higueras/mam/MAM3.htm>
- Hidrogeología Consultores Ltda. 2009. Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos. Volumen 1
- Información Oficial Hidrometeorológica y Calidad de Agua en Línea, DGA, visitada el 10 de Junio, 2014.
<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>

- Menadovich, Miguel y Compañía Ltda. Análisis y Evaluación de Los Recursos Hídricos Subterráneos de Los Acuíferos Costeros Ubicados Entre Los Ríos Salado y Huasco, Región de Atacama, 2010. Informe Final.
- Pasten, Manuel Isaac. Manual Sistema Integrado de Gestión en Seguridad, Salud Ocupacional, Medio Ambiente y Calidad. Angloamerican Chile División MANTOVERDE, 2013. Versión 2.0 pagina 4-6.
- Recurso Hídricos, <http://www.consejominero.cl/recursos-hidricos/>
- Red Hidrométrica de la DGA, <http://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=d508beb3a88f43d28c17a8ec9fac5ef0>
- Torres, Mauro. Curso de Extracción por Solvente, Programa de Capacitación para División Mantoverde. Angloamerican Chile, 2014. SNF FLOMIN.
- Lección 6 de Hidráulica El Grupo de Investigación de Recursos Hídricos, Universidad Jaume I de Castellón, <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ06.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Plano ampliado del perfil longitudinal del acuífero de Quebrada Guamanga, parte de la Línea Base del EIA 1993.



Anexo 2: Campañas de 2013.

Tabla 9: Campaña de monitoreo 2013 del pozo GWP-1A

Campañas	pH	TSD mg/L	Ca+2 mg/L	Mg+2 mg/L	Na + mg/L	K+ mg/L	Cl mg/L	SO ₄ ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	As mg/L	Cu mg/L
Enero	7	1965					143	487			
Febrero	7	2020					626	603			
Marzo	7	1993	413	33	453	13	608	613	58	0,002	<0,05
Abril	7	2020					611	613			
Mayo	7	2080	357	28	447	16	600	650	52	0,001	<0,05
Junio	7	2060					596	652			
Julio	7	2020	397	30	455	15	1219	625	57	0,002	<0,05
Agost.	7	2150					602	605			
Sept.	7	2110					646	621			
Oct.	7	2030					615	611			
Nov.	7	2110	369	33	445	12	627	626	51	0,003	<0,05
Dic.	7	2111					586	462			

Tabla 10: Campaña de monitoreo 2013 del pozo GWP-1B

Campañas	pH	TSD mg/L	Ca+2 mg/L	Mg+2 mg/L	Na + mg/L	K+ mg/L	Cl mg/L	SO ₄ ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	As mg/L	Cu mg/L
Enero	7	1910					146	359			
Febrero	7	2000					619	504			
Marzo	7	2040	217	35	462	15	590	604	65	0,0015	<0,05
Abril	7	2010					608	666			
Mayo	7	2055	198	31	452	12	596	647	55	0,002	<0,05
Junio	7	2060					603	677			
Julio	7	1910	211	29	458	16	1233	632	52	0,0027	<0,05
Agost.	7	2150					630	604			
Sept.	7	2085					628	608			
Oct.	7	2155					639	605			
Nov.	7	2085	190	37	464	13	646	640	42	0,0018	<0,05
Dic.	7	2034					550	642			

Tabla 11: Campaña de monitoreo 2013 del pozo GWP-1C

Campañas	pH	TSD mg/L	Ca+2 mg/L	Mg+2 mg/L	Na + mg/L	K+ mg/L	Cl mg/L	SO ₄ ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	As mg/L	Cu mg/L
Enero	7	1985					124	260			
Febrero	7	1960					630	615			
Marzo	7	1915	203	33	448	15	597	624	59	0,0019	<0,05
Abril	7	2005					608	691			
Mayo	7	2040	192	30	452	13	603	648	61	0,002	<0,05
Junio	7	2060					599	666			
Julio	7	2080	198	29	450	12	1220	552	52	0,0024	<0,05
Agost.	7	1900					611	588			
Sept.	7	2005					624	618			
Oct.	7	2110					625	620			
Nov.	7	2100	191	32	454	16	630	639	43	0,0016	<0,05
Dic.	7	2027					590	487			

Tabla 12: Campaña de monitoreo 2013 del pozo WM-03

Campañas	pH	TSD mg/L	Ca+2 mg/L	Mg+2 mg/L	Na + mg/L	K+ mg/L	Cl- mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	As mg/L	Cu mg/L
Enero	7	2030					136	496			
Febrero	7	2720					962	670			
Marzo	7	2050	246	39	504	17	615	631	62	0,0026	<0,05
Abril	7	2170					647	669			
Mayo	7	2680	237	35	487	14	901	676	59	0,0017	<0,05
Junio	7	4800					1640	806			
Julio	7	2745	243	33	492	13	1751	655	55	0,003	<0,05
Agost.	7	3500					1183	689			
Sept.	7	4675					1679	765			
Oct.	7	2215					620	623			
Nov.	7	2425	246	45	509	16	731	647	44	0,0007	<0,05
Dic.	7	4411					1430	709			

Tabla 13: Campaña de monitoreo 2013 del pozo WM-06

Campaña	pH	TSD mg/L	Ca+2 mg/L	Mg+2 mg/L	Na + mg/L	K+ mg/L	Cl- mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	As mg/L	Cu mg/L
Enero	7	3215					290	438			
Febrero	7	2760					1026	601			
Marzo	7	3660	389	71	689	22	1311	678	57	0,001	<0,05
Abril	7	1970					619	646			
Mayo	7	2770	375	77	703	18	933	678	52	0,0017	<0,05
Junio	7	2180					603	647			
Julio	7	2038	398	69	697	19	1751	650	53	0,002	<0,05
Agost.	7	2250					1322	667			
Sept.	7	2075					637	615			
Oct.	7	3375					992	643			
Nov.	7	3895	382	79	703	25	1383	263	48	0,003	<0,05
Dic.	7	4589					1184	533			

Tabla 14: Campaña de monitoreo 2013 del pozo GWP-2

Campaña	pH	TSD mg/L	Ca+2 mg/L	Mg+2 mg/L	Na + mg/L	K+ mg/L	Cl- mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	As mg/L	Cu mg/L
Enero	7	3570					317	454			
Febrero	7	3460					1443	680			
Marzo	7	3970	435	76	684	21	1262	681	56	0,002	<0,05
Abril	7	2080					619	657			
Mayo	7	3970	446	69	679	17	1262	681		0,0025	<0,05
Junio	7	3820					1309	753			
Julio	7	3740	438	73	692	20	2788	702	46	0,005	<0,05
Agost.	7	4100					1419	730			
Sept.	7	3845					1439	698			
Oct.	7	3055					1408	669			
Nov.	7	3960	433	50	673	18	1411	701	57	0,0065	<0,05
Dic.	7	4133					1302	584			

Tabla 15: Campaña de elementos traza del pozo GWP-1A del año 2013.

Campañas	Cr mg/L	Hg mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Cd mg/L	Se mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
Marzo	<0,05	<0,001	0,16	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,07
Mayo	<0,05	<0,001	0,45	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Julio	<0,05	<0,001	0,25	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Nov	<0,05	<0,001	<0,05	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Suma total	--	--	0,86	--	--	--	--	--	--
Promedio	<0,05	<0,001	0,286667	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,07

Tabla 16: Campaña de elementos traza del pozo GWP-1B del año 2013.

Campaña	Cr mg/L	Hg mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Cd mg/L	Se mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
Marzo	<0,05	<0,001	0,18	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,06
Mayo	<0,05	<0,001	0,51	0,01	0,2	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Julio	<0,05	<0,001	0,26	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Nov.	<0,05	<0,001	0,06	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Suma total	--	--	1,01	--	--	--	--	--	--
Promedio	<0,05	<0,001	0,2525	<0,01	0,2	<0,01	<0,01	<0,05	0,06

Tabla 17: Campaña de elementos traza del pozo GWP-1C del año 2013.

Campaña	Cr mg/L	Hg mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Cd mg/L	Se mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
Marzo	<0,05	<0,001	3	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,13
Mayo	<0,05	<0,001	0,16	0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Julio	<0,05	<0,001	0,05	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Nov.	<0,05	<0,001	<0,05	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Suma total	--	--	3,21	--	--	--	--	--	--
Promedio	<0,05	<0,001	1,07	0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,13

Tabla 18: Campaña de elementos traza del pozo WM-03 del año 2013.

Campaña	Cr mg/L	Hg mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Cd mg/L	Se mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
Marzo	<0,05	<0,001	0,21	0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,08
Mayo	<0,05	<0,001	0,79	0,8	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Julio	<0,05	<0,001	0,08	<0,01	<0,1	<0,01	0,01	<0,05	<0,05
Nov.	<0,05	<0,001	0,1	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,1
suma total	--	--	1,08	0,82	--	--	--	--	0,18
Promedio	<0,05	<0,001	0,270	0,41	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,09

Tabla 19: Campaña de elementos traza del pozo WM-06 del año 2013.

Campaña	Cr mg/L	Hg mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Cd mg/L	Se mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
Marzo	<0,05	<0,001	0,21	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	0,07
Mayo	<0,005	<0,001	0,59	0,03	0,5	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01
Julio	<0,05	<0,001	0,13	<0,01	<0,1	<0,01	0,01	<0,05	<0,05
Nov.	<0,05	<0,001	0,18	0,02	0,2	<0,01	0,01	<0,05	<0,05
suma total	--	--	1,11	0,05	0,7	--	--	--	--
Promedio	<0,05	<0,001	0,278	0,025	0,35	<0,01	<0,01	<0,05	0,07

Tabla 20: Campaña de elementos traza de pozos GWP-2 del año 2013.

Campaña	Cr mg/L	Hg mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	Cd mg/L	Se mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
Marzo	<0,05	<0,001	0,29	<0,01	0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Mayo	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Julio	<0,05	<0,001	0,12	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
Nov.	<0,05	<0,001	<0,05	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05
suma total	--	--	0,41	--	--	--	--	--	--
Promedio	<0,05	<0,001	0,205	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05

Anexo 3: Análisis de Varianza (ANOVA)

Comparación de pH entre la situación pre operación y la situación actual:

Ho: $\mu_1 = \mu_2$

Las varianzas de los pH de ambas situaciones (EIA, 1993 y situación actual) son iguales.

Hi: $\mu_1 \neq \mu_2$

Las varianzas de los pH de ambas situaciones (EIA, 1993 y situación actual) son diferentes.

Tabla 21: Resultados del análisis de varianza.

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p-value
Inter- grupos	0,094	1	0,094	0,092	
intra-grupos	1,022	1	1,022		0,813
total	1,116	2			

A partir de la tabla 20 el p- value es 0,813, por lo tanto se rechaza la hipótesis Ho (p-value >0,005) y se afirma que no existen diferencias significativas para el parámetro de pH entre la situación pre operación y la situación actual.

Comparación de la evolución de pH:

Ho: $\mu_1 = \mu_2$

Las varianzas de los pH del período 1997 a 2008 son las mismas que las varianzas del período 2009 en adelante.

Hi: $\mu_1 \neq \mu_2$

Las varianzas de los pH de período 1997 a 2008 son diferentes que las varianzas del período 2009 en adelante.

Tabla 22: Resultados del análisis de varianza del pozo GWP-1A

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p-value
Inter- grupos	0,312	4	0,078	1,747	
intra-grupos	0,134	3	0,045		0,337
total	0,445	7			

Tabla 23: Resultados del análisis de varianza del pozo GWP-1B

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p-value
Inter- grupos	0,110	4	0,027	0,293	
intra-grupos	0,280	3	0,093		0,866
total	0,389	7			

Tabla 24: Resultados del análisis de varianza del pozo GWP-1C

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p-value
Inter- grupos	0,093	4	0,023	40,029	
intra-grupos	0,002	3	0,001		0,006
total	0,095	7			

Tabla 25: Resultados del análisis de varianza del pozo WM-06

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p-value
Inter- grupos	2,337	4	0,584	2,896	
intra-grupos	0,605	3	0,202		0,204
total	2,943	7			

Tabla 26: Resultados del análisis de varianza del pozo GWP-2

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p-value
Inter- grupos	0,247	4	0,062	0,645	
intra-grupos	0,287	3	0,096		0,668
total	0,534	7			

Tabla 27: Resultados del análisis de varianza del pozo P-1730

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p-value
Inter- grupos	0,039	4	0,010	2,061	
intra-grupos	0,014	3	0,005		0,289
total	0,054	7			

A partir de la tabla 22 a la Tabla 27, los p- value obtenidos son $>0,005$ por lo que se rechaza H_0 y se afirma que no existen diferencias significativas para el parámetro de pH entre la situación del período 1997 a 2008 y el período posterior a 2009.

Anexo 4: Derechos de Agua, Resolución exenta N°638 de 2003.

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
REGIÓN DE ATACAMA

RESOLUCIÓN TRAMITADA
Copiapó, 16 DIC. 2003

REF.: ORDENA A LOS TITULARES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA QUE SE INDICA, INSTALAR LOS DISPOSITIVOS NECESARIOS QUE PERMITAN CONTROLAR LAS EXTRACCIONES QUE EFECTÚAN EN SECTORES ACUÍFEROS EN LA REGIÓN DE ATACAMA.

COPIAPÓ, 16 DIC. 2003

VISTOS: Lo dispuesto en el artículo 68 del Código de Aguas; las atribuciones que me confieren la Resolución D.G.A. N° 207 de 1995 y la Resolución DGA N° 634 de 2001; y

CONSIDERANDO:

1. Que según lo previsto en el Art. 68 del Código de Aguas la Dirección General de Aguas podrá exigir la instalación de sistemas de medida en las obras de captación pudiendo requerir, en cualquier momento, la información que se obtenga.
2. Que la facultad indicada precedentemente se encuentra delegada en los Directores Regionales de la Dirección de Aguas mediante la Resolución D.G.A N° 634 de 2001, en su numeral 1, letra g.
3. Que la Dirección General de Aguas ha estimado procedente iniciar el control de los caudales explotados para así evaluar en forma permanente y oportuna los acuíferos.

RESUELVO:

D.G.A. III R N° 638 (EXENTA)

1. ORDENASE a los titulares de derechos de aprovechamiento de agua subterránea que a continuación se indica, instalar los dispositivos necesarios que permitan controlar las extracciones que efectúan en los distintos sectores acuíferos de la Región de Atacama.
2. Los titulares de derechos a los que se refiere el N° 1 de la presente resolución, son los que se señalan a continuación, indicándose además el nombre de la captación, el caudal de su derecho de aprovechamiento, y la resolución que lo constituyó, o la que autorizó cambios de punto de captación, o el número de la causa y fecha de la sentencia que lo declaró regularizado, y la comuna en que se ubica la captación:

c. Comuna de Chañaral

N°	Titular	Pozo	Caudal (l/s)	N°	Fecha
13	EMP. NACIONAL DE MINERIA	DRENES	17.80	450	26-11-79
14	EMP. NACIONAL DE MINERIA	DRENES	27.20	452	26-11-79
15	CIA. MIN. BARITEX	A BARITEX	0.30	388	10-10-86
16	CIA. MIN. BARITEX	B LOS TANARUGOS	1.00	388	10-10-86
17	CIA. MIN. PAN DE AZUCAR DE CHAÑARAL CDA.	SIN NOMBRE	20.00	520	22-12-86
18	WALTER HOCHSCHILD KAUFMANN	SIN NOMBRE	4.00	338	30-08-88
19	EMP. MIN. MANTOS BLANCOS S.A.	SES-1	50.00	73	22-01-90
20	EMP. MIN. MANTOS BLANCOS S.A.	SQG-1	18.00	73	22-01-90
21	CIA. MIN. PAN DE AZUCAR DE CHAÑARAL CDA.	SIN NOMBRE	35.00	540	21-08-90
22	EMP. MIN. MANTOS BLANCOS S.A.	GWP-1C	3.30	872	29-10-99
23	EMP. MIN. MANTOS BLANCOS S.A.	GWP-2	7.90	872	29-10-99
CAUDAL TOTAL DE LA COMUNA			184.10		

Anexo 5: Detalle del Análisis de Clúster.

Tabla 21: Datos de Línea Base del EIA 1993 usados para el análisis de clúster.

Pozo	pH	STD	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L
GWE-3	6,26	1728	210	53,4	273,5	10,75	68,3	545,5	552
GWP-1A	8,00	1693	130	34,1	373,0	13,20	46,0	586,0	696
GWP-1C	7,66	1673	147	32,2	373,0	13,40	24,0	577,0	684
GWP-2	6,57	2625	269	63,0	521,0	19,90	44,0	1195,0	729
P-1730	5,93	3378	292	102,5	648,2	20,60	53,0	1184,5	769,25

Tabla 22: Análisis del Programa SPSS (Resumen del procesamiento de los casos)

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
5	33,3%	10	66,7%	5	100,00%

a. Distancia euclídea usada

Tabla 23: Matriz de distancias.

Casos	Distancia Euclídea				
	1; GWE-3	2; GWP-1A	3; GWP-1C	4; GWP-2	5; P-1730
1; GWE-3	0,00	4,420	4,806	5,328	6,088
2; GWP-1A	4,420	0,00	1,454	3,939	5,898
3; GWP-1C	4,806	1,454	0,00	3,929	5,99
4; GWP-2	5,328	3,939	3,929	0,00	2,858
5; P-1730	6,088	5,897	5,993	2,858	0,00

Esta es una matriz de disimilaridades

Tabla 24: Vinculación promedio inter-grupos (historial de conglomerados)

Etapa	Conglomerado que se combina		Coeficientes	Etapa en la que el conglomerado aparece por primera vez		Próxima etapa
	Conglomerado 1	Conglomerado 2		Conglomerado 1	Conglomerado 2	
1	2	3	1,454	0	0	3
2	4	5	2,858	0	0	4
3	1	2	4,613	0	1	4
4	1	4	5,196	3	2	0

Tabla 25: Datos promedio del compilado de las campañas de 2013 usados para el Análisis de Clúster.

Pozos	pH	STD	Ca ⁺² mg/L	Mg ⁺² mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁻² mg/L	As mg/L
GWP-1A	7	2055	215	31	450	14	51	616	614	0,002
GWP-1B	7	2041	204	33	459	14	42	615	604	0,002
GWP-1C	7	2015	196	31	451	14	43	602	605	0,002
WM-03	7	3035	243	38	498	15	44	731	647	0,002
WM-06	7	2898	386	74	698	21	48	1302	682	0,002
GWP-2	7	3641	438	67	682	19	57	1411	701	0,004

Tabla 26: Análisis del Programa SPSS (Resumen del procesamiento de los casos)

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
6	60,00%	4	40,0%	10	100,00%

a. Distancia euclídea usada

Tabla 27: Matriz de distancias

Casos	Distancia Euclídea					
	1; GWP-1A	2; GWP-1B	3; GWP-1C	4; WM-03	5; WM-06	6; GWP-2
1; GWP-1A	0,00	1,591	1,421	2,179	5,001	5,990
2; GWP-1B	1,591	0,00	0,233	1,959	5,131	6,524
3; GWP-1C	1,421	0,233	0,00	2,002	5,208	6,548
4; WM-03	2,179	1,959	2,002	0,00	3,943	5,168
5; WM-06	5,001	5,131	5,208	3,943	0,00	3,279
6; GWP-2	5,990	6,524	6,548	5,168	3,279	0,00

Esta es una matriz de disimilaridades

Tabla 28: Vinculación promedio inter-grupos (historial de conglomerados)

Etapa	Conglomerado que se combina		Coeficientes	Etapa en la que el conglomerado aparece por primera vez		Próxima etapa
	Conglomerado 1	Conglomerado 2		Conglomerado 1	Conglomerado 2	
1	1	3	0,233	0	0	2
2	1	2	1,506	0	1	3
3	1	4	2,047	2	0	5
4	5	6	3,279	0	0	5
5	1	5	5,439	3	4	0

Anexo 6: Formatos de verificación en terreno

Verificación de los protocolos de muestreo

Campaña	Febrero
Fecha	27 de 2013
Horario de inicio	9:00 AM
Hora de término	4:00 PM
Supervisor	Nigel Riquelme Orellana
Acompañantes	Diego Villalón Acosta

Obs:

N.E. punto no encontrado.
 N/A no aplica.
 - muestreo por medio paralelo hacia este lado
 en punto de muestreo y por otro
 estacionado

Parámetro		Punto de Muestreo							
		GWP-1A	GWP-1B	GWP-1C	WM-03	WM-06	GWP-2	PTAS	CASINO
Medición in situ	Temperatura	✓	✓	✓	✓	N.E.	✓	✓	✓
	pH	✓	✓	✓	✓	N.E.	✓	✓	✓
	CE	✓	✓	✓	✓	N.E.	✓	✓	✓
	Nivel freático	✓	✓	✓	✓	N.E.	✓	N.A.	N.A.
Procedimiento	Purga de Bañer	✓	✓	N.A.	✓	N.E.	N.A.	N.A.	N.A.
	Toma de muestra	✓	✓	✓	✓	N.E.	✓	✓	✓
Limpieza	Limpieza de bañer	✓	✓	N.A.	✓	N.E.	N.A.	N.A.	N.A.
	Limpia envases	✓	✓	✓	✓	N.E.	✓	✓	✓
Almacenamiento	Rotulación	✓	✓	✓	✓	N.E.	✓	✓	✓
	Almacena en frío	✓	✓	✓	✓	N.E.	✓	✓	✓

Verificación de los protocolos de muestreo

Campaña	MARZO
Fecha	26 de 2014
Horario de inicio	9:00 AM
Hora de término	3:00 PM
Supervisor	Nigel Riquelme
Acompañantes	Diego Villalón

Obs:

S/M Sin muestra
 N/A no aplica.
 No cuenta con medidor multi-propósito
 No mide nivel freático de pozos
 basombrosos
 GWP-1B está tapado

Parámetro		Punto de Muestreo							
		GWP-1A	GWP-1B	GWP-1C	WM-03	WM-06	GWP-2	PTAS	CASINO
Medición in situ	Temperatura	✓	S/M	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	pH	✓	S/M	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Nivel freático	✓	S/M	✓	✓	✓	✓	N.A.	N.A.
Procedimiento	Purga de Bañer	✓	S/M	N.A.	✓	✓	N.A.	N.A.	N.A.
	Toma de muestra	✓	S/M	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Limpieza	Limpieza de bañer	✓	S/M	N.A.	✓	✓	N.A.	N.A.	N.A.
	Limpia envases	✓	S/M	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Almacenamiento	Rotulación	✓	S/M	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Almacena en frío	✓	S/M	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Parametro	Punto de Muestreo									
	GWP-1A	GWP-1B	GWP-1C	WM-03	WM-05	GWP-2	PTAS	CASINO		
Medición in situ										
Temperatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cl	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Nivel freático	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Purga de Bañer	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Toma de muestra	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limpieza de Bañer	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limpieza de Bañer	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limpia envases	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Rotación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Almacena en frío	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Obs: Se muestra. No se aplica. Se muestra. No se aplica. No se muestra. No se aplica.

Campana : 100%
 Fecha : 28/03/14
 Hora de inicio : 10:00 AM
 Hora de término : 16:00 PM
 Supervisor : M. L. L. L.
 Acompañantes : M. L. L. L.
 Control de calidad : M. L. L. L.
 Muestreo : M. L. L. L.

Verificación de los protocolos de muestreo



Anexo 7: Propuesta de Bases Técnicas:

Programa de Monitoreo de Calidad de Aguas de la Operación Mantoverde.

Contexto.

En el marco de la Normativa Chilena y cumpliendo los compromisos suscritos emanados de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), es que se establece la necesidad de realizar un monitoreo periódico de calidad de agua en la operación Mantoverde. Este se realizará en tres áreas: la primera es la medición de la calidad de agua potable, la segunda es la medición de la calidad de agua de la planta de tratamientos de aguas servidas (PTAS) y por último la medición de la calidad de agua subterránea en Quebrada Guamanga y en los DW de los rajos.

Descripción del Servicio

Objetivo General

Realizar el monitoreo periódico de la calidad de agua en la Operación Mantoverde evaluando la calidad de esta y su cumplimiento con las normas chilenas respectivas según sea el caso.

Objetivos Específicos.

- Monitorear mensualmente la calidad de agua potable según los parámetros de la NCh. 409/1 Of.2005.
- Monitorear mensualmente la Calidad de Aguas de la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) según los parámetros de la NCh. 1333.Of 78 Modificación 1987.
- Monitorear mensualmente la calidad de agua subterránea se realizaran en dos áreas; en la cuenca de Quebrada Guamanga en los pozos:
 - GWP-1A
 - GWP-1B
 - GWP-1C
 - WM-03
 - WM-06
 - GWP-02

Y trimestralmente la calidad de agua de los pozos DW ubicados en el rajo:

- DW-09
- DW-12
- DW-15
- DW-17
- DW-20
- DW-21
- DW-22
- DW-23
- DW-24
- DW-27
- DW-28

- Entregar informes mensuales de calidad de agua de cada área (calidad de agua potable, calidad de agua subterránea, calidad de aguas servidas), con la respectiva comparación a la norma actualizada que corresponda y con un comentario sobre los resultados.
- Entregar un informe consolidado semestralmente de cada uno de los monitoreos (calidad de agua subterránea, calidad de aguas servidas).
- Ingresar mensualmente cada monitoreo sobre calidad de aguas a la plataforma del SIGEA.

Característica del Monitoreo.

El monitoreo consta de la medición in-situ a algunos parámetros y las mediciones puntuales que serán despachadas a laboratorio. En el caso de las mediciones in-situ se debe realizar con equipo multipropósito que cuente con la calibración correspondiente, los parámetros a medir se detalla en la tabla 1, estos deben estar reportados en la guía de trabajo en terreno y dejar un copia en la Gerencia al terminar el monitoreo.

Tabla 1: Parámetros a medir in situ.

Parámetro	Rango	Resolución
pH	0-14	0,01
Temperatura	0-45°C	±0,1°C
Conductividad	0-10 uS/cm	1uS/cm

El monitoreo de calidad de agua potable será tomado de los efluentes del casino y debe contemplar los parámetros detallados en la NCh 409/1 Of. 2005. Manteniendo un set básico de parámetros que se realizará mensualmente (parámetros físicos, químicos, de desinfección y bacteriológicos), y un set ampliado que se realizará semestralmente durante el mes de marzo y noviembre para los parámetros de sustancias orgánicas, plaguicidas, productos secundarios de desinfección y los elementos radiactivos como se detalla en el Anexo I.

El monitoreo de calidad de aguas de los efluentes de la planta de tratamiento de agua servidas (PTAS) debe contemplar todos los parámetros detallados en la NCh 1333 Of 87 como se ilustra en el Anexo II.

Finalmente la medición del monitoreo de la calidad de aguas subterráneas contempla la medición en la Quebrada Guamanga y de los pozos DW del rajo. En la Quebrada Guamanga se medirá el nivel freático de cada pozo y el análisis fisicoquímico de sus aguas. Mientras que en los pozos DW del rajo se hará sólo el análisis fisicoquímico de las aguas según lo detallado en el Anexo III.

Frecuencia y Reportabilidad.

El monitoreo mensuales se realizarán la cuarta semana del mes en los lugares que se detallan en la tabla 2. En el momento del monitoreo, se tendrá una guía de trabajo que indique: el nombre del operario, el punto de muestreo, las mediciones in-situ realizadas, la calibración realizada, con los horarios de muestreo para ser entregada por duplicado a la gerencia. Posterior a cada monitoreo se emitirá un informe mensual en un plazo máximo de 10 días hábiles posterior a la medición. El informe antes mencionado se debe entregar en formato digital y físico. Este debe estar organizado según área (calidad de agua potable, calidad de aguas de la planta de tratamiento de aguas servidas, calidad de aguas subterráneas quebrada Guamanga y calidad de aguas subterráneas pozos DW) y contener los siguientes aspectos:

- Parámetro a medir.
- Método utilizado en la medición del parámetro antes mencionado.
- Valor obtenido del análisis de la muestra.
- Límite de detección del método.
- Valor de la norma aplicable según corresponda (NCh 409/1 Of. 2005 y NCh 1333 Of. 78 Modificación 87).
- Análisis breve sobre resultados.

Adicionalmente se entregará un informe consolidado semestral que contenga los valores obtenidos y su comparación con la norma en un plazo de 15 días hábiles posterior a la última medición.

Áreas de Monitoreo de Calidad de Aguas.

El monitoreo se llevará a cabo tanto en las instalaciones de la operación Mantoverde como en zonas aledañas. Dentro de la operación, el monitoreo se realizará en el casino, la planta de tratamiento de aguas servidas, en los pozos WM-03 y los pozos DW. El monitoreo en zonas aledañas, será a través de la Quebrada Guamanga, tanto aguas arriba, como aguas abajo de la operación. Estos lugares de muestreo son de fácil acceso y cuentan con caminos habilitados de tránsito frecuente.

Tabla 2: Lugares de muestreo y especificación geográfica.

Nombre del Punto de Muestreo	Ubicación Referencial	Ubicación Geográfica (Coordenadas UTM WGS84-Huso 19S)	
		Norte	Este
Casino Mantoverde	Interior de la operación	---	---
Planta de tratamiento de aguas servidas	Interior de la operación	---	---
Pozo GWP-1A	Pozos sector BSK	7056602	370837
Pozo GWP-1B	Pozos sector BSK	7056639	370790
Pozo GWP-1C	Pozos sector BSK	7056619	370811
Pozo MN-03	Interior de la operación	7060294	367421
Pozo MN-06	Aguas abajo	7062277	363127
Pozo GWP-2	Pozo sector Gighlino	7062736	361262
Pozo DW-09*	Rajo Manto Ruso	7064804	369098
Pozo DW-12*	Rajo manto Ruso	7064802	368997
Pozo DW-15*	Sector RLV	7061027	369468
Pozo DW-17*	Sector RLV	7061182	369335
Pozo DW-20*	Rajo Central	7061309	369310
Pozo DW-21*	Rajo Central	7061401	369298
Pozo DW-22*	Franco	7058061	370228
Pozo DW-23*	Rajo Central	7062229	368969
Pozo DW-24*	Rajo Mantoverde Sur	7060479	369841
Pozo DW-27*	Rajo Mantoverde Norte	7063120	368699
Pozo DW-28*	Rajo Mantoverde Sur	7060285	369736

Alcance

El monitoreo de los pozos DW está sujeto a la disponibilidad técnica de los pozos, ya que estos evolucionan con el rajo pudiendo no estar disponible todas las campañas. Por lo anterior, es que se evaluará previo a cada campaña los puntos de extracción con el área de Planta y Planificación Mina.

Obligaciones especiales

El contratista velará por el correcto análisis de la laboratorio y el aseguramiento de la calidad de los resultados entregados: estando abierto a repetir algunos análisis frente a desviación mayores al 30 % del promedio de los últimos 6 meses, a la validación por medio de muestras ciegas de forma semestral (análisis de materiales de referencia certificados ISO-Guide 34).

Características del Proponente (Acreditación del Personal)

La empresa de servicios debe contar con a lo menos 3 personas que cuenten con toda la acreditación correspondiente para la realización de la labor. Estas deben acreditarse tanto a nivel de Achiller como como a nivel Angloamerican. Los requisitos internos de Angloamerican corresponden al curso A1 y la inducción a Mina.

A su vez debe contar con un procedimiento de muestreo estipulado y conocido por el personal, dejando constancia de este mediante una copia en Gerencia. En este documento se debe especificar los protocolos de toma de muestra en terreno, la forma de medición in-situ con el detalle de los perseverantes usados, el tipo de rotulación, la forma de almacenamiento y su transporte.

Responsabilidades de las partes

Responsabilidades Anglo American	Responsabilidades Proponente
DMVE, se compromete a facilitar los contactos de alimentación, transporte de personal y abastecimientos de combustibles con que opera DMVE.	<p>La empresa de servicio se compromete a respetar y cumplir todas las exigencias de DMVE, en el ámbito de la seguridad de sus trabajadores y del medio ambiente.</p> <p>Además la Empresa debe contar con los procedimientos para el trabajo a realizar, y debiendo cubrir todas las actividades que se realizarán en terreno.</p> <p>La empresa de servicio debe proporcionar los equipos necesarios para la prestación del servicio y considerar todos los costos inherentes al desarrollo del trabajo en Mantoverde, por mencionar algunos; alimentación, movilización, etc.</p> <p>Entrega de certificados mensuales y certificación de calibración y/o mantención de los equipos de medición anuales.</p>

Mecanismo de Solución a no conformidades

Frente al incumplimiento de las bases técnicas, se presentará un reclamo formal con los antecedentes respectivos y el contratista deberá ejecutar el mecanismo de solución correspondiente. Frente a una reiteración de la problemática, el laboratorio deberá repetir los análisis, asumiendo el costo de ellos. Frente a una tercera ocurrencia de establecer multas por el incumplimiento. Que frente a reiteración puede provocar la cancelación del contrato.

Anexo I: Detalle de los parámetros a medir e el monitoreo de calidad de aguas subterráneas.

NCh 409/1 Of.2005 de calidad de agua potable.				
Parámetro	Expresión	Unidad	Límite máximo	Frecuencia de Monitoreo.
Tipo I				
Coliformes totales	--	0	NMP	Mensual
Echericha coli	--	0	NMP	Mensual
Coliformes fecales	--	0	NMP	Mensual
Turbiedad	--	2	UNT	Mensual
Tipo II				
Sustancias esenciales				
Cobre	Cu	mg/L	2,0	Mensual
Cromo total	Cr	mg/L	0,005	Mensual
Fluoruro	F ⁻	mg/L	1,5	Mensual
Hierro	Fe	mg/L	0,3	Mensual
Manganeso	Mn	mg/L	0,1	Mensual
Magnesio	Mg	mg/L	125	Mensual
Selenio	Se	mg/L	0,01	Mensual
Zinc	Zn	mg/L	3,0	Mensual
Sustancias no esenciales				
Arsénico	As	mg/L	0,01	Mensual
Cadmio	Cd	mg/L	0,01	Mensual
Cianuro	CN ⁻	mg/L	0,05	Mensual
Mercurio	Hg	mg/L	0,001	Mensual
Nitrato	NO ₃ ⁻	mg/L	50	Mensual
Nitrito	NO ₂ ⁻	mg/L	3	Mensual
Razón nitrito + nitrato	--	mg/L	1	Mensual
Plomo	Pb	mg/L	0,05	Mensual

Continuación de los parámetros a medir e el monitoreo de calidad de aguas subterráneas.

Sustancias orgánicas				
Tetracloroetano	-	µg/L	40	Semestral*
Benceno	-	µg/L	10	Semestral*
Tolueno	-	µg/L	700	Semestral*
Xilenos	-	µg/L	500	Semestral*
Plaguicida				
DDT+DDD+DDE	-	µg/L	2	Semestral*
2,4-D	-	µg/L	30	Semestral*
Lindano	-	µg/L	2	Semestral*
Metoxicloro	-	µg/L	20	Semestral*
Pentaclorofenol	-	µg/L	9	Semestral*
Productos secundarios de desinfección				
Monocloroamina	-	mg/L	3	Semestral*
Dibromoclorometano	-	mg/L	0,1	Semestral*
Bromodichlorometano	-	mg/L	0,06	Semestral*
Tribromometano	-	mg/L	0,1	Semestral*
Triclorometano	-	mg/L	0,2	Semestral*
Trihalometanos	-	mg/L	1	Semestral*
Tipo III (elementos radioactivos)				
Estroncio 90	-	Bq/L	0,37	Semestral*
Radio 226	-	Bq/L	0,11	Semestral*
Actividad base total (excluyendo SR-90, Ra-226 y otros emisores alfa)	-	Bq/L	37	Semestral*
Actividad beta total (incluyendo Sr-90, corregida para el K-40 y otros radioemisores naturales)	-	Bq/L	1,9	Semestral*
Actividad alfa total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa)	-	Bq/L	0,55	Semestral*

Semestral*: La medición semestral para los parámetros: sustancias orgánicas, plaguicidas, productos de desinfección y elementos radioactivos se desarrollaran durante el mes de marzo y noviembre de cada año.

Continuación de los parámetros a medir e el monitoreo de calidad de aguas subterráneas.

Tipo IV (orgaolepticos)				
Color verdadero	--	Pt-Co	20	Mensual
Olor	--	-	Inodora	Mensual
Sabor	--	-	Insípida	Mensual
Amoniaco	NH3	mg/L	1,5	Mensual
Cloruro	Cl-	mg/L	400	Mensual
pH	--	-	6,5<pH<8,5	Mensual
Sulfato	SO4=	mg/L	500	Mensual
Solidos totales disueltos	STD	mg/L	1500	Mensual
Compuestos fenólicos	fenol	µg/L	2	Mensual
Tipo V				
Cloro libre residual 2,0mg/L	--	mg/L	0,2>X<2,0	Mensual

Anexo II: Detalle de los parámetros a medir en el monitoreo de calidad de agua de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas servidas.

NCh 1333 Of.87 Requisitos del agua para riego			
Parámetro	Expresión	unidad	Límite máximo.
pH	--	--	5,5<pH<9,0
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico	Ar	mg/L	0,10
Bario	Ba	mg/L	4,0
Berilio	Bc	mg/L	0,10
Boro	B	mg/L	0,75
Cadmio	Cd	mg/L	0,01
Cianuro	CN-	mg/L	0,20
Cloruro	Cl-	mg/L	200,0
Cobalto	Co	mg/L	0,05
Cobre	Cu	mg/L	0,20
Cromo	Cr	mg/L	0,10
Fluoruro	F-	mg/L	1,0
Hierro	Fe	mg/L	5,0
Litio	Li	mg/L	2,5
Manganeso	Mn	mg/L	0,20
Mercurio	Hg	mg/L	0,001
Molibdeno	Mo	mg/L	0,01
Niquel	Ni	mg/L	0,2
Plata	Ag	mg/L	0,2
Plomo	Pb	mg/L	5,0
Selenio	Se	mg/L	0,020
Sodio porcentual	Na	%	35,0
Sulfato	SO=4	mg/L	250,0
Vanadio	V	mg/L	0,10
Zinc	Zn	mg/L	2,0
RAS	--	--	--
Conductividad específica	--	µmho/cm a 25 °C	[1]
Sólidos totales disueltos	TSD	mg/L. A 105°C	[1]
Coliformes fecales	--	NMP/100	≤1000

Anexo III: Detalle de los parámetros a medir en el monitoreo de calidad de aguas subterráneas.

N°	Parámetro	Unidad	Fecha de Muestreo											
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic.
1	Nivel Freático	m	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G.
2	Temperatura	°C	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
3	pH		Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
4	Conductividad Específica	umho/cm 25°C	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
5	Sólidos Totales Disueltos	mg/L 105 °C	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
6	Cloruro	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
7	Sulfato	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
8	Cobre	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
9	Arsénico	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
10	Hierro	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
11	Molibdeno	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
12	Cadmio	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
13	Mercurio	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.
14	Plomo	mg/L	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.	Q.G.	Q.G.	Q.G./D.W	Q.G.

Q.G.= Red de pozos de Quebrada Guamanga (GWP-1A, GWP-1B, GWP-1C, GWP-02, WM-03, WM-06)

Q.G./D.W= Red de pozos de Quebrada Guamanga más la red de pozos DW(Mantoroso, Rajo Central, Franco, Mantoverde Norte, Mantoverde Sur y sector RLV)

Q.G.*. Se aplicara solo para el pozo WM-03.

Continuación de los parámetros a medir en el monitoreo de calidad de aguas subterráneas.

N°	Parámetro	Unidad	Fecha de Muestreo											
			Enc	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul.	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic.
15	Aluminio	mg/L			Q.G./D.W					Q.G./D.W				Q.G./D.W
16	Bicarbonato	mg/L			Q.G./D.W					Q.G./D.W				Q.G./D.W
18	Carbonato	mg/L			Q.G./D.W					Q.G./D.W				Q.G./D.W
19	Cromo	mg/L			Q.G./D.W					Q.G./D.W				Q.G./D.W
20	Manganeso	mg/L			Q.G./D.W					Q.G./D.W				Q.G./D.W
21	Selenio	mg/L			Q.G./D.W					Q.G./D.W				Q.G./D.W
22	Zinc	mg/L			Q.G./D.W					Q.G./D.W				Q.G./D.W
23	acetona	mg/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
24	Antimonio	mg/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
25	Benceno	mg/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
26	Hidrocarburos Fijos	mg/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
27	Hidrocarburos Totales	mg/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
28	Hidrocarburos Volátiles	mg/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
29	Metilisobutilcetona	mg/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
30	Niquel	mg/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
31	percloroetileno	ug/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
32	Tolueno	ug/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
33	Tricloroetileno	ug/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*
34	Xileno	ug/L			Q.G.*					Q.G.*				Q.G.*

Q.G = Red de pozos de Quebrada Guamanga (GWP-1A, GWP-1B, GWP-1C, GWP-02, WM-03, WM-06)

Q.G./D.W= Red de pozos de Quebrada Guamanga más la red de pozos DW(Manturuso, Rajo Central, Franco, Mantoverde Norte, Mantoverde Sur y sector RLV)

Q.G.*: Se aplicara solo para el pozo WM-03.