



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

HIDROGEOLOGÍA E HIDROGEOQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL
DISTRITO INCA DE ORO, REGIÓN DE ATACAMA: PROCESOS DE INTERACCIÓN
AGUA-ROCA Y DISPERSIÓN GEOQUÍMICA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS MENCIÓN GEOLOGÍA
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

MARÍA CAROLINA SOTO CABRERA

PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HUGO HENRÍQUEZ AMARO
MARTIN REICH MORALES
JACQUES WIERTZ

SANTIAGO DE CHILE
MAYO 2010

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados del estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico de aguas subterráneas en el depósito tipo pórfido de Cu-Au-Mo Inca de Oro, Región de Atacama, en el norte de Chile, cuyo objetivo es entender los procesos de interacción agua-roca que controlan la composición del agua subterránea y sus efectos en los procesos de dispersión y migración de elementos. Este estudio forma parte del proyecto "Predictive Geochemistry in Areas of Transported Overburden" financiado por AMIRA (Proyecto P778) que busca comprender los procesos de generación de anomalías de contraste geoquímico en superficie a partir de un cuerpo mineralizado bajo cobertura.

El depósito Inca de Oro se ubica a 100 km al NE de la ciudad de Copiapó, en una zona de extrema aridez, con un promedio de precipitación anual de 25 mm. Su génesis se relaciona al emplazamiento de un complejo de pórfidos de composición tonalítica a granodiorítica de edad cretácica superior, que intruyen rocas volcano-sedimentarias correlacionadas con la Formación Punta del Cobre (jurásica-cretácica?), y se encuentra cubierto por un nivel de gravas no consolidadas del Mioceno de espesor variable entre 40 y 200 metros. El agua subterránea satura la parte inferior del yacimiento, donde se encuentra en fracturas y en las quemaduras de la roca lixiviada.

El muestreo de aguas se realizó utilizando un "bailer", en 17 pozos de sondaje verticales, en 5 campañas de muestreo realizadas en enero, julio y diciembre de 2007, abril de 2008 y marzo de 2009. Las muestras fueron tomadas de pozos distribuidos tanto dentro como fuera del depósito y están hospedadas tanto en grava como en roca. Parámetros ambientales como pH, temperatura, sólidos disueltos totales (SDT) y electroconductividad (EC) fueron medidos in-situ. Muestras no filtradas (tomadas en el nivel freático y a 10 y 20 metros bajo éste) fueron tomadas para el análisis de aniones y cationes mayores y para el análisis geoquímico de 72 elementos menores y trazas. La última campaña de muestreo incluyó la toma de muestras de agua filtradas.

Los resultados indican que el agua subterránea en Inca de Oro es neutra a levemente alcalina y salobre (1127 ppm de TDS en promedio), similar a aguas subterráneas del valle del Río Copiapó, 100 km al sur del área de estudio. El agua subterránea es de tipo sulfatada cálcica, concordante con procesos de oxidación de sulfuros (pirita, calcopirita) y/o meteorización/disolución de minerales sulfatados como jarosita, brocantita o antlerita, observados en la zona de oxidación del depósito.

El contenido de SO_4^{2-} , Cl^- , Ca, Na y elementos traza como B, Br, Cs, Cu, Li, Mn, Mo, Rb, Sr, U y Zn es mayor en muestras de agua hospedada en roca respecto del agua en grava, consistente con procesos de interacción entre el agua subterránea y las rocas mineralizadas del depósito. En particular, Cu, Mo y Mn presentan mayores concentraciones en muestras que atraviesan zonas de ocurrencia de óxidos de Cu verdes y negros. El cálculo de índices de saturación mineral indica que el agua está saturada (en equilibrio) con respecto a minerales de Cu oxidados como malaquita, brocantita y tenorita. Por otra parte, óxidos de Cu (delafosita) y Fe (goethita, jarosita y hematita) se encuentran sobresaturados, sugiriendo condiciones aptas para la precipitación de estos minerales.

El transporte y la dispersión de elementos en el agua subterránea en Inca de Oro, son controlados principalmente por la especiación y por procesos de adsorción. Elementos como Mn, Zn, Cu, Fe y Al ocurren principalmente adsorbidos en el material suspendido, limitando su dispersión aguas abajo del depósito. Por el contrario, elementos como B, Br, Cl, Mo, S y Se, se encuentran disueltos (con razones entre muestras filtradas/no filtradas ~ 1), y aumentan sus concentraciones a lo largo del flujo de agua. Los procesos de adsorción, junto con la variabilidad estacional observada en la concentración de algunos elementos, tienen directas consecuencias en la disponibilidad de elementos capaces de migrar desde la solución mediante mecanismos de dispersión vertical, como la capilaridad y la evaporación.

El análisis de elementos en aguas subterráneas, asociados a la mineralización de pórfidos cupríferos (Cu, Mo, Mn, Re, Se y Zn) tiene directas aplicaciones en exploración de depósitos cubiertos. En particular, Mo y Se son móviles, a diferencia de Cu y Mn cuya movilidad es limitada principalmente por procesos de adsorción, por lo que muestran ser mejores indicadores de mineralización. Las altas concentraciones de Mo (hasta 110 ppb), sin importantes variaciones estacionales, en aguas subterráneas de Inca de Oro, sumado a que es un elemento poco común en aguas naturales y fácil de lixiviar desde la fuente, sugieren que es un indicador confiable de mineralización y que su uso en campañas de exploración puede ser efectivo en la detección de este tipo de depósitos.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que los procesos de interacción del agua con la zona de mineralización supérgena del depósito se encuentran activos. La mineralogía y permeabilidad de la roca, en conjunto con la velocidad del flujo de agua, el tiempo de residencia de ésta, y procesos como la adsorción y precipitación/disolución mineral, son factores clave en el control de la composición del agua subterránea en el área de estudio.

SUMMARY

This study presents the results of hydrogeological and hydrogeochemical research of groundwater at the Inca de Oro porphyry Cu-Au-Mo deposit, Atacama Region, northern Chile. The key aim of this study is to understand water-rock interaction processes that control groundwater composition and the effects on dispersion and migration of elements in a buried system. The research presented here was conducted as part of the project "Predictive Geochemistry in Areas of Transported Overburden", funded by AMIRA (Project P778), that focused on understanding the processes that lead to the development of geochemical contrast anomalies at surface from an ore deposit lying beneath cover.

The Inca de Oro deposit is located 100 km NE of the Copiapó city, in an arid region, with an average of 25 mm of annual precipitation. Its genesis is related to the emplacement of an Upper Cretaceous tonalitic to granodioritic porphyry complex, that intrudes volcanic and sedimentary rocks correlated to the Jurassic-Cretaceous Punta del Cobre Formation. The deposit is covered by a sequence of non-consolidated Miocene gravels that vary in thickness between 40 to 200 meters. Groundwater saturates the lower part of the deposit, and the permeability is limited to fractures and secondary porosity of the leached rock.

Groundwater samples were collected using a bailer from 17 vertical exploration drill holes, in 5 sampling campaigns on January, July and December 2007, April 2008 and March 2009. Samples were taken from wells distributed within and around the deposit, hosted within gravel and rocks. Environmental parameters such as pH, temperature, total dissolved solids (TDS) and electroconductivity (EC) were measured in-situ. Non-filtered samples (from water table and 10 and 20 meters beneath) were analyzed for major anion and cation analysis and for geochemical analysis of 72 minor-to-trace elements. The last sampling campaign included sampling of filtered aliquots.

Results indicate that groundwater at the Inca de Oro deposit is neutral to slightly alkaline and brackish (with an average of TDS of 1127 ppm), similar to groundwater from the Copiapó River valley, 100 km south from the study area. Groundwater is calcium-sulphate type, concordant with sulphide (pyrite, chalcopyrite) oxidation processes and/or weathering/dissolution of sulphate minerals like jarosite, brochantite or antlerite, observed in the oxidation zone at the deposit.

Concentrations of SO_4^{2-} , Cl^- , Ca, Na and trace elements like B, Br, Cs, Cu, Li, Mn, Mo, Rb, Sr, U and Zn are higher within rock-hosted groundwater samples respect to gravel-hosted ones, consistent with interaction between groundwater and mineralized rocks from the deposit. In particular, Cu, Mo and Mn show higher concentrations in groundwater samples that pass through zones where green and black copper oxides occur. Saturation index calculations show that the groundwater is saturated (in equilibrium) with respect to oxidized copper minerals such as malachite, brochantite and tenorite. In contrast, groundwater is oversaturated with respect to the Cu oxides (delafosite) and Fe oxides (goethite, jarosite and hematite), suggesting suitable conditions for precipitation of these minerals.

Groundwater elemental transport and dispersion at Inca de Oro are mainly controlled by speciation and adsorption processes. Elements like Mn, Zn, Cu, Fe and Al occur mainly adsorbed to the suspended material, limiting their dispersion down flow from the deposit. In contrast, elements like B, Br, Cl, Mo, S and Se, are dissolved (with filtered/unfiltered samples ratios ~ 1), and increase their concentrations along the flow direction. These processes, together with seasonal variation observed in elemental concentrations of some elements, influence directly the availability of elements capable to migrate from solution by vertical dispersion mechanisms, like capillarity and evaporation.

The analysis of elements associated to porphyry copper mineralization (Cu, Mo, Mn, Re, Se and Zn) has direct applications in exploration of covered deposits. In particular, Mo and Se are mobile, unlike Cu and Mn whose mobility is limited mainly by adsorption processes, so they show to be better mineralization indicators. The high concentrations of Mo in water samples at Inca de Oro (up to 110 ppb), together with the fact that it is a rare element in natural waters and easily leached from rock sources, suggest that Mo is a reliable mineralization pathfinder and its use in exploration campaigns can be effective in locating these types of deposits.

The results obtained in this study show that interaction processes between water and supergene mineralization zone at the deposit are currently active. Mineralogy and permeability of the rock, together with velocity of water flux, residence time, and processes like adsorption and mineral precipitation/dissolution, are key factors that control groundwater composition in the study area.

*“A mi pequeña hija Sofía,
y su sonrisa que es mi luz,
y a mi ejemplo de vida:
mi mamá ”*

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue realizada con el financiamiento del proyecto AMIRA P778, en colaboración con CSIRO (Australia) y la Universidad de Chile.

En primer lugar quisiera agradecer a mi profesor guía, Brian Townley, por todo su apoyo y confianza, y por invitarme a ser parte de este proyecto y grupo de trabajo. A mis compañeros de proyecto, Fernando López y en especial a Rodrigo Luca por su compañía, apoyo y buenas ideas en las campañas de terreno. A los miembros de mi comisión por sus consejos, en particular, a don Hugo Henríquez quien me introdujo en la hidrogeología, gracias por su dedicación y paciencia. En Australia, a la gente de CSIRO que me recibió en Perth, Ravi Anand, Ryan Noble, Mel Lintern y David Gray, quien me ayudó a abrir mi mente a la hidrogeoquímica.

En este largo camino muchos amigos me acompañaron, quienes se convirtieron en mi segunda familia y me acompañaron en grandes momentos. A mis amigos de primer año, cómo olvidarlos!, Titi, Dani, Tania y Claudia, a “los de garró” y “deportes laja”, Álvaro, Esteban, Laja y Jorge. A todos los quiero mucho, espero que sigamos cultivando nuestra amistad. A mis amigos de geología, compañeros de tantos momentos y anécdotas inolvidables, tanto en terreno como en la U, compartiendo historias de vida, música y sobretodo risas, Paula, Fernanda, Vivi, Chica, Melu, Romi, Pájaro, Seba, Sergio y Javier, gracias por estar conmigo siempre.

A Cristi y María Rosa, gracias por toda la ayuda brindada durante todos estos años y también por las largas y gratificantes conversaciones y consejos. También por la enorme paciencia y por la incansable disposición a solucionar nuestros problemas. Las quiero mucho.

A mi familia, gracias por todo el cariño y apoyo. En especial, a quienes hicieron posible mi sueño de estudiar en la chile, mi mamá, Eduardo, mi papá y Pía, muchas gracias por el esfuerzo inagotable en dar lo mejor a todos sus hijos, por los consejos y la paciencia. A mi mamá, que adoro, gracias a ti soy quien soy, eres el mejor ejemplo a seguir, una persona maravillosa, dispuesta siempre a defender y ayudar a todo el mundo, siempre dando todo por sus hijos, no sé que haría sin ti. Gracias por ser mi mamá y amiga, por tus consejos, que a través del tiempo he aprendido qué son siempre ciertos!.

Finalmente, a Pepo, mi compañero de vida, gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas. Por ayudarme a ser mejor cada día, por todo tu amor, tu alegría, tus historias (aunque algunas sean inventadas) y tu música, te quiero mucho mi amor. Y a mi tesoro, a lo más importante de mi vida, mi pequeña hija Sofía, porque te ríes con los ojos y eso me basta para ser la mamá más feliz del mundo, por recordarme cada día lo afortunada que soy, por ser mi motivación y motor de vida. Te amo mi pequeña, no imagino la vida sin ti.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 Fundamentos Teóricos	4
1.3 Hipótesis de Trabajo	8
1.4 Metodología de Trabajo	9
1.4.1 Recopilación de antecedentes	9
1.4.2 Preparación de campañas de terreno	9
1.4.3 Muestreo de aguas subterráneas y análisis de muestras	10
1.4.4 Procesamiento de datos	10
1.4.5 Desarrollo de modelos	10
2. ANTECEDENTES GENERALES	11
2.1 Ubicación y Accesos	11
2.2 Antecedentes de Trabajos Previos	12
2.3 Clima	12
2.3.1 Clima desértico con nublados abundantes	12
2.3.2 Clima desértico marginal bajo	13
2.3.3 Clima desértico marginal de altura	13
2.4 Geomorfología	15
2.5 Hidrografía	15
2.6 Hidrogeología Regional	16
2.7 Hidrogeología Sectores Artemisa e Inca Bravo	17
Sector Artemisa	17
Sector Inca Bravo	19
3. MARCO GEOLÓGICO	20
3.1 Geología Regional	20
3.1.1 Rocas Estratificadas	20
3.1.2 Rocas Intrusivas	22
3.1.3 Estructuras	24
3.2 Geología Local	24
3.2.1 Litología	24
3.2.2 Estructuras	25
3.2.3 Alteración	27
3.2.4 Mineralización	30
4. MARCO HIDROGEOLÓGICO	33
4.1 Hidrogeología General	33
4.2 Hidrogeología Local	34
4.2.1 Unidades Hidrogeológicas	34
4.3 Características Hidrológicas	36

4.3.1 Recarga.....	36
4.3.2 Almacenamiento	36
4.3.3 Descarga.....	37
4.3.4 Hidroquímica.....	38
5. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS	39
5.1 Muestreo de aguas subterráneas.....	39
5.1.1 Construcción muestreador de agua subterránea	39
5.1.2 Metodología de muestreo	41
5.2 Procedimientos Analíticos	44
5.2.1 Análisis de Eh e iones libres	44
5.2.2 Análisis de Laboratorio.....	44
5.2.3 Análisis bacteriológico.....	44
6. CARACTERÍSTICAS DE PUNTOS DE MUESTREO.....	47
6.1 Selección y ubicación de puntos de muestreo	47
6.2 Características geológicas de los puntos de muestreo.....	48
7. CONTROL DE CALIDAD	54
7.1 Geoquímica de 72 elementos.....	55
7.1.1 Control de Calidad Analítico	55
7.1.2 Control de Calidad de Terreno.....	56
7.2 Geoquímica de Elementos Mayores	58
8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	60
8.1 Estadística Univariable	60
8.1.1 Inca de Oro	60
8.1.2 Comparación con agua superficial y subterránea de otros lugares del Norte de Chile	64
9. HIDROGEOQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN INCA DE ORO	68
9.1 Parámetros Físico-Químicos	68
9.1.1 pH y Temperatura	68
9.1.2 Eh.....	70
9.1.3 Sólidos Disueltos Totales y Electroconductividad	71
9.2 Geoquímica de Elementos Mayores	75
9.2.1 Clasificación del Agua Subterránea.....	76
9.2.2 Concentraciones Relativas de Elementos	78
9.3 Geoquímica de Elementos Menores y Traza	82
9.3.1 Concentraciones Relativas de Elementos	82
9.3.2 Variabilidad estacional	88
9.3.2 Índices de Saturación Mineral.....	89
9.4 Comparación de muestras de agua filtradas versus no filtradas	92
9.5 Análisis bacteriológico de muestras de agua	94
10. DISCUSIONES.....	97
11. CONCLUSIONES.....	119
Referencias.....	124
ANEXOS.....	127

Anexo 1. DATOS HIDROLÓGICOS Y QUÍMICA EN INCA DE ORO	128
Anexo 2. ANÁLISIS DE LABORATORIOS.....	133
Anexo 3. UBICACIÓN PUNTOS DE MUESTREO.....	134
Anexo 4. CONTROL DE CALIDAD	135
Anexo 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	144
Anexo 6. RESULTADOS	167

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1	Modelo híbrido para la migración de elementos y compuestos gaseosos.....	4
FIGURA 2.1	Ubicación zona de estudio.	11
FIGURA 2.2	Tipos de clima en la región de Atacama	14
FIGURA 2.3	Hidrografía zona de estudio	16
FIGURA 2.4	Hidrogeología regional	18
FIGURA 2.5	Ubicación de los sectores Artemisa e Inca Bravo.....	19
FIGURA 3.1	Geología Regional del sector de estudio	23
FIGURA 3.2	Sección 7.040.500 N de litología y estructuras en Inca de Oro	26
FIGURA 3.3	Litología y estructuras en Inca de Oro. Planta 1500 m	27
FIGURA 3.4	Sección 7.040.500 N de alteración en Inca de Oro.....	29
FIGURA 3.5	Alteración en Inca de Oro. Planta 1500 m	29
FIGURA 3.6	Sección 7.040.500 N de zonas de mineralización en Inca de Oro	31
FIGURA 3.7	Mineralización en Inca de Oro. Planta 1500 m	32
FIGURA 4.1	Hoya hidrográfica de Inca de Oro.....	33
FIGURA 4.2	Modelo simplificado de Inca de Oro	34
FIGURA 4.3	Esquema de las principales unidades hidrogeológicas reconocidas por Henríquez (2007) en el sector de Inca de Oro	35
FIGURA 4.4	Curvas isofreáticas y líneas de flujo en Inca de Oro	36
FIGURA 4.5	Líneas de flujo del agua subterránea en Inca de Oro	37
FIGURA 5.1	Tipos de muestreadotes utilizados	40
FIGURA 5.2	“Bailer” clásico desechable.....	41
FIGURA 5.3	Métodos y especificaciones para el paquete analítico Grupo 2C de análisis de agua vía ICP-MS entregado por ACMELabs Ltda	46
FIGURA 5.4	Métodos de análisis entregado por el Laboratorio Ambiental SGS Chile Ltda	46
FIGURA 6.1.	Ubicación de puntos de muestreo	47
FIGURA 6.2	Litología en el nivel de aguas freáticas (cota 1550 aprox.) en Inca de Oro y ubicación de puntos de muestreo.....	50
FIGURA 6.3	Zonas de alteración (arriba) y mineralización (abajo) en el nivel de aguas freáticas (cota 1550 aprox.) en Inca de Oro y ubicación de puntos de muestreo	51
FIGURA 6.4	Cu soluble (arriba) y (Cu Total-Cu soluble) (abajo) en la profundidad del nivel freático de aguas subterráneas	53

FIGURA 8.1	Promedios de variables físico-químicas y elementos mayores para las cinco campañas de terreno.....	63
FIGURA 8.2	Total de sólidos disueltos (calculados) ploteados versus elementos mayores y traza para muestras de agua subterránea de Spence, Mantos Blancos, Inca de Oro y el valle del Río Copiapó.....	67
FIGURA 9.1	pH corregido por temperatura de las muestras de agua subterránea analizadas en las 4 campañas de terreno.....	69
FIGURA 9.2	Eh en muestras de agua de las 4 campañas de terreno.....	71
FIGURA 9.3	(Arriba) pH v/s TDS calculado para las cuatro campañas de terreno (muestras en nivel freático), (Abajo) Distribución de TDS calculado en muestras de agua, campaña Abril 2008.....	73
FIGURA 9.4	Variación del total de sólidos disueltos (ppm) según profundidad muestreada (m)	74
FIGURA 9.5	Diagrama de Piper para muestras de agua subterránea	77
FIGURA 9.6	Concentraciones relativas de cationes y aniones mayoritarios en agua subterránea ..	78
FIGURA 9.7	Concentraciones relativas de cationes y aniones mayoritarios en agua subterránea de muestras de agua de Inca de Oro y sus alrededores	80
FIGURA 9.8	Concentración de iones mayoritarios en muestras de agua de Inca de Oro (campaña Nov-Dic 2007).....	81
FIGURA 9.9	Concentraciones relativas de algunos elementos traza.....	83
FIGURA 9.10	Concentración de elementos menores y traza según sentido del flujo del agua subterránea.....	87
FIGURA 9.11	Ejemplos de los diversos comportamientos estacionales de los elementos analizados en las muestras de agua	88
FIGURA 9.12	Índices de saturación en muestras de agua de Inca de Oro.....	91
FIGURA 9.13	Concentración de distintos elementos en muestras de agua filtradas y no filtradas	93
FIGURA 9.14	Gráfico de barras con los promedios elementales de razones de muestras filtradas/no filtradas	94
FIGURA 10.1	Puntos de muestreo en sector de estudio.....	99
FIGURA 10.2	Ejemplos de los distintos comportamientos en cada grupo de elementos definido para las concentraciones en muestras de agua de Inca de Oro.....	101
FIGURA 10.3	Concentración de Na versus Cl (en meq/l) en muestras de agua subterránea de Inca de Oro.....	102
FIGURA 10.4	Concentración de SO ₄ versus Ca (en meq/l) en muestras de agua subterránea de Inca de Oro.....	103
FIGURA 10.5	Sección 7.040.400 de mineralización en Inca de Oro.....	104
FIGURA 10.6	Plantas de mineralización en Inca de Oro.....	106
FIGURA 10.7	Plantas de "intensidad de óxidos negros"	107
FIGURA 10.8	Concentración de Mn en las cuatro campañas de muestreo.....	108
FIGURA 10.9	Diagrama Eh-pH del sistema Mo-O-H.....	109
FIGURA 10.10	Gráfico de barras con los promedios elementales de razones de muestras filtradas/no filtradas	111

FIGURA 10.11 Concentraciones promedio de algunos elementos mayores y traza en muestras de agua de Inca de Oro.....	115
FIGURA 10.12 Ejemplos de índices de saturación calculados a partir de la concentración de elementos en muestras de agua.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 5.1 Muestras tomadas en las cinco campañas de terreno.....	43
TABLA 5.2 Composición medio de cultivo y sulfato ferroso	45
TABLA 6.1 Ubicación de muestras de agua respecto al medio hospedante, litología, alteración y mineralización.....	49
TABLA 7.1 Resultados método de Diferencias Relativas para duplicados analíticos y de terreno...	57
TABLA 7.2 Porcentaje de error en el balance iónico según los dos métodos utilizados.....	58
TABLA 8.1 Estadística básica general para las muestras de agua subterránea de Inca de Oro.....	61
TABLA 8.2 Hidroquímica de aguas subterráneas de los depósitos Spence, Mantos Blancos, Inca de Oro y el Valle del Río Copiapó	65
TABLA 9.1 Elementos mayores relevantes y sus especies en disolución	75
TABLA 9.2 Medición de pH y concentración de células en muestras originales, campaña Enero 2007	95
TABLA 9.3 Concentración de células en muestras de agua originales, campaña Julio 2007	95
TABLA 9.4 Medición de pH, Eh y concentración de células en muestras de agua originales, campaña de Noviembre-Diciembre de 2007.....	96

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la exploración de depósitos minerales se ha visto en la necesidad de incluir nuevas herramientas y desarrollar nuevas técnicas que permitan el descubrimiento de depósitos cubiertos, o que aumenten la probabilidad de éxito en los programas de exploración. En este sentido, la exploración geoquímica juega un rol importante como una herramienta en actual desarrollo, siendo uno de sus principales objetivos proveer información sobre los procesos de dispersión que ocurren en depósitos cubiertos, que puedan generar anomalías geoquímicas en superficie, así como también, los métodos que permitan detectarlas (Cameron *et al.*, 2004).

El norte de Chile ha sido un foco importante en el desarrollo de estudios geoquímicos, no sólo porque hospeda algunos de los más grandes depósitos de pórfidos de Cu en el mundo, sino también porque sus características climáticas han permitido la conservación de ellos, disminuyendo las tasas de erosión superficial desde el inicio del período de hiperaridez, alrededor de los 14 Ma (Alpers & Brimhall, 1988). Algunos de estos estudios se han realizado en depósitos como Toki, Gaby y Spence en la II Región y El Teniente en el centro del país (Leybourne & Cameron, 2006; Townley *et al.*, 2006, 2007; Ojeda, 2007).

De manera complementaria, se han realizado estudios en laboratorio que simulan los procesos de oxidación que afectan un depósito de mena, para comprender de mejor manera los procesos de transporte y movimiento de material hacia la superficie desde depósitos cubiertos, y la generación de anomalías geoquímicas superficiales (Mann *et al.*, 2005; Townley *et al.*, 2006, 2007), como también para comparar los métodos utilizados para detectar las anomalías generadas (Ojeda, 2007).

El tema a desarrollar en este trabajo de tesis forma parte del estudio integrado del depósito tipo pórfido cuprífero de Inca de Oro (Codelco), en la Región de Atacama, que se enmarca en el Proyecto AMIRA P778: Predictive Geochemistry in Areas of Transported Overburden. El cuerpo mineralizado se encuentra bien delimitado y corresponde a un depósito tipo pórfido de Cu-Au-Mo, cubierto por un nivel de gravas no consolidadas que varía entre 30 y 100 metros de espesor (Rivera *et al.*, 2006). Estas características lo convierten en un sitio de estudio apto, que permita reconocer propiedades de contraste geoquímico con aplicación en exploración minera.

La componente chilena de este proyecto tiene como objetivos principales detectar posibles anomalías geoquímicas de contraste en superficie generadas desde el depósito fuente, y entender los mecanismos de transporte desde la fuente hasta superficie, asociados a estas anomalías, tanto en forma experimental como en terreno (Townley *et al*, 2009). La investigación en terreno, realizada en el área del depósito tipo pórfido cuprífero de Inca de Oro, tiene como objetivo construir un modelo 3D de los procesos supérgenos que afectan al depósito, mediante la caracterización de la geología del cuerpo de mena, de la hidrogeología e hidrogeoquímica del distrito, de la litología, mineralogía y geoquímica de la cobertura (Luca, 2010, *en prep.*) y la evolución del regolito y el paisaje en superficie (López, 2010, *en prep.*). En el marco de este objetivo, este estudio pretende caracterizar la hidrogeología e hidrogeoquímica en Inca de Oro, comprender los procesos geoquímicos e hidrogeoquímicos de interacción agua – roca que controlan las características del agua subterránea en el área del depósito, determinar su influencia en los procesos de oxidación que afectan al cuerpo mineralizado, y las características de dispersión geoquímica en aguas subterráneas a partir del cuerpo mineralizado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Determinar las propiedades hidrogeológicas e hidrogeoquímicas del agua subterránea en el área de estudio, a través de la interpretación de datos conocidos y de la medición de parámetros físico-químicos y geoquímicos en las muestras de agua obtenidas de 16 pozos en el área de estudio. Se pretende entender los procesos físico-químicos que controlan las características y composición del agua, la influencia de ésta en los procesos de oxidación que afectan al depósito sulfurado, y los efectos que estas características tienen en la migración de elementos y procesos de dispersión.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Entender los procesos de dispersión geoquímica de elementos y saturación mineral en el agua subterránea, y determinar el control en el contenido de elementos disueltos en el agua.
- Estudiar la influencia de los procesos de interacción agua-medio hospedante, en las condiciones físico-químicas y geoquímicas del agua subterránea en el sector.
- Reconocer posibles variaciones tanto estacionales como en profundidad de los parámetros medidos.
- Determinar la influencia de las características hidrogeológicas del sector, en las propiedades del agua subterránea.
- Obtener una línea base ambiental de aguas subterráneas pre-producción para el sector.

1.2 Fundamentos Teóricos

Los estudios de exploración geoquímica han observado un gran avance en cuanto al entendimiento de los procesos que generan anomalías geoquímicas superficiales en zonas de depósitos minerales cubiertos, y en las técnicas que permiten detectar estos patrones, ampliando el conjunto de herramientas a ser utilizadas en los programas de exploración.

Los procesos de oxidación a los que está sometido un cuerpo de mena sulfurada generan la degradación y ruptura de los minerales, liberando iones libres y gases orgánicos e hidrocarburos, facilitados por la presencia de actividad microbiológica (Highsmith, 2004; Luca et al., 2008).

El transporte de elementos y gases a través de la cobertura desde un cuerpo mineralizado hasta la superficie (Figura 1.1) ha sido modelado como un proceso de dispersión electroquímica (Hamilton et al., 2004), donde el gradiente redox formado entre una capa reducida y una oxidada genera una celda electroquímica, activando la difusión de los iones libres.

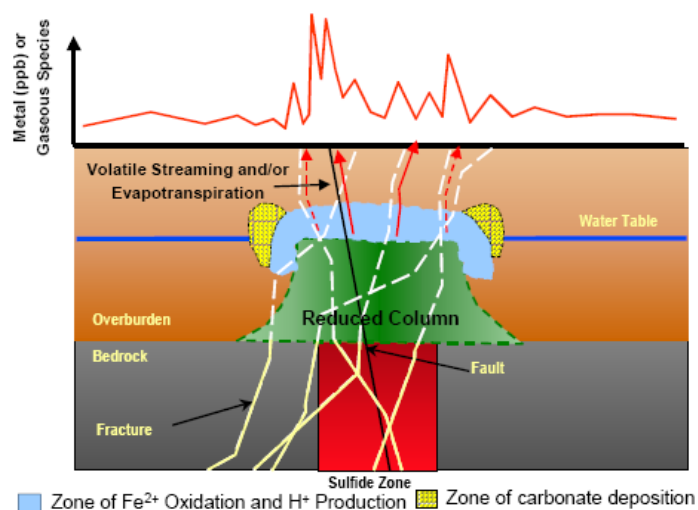


Figura 1.1. Modelo híbrido para la migración de elementos y compuestos gaseosos (Tomado de Highsmith, 2004)

La migración tanto de iones libres como de gases, genera anomalías en superficie, principalmente hacia los bordes de la proyección superficial del cuerpo de mena, producto de la migración preferencial a lo largo de interfases de óxido-reducción generadas por celdas electroquímicas. En la figura 1.1 se observa un perfil idealizado del contraste observado sobre el cuerpo mineralizado, donde además se tiene un control estructural en el patrón geoquímico (Highsmith, 2004).

La migración lateral de elementos en agua subterránea es un tema bien entendido, mientras que los procesos responsables del transporte vertical de agua han sido reconocidos recientemente (Kelley *et al.*, 2006). Cameron *et al.* (2004) propone procesos de difusión vertical de elementos en el agua. Uno de ellos es el ascenso de agua subterránea a través de fracturas, favorecido por actividad sísmica que bombea el agua hacia superficie (“seismic pumping” o “bombeo sísmico”), produciendo el transporte de elementos. Este proceso, en conjunto con la evaporación, se acomoda al modelo de celdas electroquímicas propuesto por Hamilton *et al.* (2004), como se observa en la figura 1.1. Así también, mecanismos de dispersión de metales a través de cobertura han sido reportados en Aspandiar *et al.* (2006). Estos autores proponen distintos medios de transporte de los metales como lo son: el agua subterránea, gases o vegetación. En el caso del transporte hidrogeoquímico, a los procesos de bombeo sísmico y celdas electroquímicas, se agregan otros como la capilaridad, donde el agua asciende por encima de la tabla de agua a través de canales de permeabilidad en la cobertura, y la convección, donde el cuerpo de mena en oxidación actúa como una fuente de calor induciendo una más rápida migración de los solutos y aumentando su concentración en el agua (Mann *et al.*, 2005; Aspandiar *et al.*, 2006), entre otros. Sin embargo, estos procesos dependen de una gran cantidad de factores, son más lentos y menos eficientes que los señalados anteriormente.

Los recientes estudios de hidrogeoquímica de aguas naturales y de los principios básicos de la geoquímica en medios acuosos, han permitido entender la movilidad de elementos e interpretar patrones de dispersión, con aplicaciones en disciplinas como la exploración de depósitos minerales y la geología ambiental, entre otras. El uso de esta herramienta como complemento en campañas de exploración minera ha sido desarrollado en países como Estados Unidos, Filipinas y Australia, donde las aplicaciones de este método datan de la década del 50. Un gran desarrollo de estos métodos se alcanzó en los años 70, debido a la intensa exploración de uranio (Taufen, 1997). En la actualidad, gracias al perfeccionamiento de las técnicas analíticas, al aumento de los programas de exploración

en zonas cubiertas, y a la preocupación medio ambiental, los estudios de hidrogeoquímica se siguen perfeccionando.

Según Giblin (2001), la utilidad del agua subterránea como medio de muestreo deriva de su capacidad de reacción química con las rocas circundantes, y de su movilidad física. Estas reacciones pueden resultar en cambios en la composición del agua debido a adición o sustracción de especies disueltas, y ser interpretadas mediante análisis químicos realizados en terreno y laboratorio, a través de indicadores (medio ambientales o de exploración) que pueden estar relacionados directamente con minerales de mena, o asociados a la litología de la roca de caja. En este sentido, la movilidad geoquímica de las especies en aguas naturales es determinada en gran medida por tres procesos fundamentales: la especiación de los elementos en solución, la disolución/precipitación de minerales y los procesos de adsorción (Taufen, 1997).

En Australia, la hidrogeoquímica de zonas como Yilgarn Craton han sido extensamente estudiadas, con énfasis en la química del oro (Gray, 2001). En este lugar se ha observado que las variaciones regionales de parámetros como la salinidad, acidez y potencial de oxidación en aguas subterráneas, tienen importantes efectos en la concentración de numerosos elementos como Al, Li, U, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, entre otros, con aplicaciones principalmente en discriminación litológica (Gray, 2001).

Otros ejemplos de aplicación de la hidrogeoquímica en exploración minera, con resultados exitosos, son el caso de la exploración de un depósito de pórfido cuprífero cubierto cerca de Casa Grande, Arizona, en Estados Unidos, y la exploración de un sistema epitermal de alta sulfidización, en Filipinas (Taufen, 1997). En el primer caso, la geoquímica de aguas subterráneas muestra variaciones en la acidez y anomalías de Mo, As y SO_4 asociadas a la mineralización. En el segundo, el muestreo de aguas superficiales también indica una correlación entre las características físico-químicas del agua y el contenido de metales asociados a la interacción agua-roca.

En Chile, estudios de aguas subterráneas en zonas con características similares al sector de Inca de Oro se han realizado en el depósito de pórfido cuprífero de Spence (II Región) (Leybourne & Cameron, 2006, 2008). En esta zona se recolectaron muestras de agua para estudiar la interacción entre el agua y el cuerpo de mena, y para comprobar la hipótesis sobre el transporte de metales a través de cobertura sedimentaria. El depósito de Spence se encuentra cubierto por un nivel de gravas

que varía entre 30 y 180 m de espesor. El análisis de salinidad, cationes, aniones, elementos traza, isótopos y especiación y saturación mineral arrojó como resultado una variación composicional de las aguas dentro del depósito, con respecto a aquella fuera de éste. Las diferencias fueron atribuidas a la mezcla de aguas salinas profundas con aguas subterráneas de niveles superiores. El flujo de aguas subterráneas profundas se atribuye al bombeo del agua a través de estructuras preexistentes. Por otro lado, se encontraron concentraciones anómalas de Cu en el agua directamente relacionadas con anomalías detectadas en muestras de suelo, corroborando la hipótesis del ascenso de aguas profundas ricas en Cu.

Estos mismos autores realizaron estudios de la composición de suelos y agua subterránea en la Pampa del Tamarugal, región de Antofagasta. En este caso, la anomalía de Cu encontrada en suelos no estaba relacionada a mineralización de cobre en profundidad sino más bien al agua subterránea que alcanzó la superficie y posteriormente evaporó. Siendo la fuente de la anomalía en el agua, según sugieren los autores, el depósito de El Abra, ubicado 75 km al este y aguas arriba del área de estudio. La anomalía de suelos registrada es interpretada como una anomalía "fósil", preservada por el clima hiperárido de la zona (Leybourne & Cameron, 2006).

En conjunto estos trabajos ponen en evidencia la existencia de complejos procesos que ocurren entre la roca hospedante y el agua subterránea que la atraviesa. El modelamiento y la interpretación de los datos obtenidos en una campaña de muestreo cambian de acuerdo a cada contexto geológico, e incluye una gran cantidad de variables a ser estudiadas. No existe un método único que garantice respuestas favorables, puesto que estos procesos pueden involucrar reacciones químicas muy complejas de interpretar, que son altamente variables frente a pequeños cambios en las condiciones físico-químicas del lugar, y dependientes de diversos factores como el clima, la hidrología, y geología de la zona de estudio.

1.3 Hipótesis de Trabajo

En el área de estudio ocurre un depósito de tipo pórfido de Cu-Au-Mo, con mineralización sulfurada de calcopirita y pirita, totalmente cubierto por un nivel de gravas no consolidadas que varía entre 30 y 150 metros de espesor (Rivera *et al.*, 2006). El nivel freático en el sector se encuentra a profundidades que varían entre los 58 y los 100 metros. El cuerpo mineralizado es una colina parcialmente cubierta por gravas secas, y el agua subterránea se encuentra en la parte superior de éste en fracturas y en las oquedades de la roca lixiviada (Henríquez, 2007). El depósito se encuentra además rodeado por gravas saturadas.

La interacción de aguas subterráneas con el depósito mineral de Inca de Oro, tras su paso por el yacimiento, modifica las propiedades del agua, pudiendo generar variaciones composicionales y contrastes geoquímicos (con respecto a aquella fuera del depósito). Lo anterior puede ser evaluado a través de la medición de parámetros físico-químicos y el análisis hidrogeoquímico de muestras de agua en la zona.

1.4 Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo comprende las siguientes etapas: recopilación de antecedentes, preparación de campañas de muestreo en terreno, muestreo de aguas subterráneas y análisis geoquímico de muestras, procesamiento de datos e interpretación y desarrollo de modelos.

1.4.1 Recopilación de antecedentes

Corresponde a la recopilación de los fundamentos teóricos de exploración geoquímica y anomalías de contraste geoquímico, hidrología, hidrogeología e hidrogeoquímica y modelación de sistemas de agua subterránea, además de los antecedentes de la zona de estudio (geología, geomorfología, hidrología, clima, etc.). Codelco-Chile puso a disposición todos los antecedentes geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos de la zona, así como también, los análisis de agua potable y riego de dos pozos de bombeo cercanos al campamento de EMSA.

1.4.2 Preparación de campañas de terreno

Se planificó un total de 4 campañas de muestreo, con 4 a 6 meses de separación entre ellas, de modo de poder caracterizar posibles variaciones estacionales en los parámetros físico-químicos analizados, o en la composición de las aguas subterráneas. Una quinta campaña de terreno fue planificada con el fin de comparar dos métodos de muestreo y la influencia de ellos en los resultados de los análisis geoquímicos.

Previo al muestreo, se recopiló información de los sondajes de exploración realizados por Exploraciones Mineras S.A (EMSA) en la zona de estudio y su factibilidad a ser muestreados. Debido a las características de los pozos de exploración minera que, a diferencia de los pozos de exploración de agua, o los de bombeo, no poseen ningún tipo de habilitación y, a las características litológicas de las unidades que éstos atraviesan, se determinó como pozos factibles de ser muestreados sólo los pozos verticales, de manera de evitar pozos que pudieran encontrarse derrumbados. De esta forma se seleccionó un total de 32 pozos, de los cuales sólo 13 pudieron ser muestreados, debido a que el resto se encontró ya sea seco, tapado o derrumbado. Para las últimas dos campañas de terreno, se agregaron 3 pozos, que fueron realizados para EMSA durante el año 2007.

El muestreo de aguas subterráneas en pozos de sondajes se realizó utilizando un instrumento muestreador construido previa primera campaña de terreno, y que fue perfeccionado para las campañas siguientes.

1.4.3 Muestreo de aguas subterráneas y análisis de muestras

El muestreo de agua subterránea se realizó en 5 campañas de terreno, llevadas a cabo entre los días 23 a 30 de Enero, 16 a 27 de Julio y 24 de Noviembre a 2 de Diciembre del año 2007, entre el 14 y 18 de Abril de 2008 y entre el 23 al 27 de Marzo de 2009.

Para cada muestra se midió in situ los parámetros físico-químicos: pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. En cada punto se tomó tres muestras, una para posterior medición de Eh, Cu^{2+} , Cl^- y I^- , otra para análisis geoquímico de 72 elementos en el Laboratorio ACME y una última para conteo de bacterias y análisis de cultivo. Para las dos últimas campañas se tomó además muestras para análisis de elementos mayores en el Laboratorio SGS Chile.

1.4.4 Procesamiento de datos

El análisis de datos incluye la determinación del tipo de agua según elementos mayores, realización de diagramas Eh-pH, mapas de concentración y distribución de elementos en superficie (ArcGis 9.2), gráficos de concentración relativa, gráficos de variación estacional de parámetros, estadística univariable (determinación de media, máximos, mínimos, desviación estándar, valores umbrales), estadística multivariable (análisis de componentes principales; Winstat para Excel) y modelación estática de especies químicas (PHREEQC).

1.4.5 Desarrollo de modelos

A través del programa PHREEQC (disponible en forma gratuita por la USGS) se desarrolla un modelo estático del sistema de aguas subterráneas utilizando los parámetros analizados in situ y en laboratorio, para cada campaña de muestreo. El modelo incluye el cálculo de índices de saturación mineral y la especiación de elementos, lo que, junto con el modelo geológico existente del depósito de Inca de Oro, permitirá interpretar las reacciones químicas que tienen lugar entre el agua subterránea y el medio hospedante y que controlan las características del agua en el sector, la movilidad de las especies presentes en ella y los posibles patrones de dispersión de elementos que estos movimientos generan.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Ubicación y Accesos

El área de estudio se localiza en la Región de Atacama, Provincia de Chañaral, comuna de Diego de Almagro, inmediatamente al sureste de pueblo Inca de Oro, a 46 kilómetros al sur de la ciudad de Diego de Almagro, a 100 kilómetros al noreste de la ciudad de Copiapó y a 70 kilómetros al SE en línea recta de El Salvador (Figura 2.1).

La vía principal de acceso es a través de la carretera principal Ruta 5 hasta Copiapó y luego por la carretera paralela C-17, hasta el pueblo de Inca de Oro.

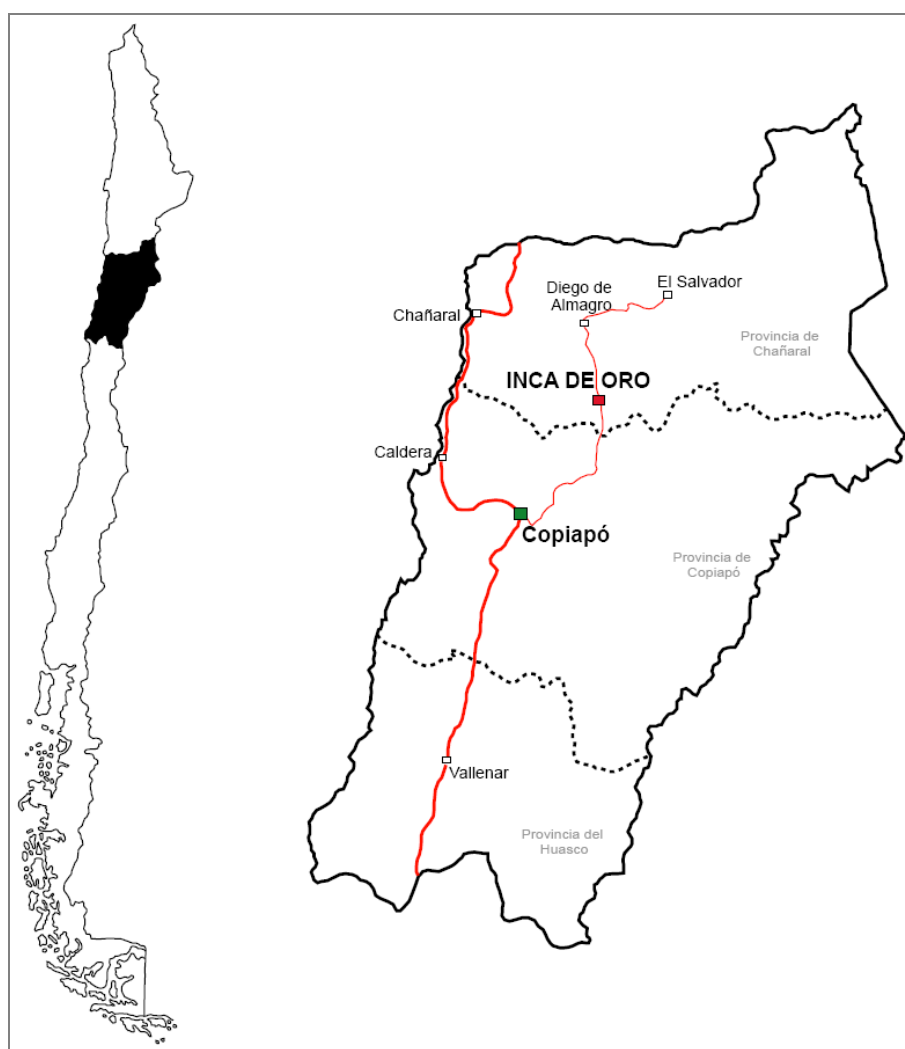


Figura 2.1. Ubicación zona de estudio.

2.2 Antecedentes de Trabajos Previos

Un completo estudio de la zona fue realizado por Codelco Chile entre los años 2005 y 2007. Éste corresponde al modelo geológico completo del pórfido Inca de Oro, que incluye litología, alteración, mineralización, estructuras y geoquímica, así como también estudios de metalurgia e hidrogeología, entre otros.

El estudio hidrogeológico corresponde a un informe técnico (Hidrogeología sectores Inca de Oro, Artemisa e Inca Bravo; Henríquez, 2007) que describe la hidrogeología del sector e incluye planos con isocurvas de nivel freático y líneas de flujo, isoprofundidad de agua subterránea, contacto grava-roca, isoespesor de gravas e isoespesor de gravas saturadas, generados a partir de la medición de niveles de agua subterránea en sondajes, además de la información geológica de ellos y topografía del sector. Este trabajo contiene los resultados de análisis hidroquímicos de calidad de agua (normas de agua potable y de riego sin determinaciones bacteriológicas) realizados a dos muestras de agua subterránea tomadas desde un pique junto al campamento de EMSA y de un sondaje de la empresa Chatal.

2.3 Clima

La región de Atacama presenta climas desérticos (Figura 2.2), destacando tres condiciones climáticas: una en el sector costero, con influencias marítimas, otra en la pampa intermedia, y otra en el sector cordillerano con incremento de precipitaciones y régimen térmico frío.

2.3.1 Clima desértico con nublados abundantes.

Presente en todo el sector costero de la región. Debido a que el relieve no presenta barreras a la influencia marítima, este clima penetra hasta las proximidades de las ciudades de Copiapó y Vallenar. Se caracteriza por presentar abundante y densa nubosidad durante la noche, acompañada a veces de intensas nieblas y lloviznas. Debido a la influencia del océano, la amplitud térmica es baja tanto diaria como anual. Las precipitaciones son principalmente de tipo frontal, ocurren casi exclusivamente en invierno y aumentan de norte a sur.

2.3.2 Clima desértico marginal bajo.

Corresponde a la mayor parte de la región, cubriendo desde los inicios de la alta cordillera hasta donde comienza la influencia marítima por el oeste. De Copiapó al norte presenta una aridez preponderante, mientras que hacia el sur el efecto marítimo atenúa las características desérticas. La amplitud térmica es mucho mayor que en el litoral, alcanzando del orden de 13° a 15° C de amplitud térmica diaria. Las precipitaciones aumentan con la latitud y con la altura, concentrándose en los meses de invierno. Según datos de la dirección meteorológica de Chile, los totales anuales de precipitación llegan a 12 mm en Copiapó (291 metros de elevación), 19 mm en El Salvador (2400 m), 32 mm en Vallenar (470 m) y 34 mm en Los Loros (948 m).

2.3.3 Clima desértico marginal de altura

Se manifiesta sobre los 2000 metros de altura, donde el régimen térmico es más frío pero con oscilaciones térmicas menores que en el clima marginal bajo. La humedad relativa es baja y los cielos se presentan limpios y despejados.

Las precipitaciones son más abundantes que en los tipos de clima descritos anteriormente, a veces nivosas, y se concentran principalmente entre los meses de mayo a agosto.

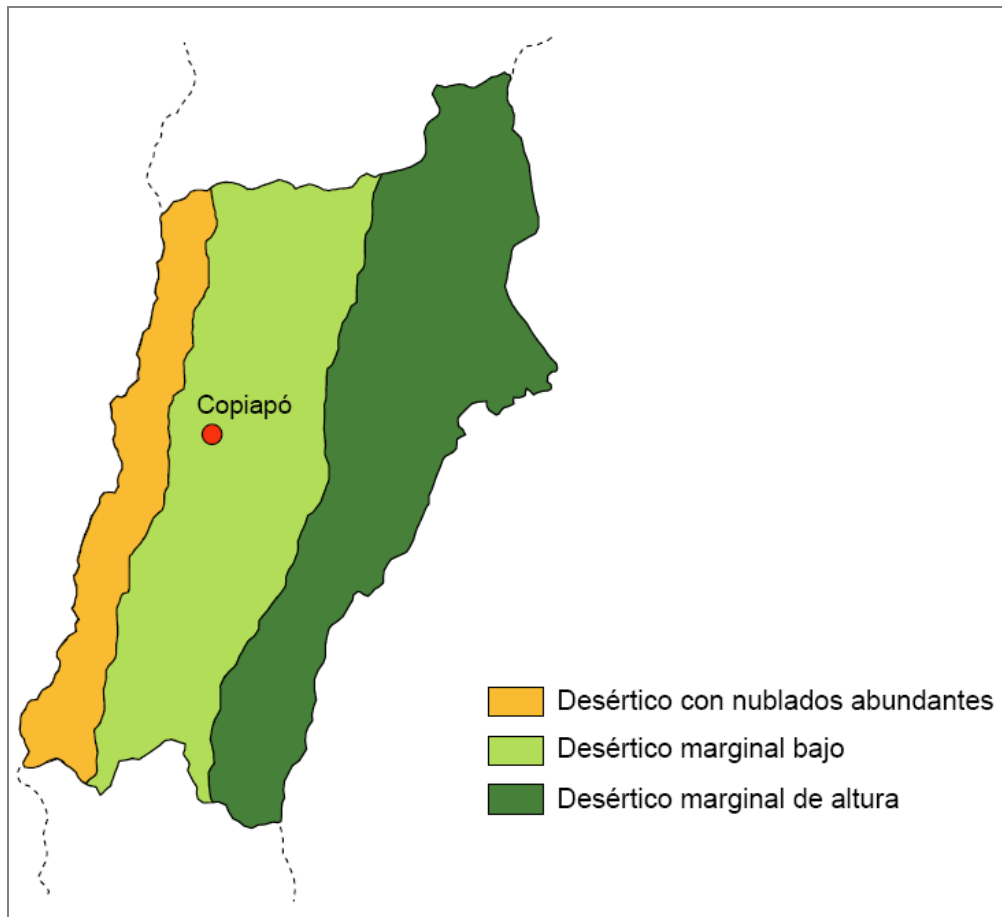


Figura 2.2. Tipos de clima en la región de Atacama.

La zona de estudio se ubica en la zona de clima desértico marginal bajo, presenta condiciones de extrema aridez, con precipitaciones ocasionales provenientes del Pacífico y del Invierno Boliviano, las que tienen características torrenciales, concentradas en dos o tres días (Henríquez, 2007). El promedio anual de precipitación en Inca de Oro es de 25 mm (Anexo 1.1) según información de una estadística pluviométrica ampliada entre los años 1940 y 1979 (Ingeniería y Geotecnia Limitada, 1981).

2.4 Geomorfología

El depósito de Inca de Oro se desarrolla en la Depresión Intermedia, en el Llano San Pedro, a una altura que varía entre los 1.500 y 1.700 m.s.n.m. (Figura 2.5). En su borde este se encuentra limitado por la Precordillera Andina, al oeste por cerros de la Cordillera de la Costa y al sur por el cerro La Campana. Cubriendo el cuerpo mineralizado, en superficie, se observan conos de eyecciones coalescentes de dirección SE-NW derivados de la Precordillera Andina. La cuenca hidrográfica se extiende hacia el sur hasta la Sierra Los Humitos, a través del Llano Los Humitos (Henríquez, 2007).

2.5 Hidrografía

La alimentación fluvial de la región corresponde a un régimen mixto, es decir existe un influjo de las precipitaciones caídas de la cordillera, las que se unen a las lluvias que caen durante el año. El pueblo de Inca de Oro pertenece a la cuenca hidrográfica de la Quebrada del Salado (Figura 2.3), la que corresponde a una cuenca exorreica, de régimen mixto, de 7528.37 km² de superficie. Además pertenece a la subcuenca de Quebrada del Chañaral, de 2651.49 km² de superficie, y a la subsubcuenca de Quebrada de la Angostura, de 906.65 km².

Según datos de la Dirección General de Aguas, en la cuenca de la Quebrada del Salado existen 4 pozos representativos no surgentes, donde la ocurrencia de agua subterránea es principalmente en unidades cuaternarias y Terciarias. La profundidad del nivel estático de los pozos varía entre 25 y 60 m. La cantidad de sólidos disueltos totales (TDS) varía entre 746 y 1520 mg/l.

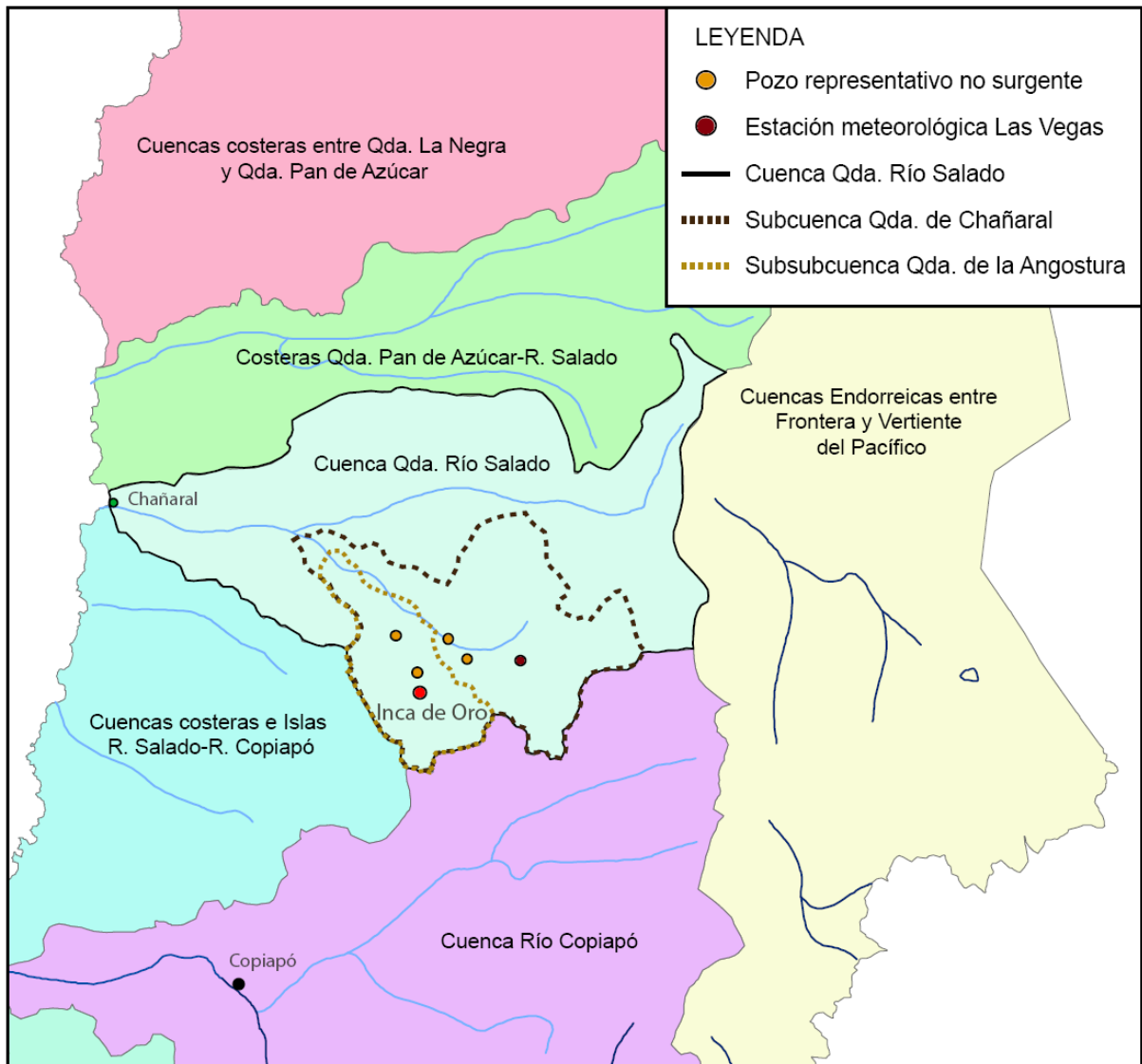


Figura 2.3. Hidrografía zona de estudio. Se muestra destacada la cuenca del Río Salado y sus cuencas vecinas. Modificado de mapa hidrográfico DGA, WGS 84.

2.6 Hidrogeología Regional

La hidrogeología regional muestra 5 unidades de importancia hidrogeológica relativa variable entre alta a nula como se observa en la Figura 2.4. La unidad de mayor importancia corresponde a una unidad de permeabilidad primaria, con acuíferos emplazados en formaciones porosas recientes no consolidadas, mientras que las unidades de menor importancia corresponden a aquellas con permeabilidad secundaria.

La permeabilidad de las rocas varía entre muy baja a nula, que corresponden a rocas volcánicas y sedimentario-volcánicas y, plutónicas y metamórficas, respectivamente. Estas últimas corresponden a

rocas fundamentales o basamento. El sentido del escurrimiento de las aguas subterráneas en la región es principalmente NNW, variando a W en la desembocadura de los ríos Copiapó y Huasco.

Desde un punto de vista regional, se desprende de la figura 2.4 que el sector en estudio se encuentra localizado en un área de permeabilidad muy baja, que corresponde a rocas mixtas sedimentario-volcánicas de edad Terciario y Jurásico.

2.7 Hidrogeología Sectores Artemisa e Inca Bravo

Sector Artemisa

Corresponde a un cuerpo mineralizado ubicado aproximadamente a 5 km al noreste del sector de Inca de Oro (Figura 2.5). Su hoya hidrográfica es pequeña con características exorreicas. La paleocuenca de Artemisa corresponde a una superficie inclinada que desciende en dirección noreste-suroeste, la que fue cubierta por gravas cuyo espesor es variable, entre 30 a 190 metros, aumentando de noreste a suroeste (Henríquez, 2007).

Se reconocen tres unidades hidrogeológicas: rocas impermeables, que corresponden a rocas intrusivas terciarias, y a rocas volcánicas y sedimentarias del Jurásico; rocas con porosidad adquirida, que son rocas de caja y pórfidos mineralizados con porosidad secundaria debido al fracturamiento y la lixiviación; y sedimentos clásticos, que corresponde a la cubierta de gravas (Henríquez, 2007).

La recarga principal de esta zona son las escasas precipitaciones, siendo de menor importancia el aporte del sistema de aguas subterráneas, lo que, junto con las características de la hoya hidrográfica, reduce el almacenamiento de aguas en el sector. El agua subterránea se encuentra en profundidades que varían entre 60 y 108 metros, descendiendo de noreste a suroeste (Henríquez, 2007).

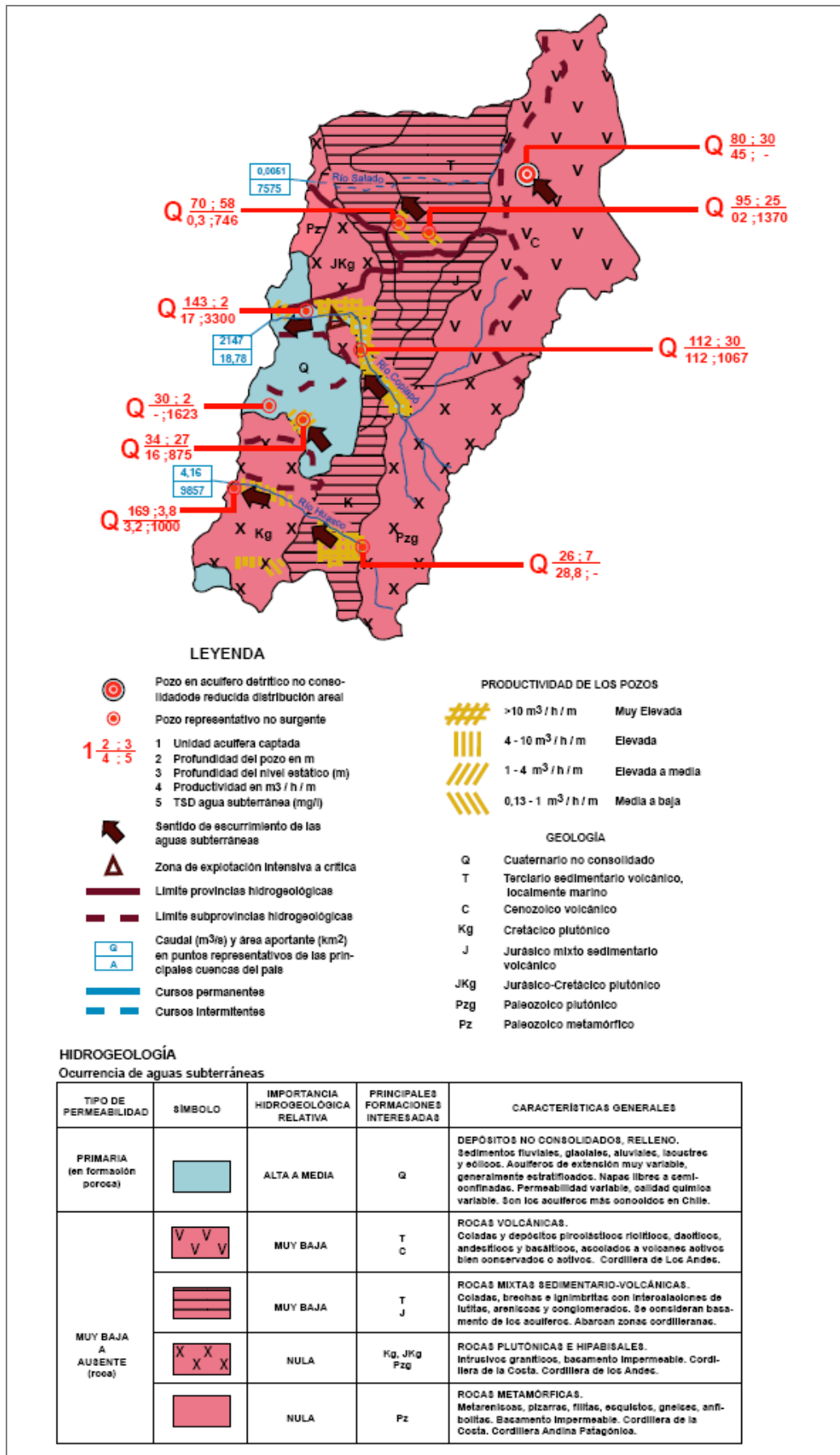


Figura 2.4. Hidrogeología regional. (Modificado de Mapa Hidrogeológico de Chile, escala 1:2500000, 1986, Dirección General de Aguas).

Sector Inca Bravo

Es un cuerpo mineralizado que se encuentra a 3 km al oeste del sector de Inca de Oro (Figura 2.5). Su hoya hidrográfica es exorreica, con aportes de la mitad oeste de la cuenca de Inca de Oro y gran parte del Llano del Humito hacia el sur. La paleocuenca es un paleo valle que proviene del sur con dirección sur-norte, para continuar hacia el norte con dirección noroeste (Henríquez, 2007).

Al igual que en el sector de Artemisa, las unidades hidrogeológicas reconocidas son: rocas impermeables, rocas con porosidad adquirida y sedimentos clásticos. Las primeras son principalmente lavas y brechas andesíticas y conglomerados del Jurásico Medio Superior (Henríquez, 2007).

La hoya hidrográfica de este sector drena parte del Llano del Humito (Figura 2.5) y es en superficie mayor a la del sector de Inca de Oro. Al igual que en Artemisa, la recarga principal son las escasas precipitaciones y el almacenamiento de agua no es de mayor importancia debido en parte al pequeño espesor de gravas (entre 10 y 55 metros, descendiendo de sureste a noroeste). El agua subterránea se encuentra entre los 19,8 m, al noreste, y los 35,59 m al suroeste (Henríquez, 2007).

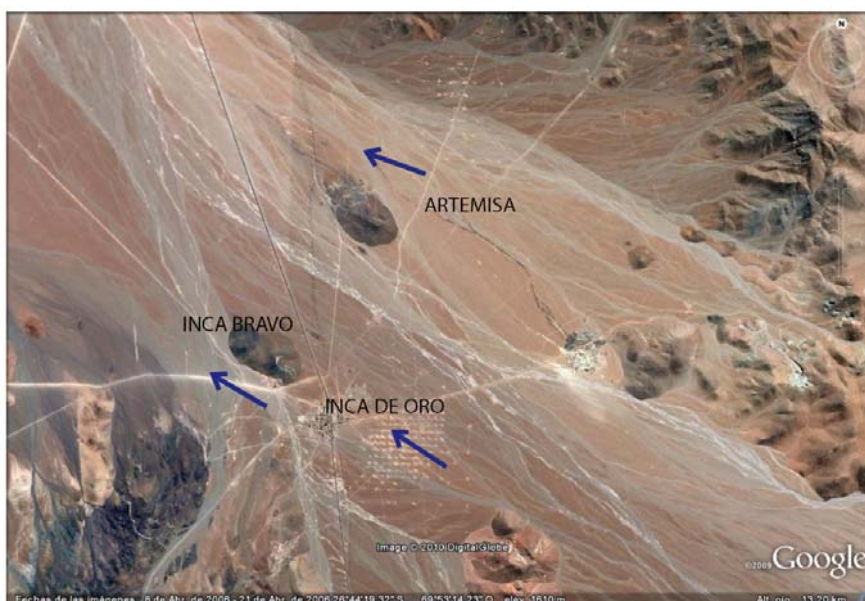


Figura 2.5 Ubicación de los sectores Artemisa e Inca Bravo. Las flechas azules muestran la dirección general del flujo de agua subterránea en cada sector.

3. MARCO GEOLÓGICO

El marco geológico regional del sector ha sido extraído de Baeza *et al*, (2008) y Matthews *et al*, (2005).

3.1 Geología Regional

3.1.1 Rocas Estratificadas

Las rocas estratificadas del distrito Inca de Oro son agrupadas en formaciones volcánicas, volcano-sedimentarias y sedimentarias que varían en edad entre el Jurásico al Cuaternario (Figura 3.1). Estas se describen brevemente a continuación.

Formación La Negra (JIn) (Jurásico Medio-Jurásico Superior) (García, 1967): Las rocas más antiguas del distrito corresponden a secuencias estratificadas de lavas amigdaloidales, basálticas y andesíticas, brechas volcánicas, conglomerados y areniscas del Jurásico Medio a Superior pertenecientes a la Formación La Negra, y distribuidas en el sector occidental del distrito. La secuencia volcánica presenta un espesor máximo de 800 m, sin que se reconozca su base. Las lavas son de color negro, con pátinas de oxidación rojizas y contienen grandes fenocristales de plagioclasa, con piroxenos y olivino, de menor tamaño. Comúnmente, presentan amígdalas de cuarzo y clorita. En el sector de Inca de Oro están afectadas por alteración hidrotermal, sericitica y argílica, asociadas a sistemas de vetas de Cu-Au.

Formación Punta del Cobre (JKpc) (Jurásico Superior-Valanginiano Inferior?) (Seegerstrom y Ruiz, 1962): En el entorno de Inca de Oro y siguiendo una disposición principal noreste-suroeste aflora una secuencia de rocas volcánicas con niveles subordinados de tobas y brechas tobáceas, asignadas a la Formación Punta del Cobre. Esta formación incluye principalmente a complejos de domos e ignimbritas, riolíticas y dacíticas, y lavas andesíticas y dacíticas, cubiertas por niveles sedimentarios detríticos, y se dispone concordantemente sobre las lavas de la Formación La Negra (Matthews *et al*, 2005). Se reconocen dos niveles estratigráficos: un nivel inferior volcánico compuesto predominantemente por lavas andesíticas porfíricas de piroxeno y/o hornblenda e intercalaciones de areniscas tobáceas, y un nivel superior sedimentario-volcánico compuesto de areniscas finas a medias con intercalaciones volcánicas.

La Formación Punta del Cobre constituye la roca huésped de los complejos mineralizados de Inca de Oro.

Grupo Chañarcillo (Kch) (Valanginiano Inferior alto a ¿Barremiano?) (Segerstrom y Parker, 1959): En la zona sur occidental y al NE de Inca de Oro, afloran rocas sedimentarias carbonatadas marinas del tipo calizas y lutitas pertenecientes al Grupo Chañarcillo, las que engranan lateralmente y se disponen sobre la Formación Punta del Cobre (Matthews, *et al*, 2005) . Se reconocen dos niveles estratigráficos, consistentes en un nivel inferior discontinuo, detrítico y un nivel superior carbonatado marino. En algunos sectores estas rocas exhiben evidencias de skarn o metamorfismo de contacto en las cercanías de cuerpos intrusivos.

Calderas San Pedro de Cachiyuyo-La Banderita (TEisc-TPsb) (Paleoceno Superior-Eoceno Inferior): Toda la zona oriental y sur-oriental del sector en estudio y siguiendo una gran distribución areal, tiene exposiciones de lavas dacíticas, ignimbritas y domos riolíticos asociados a las calderas San Pedro de Cachiyuyo y La Banderita con edades paleocenas comprendidas entre 62 y 53 Ma (Matthews *et al*, 2005). Domos y brechas riolíticas equivalentes afloran en la Sierra del Humito, al sur del distrito.

Gravas de Atacama (Mga) (Mioceno) (Mortimer, 1973): Corresponde a una denominación informal de los depósitos polimícticos de gravas, generalmente no consolidados, que afloran en una gran extensión en la zona sur del Desierto de Atacama (Mortimer, 1973, en Matthews *et al*, 2005). Los depósitos presentan una coloración gris clara, de potencia variable entre 100 a 250 m, con estratificación métrica a decamétrica incipiente. Los componentes clásticos principales corresponden a rocas volcánicas mesozoicas, de proveniencia local, junto a rodados de calizas, areniscas y granitoides de proveniencia distal.

Depósitos aluviales “antiguos” (MsPla) (Mioceno Superior-Plioceno): Unidad estratigráfica informal que corresponde a los depósitos de gravas y bloques de coloración pardo-rojiza que, en planta, preservan la morfología de grandes conos aluviales de baja pendiente, disecadas por una red de drenaje torrencial ocasional, y que sobreyacen, en leve discordancia de erosión, a las Gravas de Atacama (Matthews *et al*, 2005).

Depósitos aluviales y coluviales (Qa-Qc) (Cuaternario): Corresponden a niveles y bancos alternantes de ripios, gravas y gravas arenosas, con frecuentes lentes de arenas gruesas y limos arenosos, característicos de depósitos de corrientes de barro, y a sedimentos de origen gravitacional y aluvional, de proveniencia local o “in situ”, adosados a laderas escarpadas (Matthews *et al*, 2005).

3.1.2 Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas del distrito Inca de Oro se distribuyen en franjas que siguen una dirección preferente noreste-suroeste y corresponden a complejos plutónicos del Cretácico Superior y del Terciario Inferior.

Granodioritas, tonalitas y dioritas cuarcíferas de hornblenda (Ksg) (95-88 Ma): Plutones, pequeños stocks y lacolitos que intruyen a las secuencias jurásicas a neocomianas. Consisten principalmente en granodioritas, tonalitas y dioritas cuarcíferas de color gris claro a verdoso, con textura equigranular y porfídica, compuestas por cristales mayores de plagioclasa y hornblenda, junto a cuarzo y, localmente, biotita y feldespato alcalino. Edades K-Ar (biotita y hornblenda) muestran cierta dispersión, entre 84 y 95 Ma. Las granodioritas al oeste de Inca de Oro son algo más jóvenes con edades Ar/Ar (hornblenda) de $87,8 \pm 1,0$ Ma y $90,3 \pm 0,5$ Ma y una edad U/Pb (circón) de $90,9 \pm 0,5$ Ma (Matthews *et al*, 2005).

Monzodioritas cuarcíferas, dioritas y monzonitas cuarcíferas (KPg) (72-62 Ma): Este conjunto de rocas está formado por plutones, de composición variable entre gabros, dioritas, monzodioritas cuarcíferas a monzonitas cuarcíferas y monzogranitos, y stocks menores dioríticos. Intruyen a las formaciones La Negra, Punta del Cobre y a calizas del Grupo Chañarcillo. El rango de edades para este grupo de rocas varía entre 72 ± 2 Ma (K-Ar roca total en el Plutón La Finca) y 62,2 Ma (Ar-Ar en moscovita y cuarzo en el Plutón La Copiapina) (Matthews *et al*, 2005).

Gabros, dioritas y monzonitas porfídicas (TPg) (ca. 59 Ma): Complejo intrusivo emplazado a lo largo de sistemas de fallas norte-sur. Lo componen varios stocks de gabros de piroxenos, dioritas cuarcíferas de piroxeno, biotita y hornblenda y monzonitas porfídicas. Presentan edades variables entre 67 y 53 Ma. En el depósito Inca de Oro cuerpos dioríticos (PTG), correlacionables con rocas de este complejo, cortan a los pórfidos mineralizados (Baeza *et al*, 2008).

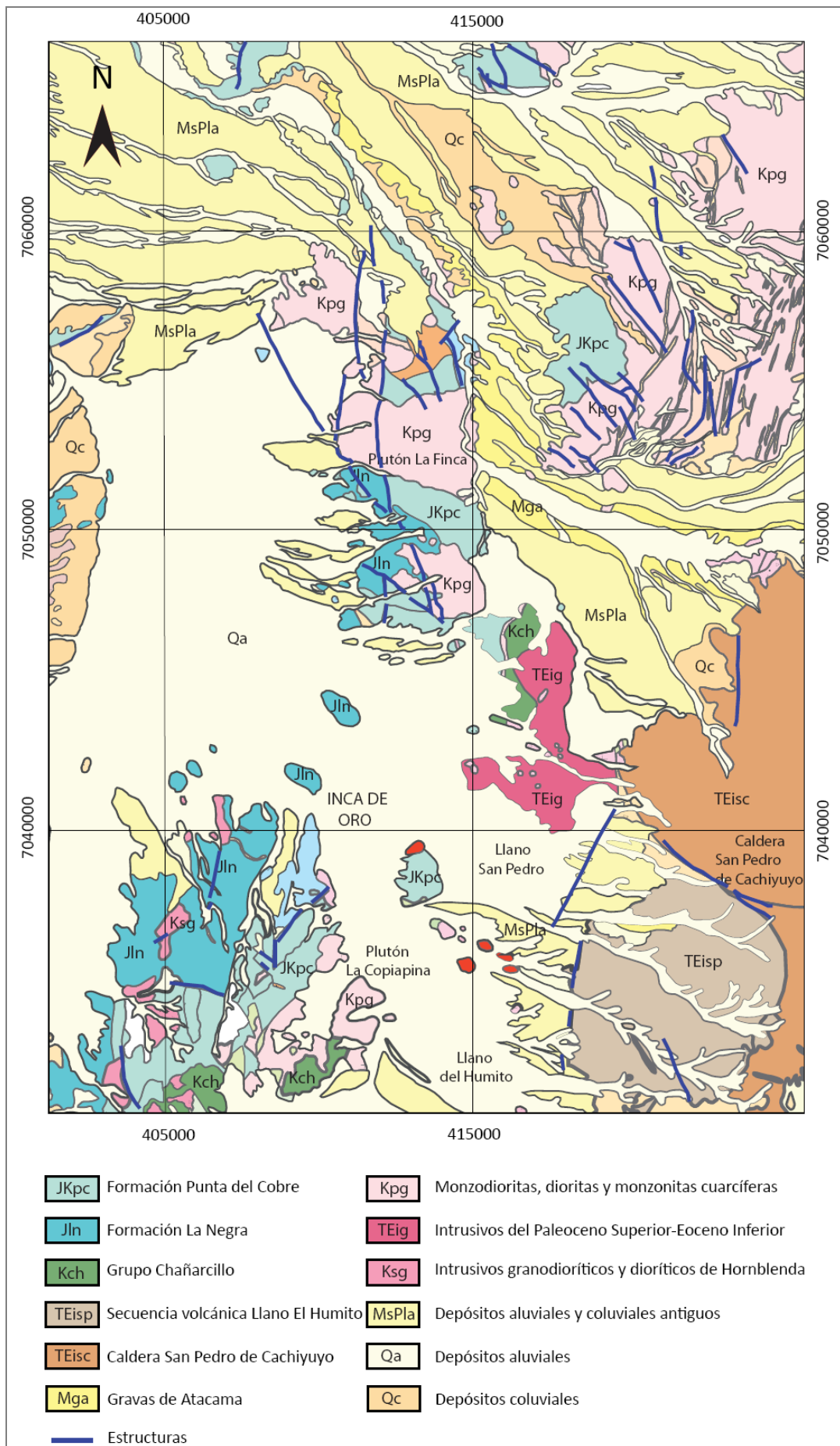


Figura 3.1. Geología Regional del sector de estudio. Modificado de Matthews *et al.* 2005.

3.1.3 Estructuras

Según Baeza *et al* (2008), a escala regional se reconocen e interpretan fallas inversas de alto ángulo de rumbo submeridiano que habrían controlado el emplazamiento de complejos intrusivos en el Cretácico Superior y en el Terciario Inferior. Además, se reconocen estructuras regionales y locales de rumbos NE-NNE y NW. El primer sistema habría favorecido el emplazamiento de los pórfidos mineralizados de Inca de Oro, mientras que, el sistema NW tendría movimiento post estructura NE-NNE, cortando y desplazando al sistema anterior.

3.2 Geología Local

Un modelo geológico completo del sector Inca de Oro fue puesto a disposición por Codelco, el que es soportado por la información de sondajes, y consta de plantas y secciones para litología, estructuras, alteración y mineralización. A continuación se detallan los aspectos más relevantes de éste, extraído de Baeza *et al*, (2008).

3.2.1 Litología

Las rocas más antiguas del sector corresponden a un paquete volcano-sedimentario que en el borde occidental de la zona se correlacionan con la Formación La Negra de edad Jurásico Medio a Superior, mientras que en el extremo oriental se correlacionan con la Formación Punta del Cobre.

Las rocas de caja se conforman de una secuencia volcánica de andesitas de textura afanítica a porfírica, tobas y brechas volcánicas.

El complejo de pórfidos y brechas que intruyen a las unidades volcánicas preexistentes es la unidad dominante, y ocurre como un cuerpo irregular elongado NE, asociado a una franja de carácter regional que se extiende por unos 30 km en dirección al yacimiento El Salvador. Este complejo se correlaciona con la unidad de granodioritas, tonalitas y dioritas cuarcíferas de hornblenda (Ksg).

La unidad intrusiva más característica que está relacionada a la principal mineralización de cobre corresponde a una fase temprana de Pórfido Tonalítico (PTO) (Figuras 3.2 y 3.3), el que presenta textura porfídica, a menudo seriada, con masa fundamental microgranular, fenocristales de cuarzo y feldespato, hornblenda y denso stockwork de cuarzo con mineralización de calcopirita asociada. Esta unidad ha sido datada en $87,64 \pm 0,57$ Ma (U/Pb en zircones).

Hacia el SW del cuerpo de Inca de Oro se reconoce una facie posterior del pórfido tonalítico, Pórfido Tonalítico Grueso (PTG) (Figuras 3.2 y 3.3), que corta al PTO e interrumpe la mineralización de cobre aportando pirita al sistema (Baeza *et al*, 2008). Esta unidad se caracteriza por una textura cerrada (escaso espacio entre cristales debido a las distintas familias de tamaños de fenocristales), con escasa masa fundamental granular a microgranular de cuarzo-feldespato, fenocristales de cuarzo subhedrales, plagioclasa y hornblenda variablemente reemplazada por clorita. Presenta escasas vetillas y abundantes ojos de cuarzo. Esta unidad ha sido datada en $84,89 \pm 0,69$ Ma. (U/Pb en zircones).

Se reconocen numerosos filones o diques que intruyen al sistema de pórfidos y rocas de caja, en particular un grupo de Filones Andesíticos que se diferencian entre porfíricos y afaníticos (FAP y FAA) (Figuras 3.2 y 3.3). El primero es caracterizado por un 40% de fenocristales de plagioclasa y hornblenda. Ambos tipos de filones presentan alteración clorita-epidota.

Localmente se reconoce un Pórfido de carácter Postmineral (PPM) (Figura 3.2) que presenta textura porfírica con escasos fenocristales de cuarzo, plagioclasas y hornblendas, en una masa fundamental afanítica a microgranular. No presenta vetillas de cuarzo, no tiene mineralización de cobre y corta a los filones andesíticos y a los pórfidos PTO y PTG.

En el sector sur se reconoce un intrusivo diorítico que corta a las unidades antes descritas (Figuras 3.2 y 3.3). Tiene una textura fanerítica, en parte inequigranular, con biotita ocasionalmente levemente cloritizada. No presenta vetillas de cuarzo ni mineralización de cobre, escasamente contiene pirita finamente diseminada. Aflora en el extremo sur del depósito, al norte del Cerro La Campana.

Finalmente todas las unidades anteriormente descritas son cubiertas por un nivel de gravas semi-consolidadas que contienen, en la parte superior, un nivel de cenizas. Esta unidad es correlacionable con la Formación Gravas de Atacama de edad Mioceno.

3.2.2 Estructuras

Los resultados del estudio estructural detallado en Baeza *et al* (2008), indican el predominio de dos direcciones estructurales (Figuras 3.2 y 3.3) mayores que tienen relación espacial con la distribución de la mineralización: la dirección NNE a NE controla el emplazamiento del complejo de pórfidos productivos y de la mineralización primaria asociada a ellos; la dirección NNW a NW relacionada a sistemas de fallas y vetas tardías, que controlan tanto los fenómenos supérgenos como la continuidad de los mantos de óxidos, mixtos y sulfuros secundarios. Este sistema se caracteriza por estructuras

abiertas con abundante arcillas y sericita con sulfuros, mientras que el sistema NE se encuentra frecuentemente sellado.

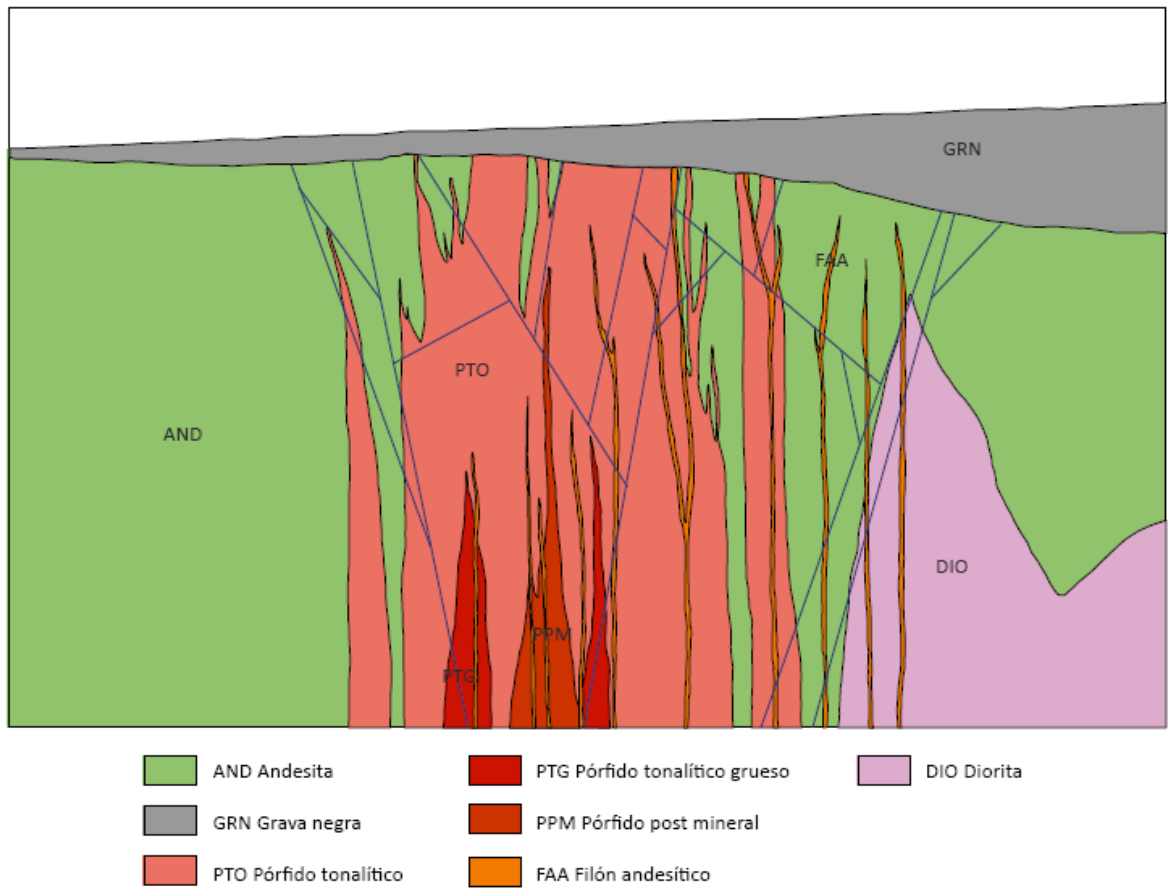


Figura 3.2 Sección 7.040.500 N de litología y estructuras en Inca de Oro. Modificado de Baeza *et al*, 2008.



Figura 3.3 Litología y estructuras en Inca de Oro. Planta 1500 m. Modificado de Baeza *et al*, 2008.

3.2.3 Alteración

La distribución de zonas de alteración es característica de sistemas del tipo pórfido cuprífero. Se reconoce un núcleo de alteración potásica con biotita-magnetita, un halo propilítico y una superposición de alteración clorita-sericita, y de sericita. Finalmente los niveles superiores están afectados por un evento supérgeno representado por caolinización.

El remanente de la alteración potásica está ubicado en la parte centro-sur del sistema porfídico (Figuras 3.4 y 3.5) y se evidencia por biotita de reemplazo en pórfidos y en la roca huésped preexistente (rocas volcánicas andesíticas). En rocas con este tipo de alteración ocurren altas proporciones de vetillas tipo A y B en el núcleo del sistema y vetillas de biotita-magnetita, en directa relación espacial con las concentraciones más altas de cobre y oro en el pórfido temprano. Existe una correlación entre el contenido de magnetita-cobre y oro, que decrecen en la medida que aumenta la pirita y disminuye la calcopirita (Sillitoe, 2006; en Baeza *et al*, 2008).

En los márgenes del cuerpo mineralizado se reconoce alteración predominante con reemplazos de minerales pre-existente por epidota, interpretado como parte de un halo de alteración propilitica en las rocas andesíticas de caja (Figuras 3.4 y 3.5). La propilitización también afecta a los pórfidos tardíos y filones andesíticos, y está distribuida en vetillas a través de la zona clorita-sericita, a veces acompañadas de turmalina y/o albitas tardías.

La alteración clorita-sericita está ampliamente desarrollada en Inca de Oro (Figuras 3.4 y 3.5). Esta alteración es penetrativa en los pórfidos temprano (PTO) e intermineral (PTG) y común en las andesitas de caja. El evento principal de esta alteración ocurrió antes del emplazamiento de los pórfidos interminerales. En las andesitas esta alteración es menor donde la permeabilidad de la roca es baja.

La alteración sericítica no está bien desarrollada en Inca de Oro. Se observa como halo de vetas tardías y como reemplazo de feldespatos, y además se encuentra en zonas de estructuras junto a arcillas y sulfuros, que favorecen el desarrollo de enriquecimiento secundario.

La alteración supérgena se caracteriza por un evento de argilización con una asociación de caolín-montmorillonita que, junto con sericita, ocurren como reemplazo total de la roca en una franja de orientación NS a NNE distribuida en el borde oriental de Inca de Oro (Figuras 3.4 y 3.5). La presencia de arcillas es más importante en zonas de fallas, zonas lixiviadas y, también, en la zona de enriquecimiento secundario.

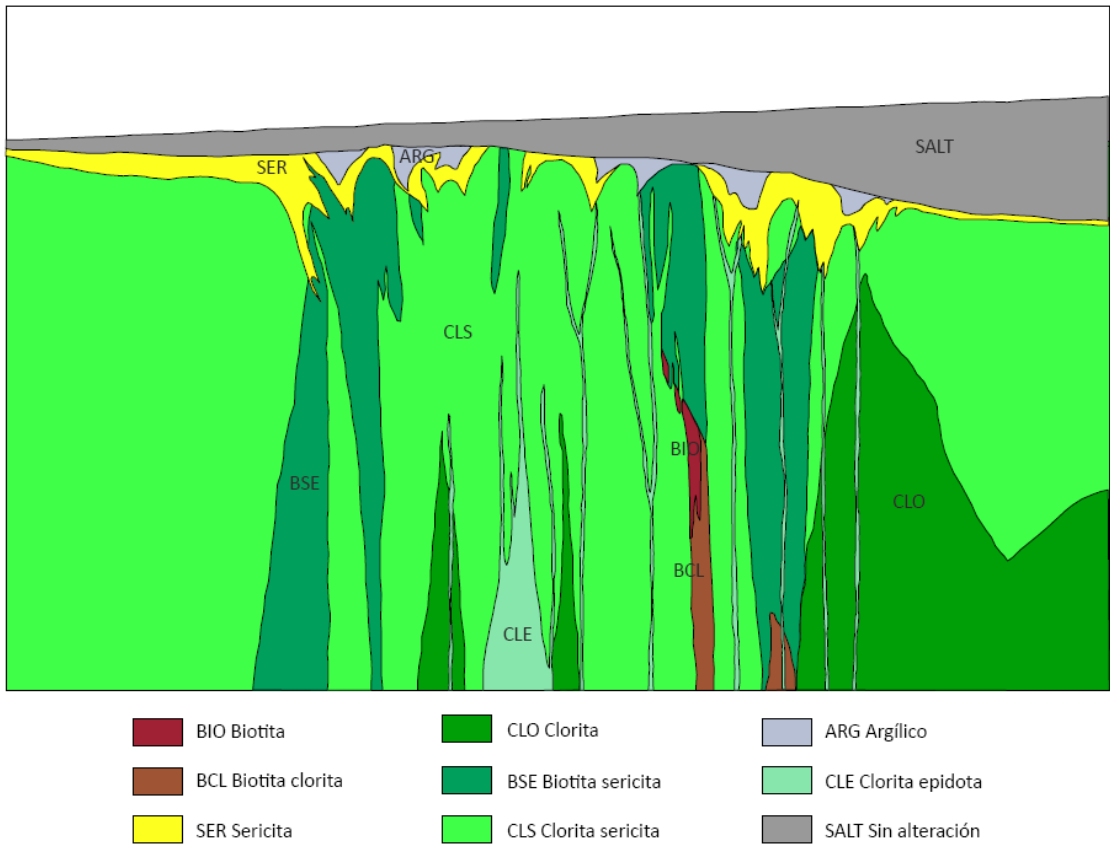


Figura 3.4 Sección 7.040.500 N de alteración en Inca de Oro. Modificado de Baeza *et al*, 2008.

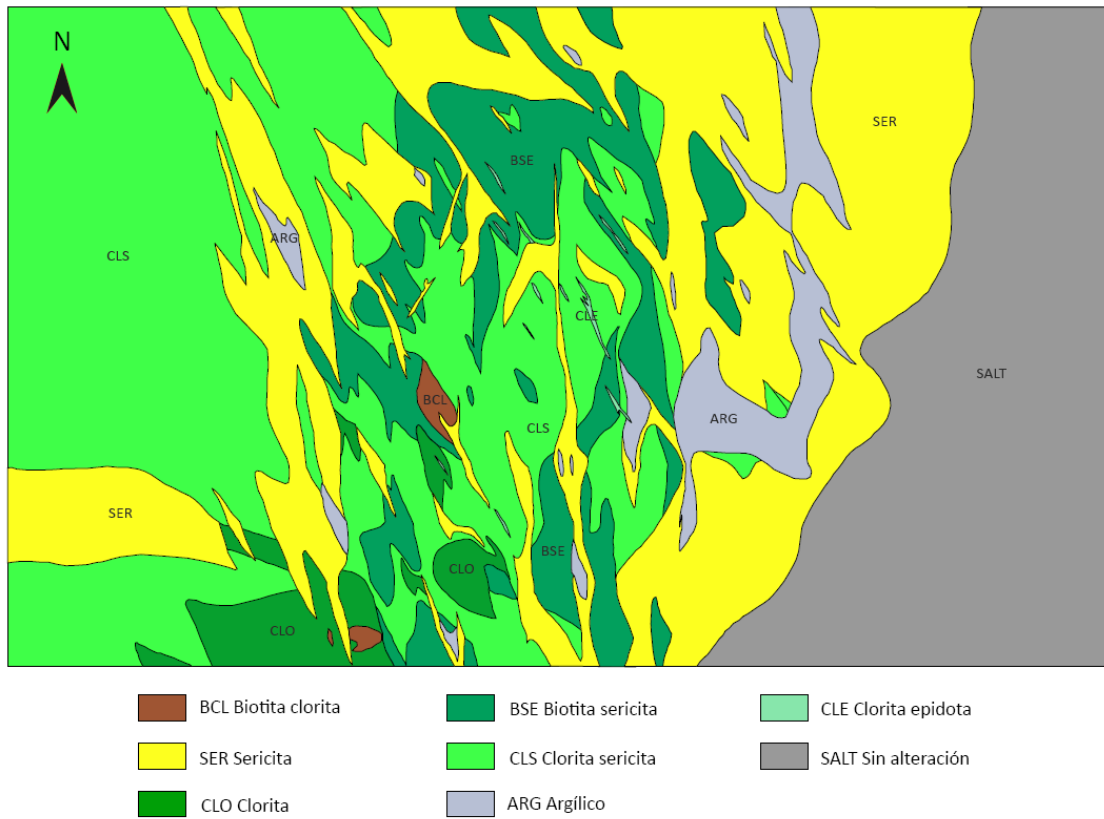


Figura 3.5 Alteración en Inca de Oro. Planta 1500 m. Modificado de Baeza *et al*, 2008.

3.2.4 Mineralización

La distribución de la mineralización hipógena está definida por una extensa franja de orientación NE relacionada a las unidades de pórfidos. Esta mineralización está relacionada a los pórfidos productivos (PTO y PTG). Se distribuye como calcopirita estrechamente asociada a magnetita y su ocurrencia se presenta en diseminaciones y en stockwork de vetillas de cuarzo. Se aprecia una zonación lateral con aumento de la pirita hacia los bordes del yacimiento (Figuras 3.6 y 3.7). La pirita es dominante en el borde propilítico donde frecuentemente se reconocen vetas de carbonatos-esfalerita-galena.

Un sistema de vetas tardías de tipo "D", con pirita dominante, corta el fondo primario, y se asocia espacialmente con el desarrollo y continuidad de las zonas oxidadas y de enriquecimiento secundario de Cu.

Se reconoce una zonación de la mineralización de sulfuros primarios (Figuras 3.6 y 3.7). En el centro del sistema se desarrolla un núcleo de calcopirita dominante asociada con oro y magnetita. En sus bordes se reconoce una zona de calcopirita > pirita. Hacia los extremos se identifica una zona de pirita > calcopirita y rodeando a las demás unidades existe una zona de pirita que limita el cuerpo mineralizado.

Sólo localmente se observa anhidrita, la que aparentemente está lixiviada hasta profundidades de 800 m o más.

La columna de mineralización supérgena es variable y alcanza un máximo de 150 m de espesor en el centro del depósito (Figura 3.6). La porción superior corresponde a un manto de óxidos de Cu de espesores variables entre 40 y 80 m, y la parte inferior por minerales mixtos y de enriquecimiento secundario.

En la zona de óxidos predominan crisocola, malaquita, óxidos negros y arcillas con Cu, las que ocurren como impregnación de fracturas y relleno de vetillas. La zona de minerales mixtos es discreta y se conforma de calcosina y menores sulfuros primarios como pirita y calcopirita mezclados en proporciones variables con crisocola y hematita, puntualmente cuprita y cobre nativo. Tiene espesores variables que no superan los 10 m y está asociada a andesitas y al pórfido tonalítico (PTO). El manto de enriquecimiento presenta su mayor desarrollo y expresión en la parte NE de Inca de Oro, se relaciona a la mayor ocurrencia de fallas NW y se compone de calcosina y puntualmente covelina. Los sulfuros secundarios reemplazan, en grados variables, a la pirita y calcopirita.

Una zona moderada de mineralización exótica se presenta contenida en la interfase grava-roca (Figura 3.6). Se han reconocido pequeños lentes en el borde SE de Inca de Oro distribuidos en pequeñas paleoquebradas, que convergen a una quebrada de orientación NE-SW al sur del área. Se estima un horizonte de 1 a 10 m de espesor, con dominio de óxidos “negros” (copper wad).

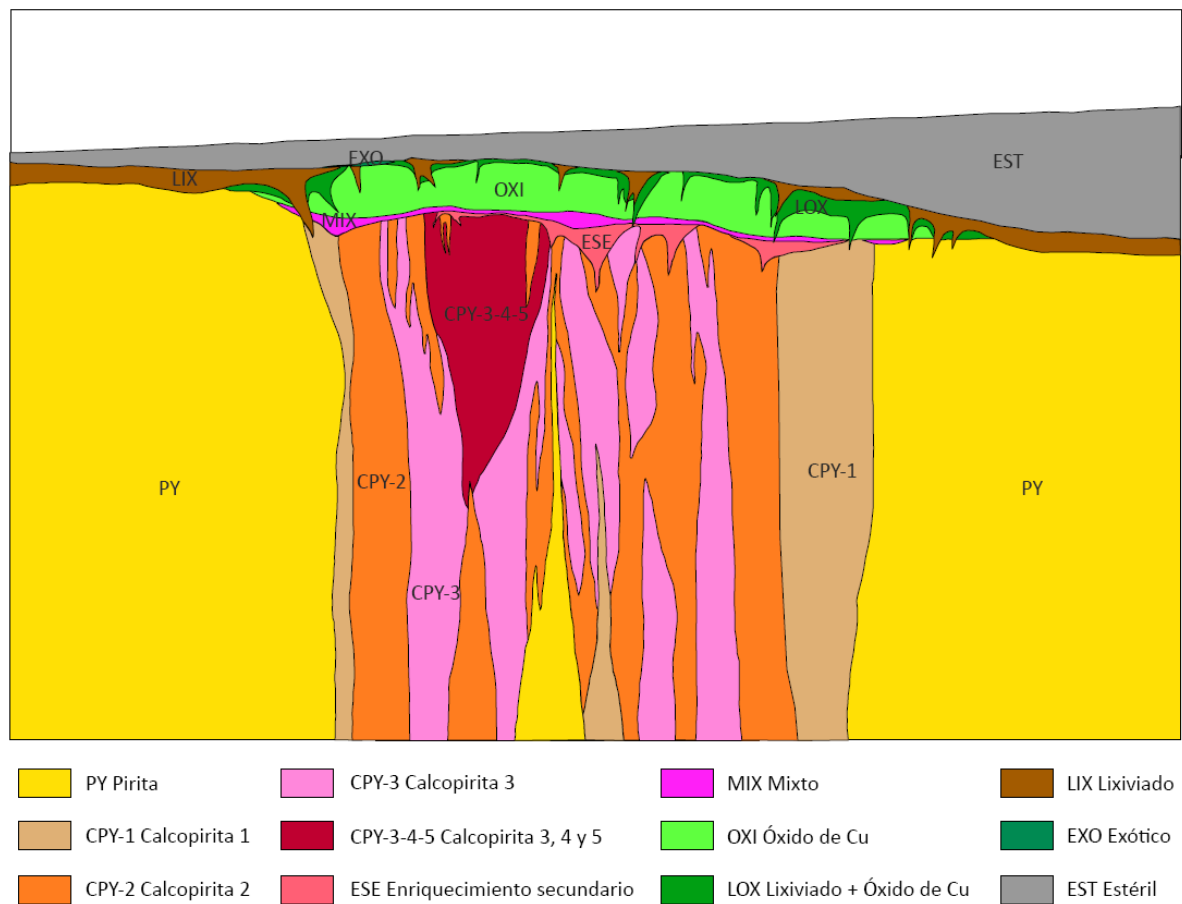


Figura 3.6 Sección 7.040.500 N de zonas de mineralización en Inca de Oro. Modificado de Baeza *et al*, 2008.

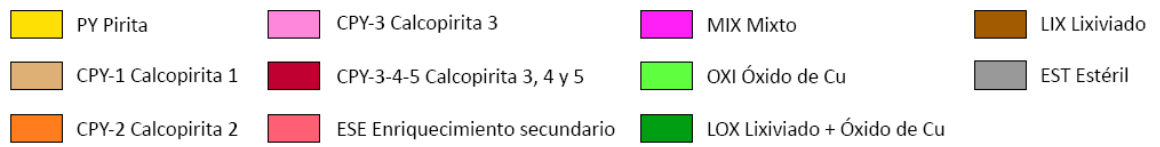
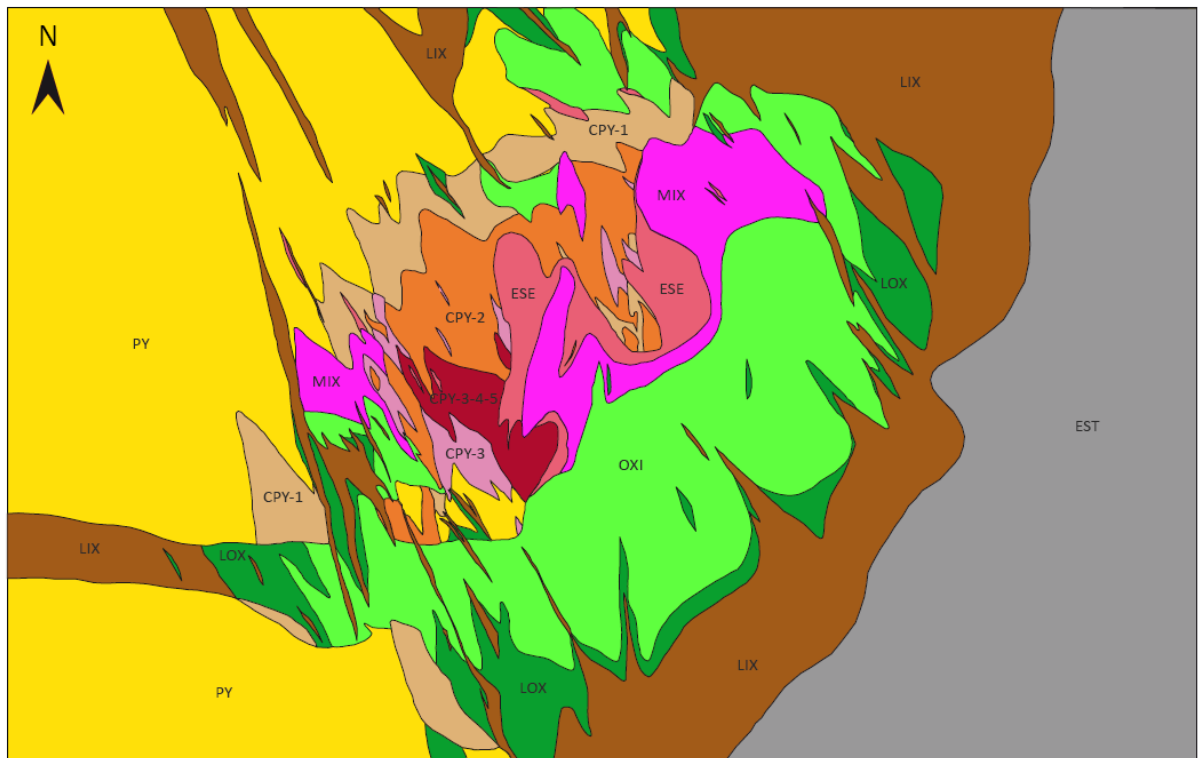


Figura 3.7 Mineralización en Inca de Oro. Planta 1500 m. Modificado de Baeza *et al*, 2008.

4. MARCO HIDROGEOLÓGICO

4.1 Hidrogeología General

El cluster de Inca de Oro y su hoya hidrográfica constituyen una cuenca concéntrica irregular abierta hacia el norte (Figura 4.1). El centro de la hoya se divide en los Llanos del Humito hacia el sur y el Llano San Pedro hacia el norte. Los llanos corresponden a sedimentos aluviales de origen torrencial de edades Mioceno Superior-Pleistoceno y Cuaternario los más recientes, y se encuentran cubriendo los cuerpos mineralizados. La hoya hidrográfica es exorreica y se desarrolla completamente en la Depresión Intermedia. La altitud de los llanos desciende de sur a norte desde los 1.900 m.s.n.m. en la Sierra Humito, hasta los 1.500 m.s.n.m. en Artemisa. Estos no observan desarrollo de quebradas, con un suave gradiente topográfico de dirección SE-NW. El borde este de la hoya es un semicírculo que alcanza los 2.800 m y corresponde al borde de una caldera volcánica de colapso. La superficie de la hoya hidrográfica es de 360 km² (Henríquez, 2007).

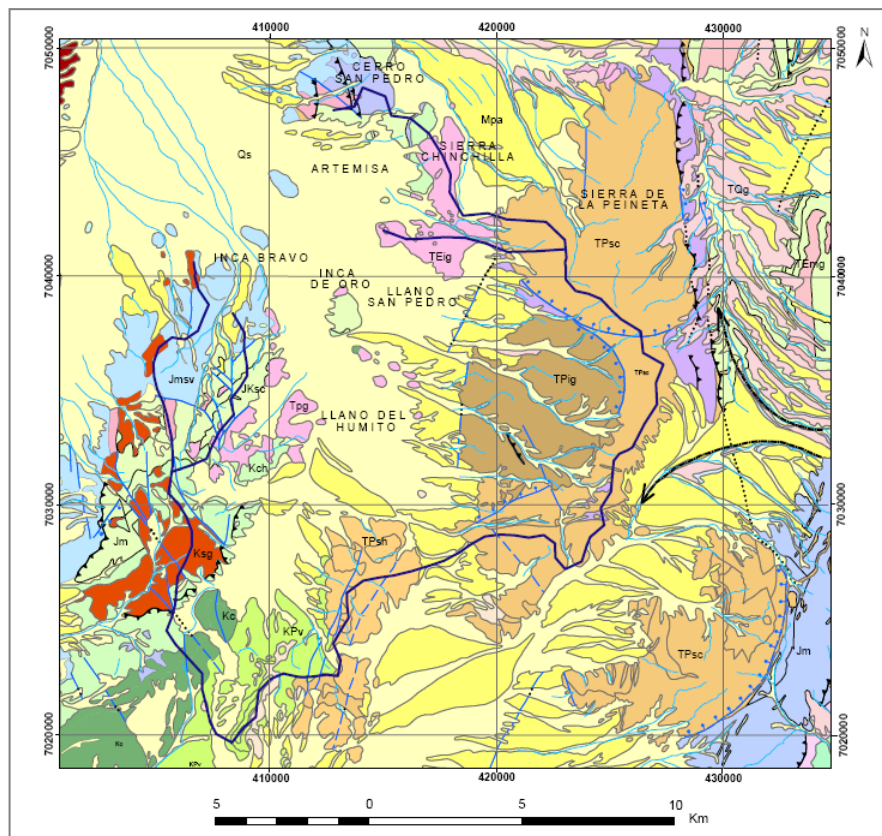


Figura 4.1 Hoya hidrográfica de Inca de Oro.

4.2 Hidrogeología Local

La paleocuenca de Inca de Oro corresponde a una colina constituida por el cuerpo mineralizado, la que fue posteriormente cubierta por gravas cuaternarias de espesor mínimo de 40 m. La colina desciende hacia el noreste, llegando a un espesor de gravas de 200 metros.

En el sector de la paleocolina, la cobertura de gravas se encuentra seca, y el agua subterránea fluye a través de la parte superior del yacimiento (Figura 4.2), en fracturas y en las oquedades de la roca lixiviada. La grava saturada forma una semi aureola alrededor del yacimiento, alcanzando hasta 120 m de espesor. El plano de isoespesor de gravas indica que el yacimiento tiene una cobertura de 40 a 230 metros, siendo el sector sureste el más profundo (Henríquez, 2007).

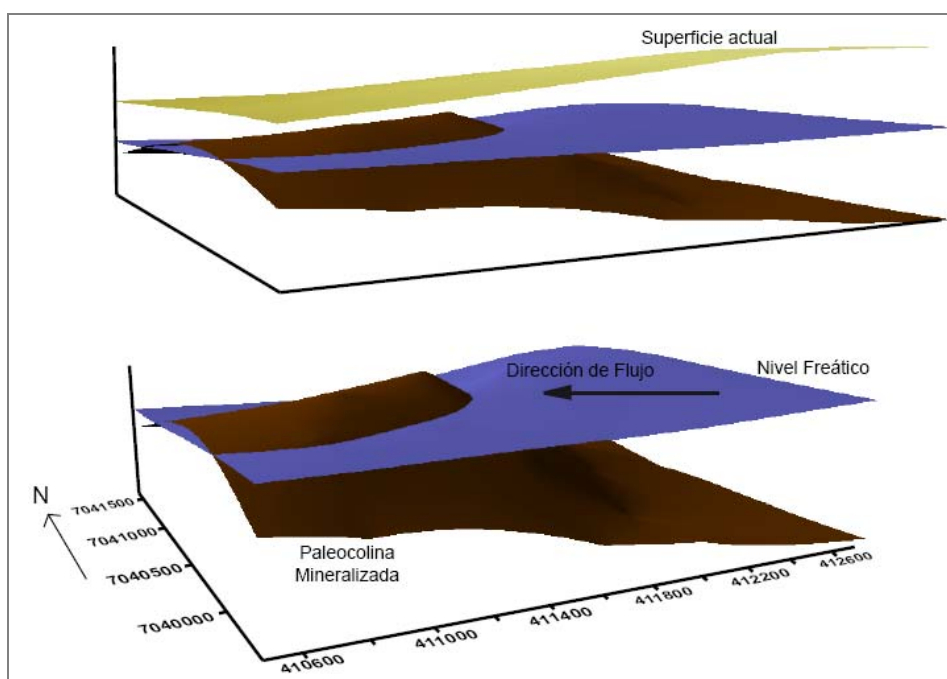


Figura 4.2 Modelo simplificado de Inca de Oro. Se muestran los planos de la superficie actual (ocre), el nivel freático (azul) y el contacto grava-roca (café)

4.2.1 Unidades Hidrogeológicas

En el sector de Inca de Oro se identifican tres unidades hidrogeológicas (Henríquez, 2007):

Rocas Impermeables: Afloran en el borde sur, este y oeste. Corresponden a rocas intrusivas Terciarias y rocas volcánicas y sedimentarias del Jurásico, que en profundidad constituyen las rocas de basamento (Figura 4.3). No son capaces de constituir acuíferos.

Rocas con porosidad adquirida: Son rocas mineralizadas y de caja (unidades intrusivas y pórfidos mineralizados) que adquirieron porosidad secundaria por fracturamiento y lixiviación de las rocas mineralizadas. Estas rocas fueron posteriormente cubiertas por gravas (Figura 4.3).

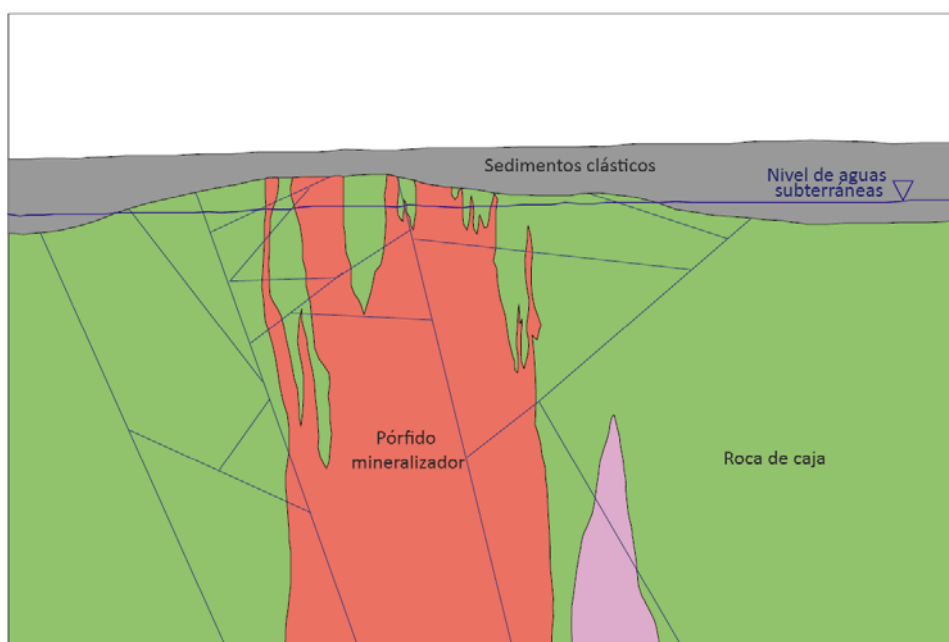


Figura 4.3 Esquema de las principales unidades hidrogeológicas reconocidas por Henríquez (2007) en el sector de Inca de Oro. Modificado de Baeza *et al*, 2008.

Sedimentos clásticos: Corresponden a los llanos que cubren la mayor parte de la hoya hidrográfica, con superficies inclinadas de dirección sureste-noroeste, formados por conos de eyecciones coalescentes. Los sedimentos son originados por corrientes de barros de origen torrencial y se caracterizan por su mala clasificación granulométrica y estratificación muy pobre. Son gravas angulosas con matriz limo-arenosa. El yacimiento está cubierto por 40 a 230 metros de gravas, siendo el sector sureste el más profundo (Figura 4.3).

Más detalles e información sobre la cobertura en el área de estudio se encuentran en el Capítulo 6 y en Luca (2010, *en prep.*) y López (2010, *en prep.*)

4.3 Características Hidrológicas

4.3.1 Recarga

La recarga en la hoya hidrográfica en que se encuentra Inca de Oro corresponde a escasas precipitaciones de tipo torrencial concentradas en un par de días al año (Henríquez, 2007). Según un estudio realizado el año 1981, el promedio de precipitación anual es de 25 mm (Anexo 1.1). El plano de la superficie freática o piesométrica (Figura 4.4) indica una recarga proveniente desde el sureste (Henríquez, 2007).

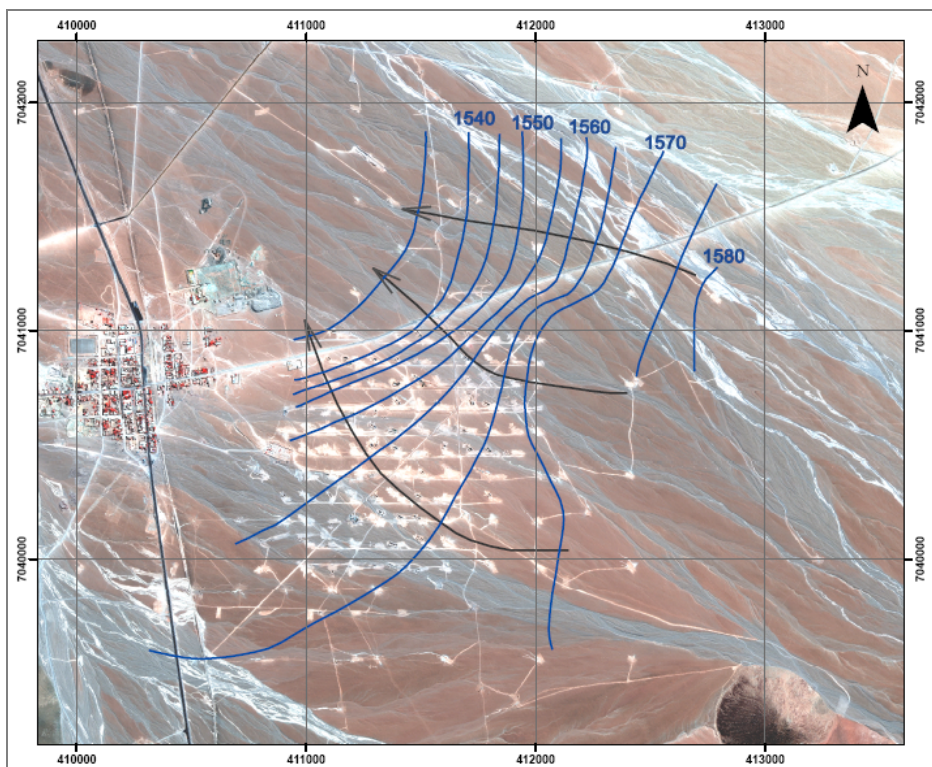


Figura 4.4 Curvas isofreáticas (cotas del nivel freático en azul) y líneas de flujo (flechas negras) en Inca de Oro. Al centro de la figura se observa la concentración de plataformas de sondaje que delimita el área del depósito (Modificado de Henríquez, 2007).

4.3.2 Almacenamiento

El almacenamiento de aguas en la cuenca es escaso debido a que las precipitaciones fluyen como escorrentías superficiales fuera del área de Inca de Oro. Sin embargo, existe un acuífero de características freáticas en que el agua subterránea se encuentra a profundidades entre 58 y 100 metros, con la mayor profundidad en el extremo sureste (Figura 4.2). El almacenamiento de agua se efectúa principalmente en la unidad de sedimentos clásticos. Dada la pobre conexión hidráulica del

conjunto, más que un acuífero se trataría de un acuitardo, es decir, una formación geológica que almacena y transmite agua pero en pequeñas cantidades, que no permiten una explotación económica del recurso (Henríquez, 2007).

4.3.3 Descarga

La descarga subterránea en el sector del yacimiento tiene dirección desde el sureste hacia el noroeste, concordante con la dirección y pendiente de los conos coalescentes superficiales. La Figura 4.5 muestra las líneas de flujo del agua subterránea modeladas a partir de las diferencias de pendiente del techo del nivel freático (datos piesométricos) a través del software Surfer. El gradiente hidráulico de la superficie freática es de 3,4%, lo que significa mediana a baja transmisividad en las gravas. En el sector noroeste del depósito (N 7.041.288/ E 409.399 y nivel freático a 19,4 m de profundidad) existe un pique del que se extrae agua subterránea con cierta periodicidad, a un caudal del orden de medio litro por segundo. Otra descarga subterránea cercana al depósito, es un pozo de propiedad de la empresa Chatal (N 7.042.283/ E 410.844), del cual se extrae casi en forma constante cerca de tres cuartos de litro por segundo, desde una profundidad de 70 m (Henríquez, 2007).

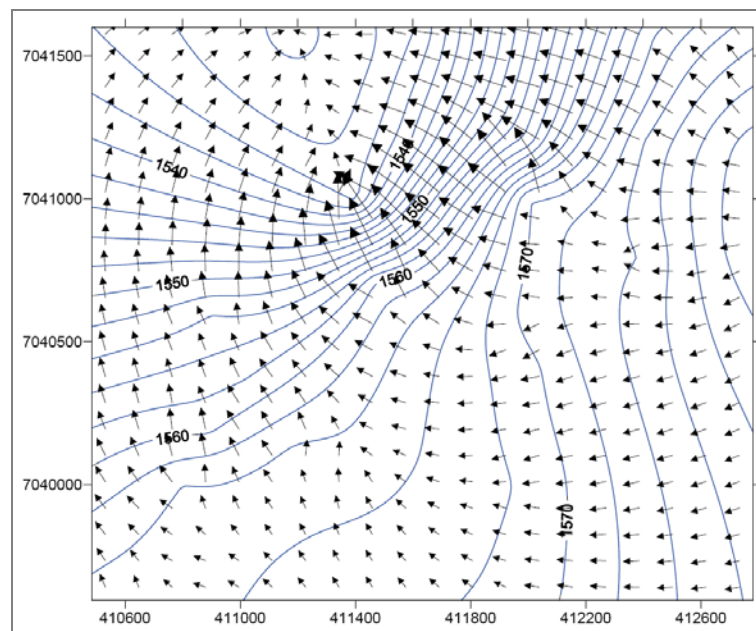


Figura 4.5 Líneas de flujo del agua subterránea en Inca de Oro.

4.3.4 Hidroquímica

Para el estudio realizado por Henríquez, (2007), se tomaron dos muestras de agua con el fin de conocer la calidad del agua, según las normas de agua potable y de riego (sin determinaciones bacteriológicas). Una de las muestras fue tomada junto al campamento de Exploraciones Mineras S.A., en el borde noroeste del pueblo de Inca de Oro (muestra Inca de Oro 1) y la otra en el sondaje Chatal (Inca de Oro 2) ubicado al norte del cuerpo mineralizado principal.

Según estos análisis, las aguas corresponden al tipo sulfatada, son muy similares entre ellas y ligeramente salobres, con contenido máximo de sólidos disueltos totales de 1.700 mg/l y pH 7,38.

Los resultados completos de estos análisis se encuentran en el Anexo 1.2.

5. METODOLOGÍA DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

El muestreo de aguas subterráneas en las distintas campañas se realizó utilizando un toma muestras o “bailer”. Para la primera campaña de terreno, este dispositivo fue diseñado y construido por la autora y para las siguientes campañas se contó con un “bailer” adquirido en el mercado, pero modificado de acuerdo a las necesidades del muestreo. Las características de estos dispositivos se detallan más adelante.

Las muestras de agua se obtuvieron desde pozos de sondajes verticales, realizados para la empresa Exploraciones Mineras Andinas S.A. durante los años 2005, 2006 y 2007.

5.1 Muestreo de aguas subterráneas

Las características del instrumento utilizado en la primera campaña de terreno permitieron muestrear el agua subterránea en un solo nivel de profundidad, correspondiente al techo del nivel freático en cada pozo. Para las siguientes campañas se mejoró el instrumento con el fin de muestrear a distintos niveles de profundidad, y de esta forma medir posibles variaciones, tanto en los parámetros físico-químicos como en la composición del agua subterránea con la profundidad. La construcción y características de los instrumentos utilizados y la metodología de muestreo adoptada se detallan a continuación.

5.1.1 Construcción muestreador de agua subterránea

El muestreador utilizado en la campaña de Enero de 2007 consistió en un tubo de PVC de 3,2 cm de diámetro y 120 cm de largo (obteniéndose una capacidad de aproximadamente 1 litro), una tapa desmontable para el fácil almacenamiento de la muestra, una serie de orificios en su parte superior que permitieran el paso del agua, y un tubo anexo con un peso de aproximadamente 1,5 Kg, de manera que el volumen de vacío introducido en el agua por el tubo fuera contrarrestado, evitando la flotabilidad del instrumento (Figura 5.1, Izq.).

Para alcanzar el nivel freático, se contó con una cuerda graduada de aproximadamente 200 m de largo.

Para el muestreo en profundidad se construyó un segundo dispositivo en base a un “bailer” clásico (Figura 5.2), el que consiste en un tubo transparente de polietileno de alta densidad, con una bolita de PVC en su parte inferior que actúa como válvula conteniendo el agua dentro del tubo cuando se inicia su ascenso. Este sistema permite además obtener muestras a distintas profundidades. Sin embargo, para utilizar este instrumento fue necesario modificarlo en terreno, ya que el poco peso de éste, y la gran cantidad de sedimento en algunos pozos afectó el buen funcionamiento de la bolita como tapón del “bailer”, permitiendo el escape del agua al momento de recuperar la muestra.

La modificación del “bailer” consistió en agregar una válvula unidireccional en el extremo superior, cuya apertura se controló desde superficie utilizando una segunda cuerda. Esto permitió obtener muestras a distintas profundidades, evitando la contaminación de la muestra con agua de niveles superiores. También se agregó un peso en la parte inferior para evitar la flotabilidad (Figura 5.1, der.).



Figura 5.1 Tipos de muestreadotes utilizados. Izq.: Instrumento de PVC utilizado. Der.: “Bailer” clásico modificado.

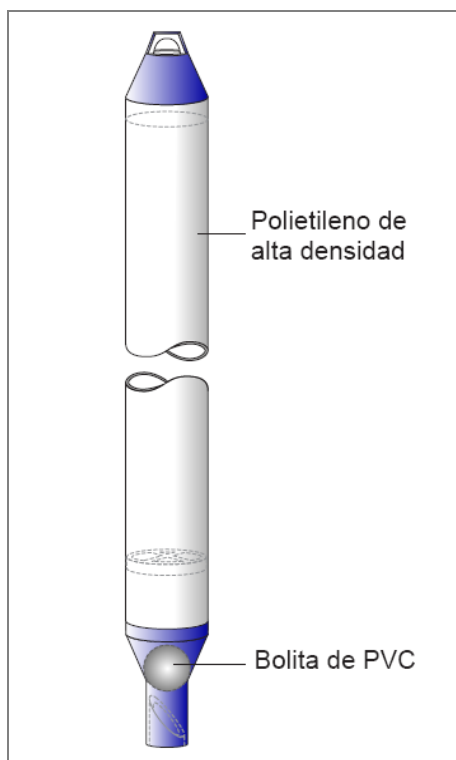


Figura 5.2 “Bailer” clásico desechable.

5.1.2 Metodología de muestreo

En todas las campañas se midió la temperatura, punto de rocío y humedad relativa de cada pozo al momento de la apertura de los entubados de pozo en superficie.

La muestra se obtuvo introduciendo el instrumento 3 a 4 metros bajo la profundidad del nivel freático conocida en el pozo. Dada la capacidad del instrumento de PVC, este procedimiento se realizó una vez por pozo. En el caso del bailer modificado, el instrumento se introdujo varias veces por pozo muestreado. Inmediatamente se midieron los parámetros: pH, temperatura, total de sólidos disueltos (TDS), y electroconductividad (EC) del agua, con un medidor portátil Hanna.

En cada punto de muestreo se tomaron 3 muestras sin filtrar en botellas de polietileno de 125 ml, para cada profundidad muestreada. Una de ellas para la posterior medición en laboratorio de los parámetros Eh, Cu^{2+} , I^- y Cl^- (a través de electrodos de ión selectivo); otra muestra acidificada con HNO_3 4N para análisis geoquímico de 72 elementos vía ICP-MS (ACMELabs, Vancouver, Canadá), y una última para conteo bacteriano y análisis de cultivos, realizados en el Laboratorio de Biolixiviación del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Chile por el alumno doctorante Rodrigo Luca.

Además, en las últimas dos campañas (Abril de 2008 y Marzo de 2009) se tomó una muestra adicional en cada pozo, para análisis de elementos mayores: Ca^{2+} , Mg^+ , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} y NO_3^- (este último elemento analizado sólo en la última campaña). Este análisis se realizó en el laboratorio SGS Chile, el cual proporcionó el material de muestreo consistente en dos botellas de polietileno de 1 litro, y una de ½ litro acidificada con HNO_3 para el análisis de cationes y alcalinidad.

Durante la campaña de Marzo de 2009 se tomaron adicionalmente muestras filtradas en cada punto. Las muestras se filtraron con filtros Millipore de 0,45 μm tipo Milx HV de 33 mm.

Todas las muestras fueron refrigeradas para su preservación. Además, luego de tomar cada muestra, los instrumentos utilizados fueron lavados con agua desmineralizada, evitando la contaminación de la siguiente muestra.

Las muestras en profundidad se tomaron a aproximadamente 10 y 20 metros por debajo del nivel freático. Éstas fueron tomadas principalmente en pozos donde el agua se encontraba hospedada en roca, ya que estos pozos son más estables y tienen menos posibilidad de encontrarse derrumbados.

La Tabla 5.1 muestra un resumen de los pozos muestreados y las profundidades de cada muestra. El nivel freático utilizado en la campaña de Enero fue medido con pozómetro. Para el resto de las campañas este nivel fue estimado mediante la cuerda graduada utilizada en el muestreo.

Tabla 5.1 Muestras tomadas en las cinco campañas de terreno. Se indica la profundidad de las muestras (m).

	Pozos muestreados	Enero 2007	Julio 2007	Noviembre 2007	Abril 2008	Marzo 2009
Agua subterránea en roca	AR-10051	61,26	65	62	61	61
		-	-	72	73	-
	AR-10053	90,91	95	94	90	90
		-	-	104	100	-
		-	-	114	112	-
	AR-10063	63,77	65	66	63	-
		-	-	76	74	-
		-	-	-	84	-
	AR-10099	31,09	35	-	-	-
	AR-10143	-	-	85	63	63
		-	-	95	75	-
	DDH-2252	76,49	75	78	76	76
		-	90	89	86	-
		-	-	99	96	-
DDH-2267	66,06	65	67	66	-	
	-	75	77	76	-	
	IDO-2	-	-	-	80 aprox	-
Agua subterránea en grava	AR-2409	96,48	97	104	96	-
	AR-2411	94,75	98	98	95	-
		-	-	103	101	-
	AR-2415	48	48	50	48	48
		-	-	60	58	-
		-	-	70	68	-
	AR-10055	83,88	87	90	85	-
		-	-	94	93	-
	AR-10057	88	87	88	88	-
	AR-10058	97,13	98	98	98	-
		-	114	103	-	-
	AR-10064	89,1	95	93	90	-
		-	-	103	99	-
	AR-10145	-	-	115	115	115
	-	-	120	122	-	
AR-10154	-	-	-	90	-	

5.2 Procedimientos Analíticos

5.2.1 Análisis de Eh e iones libres

Para el análisis de Cu^{2+} , I^- y Cl^- se utilizaron electrodos de ión selectivo marca HANNA. La medición se hace aforando 60 ml de la muestra y agregando 600 μl de electrolito ISA 5M NaNO_3 . Esta solución se mezcla con un agitador magnético a velocidad constante. Luego se introduce el electrodo, el que realiza la medición en mV. Los resultados de estas mediciones se presentan en el Anexo 6.1 (Tabla 6.1.4). Sin embargo, dado el mal funcionamiento de los electrodos, estos análisis no se consideraron en interpretaciones posteriores.

El análisis de Eh se realizó con un electrodo Schott Geräte. Este tipo de electrodos de Pt requiere que la medición sea corregida de acuerdo al electrodo de hidrógeno teórico. Esto se realiza mediante la fórmula: valor corregido = medición de terreno + (valor teórico de la solución estándar – valor medido de la solución estándar). La solución estándar (Zobell) tiene un valor de 430 mV, el electrodo de platino mide esta solución como 230 mV, por lo que todas las mediciones en terreno requieren una adición de 200 mV (430-230 mV) para obtener la medida de Eh correcta (Gray, 2008, com.oral; Nordstrom & Wilde, 2005)

5.2.2 Análisis de Laboratorio

Los análisis químicos se desarrollaron en los laboratorios ACMELabs en Vancouver, Canadá (análisis de 72 elementos vía ICP-MS) y SGS Chile (elementos mayores). Los procedimientos y métodos seguidos por cada laboratorio se resumen en las Figuras 5.3 y 5.4.

El análisis vía ICP-MS considera 1 duplicado por cada batch de 36 muestras, además, previo al análisis se adhieren estándares de calibración y blancos. Las soluciones son medidas directamente con un espectrómetro de masas ICP Perkin Elmer Elan 9000 para determinar concentraciones de elementos traza y ultra traza y por un espectrómetro de emisión para confirmar las concentraciones más altas. Los límites de detección para los 72 elementos se detallan en el Anexo 2.1.

5.2.3 Análisis bacteriológico

En las cinco campañas de terreno se tomaron muestras de aproximadamente 125 ml para análisis bacteriológico en el Laboratorio de BioHidrometalurgia del Departamento de Química de la

Universidad de Chile. Las muestras se mantuvieron en envases estériles y refrigerados hasta el momento del análisis.

En el caso de las campañas de Enero y Julio de 2007, el número de células en solución se determinó por conteo directo. Se midió el pH de las muestras y posteriormente se enriquecieron en medio ferroso, diluyendo las muestras en medio de cultivo (10 veces las muestras de Enero y 20 veces las de Julio) y agregando solución de sulfato ferroso en concentración equivalente a 3 g/l (Tabla 5.2). Los cultivos se realizaron en condiciones estériles.

Las muestras de la campaña de Noviembre-Diciembre, previo al conteo directo, fueron filtradas con un filtro de tamaño de poro 1 µm. Posteriormente el material del filtro fue re-suspendido. A la solución obtenida se le agregó 5 ml de MC (pH=1,6). Esta solución fue dividida en dos soluciones, una para análisis de bacterias hierro-oxidantes y una para análisis de bacterias azufre-oxidantes.

En las muestras de las campañas de Abril de 2008 y Marzo de 2009 sólo se realizaron pruebas con placas de Petri y medios de cultivo (agar-agar, extracto de levadura, carne y trazas de minerales).

Tabla 5.2 Composición medio de cultivo y sulfato ferroso.

Medio de cultivo (pH = 1,6)	
Composición	gr/l
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,4
K ₂ HPO ₄ *3H ₂ O	0,056
MgSO ₄ *7H ₂ O	0,4

Sulfato ferroso * 7H₂O	
Composición	
FeSO ₄ *7H ₂ O al 33%	

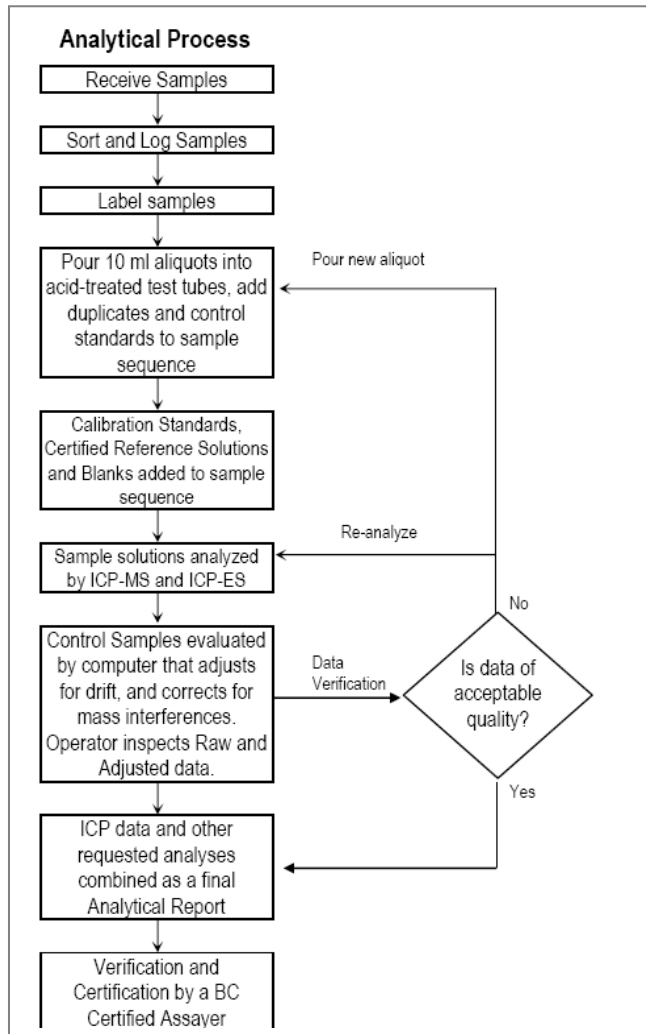


Figura 5.3 Métodos y especificaciones para el paquete analítico Grupo 2C de análisis de agua vía ICP-MS entregado por ACMELabs Ltda.

Métodos de Ensayo	
Análisis	Metodología
Alcalinidad Total, pH, (C,H,B)	Std. Methods. Ed 21. 2005 Método 2320 B, Volumetría
Metales por A. Atomica	Std Methods, Ed 21-2005 Método 3111 B - Absorción Atómica (A - Ac) (Ag, Au, Bi, Ca, Co, K, Li, Na, Mg, Tl)
Cloruros	Standard Methods. Ed 21. 2005 Método 4500-Cl B Volumetría.
Nitrógeno de Nitratos	Std Methods, Ed 20. 1998 Método 4500 NO3 - D, Electrodo Especifico
Sulfatos	Standard Methods. Ed 21. 2005 Método 4500-SO4 C. Gravimetría.

Figura 5.4 Métodos de análisis entregado por el Laboratorio Ambiental SGS Chile Ltda.

6. CARACTERÍSTICAS DE PUNTOS DE MUESTREO

6.1 Selección y ubicación de puntos de muestreo

Dadas las características de los sondajes de exploración minera, que no poseen habilitación de ningún tipo, en conjunto con las características litológicas de las unidades que éstos cortan, se optó por los pozos verticales como potencialmente muestreables, evitando pozos inclinados y pozos que pudieran encontrarse derrumbados y tapados. Para la primera campaña de terreno se recopiló la información de los sondajes realizados por EMSA entre los años 2006 y 2007, siendo seleccionados como potencialmente muestreables un total de 32 pozos. De éstos, sólo 13 se encontraron en condiciones de ser muestreados y el resto se encontró seco, tapado o derrumbado.

Durante el segundo semestre del año 2007 se inició una nueva campaña de perforación en la zona, lo que permitió agregar 2 pozos en la campaña de Noviembre, y 1 más en la campaña de Abril de 2008 (Figura 6.1).

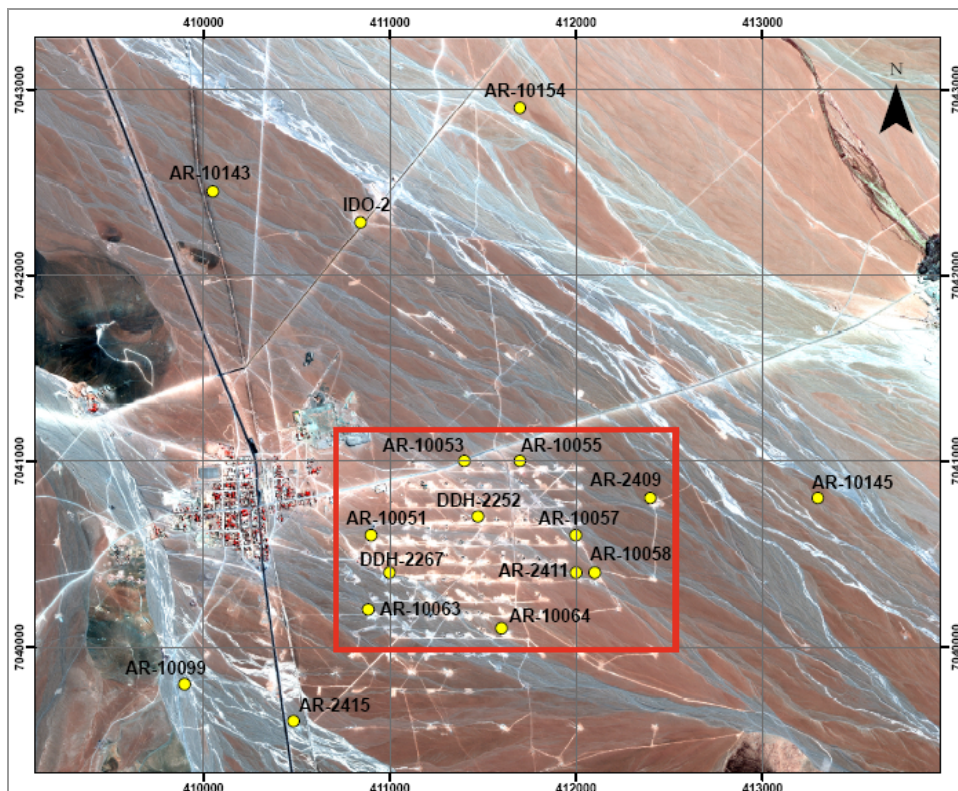


Figura 6.1. Ubicación de puntos de muestreo. Incluye los tres pozos agregados en las últimas campañas de terreno. En rojo se enmarca el área del muestreo del depósito Inca de Oro.

Los pozos muestreados corresponden en su mayoría a sondajes verticales de Aire Reverso, y en menor parte, a sondajes verticales de Diamantina. Los pozos se encuentran distribuidos tanto dentro como fuera del área del depósito de Inca de Oro, como se muestra en la Figura 6.1 (coordenadas en Anexo 3.1). La muestra IDO-2 corresponde a una muestra tomada en una piscina de almacenamiento de agua de un pozo que extrae agua subterránea diariamente. La muestra AR-10099 se encuentra en la zona denominada Inca Bravo y sólo fue muestreada en las dos primeras campañas dada su contaminación con aceite.

6.2 Características geológicas de los puntos de muestreo

El nivel freático en la zona de estudio se encuentra tanto en gravas como en roca, correspondientes a las unidades hidrogeológicas definidas como sedimentos clásticos y rocas con porosidad adquirida, respectivamente. En la Tabla 6.1 se muestra la distribución de los puntos de muestreo respecto de estas unidades.

A partir de los datos de la geología local descritos en Baeza *et al* (2008), y resumidos en el Capítulo 3, se construyeron las plantas de litología, alteración y mineralización para la cota correspondiente al nivel freático (1550 m aprox.) para el sector del depósito de Inca de Oro. Sin embargo, esto no se pudo realizar para los sectores muestreados fuera de éste, dada la falta de información respecto a la geología en profundidad en estos sectores.

En cuanto a la litología de las muestras hospedadas en roca, tres de los puntos muestreados se encuentran en el área del depósito, tanto en las unidades PTG como PTO, y dos en andesitas, hacia el NW del depósito y saliendo de éste en el sentido del flujo del agua subterránea (Figura 6.2).

La proyección de las estructuras descritas en plantas inferiores permitió inferir para la cota del nivel freático dos grupos de fallas de dirección NNE a NE y NNW a NW como se observa en la figura 6.2.

Tabla 6.1 Ubicación de muestras de agua respecto al medio hospedante, litología, alteración y mineralización.

Nivel muestreado	Punto de muestreo	Medio hospedante	Unidad litológica	Zona alteración	Zona mineralización
Nivel freático	AR-10051	Roca	Andesita	Sericítica	Lixiviado
	AR-10053	Roca	Andesita	Sericítica	Oxidado
	AR-10063	Roca	Pórfido tonalítico	Sericítica	Lixiviado+Óxidos
	AR-10099	Roca	-	-	-
	DDH-2252	Roca	Pórfido tonalítico	Sericítica	Oxidado
	DDH-2267	Roca	Pórfido tonalítico grueso	Clorita-Sericita	Lixiviado+Óxidos
	AR-10143	Roca	-	-	-
	AR-2409	Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
	AR-2411	Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
	AR-2415	Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
	AR-10055	Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
	AR-10057	Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
	AR-10058	Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
	AR-10064	Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
	AR-10145	Grava	-	-	-
	AR-10154	Grava	-	-	-
	IDO-2	Grava	-	-	-
	10 m bajo NF (aprox.)	AR-10051	Roca	Andesita	Sericítica
AR-10053		Roca	Andesita	Sericítica	Oxidado
AR-10063		Roca	Pórfido tonalítico	Sericítica	Lixiviado+Óxidos
DDH-2252		Roca	Pórfido tonalítico	Argílica	Oxidado
DDH-2267		Roca	Pórfido tonalítico grueso	Sericítica	Oxidado
AR-10143		Roca	-	-	-
AR-2411		Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
AR-2415		Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
AR-10055		Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
AR-10058		Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
AR-10064		Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril
AR-10145		Grava	-	-	-
20 m bajo NF (aprox.)		AR-10053	Roca	Andesita	Sericítica
	AR-10063	Roca	Pórfido tonalítico	Sericítica	Oxidado
	DDH-2252	Roca	Pórfido tonalítico	Sericítica	Oxidado
	AR-2415	Grava	Grava Polimíctica	Sin Alteración	Estéril

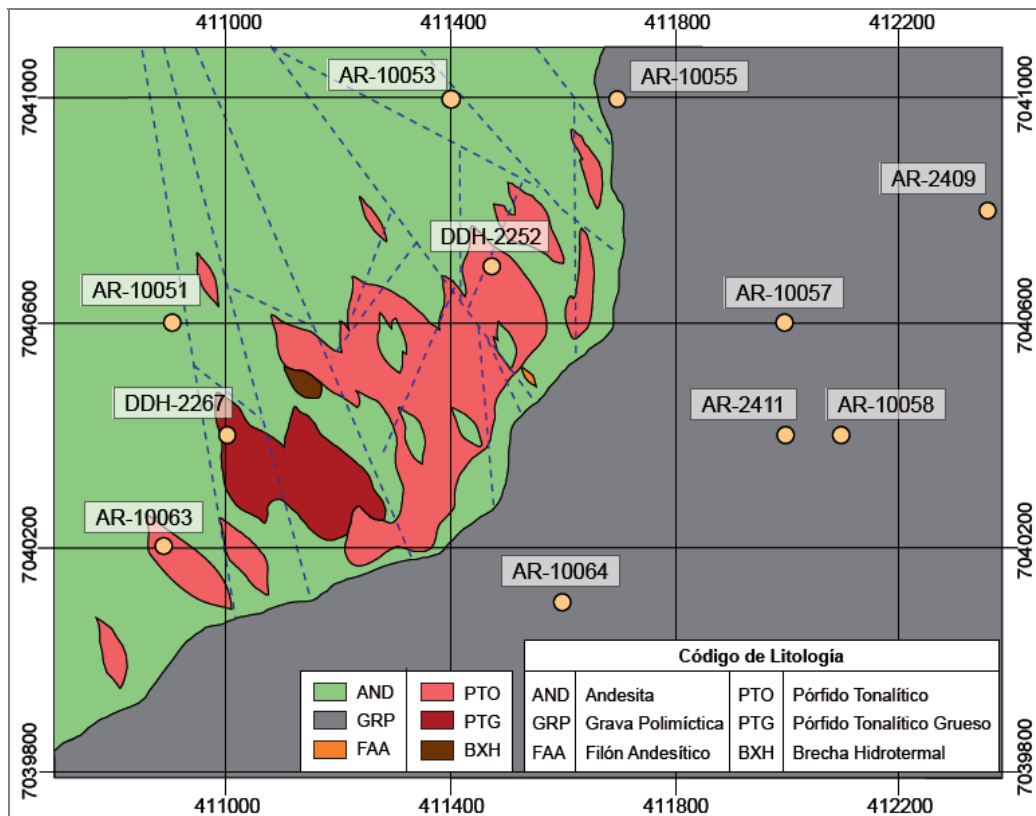


Figura 6.2 Litología en el nivel de aguas freáticas (cota 1550 aprox.) en Inca de Oro y ubicación de puntos de muestreo (construido con datos de Baeza *et al*, 2008).

En cuanto a la alteración hidrotermal, tres de las muestras en roca se encuentran en zonas de alteración sericítica, y una (ubicada dentro de la zona del depósito) en un sector de alteración clorita-sericita (Figura 6.3, arriba).

Respecto a las zonas de mineralización, las muestras hospedadas en roca se encuentran distribuidas en zonas de óxidos (OXI), mineral lixiviado (LIX) y zonas de mezcla de lixiviado con menor óxidos (LOX). Éstas son parte de una zona mayor descrita para el depósito como “zona de oxidación” que ocupa toda la parte superior de Inca de Oro, desde el techo de roca hasta la base de la oxidación en profundidad que en parte coincide con el techo de sulfuros (Baeza *et al*, 2008). Estas zonas derivan de los procesos de oxidación que afectaron la mineralización de sulfuros (Figura 6.3, abajo).

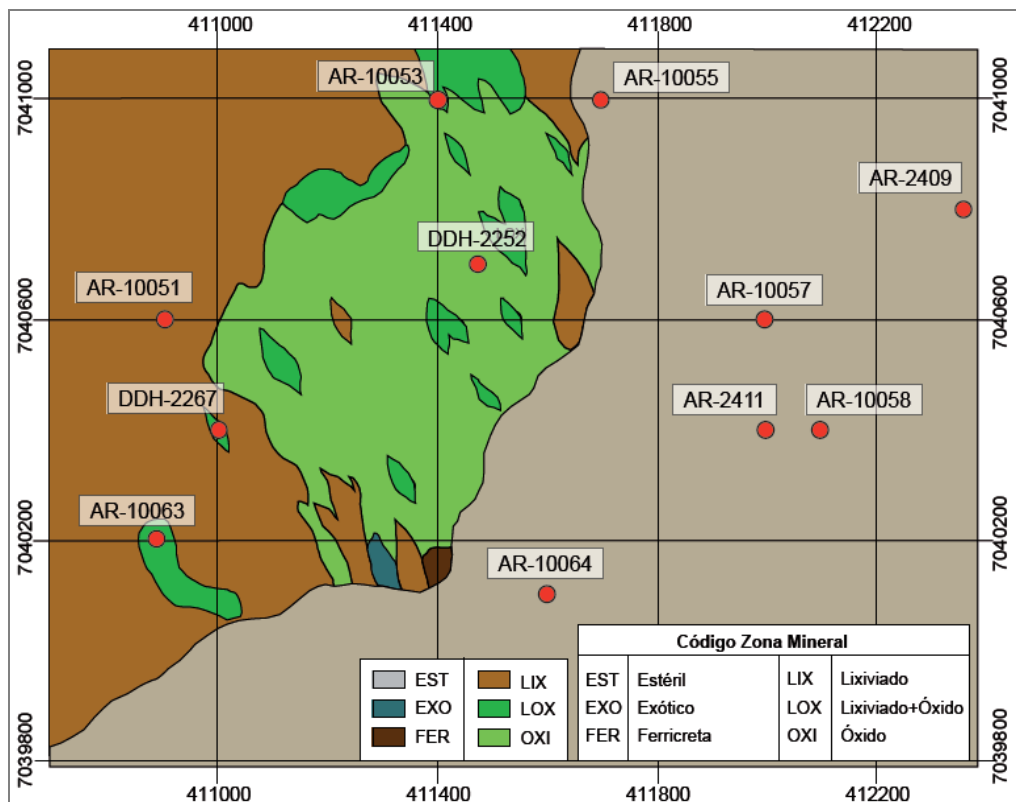
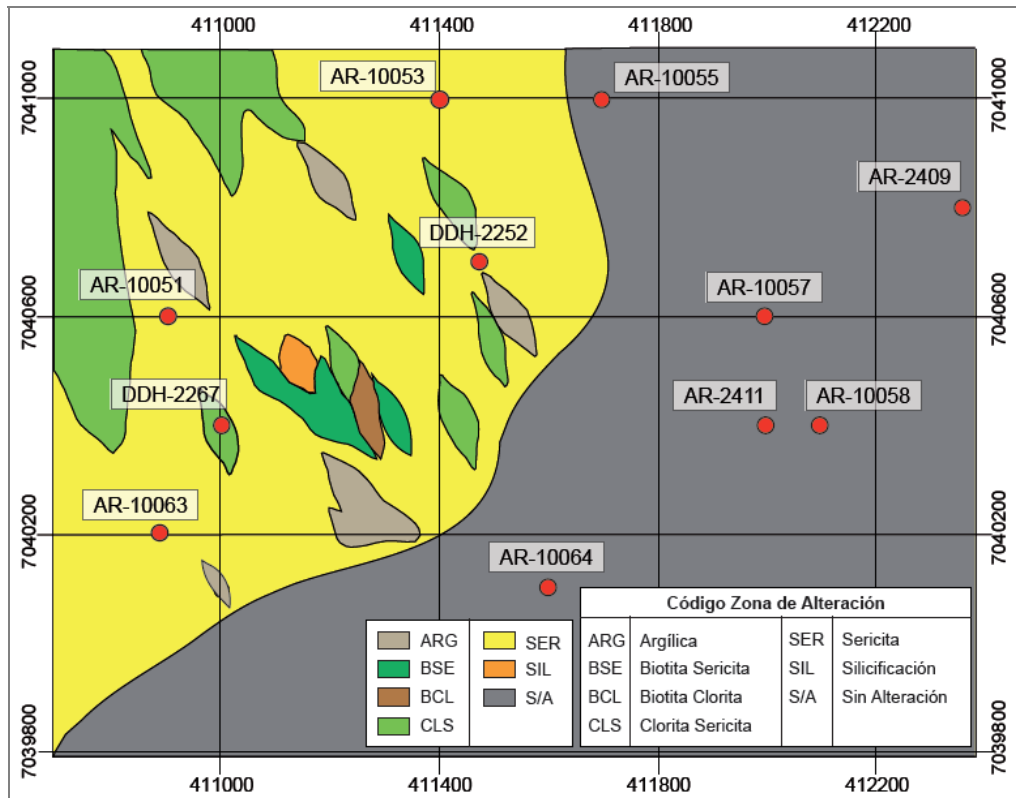


Figura 6.3 Zonas de alteración (arriba) y mineralización (abajo) en el nivel de aguas freáticas (cota 1550 aprox.) en Inca de Oro y ubicación de puntos de muestreo (construido con datos de Baeza *et al*, 2008).

La zona de mineral lixiviado (LIX) se encuentra hacia los bordes del depósito principalmente, en la periferia del cuerpo central de mejores leyes de Cu, por sobre el halo pirítico del yacimiento y localmente interrumpe el cuerpo de óxidos. En la zona mineral de óxidos de cobre (OXI) el cobre se encuentra contenido en “óxidos verdes”, “negros”, arcillas y limonitas con Cu. Se encuentra en la parte central de depósito sobre el núcleo de mejores leyes primarias y en sus alrededores (Baeza *et al*, 2008).

Para los puntos DDH-2252 y DDH-2267 existe información más detallada respecto a los minerales que ocurren en la profundidad del nivel de aguas subterráneas. En el caso del punto DDH-2252 se observa goethita y jarosita diseminada, hematita y arcillas con Cu en forma diseminada y en vetillas, crisocola y óxidos negros diseminados. En el punto DDH-2267 ocurre goethita y óxidos negros diseminados (Baeza *et al*, 2008).

En cuanto a la cobertura de gravas, la observación macroscópica de la cobertura sobre el depósito, indica que es una grava matriz soportada, pobremente estratificada, compuesta principalmente por fragmentos de andesita, tobas, rocas intrusivas, cuarzo, cuarzo-epidota y cuarzo-turmalina. La matriz está compuesta por fragmentos líticos, cuarzo, cuarzo-epidota, calcita, magnetita, y en menor proporción biotitas, cloritas y minerales de arcillas (Luca, 2010, *en prep.*). En general, estaría compuesta por mineralogía primaria, fragmentos con poco grado de meteorización, poco desarrollo de mineralogía secundaria y sería relativamente cercana a la fuente (grava inmadura) (López, 2010, *en prep.*).

Por otra parte, a partir de la información de leyes de cobre total y soluble, proveniente del mapeo realizado por EMSA en 89 sondajes del depósito, se construyeron, utilizando el software Surfer 8.0, dos plantas de distribución de Cu en la cota correspondiente al nivel freático de los pozos (sólo información de sondajes diamantinos). Estas plantas se construyeron aplicando el método de kriging sobre los datos de leyes en el tramo mapeado correspondiente a la profundidad del nivel freático. La Figura 6.4 muestra la distribución de cobre soluble y cobre total menos cobre soluble. El cobre soluble se relaciona con los óxidos verdes de Cu y el insoluble, principalmente al cobre que se encuentra en óxidos negros y arcillas. Ambas plantas se ubican en el área del depósito de Inca de Oro, es decir, la zona de roca mineralizada. Éstas, se encuentran contenidas en la zona OXI de la planta de

mineralización en la profundidad del nivel freático (Figura 6.3). El sondaje DDH-2252 se ubica aproximadamente en el máximo superior (zona amarilla) de la planta de Cu soluble.

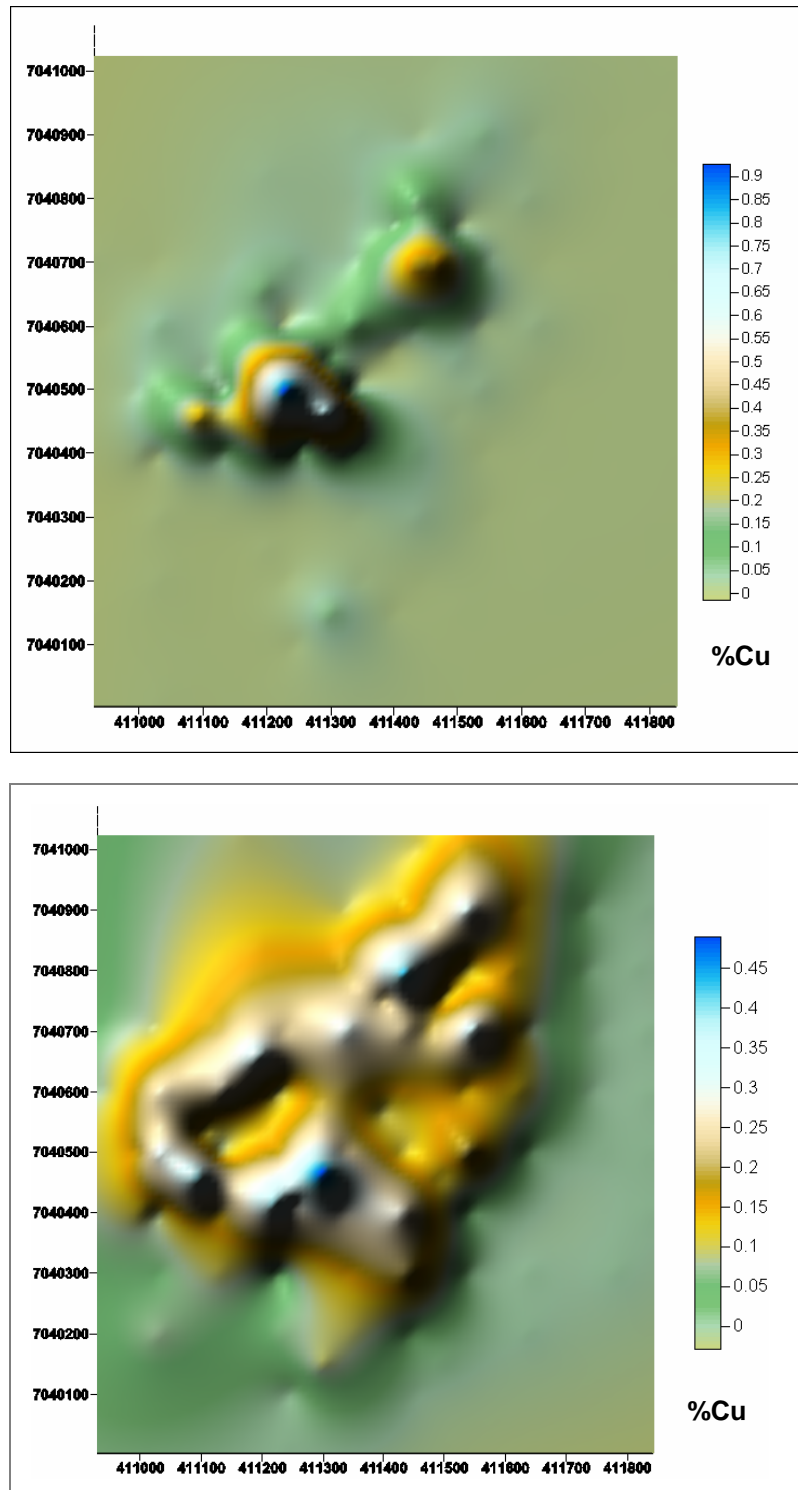


Figura 6.4 Cu soluble (arriba) y (Cu Total-Cu soluble) (abajo) en la profundidad del nivel freático de aguas subterráneas. La simbología indica las leyes de Cu respectivas.

7. CONTROL DE CALIDAD

El método de muestreo y el posterior análisis geoquímico de las muestras de agua subterránea, fue sometido a un control de calidad con el fin de estudiar la precisión analítica de laboratorio y la reproducibilidad de los datos a través de duplicados de terreno.

Se realizaron dos tipos de control de calidad. Un control de calidad analítico, mediante la comparación de muestras originales y sus duplicados de laboratorio, y que tiene que ver con los procedimientos y la exactitud de los equipos que éstos utilizan, y un control de calidad de terreno, mediante la comparación de muestras originales y sus duplicados de terreno.

El control de calidad se realizó considerando los resultados de los análisis de todas las campañas en conjunto (excepto la campaña de Marzo 2009 para la que no se cuenta con duplicados), esto, debido a que la pequeña cantidad de sitios de muestreo por campaña (entre 13 y 17 sitios) no hace posible un análisis de las campañas de terreno por separado.

En el caso de los datos de geoquímica de 72 elementos, analizados en el laboratorio ACME, en Vancouver, Canadá, previo a la aplicación del método para el control de calidad, se eliminaron todos los elementos cuyo análisis presentó más de un 20% de los resultados bajo el límite de detección del laboratorio (Anexo 4.2). Estos elementos corresponden a 23 del total de 72 (Ag, Au, Be, Bi, Cd, Hf, Hg, In, Ir, Lu, Nb, Ni, Os, Pd, Pt, Rh, Ru, Sn, Ta, Te, Ti, Tl y Tm). Estos elementos no serán considerados en el análisis estadístico posterior. Para los elementos restantes, los valores bajo el límite de detección se aproximaron a la mitad del valor del límite.

El control de calidad se realizó a través del cálculo del promedio de diferencias relativas (o error relativo promedio o diferencias relativas absolutas DRA) entre las muestras y sus duplicados. Esta medición compara el valor de la muestra original con su duplicado mediante la siguiente fórmula (Stanley & Lawie, 2007):

$$DRA = 2 \frac{|x_1 - x_2|}{(x_1 + x_2)}$$

Donde x_1 y x_2 corresponden a la muestra original y su duplicado. En el caso de n pares de duplicados, el error relativo promedio se calcula con la fórmula (Stanley & Lawie, 2007):

$$\overline{DRA} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(2 \frac{|x_{1i} - x_{2i}|}{(x_{1i} + x_{2i})} \right)^2}$$

Si el promedio de diferencias relativas entre las muestras originales y sus duplicados (para cada elemento) es menor al 20%, se considera que el análisis tiene una buena precisión analítica. En este caso, dada la variabilidad y complejidad de la química del agua y de las reacciones físico-químicas que pueden tener lugar desde el momento del muestreo hasta el traslado de muestras al laboratorio, se utilizó un valor de 30% como umbral.

Por otro parte, se realizó una revisión de los resultados analíticos para el análisis de elementos mayores (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^-) realizado en el laboratorio SGS Chile. Esta evaluación debe realizarse para comprobar la calidad de los datos y consiste en verificar el balance iónico de las especies analizadas.

7.1 Geoquímica de 72 elementos

7.1.1 Control de Calidad Analítico

La cantidad de duplicados procesados depende del protocolo de laboratorio (Anexo 4.1). Para el análisis de agua vía ICP-MS, el laboratorio ACMELabs realiza 1 duplicado por batería de 36 muestras, con el fin de medir la precisión de sus equipos. En este caso se cuenta con 3 duplicados de laboratorio, correspondientes al análisis de muestras de las campañas de Enero-Julio, Noviembre y Abril. Además, para evaluar la exactitud de los resultados, el laboratorio incluye estándares internos en cada batería de muestras (STD-WASTWATR).

Los resultados del cálculo de diferencias relativas entre las muestras originales y su duplicado de laboratorio se muestran en el Anexo 4.3 y se resumen en la Tabla 7.1. Los elementos que no cumplen con la tolerancia de error del 30% son eliminados de análisis estadísticos posteriores así como también de las subsiguientes interpretaciones. En este caso, todos los elementos, salvo Re muestran un promedio de diferencias relativas menor al 10%, indicando la buena correlación entre los datos originales y sus duplicados y, por lo tanto, una buena precisión analítica del laboratorio.

7.1.2 Control de Calidad de Terreno

El control de calidad de terreno tiene por objetivo medir la capacidad de reproducibilidad del método de muestreo de aguas en terreno y lograr una evaluación del error de varianza total para cada parámetro. Para este estudio, se tomó muestras en duplicado cuando el pozo de sondaje mostraba facilidad de ser muestreado, es decir, un nivel freático no demasiado profundo, poco sedimento y una perforación continua.

En total se tomaron 4 duplicados de terreno. De la misma forma que con los duplicados analíticos, los datos de duplicados de terreno se estudiaron mediante el cálculo de diferencias relativas y utilizando los mismos porcentajes límites de control. En la Tabla 7.1 se muestran los resultados de este análisis (los detalles se encuentran en el Anexo 4.4), y se destacan en rojo todos los promedios de diferencias que superan el 30%. En este caso, 26 elementos no cumplen el control de calidad, los que serán excluidos de análisis estadísticos posteriores pero no necesariamente de los análisis de distribución areal. Cabe destacar que, dadas las características del depósito de Inca de Oro, un grupo de elementos que no pasan este control (Al, Fe, Mn, Mo y Zn) se incluirán en todos los análisis, debido a la relación ya sea con la mineralización sulfurada en el caso de Mn, Mo y Zn, o a minerales silicatados en el caso de Al y Fe. Por otro lado, la variabilidad en las concentraciones de Al, Fe y Mn podría deberse a que las muestras de agua no fueron filtradas en terreno y estos elementos son altamente controlados por la fase en suspensión. Además, al tratarse de duplicados de terreno, necesariamente se observará una variabilidad propia del muestreo. Las características de este grupo de elementos, y las razones por las cuales ellos no cumplen los estándares del control de calidad se discuten en el capítulo 10.

Finalmente, considerando tanto los resultados de duplicados analíticos como de terreno, los elementos que pasan el control de calidad y que serán utilizados en el análisis estadístico posterior son: **Al, As, B, Ba, Br, Ca, Cl, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Rb, S, Sb, Sc, Se, Si, Sr, U y Zn.**

Tabla 7.1. Resultados método de Diferencias Relativas para duplicados analíticos y de terreno.

Elementos	Elementos con más del 80% de datos sobre límite de detección	Promedio Diferencias Relativas (Duplicados Analíticos)	Promedio Diferencias Relativas (Duplicados Terreno)	Elementos a utilizar
Ag				
Al	Al	2,49	62,94	Al
As	As	6,19	18,38	As
Au		0,00		
B	B	2,35	6,09	B
Ba	Ba	3,89	29,35	Ba
Be		0,00		
Bi		0,00		
Br	Br	7,13	7,31	Br
Ca	Ca	1,74	13,03	Ca
Cd		0,00		
Ce	Ce	1,87	72,79	
Cl	Cl	4,66	7,15	Cl
Co	Co	2,37	66,29	
Cr	Cr	6,12	38,96	
Cs	Cs	7,07	11,66	Cs
Cu	Cu	8,05	27,93	Cu
Dy	Dy	6,47	85,54	
Er	Er	7,70	64,79	
Eu	Eu	2,18	58,58	
Fe	Fe	3,64	45,35	Fe
Ga	Ga	4,24	21,19	Ga
Gd	Gd	10,33	79,61	
Ge	Ge	3,72	11,26	Ge
Hf				
Hg				
Ho	Ho	0,00	65,85	
In				
Ir				
K	K	4,39	25,57	K
La	La	1,79	65,90	
Li	Li	3,33	11,40	Li
Lu				
Mg	Mg	3,49	17,71	Mg
Mn	Mn	2,11	48,68	Mn
Mo	Mo	5,50	32,27	Mo
Na	Na	1,59	4,18	Na
Nb				
Nd	Nd	4,16	73,01	
Ni				
Os				
P	P	5,66	58,72	
Pb	Pb	8,29	72,13	
Pd				
Pr	Pr	1,64	77,06	
Pt				
Rb	Rb	3,77	10,97	Rb
Re	Re	32,66		
Rh				
Ru				
S	S	1,77	14,21	S
Sb	Sb	5,50	17,44	Sb
Sc	Sc	0,00	21,97	Sc
Se	Se	3,54	5,77	Se
Si	Si	2,30	11,82	Si
Sm	Sm	4,44	62,79	
Sn				
Sr	Sr	5,03	3,65	Sr
Ta				
Tb	Tb	0,00	49,62	
Te				
Th	Th	4,80	55,53	
Ti				
Tl				
Tm				
U	U	4,79	17,39	U
V	V	3,84	42,69	
W	W	0,00	66,66	
Y	Y	3,16	65,74	
Yb	Yb	11,40	60,09	
Zn	Zn	1,93	67,51	Zn
Zr	Zr	12,83	72,58	

7.2 Geoquímica de Elementos Mayores

La calidad del análisis químico de elementos mayores realizado por el laboratorio SGS, se verificó mediante el balance iónico de las especies analizadas. Esta evaluación se realizó utilizando dos métodos, en forma manual y utilizando el programa PHREEQC. El % de error del balance viene dado por:

$$Error(\%) = 100 \times \frac{\sum cationes - \sum aniones}{\sum cationes + \sum aniones}$$

Las concentraciones de cationes y aniones expresadas en meq/l. Esta fórmula incluye las especies mayoritarias presentes en el agua subterránea (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^-).

Se considera un análisis químico excelente aquel que tenga un porcentaje de error entre -2 y 2% y bueno uno entre -5 y 5%. Por otro lado, un análisis con >10% de error es considerado malo y no debería utilizarse para posteriores análisis ya que puede inducir a errores en la interpretación, pues puede estar sobreestimando o subestimando la concentración de alguna o varias especies.

Los detalles de los métodos utilizados para el cálculo del error de las muestras tomadas en Abril de 2008 y Marzo de 2009, se encuentran en el Anexo 4.5. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2 Porcentaje de error en el balance iónico según los dos métodos utilizados.

Muestra	% Error (Abril 2008)		% Error (Marzo 2009)	
	Manual	PHREEQC	Manual	PHREEQC
AR-10051	2,3	3,09	-3,7	-5,14
AR-10053	-3,8	-4,71	3	4,53
AR-10055	2,7	3,11	-	-
AR-10057	-4,2	-5,07	-	-
DDH-2252	-4,8	-5,53	-6,9	-7,85
AR-10058	7,2	8,64	-	-
AR-10143	10,4	13,06	-1,8	-1,58
AR-10145	7,9	9,33	-6,8	-7,23
AR-2409	0	-0,02	-	-
AR-10063	-1,4	-1,75	-	-
AR-10064	1,7	1,94	-	-
AR-2415	-2,9	-3,67	-6,8	-7,34

Como se muestra en la tabla 7.2, los dos métodos de cálculo coinciden en las tres muestras que superan el 5% en ambas campañas. Estas muestras no serán consideradas en análisis, modelamiento o interpretaciones posteriores. La diferencia observada entre ambos métodos, si bien ambos utilizan la misma fórmula, se explica porque el programa PHREEQC no sólo considera las especies básicas (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^-) sino que también considera todas las especies que teóricamente existirían por la reacción de las especies iniciales bajo las condiciones de temperatura, pH y estado de oxidación de la muestra (ver ejemplo en Anexo 4.6).

8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se presentan los resultados del estudio estadístico univariable realizado a los datos geoquímicos de las muestras de agua subterránea obtenidas en las cinco campañas de terreno en el área de estudio. Se incluyen en este análisis los elementos que cumplen con el control de calidad detallado en el capítulo 7 (Al, As, B, Ba, Br, Ca, Cl, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Rb, S, Sb, Sc, Se, Si, Sr, U y Zn). Aquellos elementos que posean algún dato bajo el límite de detección fueron reemplazados con un valor igual a la mitad del mencionado límite.

8.1 Estadística Univariable

El estudio univariable de los datos considera variables estadísticas básicas como la media, desviación estándar, mínimo y máximo para cada elemento químico (datos brutos). Los resultados, considerando el total de los análisis de las cuatro campañas, se muestran en la Tabla 8.1. Se presentan además los resultados por campaña con el fin de detectar posibles variaciones, por ejemplo, de origen estacional.

Se presentan también los resultados de análisis de muestras de agua de distintos lugares del Norte de Chile, con el propósito de compararlos con la signature geoquímica del agua subterránea en el área de estudio. En este sentido, se muestran los resultados para muestras del Valle del Río Copiapó (Aguirre, 1999) apuntando a la comparación con tendencias regionales; y los resultados de muestras de agua subterránea asociada al depósito tipo pórfido cuprífero Spence y el depósito tipo estratoligado de cobre Mantos Blancos, ambos ubicados en la Región de Antofagasta, datos tomados de Reich *et al* (2008) y Leybourne y Cameron (2006 y 2008).

8.1.1 Inca de Oro

La Tabla 8.1 contiene los estadígrafos básicos para el total de las muestras de agua subterránea consideradas en este estudio, sin discriminación de profundidad, y considerando sólo las muestras sin filtrar (es decir, concentraciones totales de elementos). Los resultados en muestras filtradas, por muestra y por campaña se encuentran en el Anexo 5.

Tabla 8.1 Estadística básica general para las muestras de agua subterránea de Inca de Oro.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		94	7,42	0,24	3,19	1,17	6,80	7,97
Eh	mV	88	415,37	16,37	3,94	57,20	385,30	442,50
EC	uS/cm	94	1356,62	455,36	33,57	1989,00	671,00	2660,00
TDS	ppm	94	1140,05	535,25	46,95	2426,38	476,17	2902,55
Temp	°C	94	24,29	2,28	9,39	12,70	18,40	31,10
SO4	ppm	94	668,11	362,72	54,29	1648,47	239,91	1888,38
HCO3	ppm	94	58,67	6,11	10,41	30,18	42,64	72,82
Cl	ppm	94	77,03	27,61	35,84	123,00	36,00	159,00
Ca	ppm	94	218,59	131,76	60,28	598,96	85,77	684,73
K	ppm	94	6,05	4,99	82,54	23,18	2,18	25,36
Mg	ppm	94	11,10	3,07	27,69	19,45	1,20	20,65
Na	ppm	94	130,43	35,82	27,46	160,39	72,84	233,23
Al	ppb	92	1236,43	1425,51	115,29	10057,00	19,00	10076,00
As	ppb	94	6,14	2,63	42,90	17,30	2,50	19,80
B	ppb	94	570,67	117,43	20,58	515,00	310,00	825,00
Ba	ppb	94	30,60	13,24	43,27	61,50	12,55	74,05
Br	ppb	94	370,22	131,41	35,49	538,00	158,00	696,00
Cs	ppb	94	0,33	0,41	123,86	2,60	0,04	2,64
Cu	ppb	94	35,04	48,43	138,22	357,30	1,80	359,10
Fe	ppb	94	2497,23	2805,09	112,33	11884,00	5,00	11889,00
Ga	ppb	94	0,21	0,26	125,14	2,31	0,03	2,33
Ge	ppb	94	0,24	0,21	85,87	1,02	0,08	1,10
Li	ppb	94	31,61	10,38	32,84	61,10	14,60	75,70
Mn	ppb	94	380,23	501,07	131,78	1842,27	5,01	1847,28
Mo	ppb	94	23,58	24,81	105,20	108,30	1,20	109,50
Rb	ppb	94	6,30	3,17	50,23	12,51	2,37	14,88
S	ppm	94	270,12	166,13	61,50	755,00	74,00	829,00
Sb	ppb	94	0,12	0,08	64,12	0,57	0,03	0,59
Sc	ppb	94	3,99	1,82	45,69	12,00	1,00	13,00
Se	ppb	94	4,75	1,91	40,21	9,20	0,90	10,10
Si	ppb	94	15871,77	3961,77	24,96	27291,00	8196,00	35487,00
Sr	ppb	94	1469,81	391,00	26,60	2240,51	636,02	2876,53
U	ppb	94	3,08	7,16	232,16	31,28	0,10	31,38
Zn	ppb	94	88,41	160,40	181,43	1165,20	8,20	1173,40

De la Tabla 8,1 se desprende que los elementos que observan una alta variabilidad con respecto a la media son el Al, Fe y Mn. Estos elementos se encuentran relacionados a partículas en suspensión, por lo que esta variabilidad es esperable. En el caso de las muestras filtradas (elementos en solución), estos mismos elementos muestran coeficientes de variación menores respecto a las muestras sin filtrar de la misma campaña de terreno, a excepción del Mn (Tabla 5.3.1, Anexo 5). Este último presenta un comportamiento distinto en comparación con Al y Fe, manteniendo un valor máximo prácticamente constante, a diferencia de los otros dos que muestran hasta dos ordenes de magnitud de diferencia. Los elementos Cu, Mo y Zn también presentan variabilidad, con importantes diferencias entre concentraciones mínimas y máximas.

La Figura 8.1 muestra los promedios para las cinco campañas de las variables físico-químicas más importantes y elementos mayores (sólo en muestras sin filtrar). En promedio, el total de sólidos disueltos calculado (TDS) no varía significativamente a lo largo de las cinco campañas (valores entre 1070 y 1321 ppm), sin embargo, observando los valores mínimos y máximos por campaña se observa una variación entre 476 (Abril) y 2903 ppm (Marzo). El primer valor corresponde a la muestra AR-10154 ubicada fuera del depósito hacia el Norte (ver Figura 6.1) y el segundo valor corresponde a la muestra AR-10051, ubicada dentro del depósito y más hacia el noroeste según sentido del flujo subterráneo.

La variación en el promedio de contenido de sulfatos tampoco es significativa (entre 619 y 765 ppm), y la concentración aumenta y disminuye alternadamente en las campañas, no así los promedios de concentraciones de calcio, que aumentan en el tiempo, pero tampoco de manera significativa. En el caso del Na y Cl, las variaciones en promedio muestran una relación proporcional. Estos resultados se discuten en capítulos posteriores.

En cuanto a la concentración promedio de elementos traza (Anexo 5.4), las diferencias entre campañas no son significativas, sin embargo, se observan dos tendencias principales. Un primer grupo de elementos presenta concentraciones promedio mayores en las campañas de Julio y Abril, con respecto a las de Enero y Noviembre. Los promedios en Marzo son variables y no presentan una tendencia general observable. En este grupo se encuentran Al, As, Ba, Br, Cu, Fe, Ga, Mn, Rb, S, Sc, Si, Sr y Zn. El segundo grupo de elementos presenta, en promedio, mayores concentraciones en la campaña de Enero, disminuyendo sistemáticamente hasta la última campaña de Abril. Este grupo lo conforman los elementos B, Mo, Se, Sb y U.

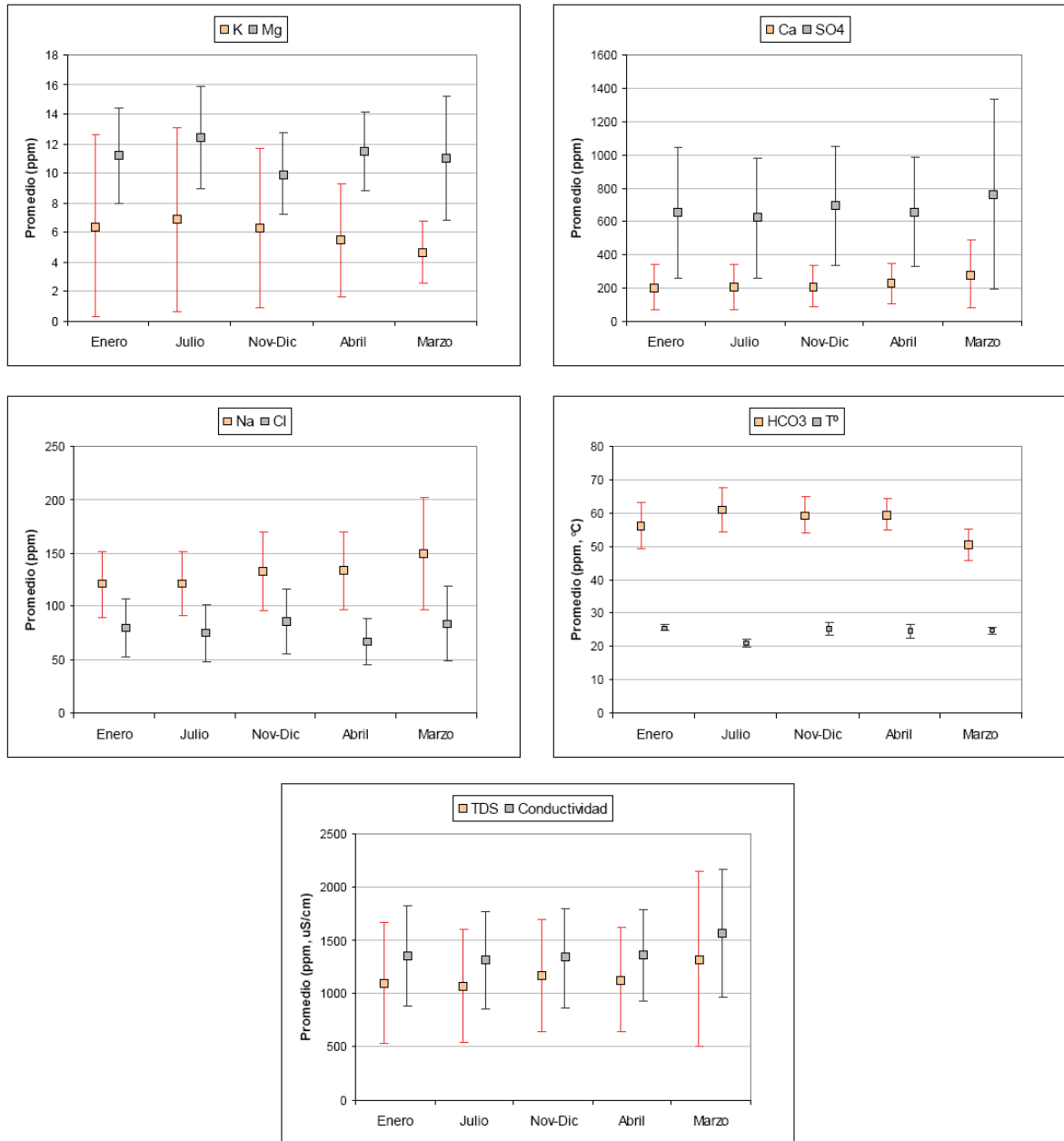


Figura 8.1 Promedios de variables físico-químicas y elementos mayores para las cinco campañas de terreno. Las barras de error representan la desviación estándar de cada variable. Gráficos de elementos traza en Anexo 5.4.

8.1.2 Comparación con agua superficial y subterránea de otros lugares del Norte de Chile

A modo de comparación se presenta la estadística básica de análisis de agua subterránea realizados por diferentes autores en otros lugares del Norte de Chile. En primer lugar, se presentan los datos de Aguirre (1999) que corresponden a análisis de agua subterránea muestreada desde pozos, realizados a lo largo del valle del Río Copiapó, al sur del área de estudio. Se presentan también resultados de análisis geoquímicos en agua subterránea tomada de pozos de exploración en el depósito tipo pórfido cuprífero Spence y del depósito tipo estratoligado de cobre Mantos Blancos, ambos en la Región de Antofagasta. El nivel de aguas freáticas en los depósitos se ubica a profundidades de aproximadamente 50 a 90 metros en Spence, y 400 m en Mantos Blancos. Ambos depósitos se caracterizan por presentar zonas oxidadas bien desarrolladas con presencia de atacamita, y por estar cubiertos por un nivel de gravas de 10 a 100 metros en el caso de Mantos Blancos, y por suelo salino rico en yeso de 50 a 100 metros de espesor en el caso de Spence (Reich *et al*, 2008).

La Tabla 8.2 muestra el promedio, valor mínimo y máximo para diferentes variables físico-químicas y concentraciones de elementos mayores y traza de Spence, Mantos Blancos, el valle del Río Copiapó e Inca de Oro (en este último caso considerando los datos de todas las campañas de terreno).

El pH promedio de las muestras de Inca de Oro no difiere significativamente de aquellas de las otras zonas. Para aguas del valle del Río Copiapó, Mantos Blancos e Inca de Oro los valores se mantienen dentro de un rango entre 6,8 y 8, mientras que en el caso de Spence se tienen muestras ácidas (pH 4,73) a alcalinas (pH 9,22).

Los valores de Eh de las aguas de Spence son muy variables (de -341 a 485 mV) en relación a las de Inca de Oro, que se mantienen dentro del rango de aguas oxidantes.

La variable que más diferencias presenta es el total de sólidos disueltos (TDS), o salinidad del agua. En el caso de Inca de Oro, el promedio de TDS (1127 ppm) se mantiene por debajo del promedio de las muestras del valle del Río Copiapó (1382 ppm), que podría considerarse como una referencia regional. En cuanto a Spence y Mantos Blancos, la diferencia es de un orden de magnitud (25251 ppm en promedio en el caso de Spence y 99446 en Mantos Blancos). La máxima concentración de TDS alcanzada en Inca de Oro es de 2811 ppm, mientras que los valores máximos en aguas subterráneas de Spence y Mantos Blancos alcanzan los 145020 y 230200 ppm, respectivamente. La alta salinidad del agua de estos dos depósitos es interpretada como una mezcla con agua salinas profundas a través de estructuras activas (Leybourne y Cameron, 2006; Cameron *et al*, 2007).

Tabla 8.2 Hidroquímica de aguas subterráneas de los depósitos Spence, Mantos Blancos, Inca de Oro y el Valle del Río Copiapó. Datos de Aguirre (1999), Reich *et al*, 2008 y Leybourne y Cameron (2006; 2008).

	Valor promedio				Valor mínimo				Valor máximo				
	Spence	Mantos Blancos	V. Río Copiapó	Inca de Oro	Spence	Mantos Blancos	V. Río Copiapó	Inca de Oro	Spence	Mantos Blancos	V. Río Copiapó	Inca de Oro	
pH		7,32	7,41	7,373	7,44	4,73	6,9	6,92	6,80	9,22	8	8,16	7,97
Eh	mV	-3,00			415,37	-341			385,30	485			442,50
T	°C			23,379	24,25			16,7	18,40			27,9	31,10
TDS	mg/l	25251,54	99446,88	1382,269	1127,65	902	6200	442	476,17	145020	230200	3532	2811,26
Ca	mg/l	733,45	1647,19	210,870	214,20	28,6	290	84	85,77	4018	9220	483	630,68
K	mg/l	99,25	245,63	6,049	6,14	12,6	20	1,8	2,18	718,3	640	30	25,36
Mg	mg/l	311,71	1097,19	53,981	11,10	3,7	20	15	1,20	1952,9	3550	150	20,65
Na	mg/l	8387,26	30605,31	150,943	129,14	165	1570	24	72,84	52974,1	74800	700	220,70
Cl	mg/l	9884,68	44994,69	136,410	76,55	47	2050	16	36,00	80467	125500	1280	159,00
HCO ₃	mg/l	186,75		264,743	59,23	25		62	42,64	629		389	72,82
SO ₄	mg/l	5425,02	9603,75	659,600	661,5	410	1250	180	239,91	10045	25600	1740	1866,54
NO ₃	mg/l		6,72	0,570			0,8	0,05			13,5	2,9	
Al	µg/l	92,49		56,416	1133,65	20		25	61,00	860		800	5169,00
As	µg/l	45,97		6,287	6,13	2,8		5	2,50	278		20	19,80
B	µg/l	48073,33		1383,889	569,93	1800		50	310,00	140500		4000	825,00
Ba	µg/l	33,02		16,528	30,84	11		7	12,55	169		32	74,05
Br	µg/l	12152,27			367,10	0			158,00	78600			678,00
Cr	µg/l			5,000	7,75			5,000	0,70			5,000	52,10
Cs	µg/l	38,86			0,30	0,3			0,04	273,3			2,52
Cu	µg/l	821,76	2184,38	9,124	35,14	9	400	2,5	1,80	28991	5500	100	359,10
Fe	µg/l	2500,97	1796,88	166,250	2440,49	4	100	10	5,00	54454	7500	4200	11563,00
Ga	µg/l				0,18				0,03				0,65
Ge	µg/l				0,24				0,08				1,10
Ho	µg/l				0,05				0,01				0,50
Li	µg/l	4273,93		168,743	31,13	144		10	14,60	10056		470	60,50
Mn	µg/l	492,94		13,836	368,93	1		2,5	5,01	3948		570	1680,79
Mo	µg/l	78,98		5,283	23,88	2		5	1,20	475		10	109,50
P	µg/l				245,60				10,00				1908,00
Rb	µg/l	174,89			6,36	20			2,37	813			14,88
Re	µg/l	4,10			0,05	0,088			0,01	30,71			0,21
S	mg/l				267,09				74,00				819,00
Sb	µg/l				0,12				0,03				0,59
Sc	µg/l				3,85				1,00				9,00
Se	µg/l	172,96			4,82	2,1			0,90	797			10,10
Si	µg/l	9413,33	12109,38		15859,50	100	2000		8196,00	33800	23100		35487,00
Sr	µg/l	12426,49		1298040	1466,70	252		399	636,02	90678		3566000	2876,53
Tb	µg/l				0,05				0,01				0,53
U	µg/l	2,32			3,17	0,05			0,10	18,85			31,38
Zn	µg/l	113,62		78,604	89,15	5		2,5	8,20	1344		410	1173,40

La Figura 8.2 (A a G) muestra los gráficos del total de sólidos disueltos versus elementos mayores y traza para las muestras de agua subterránea de Inca de Oro, el valle del Río Copiapó, Spence y Mantos Blancos. Diferencias importantes se observan en las concentraciones de Na⁺, Cl⁻ y SO₄⁻². En el caso de Na⁺ y Cl⁻ (Tabla 8.2, Figura 8.2) la diferencia entre Spence y Mantos Blancos con Inca de Oro llega a ser de hasta dos órdenes de magnitud. En particular, las concentraciones de Cl⁻ en Inca de Oro son bajas (76 ppm en promedio, con un máximo de 159 ppm) tanto respecto al background regional como respecto a otros depósitos. En Spence y Mantos Blancos se observa una alta clorinidad, con máximos de 80467 ppm y 125500 ppm respectivamente, comparado al agua de mar que contiene alrededor de 19000 ppm de Cl⁻ (Cameron *et al*, 2007). En el gráfico A de la figura 8.2 se observa una correlación positiva entre Na⁺ + Cl⁻ y TDS.

Las muestras de Inca de Oro contienen levemente más sulfatos que las muestras del valle del Río Copiapó. La concentración máxima medida en aguas de Inca de Oro es de 1866 ppm, mientras que en muestras del valle del Río Copiapó es de 1740 ppm. El promedio de sulfatos en agua subterránea de Spence y Mantos Blancos es un orden de magnitud superior al de Inca de Oro. En el gráfico B de la figura 8.2 se observa una correlación positiva entre SO_4^{-2} y TDS en muestras de Inca de Oro y del valle del Río Copiapó, mientras que en Spence y Mantos Blancos esta correlación se cumple sólo en muestras de agua de baja salinidad.

En el caso del Cu, el gráfico C de la figura 8.2 muestra que la concentración de este elemento en aguas de Inca de Oro es baja en relación a muestras de Spence y Mantos Blancos, pero, sin embargo, la muestra con mayor concentración de Cu (0,36 ppm) es tres veces superior a la muestra con mayor concentración en el valle del Río de Copiapó (0,1 ppm) como se observa en el gráfico D de la figura 8.2.

En el caso de Fe, Mn y Mo (Figura 8.2, E, F y G), el agua subterránea de Inca de Oro presenta elevadas concentraciones en contraste con las aguas del valle de Copiapó (las concentraciones en Inca de Oro son un orden de magnitud superior), así también las concentraciones de Mo y Mn son comparables a aquellas del depósito Spence.

Finalmente, otros elementos, como Al y Si, presentan elevadas concentraciones en Inca de Oro respecto del background regional y el depósito Spence (Tabla 8.2). Mientras que B y Li ocurren en menores concentraciones en Inca de Oro respecto de Spence y el valle del río Copiapó (Tabla 8.2).

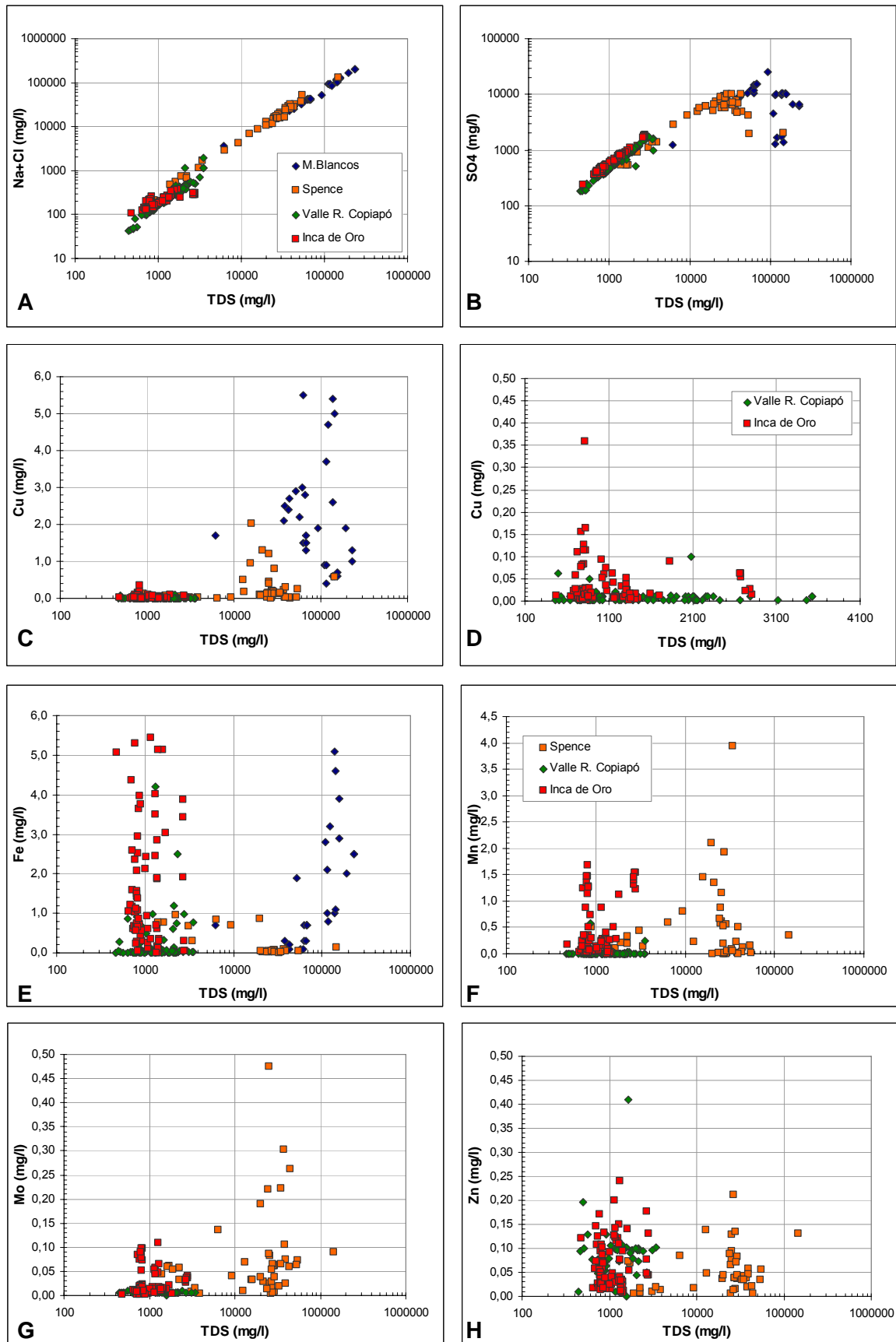


Figura 8.2 Total de sólidos disueltos (calculados) ploteados versus elementos mayores y traza para muestras de agua subterránea de Spence, Mantos Blancos, Inca de Oro y el valle del Río Copiapó. Datos tomados de Aguirre (1999), Leybourne y Cameron (2006, 2008) y Reich (2008).

9. HIDROGEOQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN INCA DE ORO

Se presentan los resultados de las variables medidas in situ (físico-químicas) y en laboratorios (geoquímicas) en las muestras de agua subterránea de Inca de Oro, de las campañas de Enero, Julio y Noviembre de 2007, y Abril de 2008. Los resultados geoquímicos de la campaña de Marzo de 2009 se presentan en forma separada al final del presente capítulo como un análisis comparativo entre muestras filtradas y no filtradas.

9.1 Parámetros Físico-Químicos

9.1.1 pH y Temperatura

El pH medido in situ del agua muestreada en Inca de Oro es en general neutro a levemente alcalino, con valores que varían en el rango de 6,8 a 7,97 (Anexo 6, Tabla 6.1.1), esperable en aguas subterráneas, cuyo pH oscila entre 6,5 y 8,5 (Hem, 1985). El valor mínimo corresponde a la muestra AR-10053 hospedada en roca, para la medición de enero de 2007 y la muestra AR-10051 de Julio, también hospedada en roca. El mayor valor corresponde a la muestra AR-10143 hospedada en roca pero ubicada fuera del depósito, hacia el NW (ver Figura 6.1), para la medición de noviembre-diciembre de 2008. En promedio, el pH de las muestras se mantiene entre 7,33 y 7,52 considerando las cuatro estaciones muestreadas (verano-invierno-primavera-otoño).

La figura 9.1 muestra las mediciones de pH corregidas a 25 °C. Esta corrección se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$pH_{\text{corregido}} = pH_{\text{medido}} - (25 - T_{\text{medida}}) \times 0,03$$

Es decir, si la temperatura medida es menor de 25 °C se resta 0,03 al valor de pH por cada grado Celsius y se suma si es que esta es mayor a 25°C. Los valores de pH corregidos varían entre 6,6 y 8 (ver Anexo 6), siempre dentro de los rangos esperables en muestras de agua subterránea. Los promedios por campaña varían entre 7,35 y 7,46, es decir, en promedio el agua mantiene un pH neutro. Los valores mínimos y máximos se observan en las mismas muestras anteriores. En la Figura 9.1 se indican además los umbrales superior e inferior calculados como el promedio de $pH \pm 2\sigma$. Se observa que la variabilidad del pH se encuentra dentro del rango considerado como “background”, a excepción de las muestras AR-10143 (valor máximo), AR-10053 y AR-10051 (valores mínimos), todas

de agua hospedada en roca. Es decir, estas últimas muestras presentan variaciones significativas respecto del promedio. Sin embargo, sólo la muestra AR-10143, ubicada fuera del depósito, mantiene estas características en las dos campañas en que fue muestreada. Las muestras AR-10051 y AR-10053 tienen más bien una tendencia a valores neutros y presentan sólo en un caso valores anómalos respecto del background.

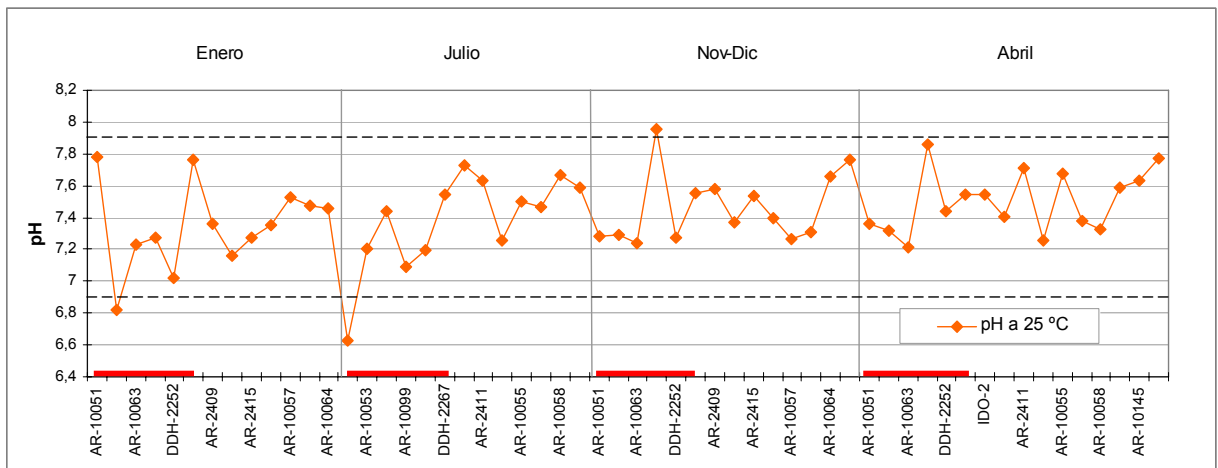


Figura 9.1 pH corregido por temperatura de las muestras de agua subterránea analizadas en las 4 campañas de terreno. Las líneas rojas distinguen las muestras de agua hospedada en roca. Las líneas punteadas corresponden al umbral superior e inferior o rango background.

La temperatura promedio del agua subterránea es de 24,3 °C, con una variación de 3 a 4 grados entre los períodos de invierno y verano. En general se observa una marcada correlación positiva entre pH y temperatura para las muestras hospedadas en grava, sin embargo, esta relación no es tan clara para las muestras de agua hospedada en roca.

La variación de pH de las muestras tomadas a 10 o 20 metros de profundidad respecto del techo del nivel freático es de aproximadamente un 2% del valor de la muestra tomada a nivel de la tabla de agua y no presenta ningún patrón identificable, ni diferencias significativas respecto del promedio. En cuanto a la temperatura, en cambio, se observa que, en general, las muestras más profundas tienden a ser más frías, con variaciones que van entre los 0,3 y 1,9 °C. Sin embargo, algunas muestras presentan temperaturas más cálidas en profundidad, con un rango de variación mayor, del orden de 2 a 4,1 grados Celsius. Estas muestras corresponden a agua subterránea hospedada tanto en roca como en grava. Teniendo en cuenta una varianza de error del 4,9% estas diferencias son

significativas, pues varían entre un 10 y 16% en las muestras AR-10051, AR-10053, AR-10055 y AR-10145.

9.1.2 Eh

Junto con las reacciones ácido-base (transferencia de protones), las reacciones redox juegan un papel importante en todos los procesos de reacción de un sistema acuoso. Estas reacciones consisten en dos reacciones parciales, oxidación y reducción, las que pueden ser caracterizadas por la transferencia de oxígeno o de electrones (Merkel, 2002). Las principales especies sensibles a reacciones redox en agua subterránea son los iones disueltos SO_4^{-2} , HS^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- y los gases disueltos CH_4 , N_2O y O_2 (Christensen *et al*, 2000).

El Eh, o potencial redox es una medida de la intensidad de las condiciones oxidantes o reductoras de un sistema, con el potencial de referencia cero Volts dado por el electrodo de hidrógeno. Potenciales positivos indican que el sistema es relativamente oxidante y potenciales negativos, que es relativamente reductor (Hem, 1985).

En aguas subterráneas naturales, dentro del rango de pH entre 7 y 8, un potencial redox entre 400 y 800 mV indica condiciones oxidantes, entre 0 y 400 mV, condiciones parcialmente reductoras, y entre 0 y -400 mV, condiciones reductoras (Planer-Friedrich, 2008).

En Inca de Oro, el promedio medido de Eh es de 415,18 mV, lo que equivale a condiciones oxidantes del sistema. Esta característica se mantiene para las tres primeras campañas de terreno. En la campaña de Abril, el promedio es levemente más bajo (399 mV) y el mínimo es de 385,3 mV. Las mediciones de todas las muestras de agua se encuentran en el Anexo 6, Tabla 6.1.1. En la Figura 9.2 se observa que en los cuatro meses muestreados el valor promedio de Eh en agua contenida en roca es, en general, levemente superior al promedio del agua contenida en grava, sin embargo esta diferencia es de máximo 11 mV, y la variabilidad observada se encuentra dentro del rango limitado por los umbrales superior e inferior (447 y 383 mV respectivamente) considerados como valores background.

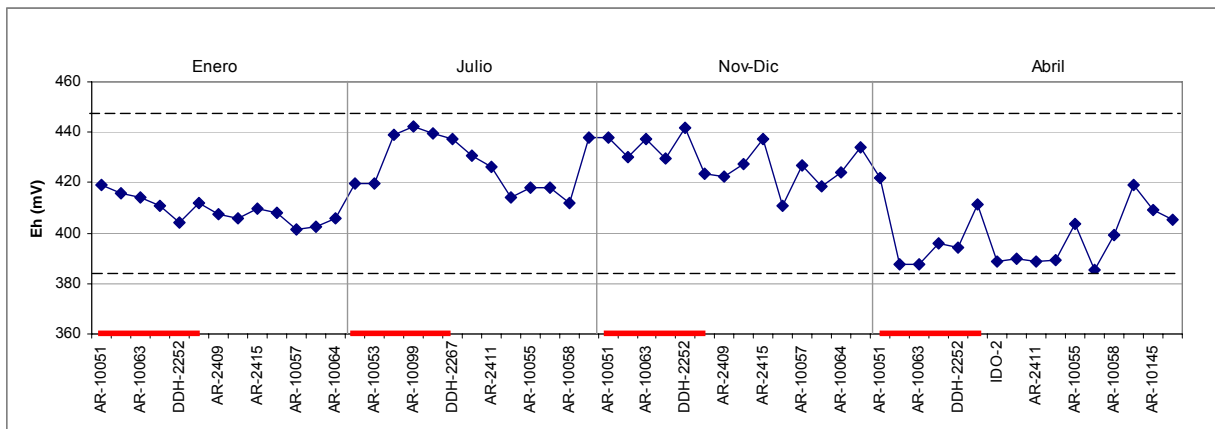


Figura 9.2 Eh en muestras de agua de las 4 campañas de terreno. Las líneas rojas distinguen las muestras de agua hospedada en roca. Las líneas punteadas corresponden al umbral superior e inferior.

Los niveles redox en agua subterránea son determinados principalmente por las tasas relativas de introducción de oxígeno, por circulación o consumo de oxígeno por bacterias (descomposición de materia orgánica o sulfuros, entre otros) (Drever, 1997). Cabe considerar que en este caso, el análisis de Eh se realizó en laboratorio, no in-situ, como mínimo una semana después de haber obtenido las muestras. Esto puede modificar el valor de Eh ya que pueden ocurrir procesos de oxidación al adaptarse la muestra a condiciones de superficie. Esto sugiere que las condiciones iniciales podrían ser más reductoras (Giblin, 2001).

9.1.3 Sólidos Disueltos Totales y Electroconductividad

Los sólidos disueltos totales (TDS por sus siglas en inglés) representan la cantidad total de sólidos (miligramos por litros) que resultan al evaporar una muestra de agua por completo. En principio, es la suma de todos los constituyentes disueltos, con el bicarbonato convertido a su equivalente carbonato. (Drever, 1997). Esta variable también es llamada *salinidad*.

Según el contenido de sólidos disueltos totales, el agua se clasifica como *agua fresca* (<1000 mg/l TDS), *agua salobre* (1000 a 20000 mg/l TDS), *agua salada* (20000 a 35000 mg/l TDS) y *salmueras* (>35000 mg/l TDS) (Drever, 1997).

La salinidad también puede ser calculada a través de la medición de la conductividad eléctrica o electroconductividad (EC) de una muestra de agua. Mientras más iones contenga una solución, mayor es su conductividad (Drever, 1997).

De acuerdo al valor de sólidos disueltos totales medidos en terreno con el instrumento portátil Hanna (Anexo 6, Tabla 6.1.1), el agua subterránea del área de estudio tiene en promedio 677,44 ppm de total de sólidos disueltos, que corresponde a aguas frescas. Sólo una muestra (AR-10051) presenta valores sobre 1000 ppm, en las cuatro campañas de terreno realizadas. Esta muestra corresponde a agua hospedada en roca y se encuentra al NW del depósito, en el sentido del flujo de agua subterránea.

El valor de sólidos disueltos totales utilizado en los posteriores análisis corresponde al calculado a partir de las concentraciones de elementos analizadas en laboratorio. Para obtener este valor se debe transformar las concentraciones de bicarbonato en carbonato a través de un factor ($\text{mg/L HCO}_3 \times 0,4917 = \text{mg/L CO}_3$) antes de sumar las concentraciones de los elementos mayores (Hem, 1985). De acuerdo a éste cálculo, el promedio de sólidos disueltos del agua subterránea es 1127,65 ppm, que corresponde a agua salobre. El máximo (2811 ppm) lo alcanza la muestra AR-10051 en la muestra de Enero de 2007 y el mínimo (476 ppm) la muestra AR-10154 ubicada al norte de Inca de Oro. En general, se observa un mayor contenido de sólidos disueltos en las muestras de agua contenidas en roca con respecto a las contenidas en grava (Figura 9.3).

Se observa además que la muestra AR-2415 se distingue de las demás muestras de agua hospedada en gravas, presentando valores más cercanos a las muestras hospedadas en roca (Figura 9.3). Esta característica podría deberse a influencias de flujos de agua subterránea desde el sureste, desde la zona del Cerro La Campana, donde la alteración hidrotermal es importante.

En cuanto a las mediciones de TDS en profundidad, para muestras a aproximadamente 10 y 20 m del nivel freático en pozos dentro y fuera del depósito, las variaciones no son importantes, salvo para la muestra AR-10053 en el mes de Abril, que en 20 m de profundidad varía casi 300 ppm (Figura 9.4) y que responde principalmente al aumento de las concentraciones de calcio y sulfato en profundidad.

Respecto a la conductividad eléctrica, en promedio se observa un valor de 1349 $\mu\text{S/cm}$. Los promedios más altos, al igual que los sólidos totales, se alcanzan en muestras de agua hospedada en roca, y el máximo corresponde a la muestra AR-10051 en todas las campañas, sin variaciones significativas en profundidad (Anexo 6, Tabla 6.1.1).

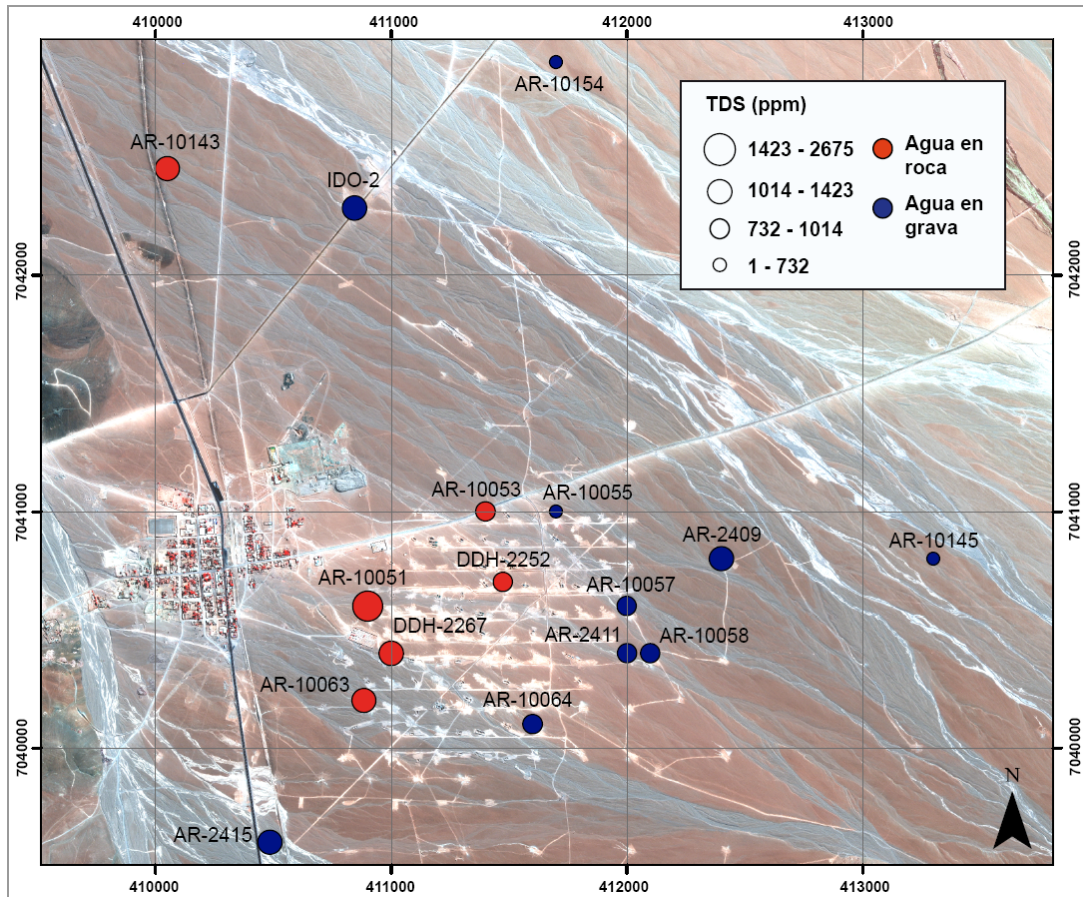
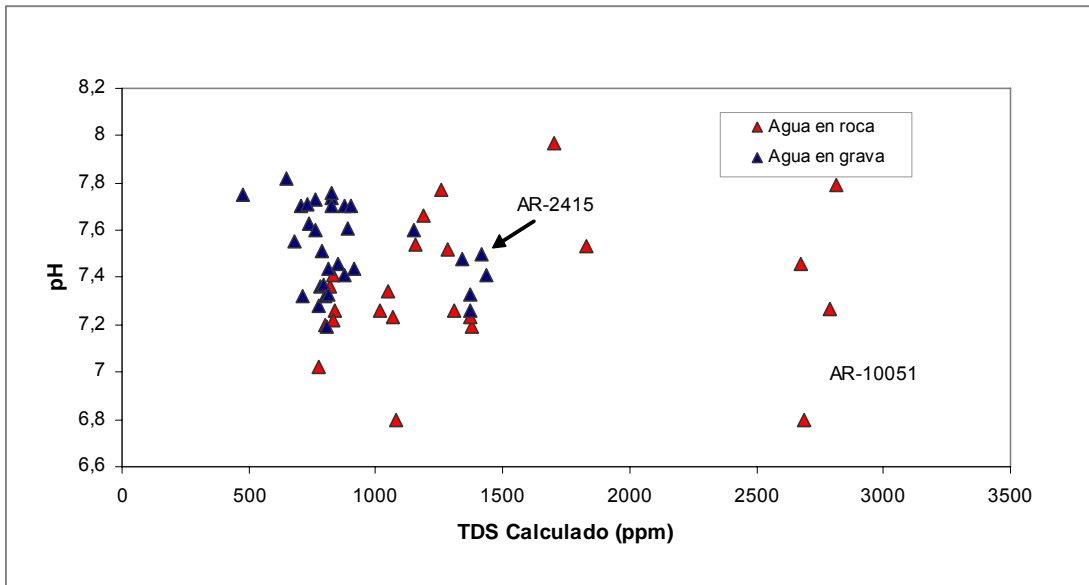


Figura 9.3 (Arriba) pH v/s TDS calculado para las cuatro campañas de terreno (muestras en nivel freático), (Abajo) Distribución de TDS calculado en muestras de agua, campaña Abril 2008.

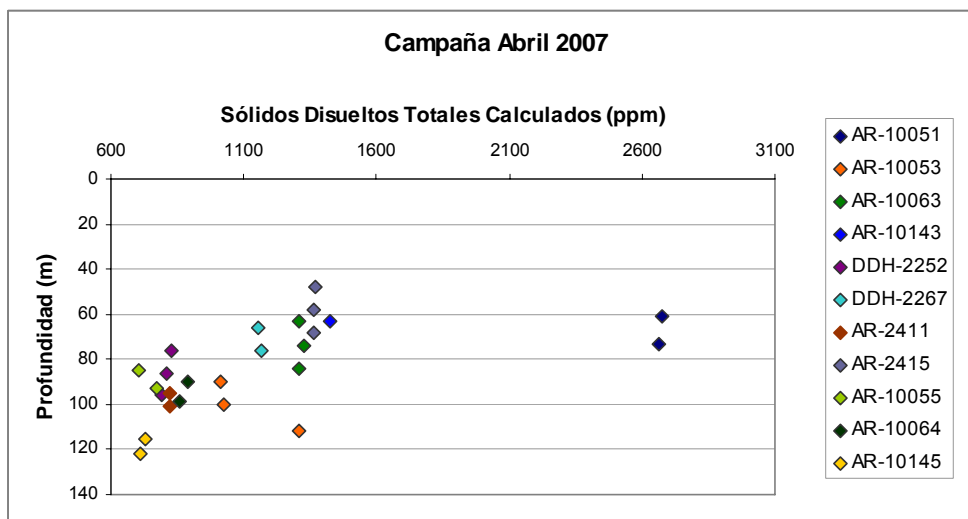
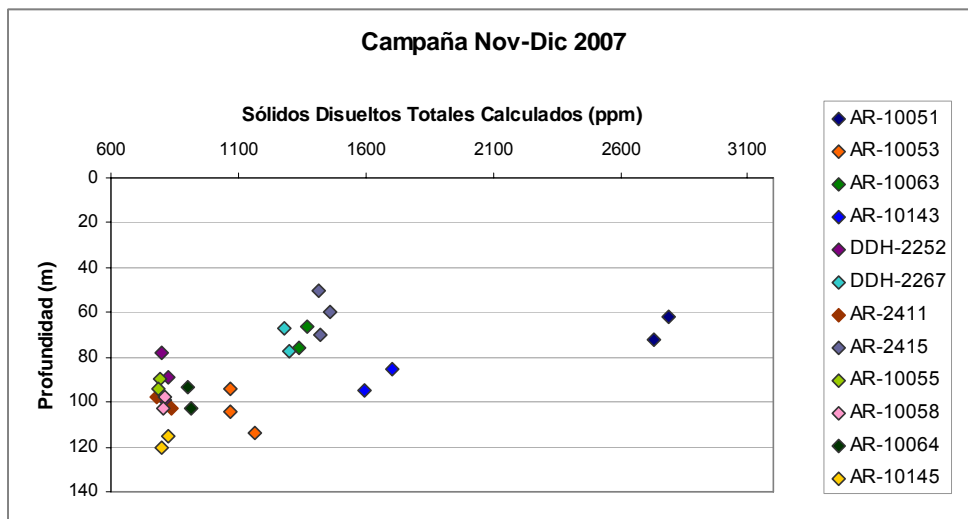
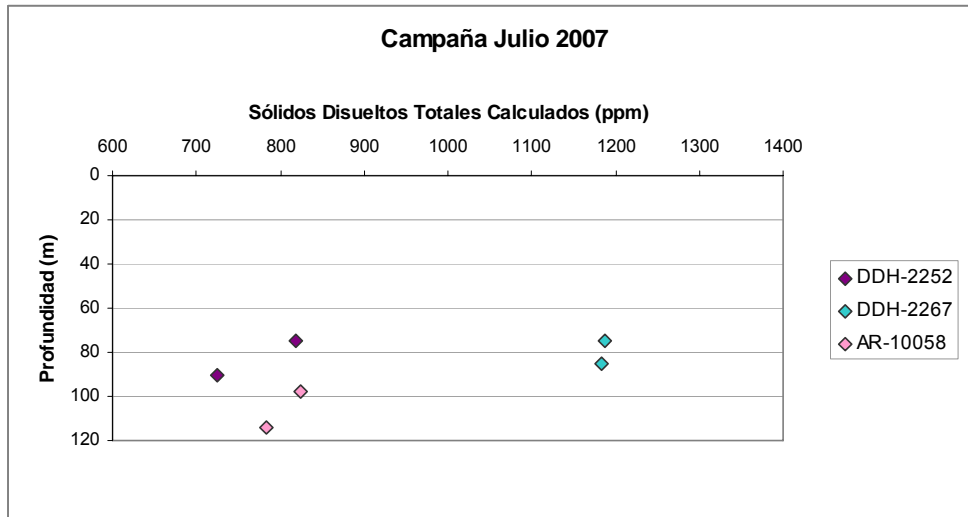


Figura 9.4 Variación del total de sólidos disueltos (ppm) según profundidad muestreada (m).

9.2 Geoquímica de Elementos Mayores

Las especies acuosas se definen como sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en agua, a diferencia de compuestos en suspensión como es el caso de coloides (1-1000 nm) y partículas (>1000 nm). Esta definición incluye aniones, cationes y complejos (especies con carga positiva, negativa o neutra) (Merkel, 2002). Se denomina elementos mayores aquellos elementos o especies que se encuentren en una concentración > 5 mg/l. La tabla 9.1 muestra los elementos inorgánicos más relevantes; en rojo se destacan las especies iónicas que constituyen la mayor parte de la salinidad del agua.

Tabla 9.1 Elementos mayores relevantes y sus especies en disolución. Modificado de Merkel (2002).

Elementos Mayores (>5mg/L)	
Calcio (Ca)	Ca^{2+} , CaCO_3^0 , CaHCO_3^+ , CaOH^+ , CaSO_4^0 , CaHSO_4^+ , $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2^0$, $\text{CaB}(\text{OH})_4^+$, $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})^+$, CaCl^+ , CaCl_2^0 , CaF^+ , $\text{CaH}_2\text{PO}_4^+$, CaHPO_4^0 , CaNO_3^+ , $\text{CaP}_2\text{O}_7^{2-}$, CaPO_4^-
Magnesio (Mg)	Mg^{2+} , MgCO_3^0 , MgHCO_3^+ , MgOH^+ , MgSO_4^0 , MgHSO_4^+
Sodio (Na)	Na^+ , NaCO_3^- , NaHCO_3^0 , NaSO_4^- , NaHPO_4^- , NaF^0
Potasio (K)	K^+ , KSO_4^- , KHPO_4^-
Carbono (C)	HCO_3^- , CO_3^{2-} , $\text{CO}_{2(g)}$, $\text{CO}_{2(aq)}$, Me^ICO_3^- , $\text{Me}^I\text{HCO}_3^0$, $\text{Me}^{II}\text{CO}_3^0$, $\text{Me}^{II}\text{HCO}_3^+$, $\text{Me}^{III}\text{CO}_3^+$
Azufre (S)	SO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{S}_{(g/aq)}$, HS^- , complejos sulfurosos y sulfatados con metales
Cloro (Cl)	Cl^- , CaCl^+ , CaCl_2^0 , y complejos clorurados con metales
Nitrógeno (N)	NO_3^- , NO_2^- , $\text{NO}_{(g/aq)}$, $\text{NO}_{2(g/aq)}$, $\text{N}_2\text{O}_{(g/aq)}$, $\text{NH}_{3(g/aq)}$, $\text{HNO}_{2(g/aq)}$, NH_4^+ , $\text{Me}^{II}\text{NO}_3^+$
Silicio (Si)	H_4SiO_4^0 , H_3SiO_4^- , $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$, SiF_6^{2-} , $\text{UO}_2\text{H}_3\text{SiO}_4^+$

En el Anexo 6 (Tabla 6.1.2) se presentan las concentraciones de elementos mayores para todas las muestras de agua de Inca de Oro (4 campañas de terreno, todas las profundidades). Dado que en las campañas de Enero, Julio y Noviembre de 2007 no se realizaron análisis de elementos mayores, las concentraciones de bicarbonato y sulfato para el resto de las muestras fueron extrapoladas a partir del análisis realizado para la campaña de Abril de 2008. En el caso de HCO_3^- , se comprobó la linealidad entre esta especie y el pH, de modo que la extrapolación de datos se realizó en forma gráfica. En el caso del sulfato, se probaron dos métodos: 1) asumiendo que la especie mayoritaria del azufre en el agua subterránea es el sulfato, se utilizó la concentración de S entregada por el análisis

geoquímico realizado por el laboratorio ACME, y usando los pesos atómicos y moleculares de S y SO_4^{-2} , se calculó la concentración de sulfatos, y 2) en forma gráfica se calculó la relación entre S y los valores de SO_4^{-2} entregados por ACME y a través de esta ecuación se extrapolaron los valores para el resto de las muestras.

Con los resultados de estos dos métodos se calculó posteriormente el balance de cargas para todas las muestras con los nuevos datos, y se escogió el método que cumpliera con un error de balance entre -5% y 5% ($\pm 2\%$) en la mayor cantidad de análisis. En el caso del método (1) el 48% de los análisis cumplió con este criterio, mientras que con el método (2) el 77% de los análisis presentó balance iónico correcto, siendo este último método el escogido para el cálculo de las concentraciones de sulfato.

En el Anexo 6.2 se presentan los resultados del cálculo del balance para ambos métodos. Cabe destacar que estos resultados deben ser cuidadosamente utilizados en las posteriores interpretaciones y resultados, ya que un error de balance muy alto puede significar que se subestime o sobreestime la presencia de una especie en el agua.

9.2.1 Clasificación del Agua Subterránea

La clasificación del agua en una “facie hidroquímica” se realiza a través del Diagrama de Piper, que se obtiene ploteando las proporciones (en miliequivalentes) de los cationes mayores (Ca, Mg, (Na+K)) en un diagrama triangular, las proporciones de los aniones mayores (alcalinidad, cloruros y sulfatos) en otro, y combinando la información de ambos triángulos en un cuadrilátero (Drever, 1997). Según esta clasificación, el agua subterránea de Inca de Oro corresponde a un tipo de agua sulfatada cálcica, concordante con zonas con ocurrencia de yeso o procesos de oxidación de sulfuros (Carrillo-Chávez, 2002). El diagrama de Piper de la Figura 9.5 presenta los análisis de las muestras con balance iónico correcto. Este incluye muestras tomadas tanto en el nivel freático como a 10 y 20 m de éste, y la muestra IDO-2 corresponde a un pozo de bombeo.

En el Anexo 6.3 se incluyen los diagramas de Piper por campaña y profundidad de muestreo. Se observa que en todas las campañas el agua corresponde al tipo **sulfatada cálcica**. De la misma forma, no se observan variaciones en profundidad.

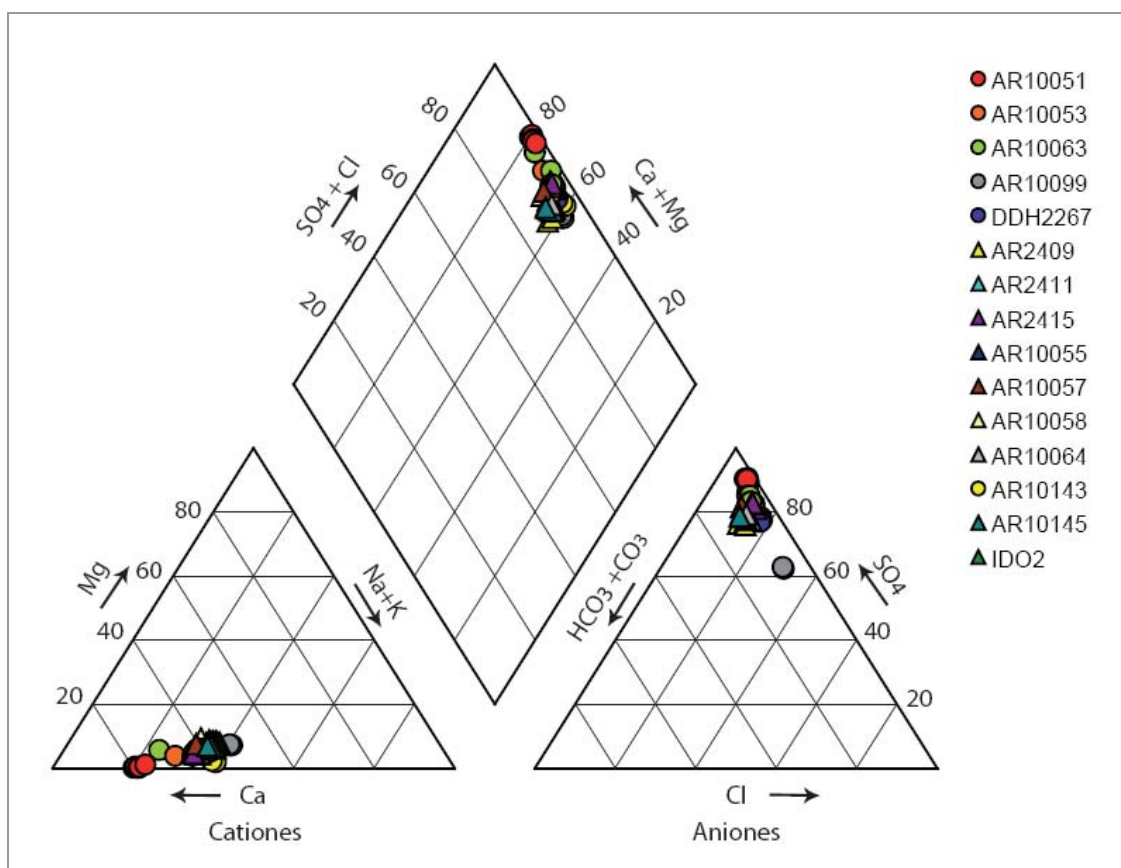


Figura 9.5 Diagrama de Piper para muestras de agua subterránea. Se incluyen todas las muestras con balance iónico correcto. Los círculos corresponden a muestras de agua hospedada en roca y los triángulos, a muestras hospedadas en grava.

De la Figura 9.5 se desprende además que las muestras de agua hospedada en roca presentan una mayor variabilidad que aquellas contenidas en gravas. La muestra AR-10099 tiene menor contenido de sulfatos y mayor contenido de cloruros, sin embargo, este punto (ubicado en el sector de Inca Bravo, hacia el oeste de Inca de Oro) fue muestreado sólo las dos primeras campañas pues se encontraba contaminado con aceite.

9.2.2 Concentraciones Relativas de Elementos

Una manera útil de visualizar la composición química del agua subterránea es a través de gráficos de concentraciones de elementos respecto al total de sólidos disueltos en el agua (concentración relativa). Éstos permiten, por ejemplo, diferenciar tipos de agua en un mismo sector. La Figura 9.6 muestra las concentraciones relativas de los aniones y cationes mayores en todas las muestras de agua, es decir, de las cuatro campañas, sólo para el sector del depósito de Inca de Oro (Figura 6.1), y la Figura 9.7 incluye las muestras tomadas en los alrededores de éste. Ambas figuras sólo presentan los resultados de análisis con balance iónico correcto.

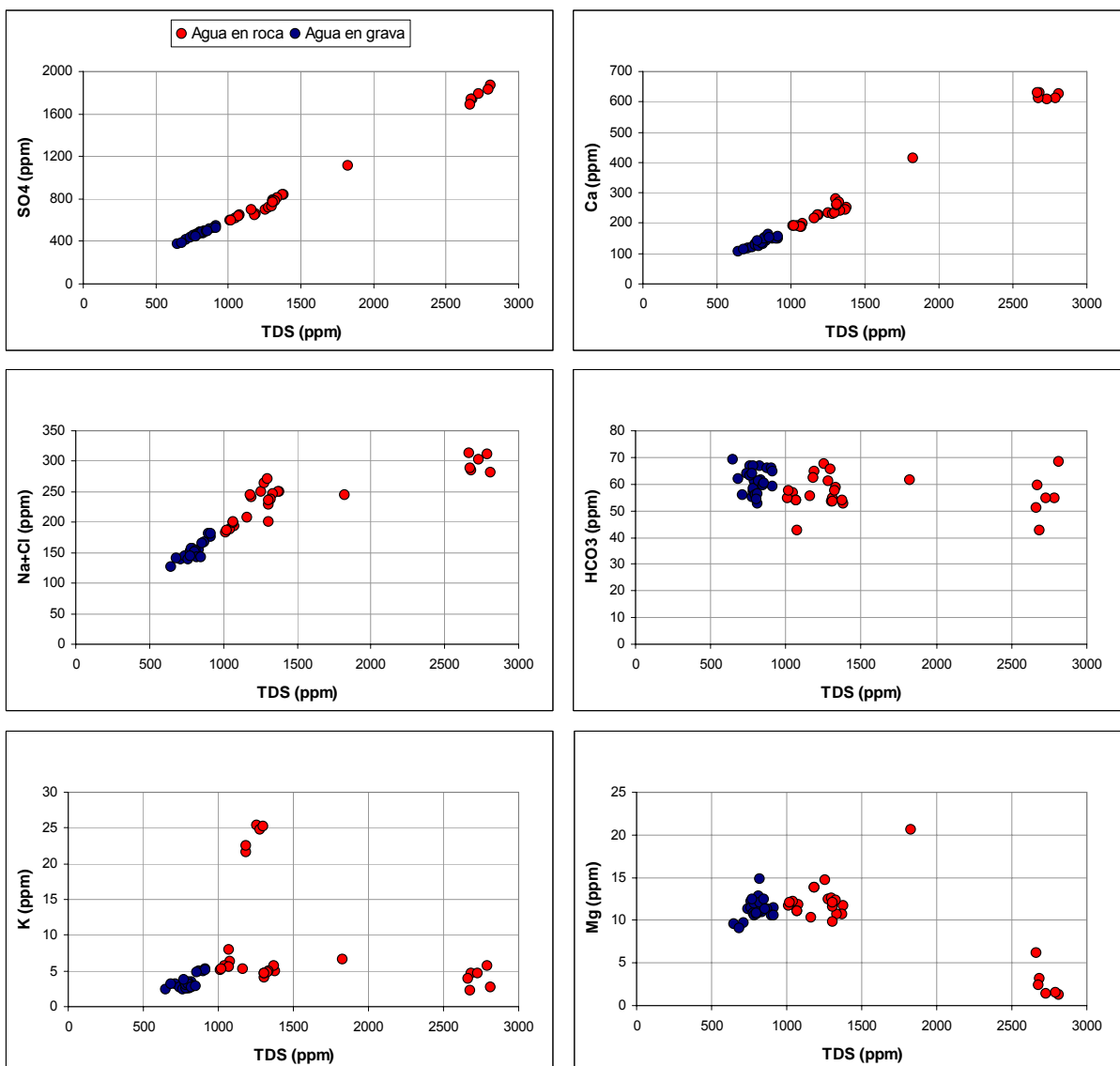


Figura 9.6 Concentraciones relativas de cationes y aniones mayoritarios en agua subterránea. En rojo se distinguen las muestras tomadas en roca y en azul, las tomadas en grava.

Como se observa en la figura anterior, el agua subterránea en el sector de Inca de Oro se puede diferenciar claramente en dos tipos de acuerdo al medio que la hospeda: roca (que corresponde a la unidad hidrogeológica descrita como rocas con porosidad adquirida) y grava (que corresponde a la unidad de sedimentos clásticos). El agua hospedada en roca presenta mayor salinidad que la hospedada en grava, lo que se ve reflejado en una mayor concentración de sulfatos, calcio, cloruro, sodio, y en menor medida, potasio. Además, todas las muestras de agua hospedada en grava muestran una signatura química similar entre ellas, mientras que las hospedadas en roca presentan mayor variabilidad.

La muestra AR-10051 se distingue de las muestras tomadas en roca ya que presenta las mayores concentraciones de sulfato, calcio, sodio, cloruro, y, las menores concentraciones de magnesio y potasio. Esta muestra se encuentra inmediatamente saliendo del depósito en el sentido del flujo del agua subterránea (Figura 9.8).

La muestra AR-10063 del mes de Julio se distingue de las muestras de este pozo tomadas en el resto de las campañas, presentando una mayor salinidad (1826 ppm) debido a una mayor concentración de sulfatos, calcio y magnesio principalmente. Esta marcada variación estacional se observa únicamente en esta muestra, por lo que podría deberse a posible contaminación particulada u otra situación desconocida.

La muestra DDH-2267, hospedada en roca, presenta valores anómalos de potasio, con respecto al resto de las muestras, en todas las campañas de muestreo.

Se observa una correlación positiva entre Ca^{2+} y TDS, SO_4^{2-} y TDS, y en menor medida entre $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ y TDS. En este último caso, la relación es más clara para muestras de agua en grava. La muestra AR-10051 se escapa de la recta (Figura 9.6) lo que sugiere que podrían existir otros procesos aparte de la disolución de sales que controlan la concentración de Na^+ y Cl^- . Las concentraciones de Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ y Cl^- aumentan en el sentido del flujo de agua subterránea (SE-NW), al igual que el total de sólidos disueltos. Esta relación se muestra en la Figura 9.8 y en el Anexo 6.4.

La Figura 9.7 incluye las muestras tomadas fuera del sector Inca de Oro. Se observa que la muestra AR-2415 se distingue del resto de las muestras hospedadas en grava, presentando concentraciones de iones similares a las muestras hospedadas en roca. Esta muestra podría estar influenciada por flujos provenientes desde el SE de Inca de Oro. De la misma forma, las muestras AR-10143 y AR-10099 se distinguen del resto de las muestras en roca. Ésta última no fue muestreada en todas las campañas pues el pozo se encontraba contaminado con aceite. La muestra AR-10143 es la que se encuentra más al NW del depósito.

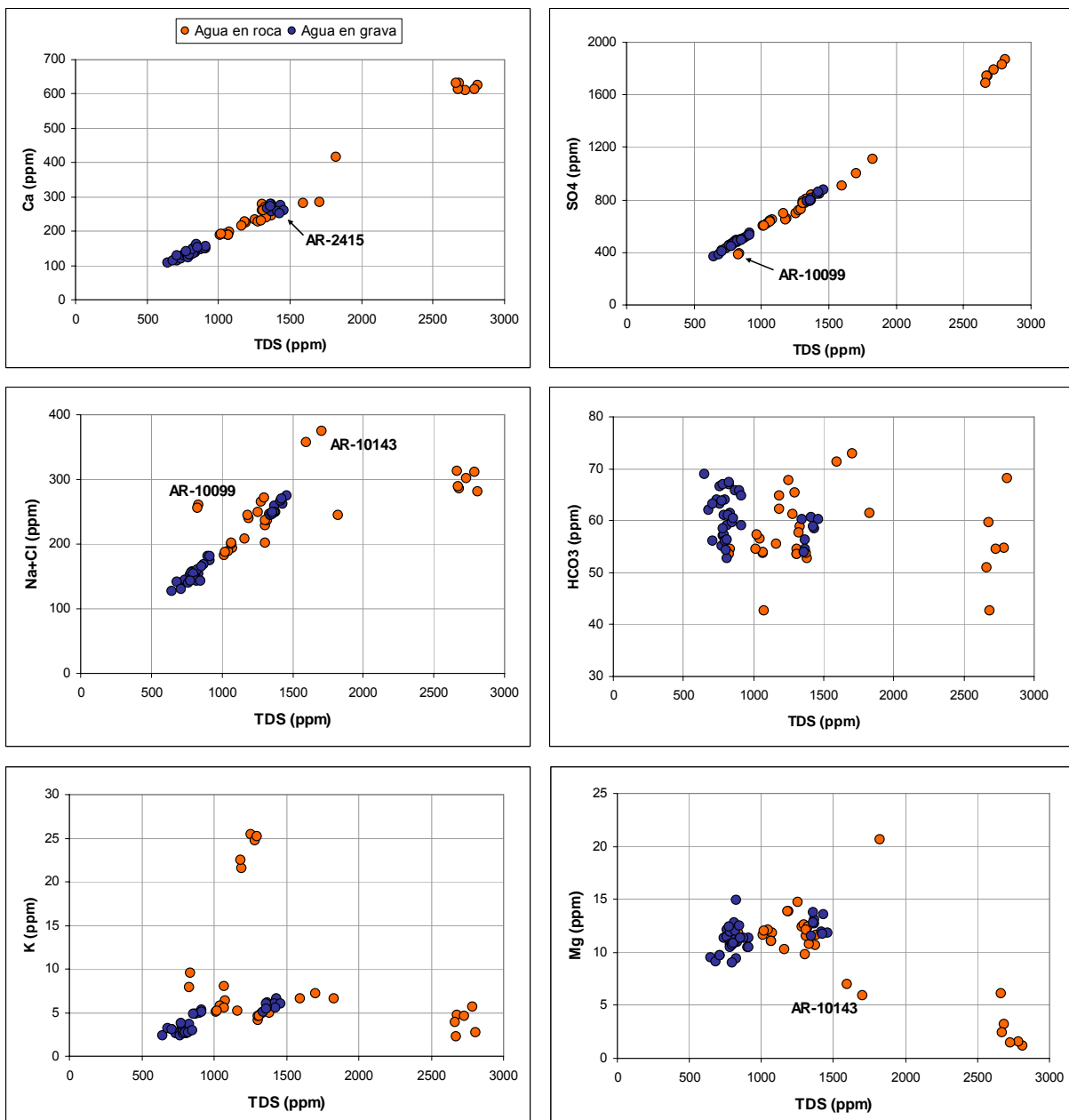


Figura 9.7 Concentraciones relativas de cationes y aniones mayoritarios en agua subterránea de muestras de agua de Inca de Oro y sus alrededores. En naranja se distinguen las muestras tomadas en roca y en azul, las tomadas en grava.

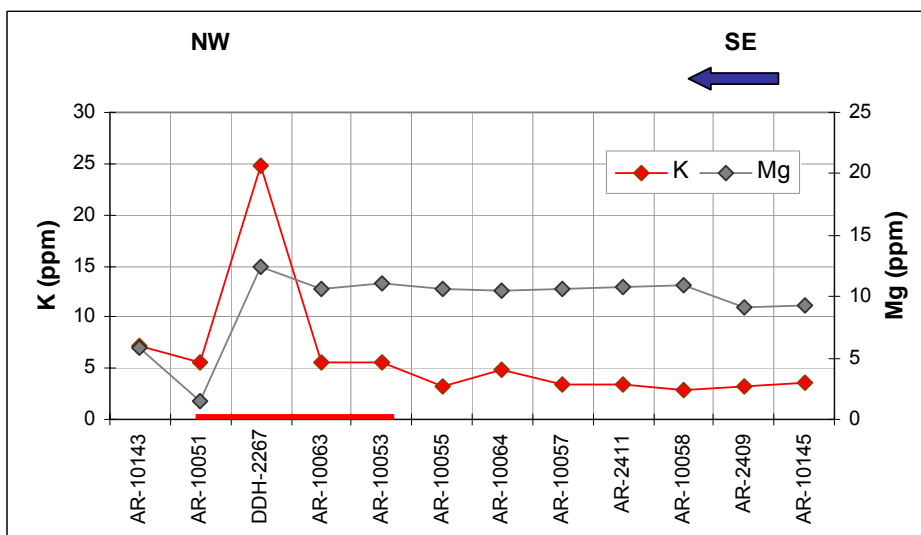
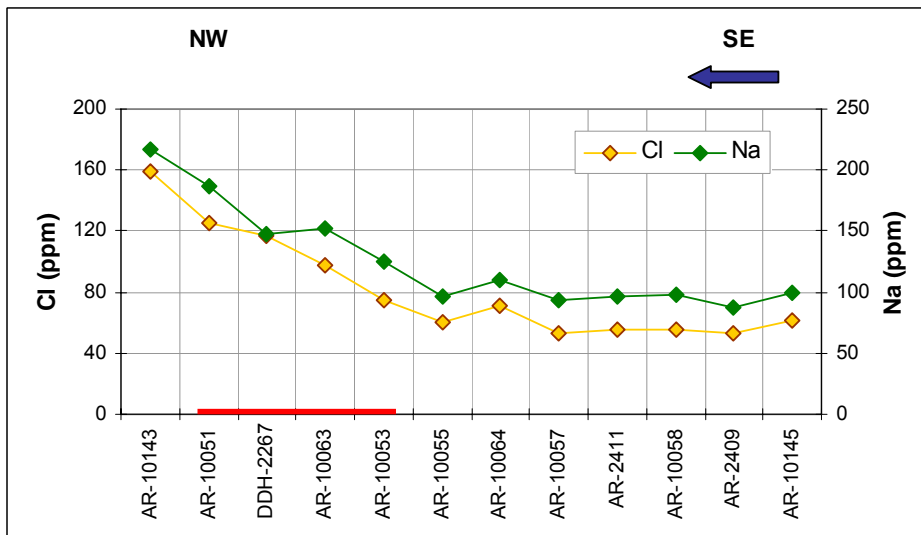
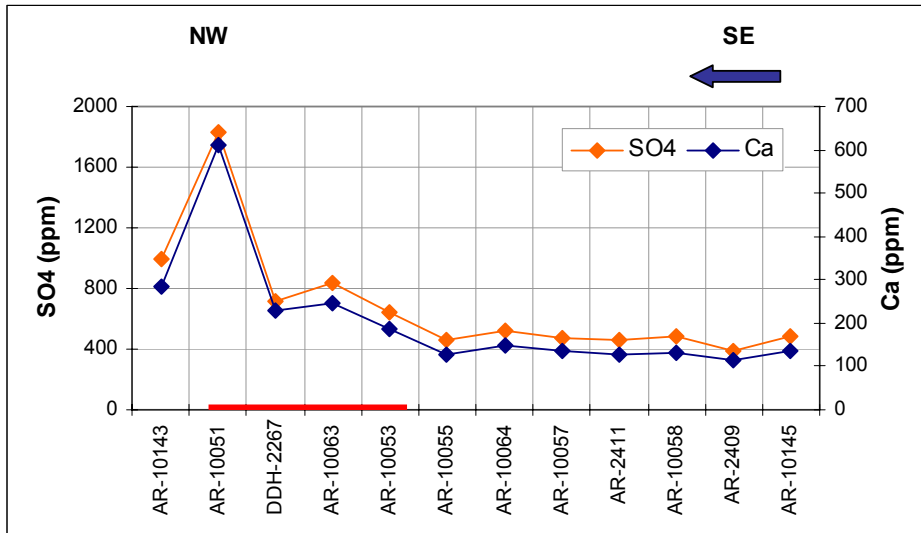


Figura 9.8 Concentración de iones mayoritarios en muestras de agua de Inca de Oro (campaña Nov-Dic 2007). La flecha indica el sentido del flujo del agua subterránea. La línea roja indica las muestras hospedadas en roca en el depósito.

9.3 Geoquímica de Elementos Menores y Traza

Se define como elementos menores aquellas especies que se encuentran en concentraciones entre 0,1 y 5 mg/L y como elementos traza aquellos con concentraciones < 0,1 mg/L (Merkel, 2002). El primer grupo incluye las especies acuosas de los elementos B, F, Fe y Sr; y el segundo las de Li, Be, Al, P, Cr, Mn, Co, Ni, Ag, Cu, Zn, As, Se, Br, Mo, Cd, Ba, Hg, U, entre otros.

En el Anexo 6 (Tabla 6.1.3) se presentan las concentraciones de elementos menores y traza para todas las muestras de agua subterránea en las 4 campañas de terreno.

9.3.1 Concentraciones Relativas de Elementos

Al igual que en el caso de los elementos mayores, las concentraciones de elementos menores y traza también distinguen las muestras de agua subterránea según el medio hospedante. Las muestras en roca presentan mayor concentración de elementos como B, Br, Cs, Cu, Li, Mn, Mo, Rb, Sr, U y Zn, con respecto a las muestras en grava. La Figura 9.9 presenta algunos de estos resultados, el resto se presenta en el Anexo 6.5. Se incluyen tanto las muestras de Inca de Oro como las de sus alrededores. Como se observa en esta figura, y de la misma forma que para los iones mayoritarios, las muestras hospedadas en grava se agrupan en un rango de concentración menos variable que las muestras en roca. A continuación se describen los resultados por elemento:

Boro: en Inca de Oro, las muestras de agua en roca presentan valores entre 500 y 800 ppb. Las máximas concentraciones corresponden a la muestra DDH-2267 en todas las campañas muestreadas. Fuera del depósito, las muestras AR-10099 (Enero y Julio) y AR-10143 (Noviembre) también presentan valores altos (alrededor de los 700 ppb). Las muestras en grava presentan valores entre 300 y 550 ppb, salvo la muestra AR-2415 que presenta valores entre 650 y 830 ppb en todas las campañas de muestreo.

Bromo: Dentro de las muestras hospedadas en roca, aquellas que presentan las mayores concentraciones dentro del depósito son AR-10063 y AR-10051 (entre 500 y 550 ppb), mientras que fuera de éste las muestras AR-10099 y AR-10143 presentan las máximas concentraciones (entre 580 y 680 ppb), superando a las anteriores. En cuanto a las muestras hospedadas en grava, la concentración promedio es 330 ppb. La muestra AR-2415 presenta entre 520 y 580 ppb en todas las campañas.

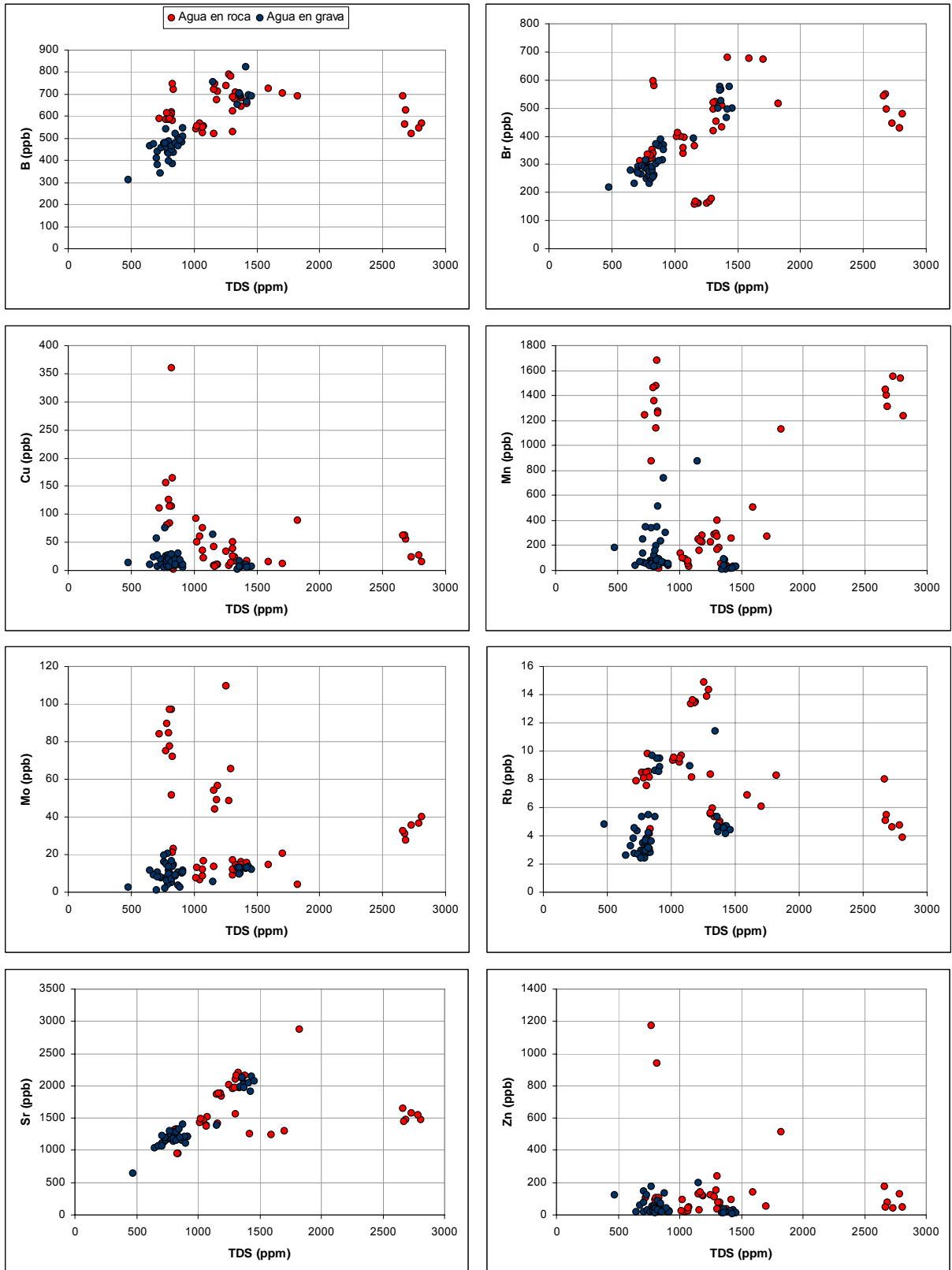


Figura 9.9 Concentraciones relativas de algunos elementos traza. En rojo se distinguen las muestras hospedadas en roca y en azul, las hospedadas en grava.

Cesio: El promedio en muestras en roca es de 0,44 ppb. La muestra AR-10143 presenta las máximas concentraciones alcanzando hasta 2,5 ppb en la campaña de Noviembre-Diciembre. De las muestras hospedadas en grava, en general, las ubicadas fuera del depósito presentan mayores concentraciones que aquellas ubicadas dentro de éste. La muestra AR-10154, ubicada al norte de Inca de Oro presenta el mayor valor (0,5 ppb). Sin embargo, este valor se encuentra dentro del rango de valores background (Anexo 6.6). El coeficiente de variación calculado para este elemento es de 123%, que supera la varianza de error de 11%. La muestra AR-10143 se encuentra fuera del rango background en las dos campañas en que fue muestreada, representando un valor anómalo respecto del promedio.

Cobre: El promedio de contenido de Cu en muestras de agua en roca es 55 ppb, mientras que el de las muestras de agua en grava es de 17 ppb. La muestra que presenta mayor concentración de Cu es la muestra DDH-2252 del mes de Julio (359 ppb), sin embargo, esta misma muestra en otras campañas presenta entre 120 y 160 ppb. Valores sobre 134 ppb son considerados anómalos respecto del background (Anexo 6.6). De las muestras en grava, las que presentan mayor concentración de Cu son las muestras AR-2409 y AR-10055 (entre 57 y 75 ppb) en la campaña del mes de Abril, ubicadas al N y NE del depósito respectivamente.

Litio: Dentro de las muestras de agua hospedada en roca, las mayores concentraciones corresponden a las muestras AR-10063 (sólo mes de Julio), DDH-2267 y AR-10051. Ésta última presenta los valores máximos, sobre los 50 ppb, representado una anomalía positiva respecto del background. El promedio de las muestras en grava es de 27 ppb. La muestra AR-10145, ubicada al E del depósito, presenta el valor máximo de las muestras hospedadas en grava, en la campaña de Abril, comparable con las concentraciones de muestras en roca, pero dentro del rango de concentraciones background (Anexo 6.6).

Manganeso: Las muestras de agua en roca contienen en promedio 620 ppb de Mn, más de 4 veces mayor al promedio de las muestras hospedadas en grava (140 ppb). Dentro de las muestras en roca, las máximas concentraciones corresponden a las muestras AR-10051 y DDH-2252 (sobre 1000 ppb en todas las campañas de muestreo, en algunos casos sobre los 1300 ppb, considerado anómalo respecto del promedio). De las muestras en grava, las mayores concentraciones corresponden a la muestra AR-10058, alternativamente para la muestra en el nivel freático como para aquella a 10 m de éste. Cabe destacar que esta muestra presenta variaciones de hasta 400 ppb entre las muestras tomadas a distintas profundidades.

Molibdeno: El promedio de las muestras de agua hospedadas en roca es de 38,7 ppb mientras que el de las muestras en grava es de 10 ppb. Las muestras DDH-2252 y DDH-2267 mantienen concentraciones entre 50 y 100 ppb en todas las campañas, la mayor parte de ellas sobre 75 ppb consideradas una anomalía positiva respecto del background (Anexo 6.6). El máximo lo alcanza la muestra DDH-2267 en el mes de Enero (109 ppb). De las muestras en grava, la muestra AR-10057 es la que presenta las mayores concentraciones (alrededor de 20 ppb). Todas las muestras en grava mantienen valores entre 1 y 20 ppb en todas las campañas de muestreo.

Rubidio: Las muestras hospedadas en roca contienen en promedio 8,2 ppb. La muestra DDH-2267 presenta las mayores concentraciones (sobre los 13 ppb) siendo la única muestra que supera levemente el valor background. La muestra AR-10064, ubicada en el sector sur de Inca de Oro, es la muestra hospedada en grava que presenta las mayores concentraciones de molibdeno, con concentraciones similares al promedio de Rb en muestras de agua en roca. En el caso de este elemento, a excepción de la muestra DDH-2267, las diferencias entre muestras hospedadas en roca versus aquellas hospedadas en grava no son tan marcadas.

Estroncio: Las concentraciones de estroncio en las muestras de agua muestran una correlación positiva con el total de sólidos disueltos, con excepción de las muestras AR-10143 y AR-10051, que presentan mayor salinidad. Los máximos valores dentro de las muestras hospedadas en roca corresponden a la muestra AR-10063, sin embargo, estas concentraciones no alcanzan a superar las concentraciones background. Dentro de las muestras hospedadas en grava, las máximas concentraciones corresponden a la muestra AR-2415, cuyos valores son similares a los valores máximos de las muestras hospedadas en roca (alrededor de 2000 ppb). La muestra AR-10154, ubicada fuera del depósito representa una anomalía negativa respecto del background (Anexo 6.6).

Uranio: Las concentraciones tanto en muestras de agua hospedada en roca como en grava varían entre 0,1 y 1,5 ppb. Sin embargo, la muestra DDH-2252 (hospedada en roca) presenta valores entre 17 y 31 ppb de uranio en todas las campañas y a todas las profundidades de muestreo, representando una anomalía positiva con respecto a las concentraciones background (Anexo 6.6).

Zinc: En promedio, las muestras de agua hospedada en roca contienen 135 ppb, mientras que las muestras hospedadas en grava contienen 46 ppb. La muestra DDH-2252 presenta dos valores (campañas de Enero y Julio) prácticamente 10 veces mayor al resto de las muestras en roca (1173 y 941 ppb respectivamente) y sobre el valor umbral (418 ppb). De las muestras de agua hospedada en grava, las mayores concentraciones corresponden a las muestras AR-2409, AR-10055, AR-10058, AR-10145 y AR-10154, todas en la campaña de Abril de 2007.

Por otro lado, elementos como cromo, fósforo y silicio presentan mayor concentración en muestras de agua hospedada en grava con respecto a las hospedadas en roca, sin embargo, cromo y fósforo no pasan el control de calidad. En el caso del silicio, las muestras de agua hospedada en grava contienen levemente más silicio que las muestras hospedadas en roca. De las muestras en grava, las mayores concentraciones corresponden a las muestras AR-10058 (Julio), y AR-2409, AR-10058 y AR-10064 (Abril), superando ligeramente la concentración background (Anexo 6.6). La muestra AR-10063 del mes de Enero presenta un valor anómalo con respecto al resto de las muestras (más del doble del promedio en muestras en roca y grava).

Para el resto de los elementos (Al, As, Ba, Fe, Ga, Ge, Sb, Sc y Se) los promedios de concentraciones entre muestras de agua en roca y en grava son similares, con algunos valores anómalos, pero que no son constantes a lo largo de las campañas de muestreo (ver Anexo 6.6).

En relación a la dirección de flujo del agua subterránea, el hecho que exista una relación entre la concentración de los elementos y el tipo de medio hospedante, implica que las concentraciones aumentan o disminuyen en el sentido del flujo del agua subterránea, pues el agua pasa de la grava a la roca y, saliendo del depósito, nuevamente a la grava. Por lo tanto, algunos elementos que aumentan su concentración en el sentido del flujo (SE-NW) son el B, Br, Cu, Mo, Sr, y en menor medida, Cs, Li, Mn, Re, Sb y Zn. Por el contrario, elementos como Al, Si, Ba, Ni y P disminuyen su concentración de SE a NW.

En la Figura 9.10 se observa la concentración de algunos elementos en sentido del flujo del agua. Las figuras representan los resultados de la campaña de Abril, en la cual se muestreó la mayor cantidad de pozos. La muestra AR-2415 (externa al depósito, en grava) no fue incluida ya que, como se observa en las figuras anteriores, su signatura geoquímica es totalmente distinta a las muestras en grava de Inca de Oro. Los gráficos para el resto de los elementos y las anteriores campañas se encuentran en el Anexo 6.4.

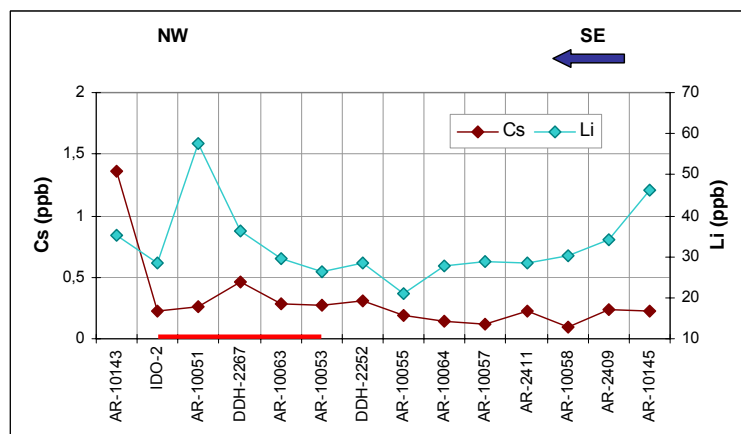
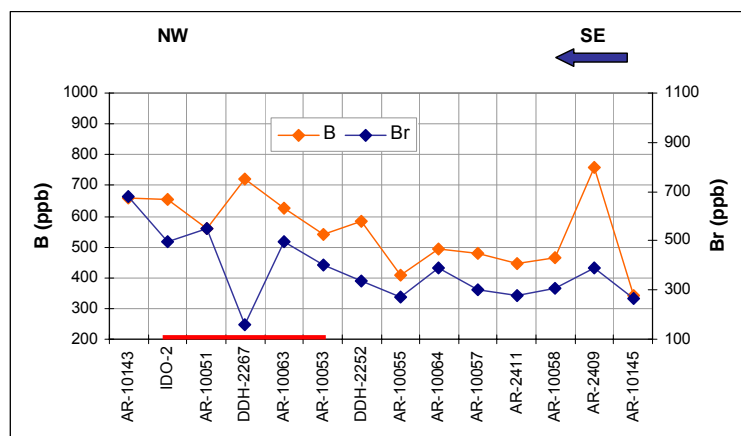
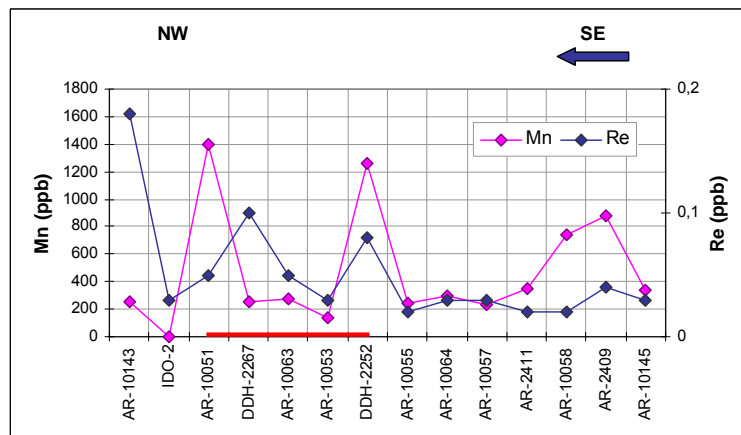
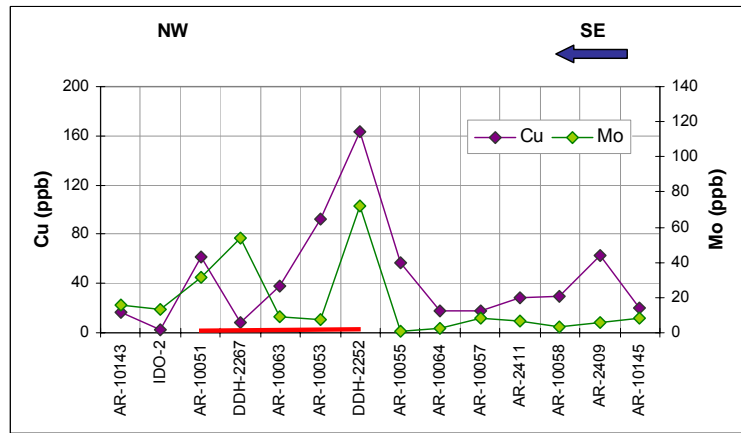


Figura 9.10 Concentración de elementos menores y traza según sentido del flujo del agua subterránea. La línea roja indica las muestras dentro del depósito que se hospedan en roca.

9.3.2 Variabilidad estacional

En cuanto a la variabilidad estacional, el comportamiento de los distintos elementos es diverso y no se distingue un patrón único. Se reconocen elementos que no varían su concentración en las distintas estaciones, elementos que varían levemente o sólo en algunas muestras, pero manteniendo la tendencia general, y elementos variables (Figura 9.11, Anexo 6.4).

Dentro de los elementos o especies que no presentan variabilidad estacional se encuentran SO_4 , Ca, Li, K, Ge, Sr, S, Cl, Na, Br, Cs, B, Rb, Se y Sr. Las únicas muestras que presentan variaciones son las AR-10063 y AR-2409, las que aumentan las concentraciones de la mayor parte de estos elementos en las campañas de Julio y Abril, respectivamente (ver Anexo 6.4).

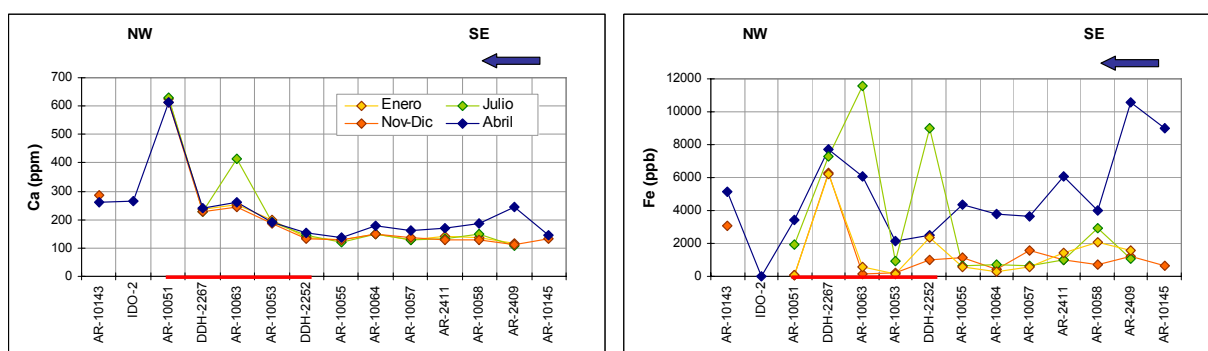


Figura 9.11 Ejemplos de los diversos comportamientos estacionales de los elementos analizados en las muestras de agua. Se muestran las concentraciones en las cuatro campañas de terreno de Ca y Fe. La flecha azul indica sentido del flujo del agua subterránea y la línea roja distingue muestras de agua en roca.

Los elementos que presentan variaciones pero manteniendo una tendencia general son Cu, Mo, Mn, U, Si, Mg, Sb y As.

Por último, los elementos que varían su comportamiento en las 4 campañas de muestreo (incluyendo algunos elementos que no pasan el control de calidad) son Al, Cr, Ba, Fe, Ni, V, Co, P, Y, Sc, Zr, Zn, Pb, Ga y las tierras raras. Estas últimas, presentan la misma tendencia entre ellas en cada campaña, pero con concentraciones muy variables entre campañas. Cabe destacar que las muestras AR-10063 y AR-10058 presenta en el mes de Julio concentraciones anómalas de tierras raras con respecto al resto de las campañas.

9.3.2 Índices de Saturación Mineral

El índice de saturación mineral (SI) de un mineral particular, en presencia de agua, se define como:

$$SI = \log \frac{IAP}{K_{SP}}$$

Donde IAP es el *producto de actividad iónica* y K_{SP} es la *constante del producto de las solubilidades*.

El IAP se obtiene a partir de las actividades que son calculadas desde las concentraciones determinadas analíticamente, considerando ciertas variables como la temperatura, la fuerza iónica y la formación de complejos (Merkel, 2002). Para este estudio, los índices de saturación fueron calculados utilizando el software PHREEQC (Parkhurst and Appello, 1999), utilizando la base de datos WATEQ4F, que contiene la información de más de 300 minerales.

El índice de saturación indica si una solución está en equilibrio termodinámico con una fase sólida, o si se encuentra subsaturada o sobresaturada respecto a ésta. Teóricamente, un índice de saturación igual a cero indica el equilibrio con la fase sólida. Un índice menor que cero indica subsaturación con respecto al mineral y, por lo tanto, el mineral puede disolver. Por el contrario, un índice mayor que cero, indica sobresaturación con respecto al mineral y el mineral puede precipitar (Holland, 2003). Sin embargo, en la práctica se acepta un rango de -0,2 a 0,2 para la situación de equilibrio (Merkel, 2002). Este rango es variable para cada mineral.

Adicionalmente, el output del software permite conocer el balance de cargas de cada solución (el análisis químico de cada muestra corresponde a los solutos en una solución acuosa), y la distribución de especies por elemento, es decir, la especie más abundante de cada elemento en solución, según las condiciones físico químicas iniciales. Algunas de las especies mayoritarias de algunos elementos son: AgCl, $Al(OH)^4^-$, H_3BO_3 , Ba^{2+} , Br^- , HCO^3- , Ca^{2+} , Cd^{2+} , Cl^- , Cs^+ , $Cu(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , $NiCO_3$, HPO^{2-}_4 , $PbCO_3$, Rb^+ , SO^{2-}_4 , $HSeO^3-$, H_4SiO_4 , Sr^{2+} y Zn^{2+} , entre otras. Es decir, en teoría, con las condiciones físico-químicas existentes y las concentraciones elementales reportadas, las especies mayoritarias debieran ser las anteriormente descritas, sin embargo, esto no implica que estas especies sean parte realmente de la mineralogía encontrada en el depósito (por ejemplo, AgCl, $NiCO_3$).

A continuación se presenta una lista con los principales minerales que se encuentran en equilibrio, subsaturados y sobresaturados en las muestras de agua subterránea (en al menos una muestra).

Minerales en equilibrio: $\text{Al}(\text{OH})_3$, Albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, Alunita $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2\text{OH}_6$, Analcima $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$, Anortita $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, Antlerita $\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$, Barita BaSO_4 , Brocantita $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$, Calcita CaCO_3 , Celestina SrSO_4 , Clorita $\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, Estrengita $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_3(\text{OH})_8$, Hidroxiapatito $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, Jarosita $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, Malaquita $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, Rodocrosita MnCO_3 , Tenorita CuO , Willemita Zn_2SiO_4 , Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ZnSiO_3 y algunos minerales silicatados de Al y Ca.

Minerales subsaturados: Anhidrita CaSO_4 , Anortita, Antlerita, Atacamita, Azurita, Brocantita, Chalcantita, Clorita, $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuCO_3 , Cuprita Cu_2O , Halita NaCl , Jarosita, Malaquita, Magnesita MgCO_3 , Manganita MnOOH , Mn_3O_4 , $\text{Mn}(\text{OH})_2$, Pirolusita MnO_2 , Rodocrosita, Siderita FeCO_3 , SiO_2 , Smithsonita ZnCO_3 , Tenorita, Willemita, Yeso y ZnO .

Minerales sobresaturados: AlOOH , Alunita, Anortita, Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, CuFe_2O_4 , CuFeO_2 , Estrengita, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, Gibsita $\text{Al}(\text{OH})_3$, Goethita FeOOH , Hematita Fe_2O_3 , Illita, Jarosita, Magnetita Fe_3O_4 y Montmorillonita.

En cuanto a la variabilidad estacional en los índices de saturación, algunos minerales no presentan variación anual, como es el caso del Yeso, $\text{Al}(\text{OH})_3$, Anhidrita y SiO_2 , o presentan pequeñas variaciones en el valor del índice pero similares tendencias a lo largo del flujo de agua subterránea, como por ejemplo Antlerita, Chalcantita, Clorita, Malaquita y Rodocrosita, entre otros (Figura 9.12). Un tercer grupo presenta total variabilidad (Alunita, $\text{Fe}_3(\text{OH})_8$, Jarosita, Estrengita, entre otros), es decir, puede pasar del equilibrio a la subsaturación o sobresaturación con la solución en períodos cortos de tiempo, en este caso, meses.

La Figura 9.12 muestra los índices de saturación de varios minerales con cobre para muestras del sector de Inca de Oro, en el sentido del flujo del agua subterránea (SE-NW, indicado en la figura con una flecha azul). Se puede observar un comportamiento similar entre este grupo de minerales donde la muestra DDH-2252 presenta los valores más altos de SI, ya sea en el rango de equilibrio con la fase sólida o cercana a éste. Nuevamente, los mayores valores se asocian a muestras hospedadas en las rocas del depósito (indicadas en la figura con una línea roja sobre el eje de las abscisas) versus las muestras en grava. La muestra DDH-2267 presenta los valores más bajos dentro de las muestras hospedadas en roca.

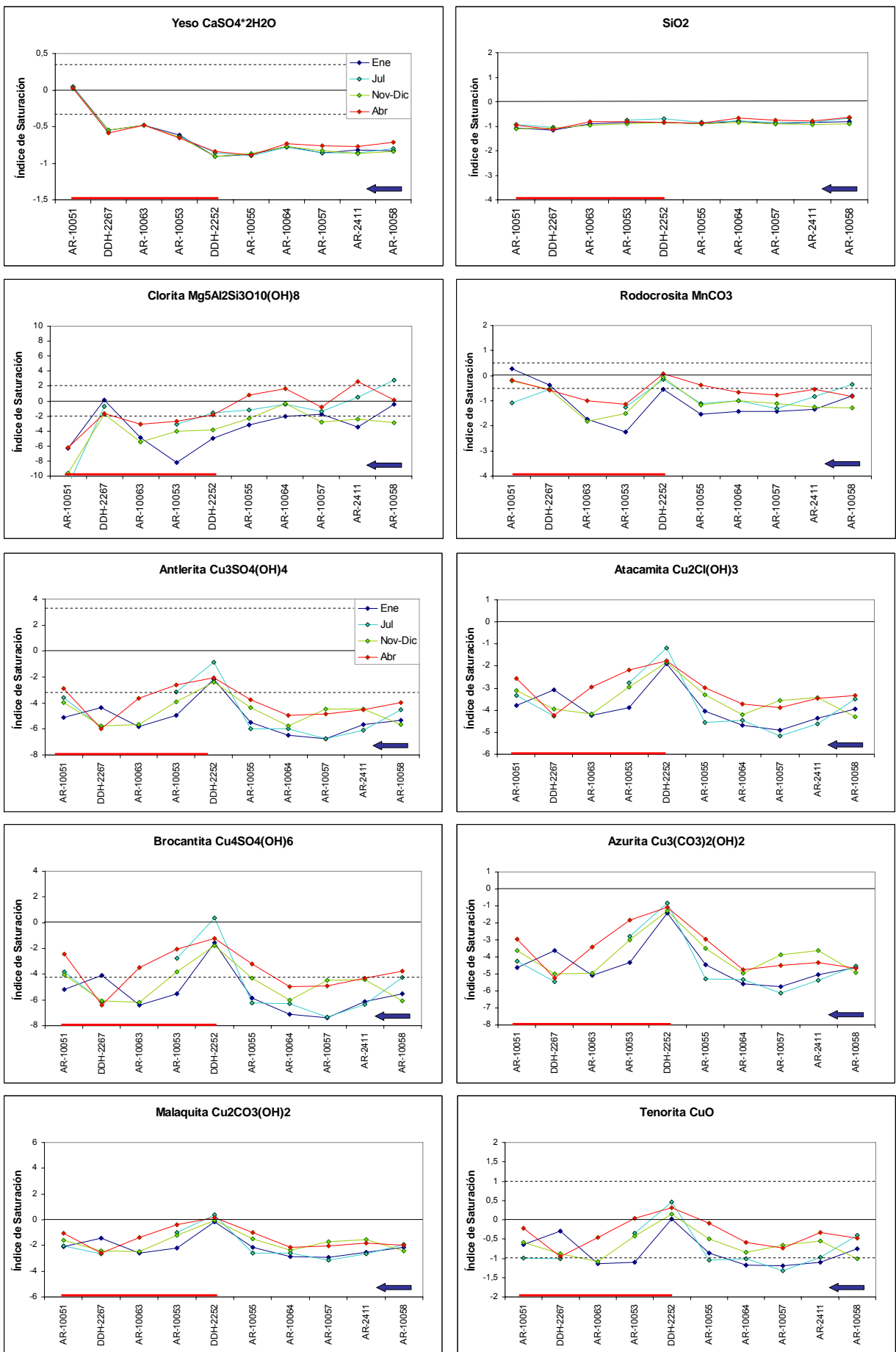


Figura 9.12 Índices de saturación en muestras de agua de Inca de Oro. Explicación en texto.

9.4 Comparación de muestras de agua filtradas versus no filtradas

Se presentan los resultados de la campaña de Marzo de 2009. En esta campaña se tomaron muestras de agua filtradas y sin filtrar de 6 pozos de muestreo distribuidos tanto en el área del depósito como fuera de éste. Los pozos muestreados son: AR-10051, AR-10053, AR-10143 y DDH-2252, dentro de las muestras hospedadas en roca, y AR-2415 y AR-10145, dentro de las muestras hospedadas en grava.

Este arreglo de muestras no se consideró en los análisis anteriores principalmente por el tiempo transcurrido entre la campaña anterior (Abril de 2008) y ésta, y porque la finalidad de la campaña fue poder identificar las posibles diferencias en concentraciones de elementos menores y traza de acuerdo al tipo de muestreo.

La metodología de muestreo utilizada es la misma que en campañas anteriores, con la única diferencia que en cada pozo se tomó una muestra adicional para cada análisis (parámetros físico-químicos, elementos mayores, menores y traza). En el Anexo 6.7 se presentan los resultados de los análisis in-situ y de laboratorio.

La importancia de diferenciar entre muestras filtradas y sin filtrar radica en que, al filtrar las muestras, se elimina en gran parte las partículas en suspensión de las muestras de agua, que son las responsables de adsorber elementos, en particular, aquellos que se movilizan como cationes. Por lo tanto, las concentraciones reportadas en muestras sin filtrar corresponden a la **concentración total** del elemento en el agua, en contraste con una muestra filtrada que representa la concentración del elemento en **solución**.

Al igual que en campañas anteriores, las muestras de agua hospedada en roca presentan mayores concentraciones de varios elementos en relación a la muestra AR-10145 hospedada en grava y ubicada al este del depósito (B, Br, Ca, Cl, Cs, Cu, K, Mn, Mo, Na, Rb, S, Sb y Sr). En el caso de la muestra AR-2415, también hospedada en grava, de la misma forma que en las otras campañas, sus concentraciones se asemejan a las muestras en roca e incluso en algunos casos las supera (As, B, Sr y Zn) (Anexo 6.8).

Para analizar las diferencias entre muestras filtradas y no filtradas, se calculó la razón entre ellas. Algunos elementos no presentan variación de concentración y poseen, por lo tanto, razones iguales o cercanas a 1. Estos elementos son: **B, Br, Ca, Cl, K, Li, Mg, Mo, Na, Rb, S, Sc, Se, Si y Sr**, (Figura 9.13 y 9.14). Es decir, estos elementos se encuentran en solución en su totalidad. Es de notar que en

este grupo se encuentran los elementos mayoritarios (cationes y aniones). Las concentraciones de calcio, sodio y potasio prácticamente no varían entre los dos tipos de muestreo.

El resto de los elementos, en cambio, posee razones filtrado/no filtrado menores a 1 (Figura 9.14). En particular se observa que los elementos **Mn, Zn, Cu, Fe** y **Al**, ocurren principalmente como material suspendido, aumentando la afinidad con este material en el orden $Mn < Zn < Cu < Fe < Al$.

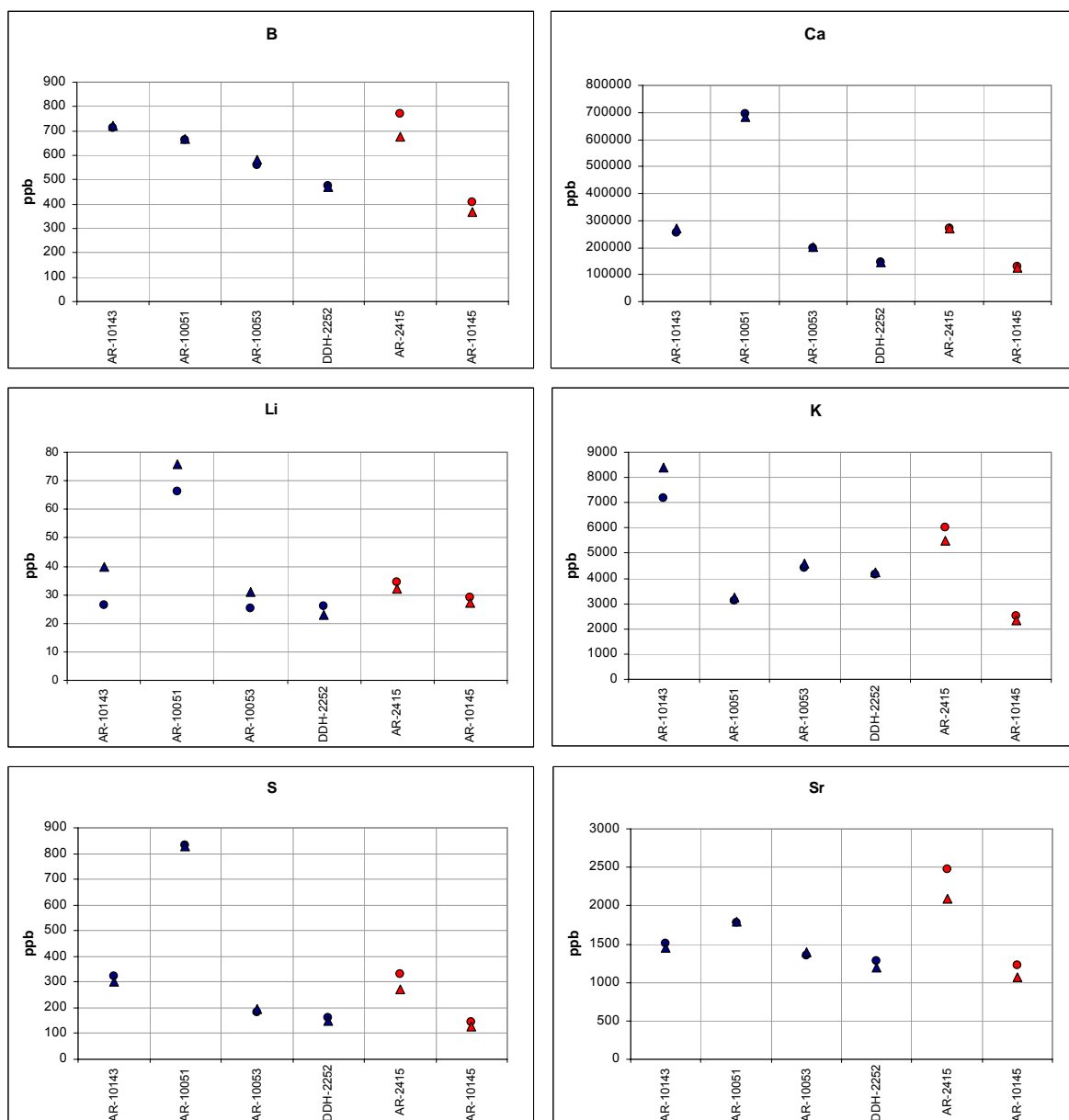


Figura 9.13 Concentración de distintos elementos en muestras de agua filtradas (triángulos) y no filtradas (círculos). En azul, muestras de agua hospedada en roca. En rojo, muestras de agua hospedada en grava.

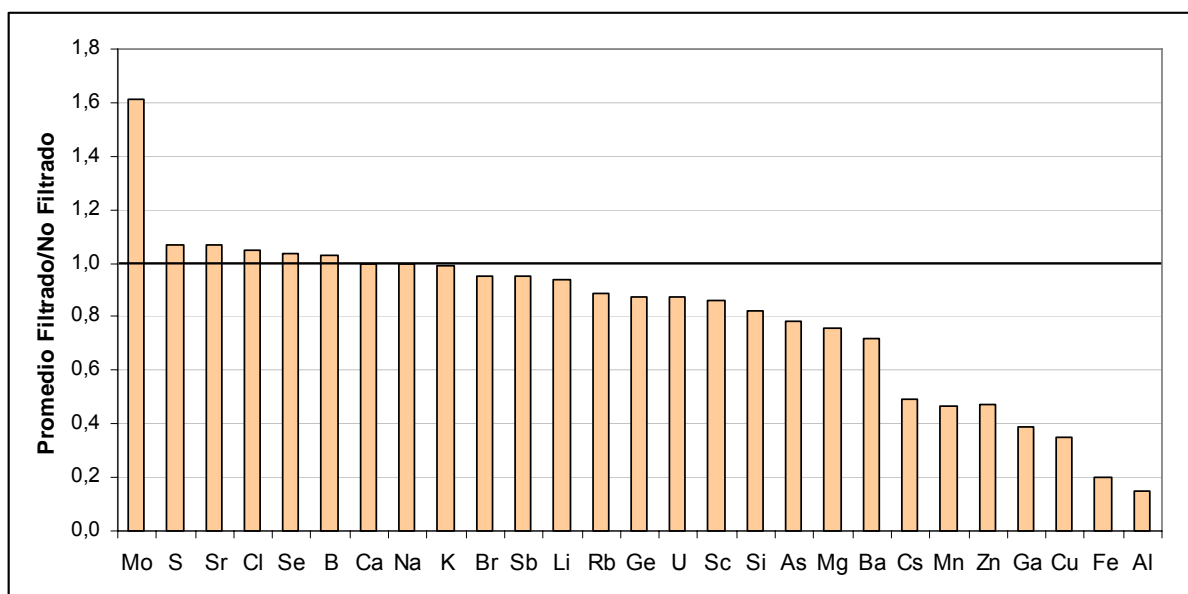


Figura 9.14 Gráfico de barras con los promedios elementales de razones de muestras filtradas/no filtradas. Se incluyen sólo los elementos que pasan el control de calidad.

En el Anexo 6.9 se incluyen los valores para las razones filtrado/no filtrado de todas las muestras.

Algunos valores indican que las concentraciones de aluminio en muestras no filtradas es hasta 280 veces más que en muestras filtradas, en el caso de hierro hasta 1000 veces más, cobre hasta 12 veces más y manganeso hasta 100 veces más en muestras no filtradas que en las filtradas. Cabe destacar que la dependencia de Al, Fe y Mn con la fase en suspensión, sumado a la alta variabilidad estacional observada en las concentraciones de estos elementos en el agua, son un factor fundamental que explica que estos elementos no cumplan con el control de calidad de terreno (ver Capítulo 7) pero que de todas formas sean considerados en análisis posteriores.

9.5 Análisis bacteriológico de muestras de agua

La determinación de bacterias en solución, por conteo directo, se realizó en un total de 14 muestras (13 muestras más 1 duplicado) de la campaña de Enero de 2007, 17 muestras de la campaña de Julio de 2007 (14 muestras a nivel freático y 3 a aproximadamente 10 metros de éste), y 31 muestras de la campaña de Noviembre-Diciembre de 2007 (15 a nivel freático y 15 a distintas profundidades).

En la Tabla 9.2 se muestran los resultados de la medición de pH y el conteo de bacterias en muestras de la campaña de Enero originales. Luego del enriquecimiento con sulfato ferroso, el conteo indicó que en ninguna muestra se detecta un aumento en el número de células. Al final del experimento no se detectaron bacterias capaces de oxidar sulfato ferroso a férrico en solución, es decir, no hay

bacterias hierrooxidantes presentes o están en un estado latente. Esta situación se repite en las muestras de la campaña de Julio de 2007 (Luca, 2010, *en prep.*). La Tabla 9.3 muestra el conteo de bacterias en muestras originales (es decir, antes de la experimentación) para esta campaña.

Tabla 9.2 Medición de pH y concentración de células en muestras originales, campaña Enero 2007.

Muestra	pH	Bacterias/ml
DDH2252	7,02	1000000
DDH2267	7,77	1500000
AR2409	7,32	500000
AR2411	7,19	250000
AR2415	7,26	ND
AR10051	7,46	Presencia borde no en retícula
AR10051D	7,79	500000
AR10053	6,8	250000
AR10055	7,28	1500000
AR10057	7,51	750000
AR10058	7,44	1250000
AR10063	7,19	1000000
AR10064	7,44	250000
AR10099	7,26	750000

ND: no se observaron bacterias, podrían encontrarse en muy bajo número.

Tabla 9.3 Concentración de células en muestras de agua originales, campaña Julio 2007.

Muestra	Bacterias/ml
AR-10051	500000
AR-10053	500000
AR-10055	250000
AR-10057	1000000
AR-10058 - 1	750000
AR-10058 - 2	750000
AR-10063	750000
AR-10064	416667
AR-10099	ND
AR-2409	750000
AR-24091	1250000
AR-2411	750000
AR-2415	ND
DDH-2252 - 1	ND
DDH-2252 - 2	500000
DDH-2267 - 1	ND
DDH-2267 - 2	750000

En los experimentos realizados a muestras de la campaña de Noviembre-Diciembre de 2007, donde las muestras fueron filtradas y el material del filtro re-suspendido, tampoco se pudo concluir la existencia de bacterias hierrooxidantes o azufre-oxidantes (Luca, 2010, *en prep.*). En la Tabla 9.4 se indica el conteo de bacterias en muestras originales.

Tabla 9.4 Medición de pH, Eh y concentración de células en muestras de agua originales, campaña de Noviembre-Diciembre de 2007.

Muestra	pH	Eh	Bacterias/ml	Vol. Agua muestra
AR-2415	7,07	150,3	250000	368
DDH-2252	8,02	114	500000	336
AR-10064	7,41	137,3	208333	376
AR-2409	7,46	139,6	1250000	393
DDH-2267	7,84	130,8	2500000	500
AR-10053	7,33	132	500000	390
AR-10057	7,3	149,8	2500000	106
AR-10051	6,56	236,7	ND	120
AR-10055	6,6	231,3	1000000	360
AR-2411	7,37	213,7	1000000	403
AR-10051B	7,32	202,6	250000	458
AR-10058	6,45	100,1	500000	368
AR-10145	7,33	97,1	250000	384
AR-10143	7,05	172,9	500000	384
AR-10063	7,1	156,1	ND	376

Finalmente, las pruebas realizadas a muestras de las campañas de Abril de 2008 y Marzo de 2009 no fueron totalmente concluyentes.

En resumen, con las técnicas empleadas, no fue posible concluir la existencia de bacterias hierrooxidantes o azufre-oxidantes en las muestras de agua subterránea de Inca de Oro. Cabe destacar que las muestras fueron tomadas a la profundidad del nivel freático o a algunos metros bajo éste, no llegando a alcanzar el nivel de sulfuros del yacimiento donde se esperaba encontrar la fauna microbiótica asociada a la oxidación y desintegración de minerales sulfurados.

10. DISCUSIONES

Una de las principales aplicaciones relacionadas al análisis hidrogeoquímico de aguas subterráneas es su uso como herramienta de exploración en zonas cubiertas. Dada la situación actual de exploración de depósitos en el norte de Chile, donde prácticamente todos los depósitos con manifestaciones directas en superficie han sido descubiertos, el desarrollo de herramientas complementarias por parte de las empresas se hace cada vez más necesario. En este sentido, el agua subterránea es un medio de muestreo apropiado en exploración geoquímica, principalmente por su reactividad con el medio que atraviesa, en este caso, rocas mineralizadas.

Si bien, a nivel regional, el agua subterránea de Inca de Oro posee ciertas características similares a aquellas del valle del Río Copiapó (similar pH, y TDS), también presenta mayores concentraciones de varios elementos menores y traza como Al, Cu, Fe, Mn, Mo, Si y Zn, respecto al background regional, que en una campaña de exploración indicaría una posible relación con cuerpos de mena, dada la relación de varios de estos elementos con minerales sulfurados. Sin embargo, los indicadores de exploración no están restringidos a minerales de mena sino que también en algunos casos podrían estar relacionados con un tipo de litología particular. En el área de estudio, además de las diferencias regionales, elementos como Mn y Mo poseen concentraciones comparables con muestras de agua subterránea del depósito tipo pórfido cuprífero Spence, cuya hidrogeoquímica ha sido ampliamente estudiada (por ejemplo, Leybourne & Cameron, 2006, 2008; Cameron *et al.*, 2007; Reich *et al.*, 2008). Los resultados obtenidos muestran que la interacción del agua subterránea con las rocas mineralizadas, en su paso a través del yacimiento, imprimen una signatura geoquímica y físico-química reconocible y distinguible en el agua subterránea del sector de estudio, tanto a nivel local como regional.

El agua subterránea resultante de la interacción con la roca tendrá concentraciones de elementos que dependerán de factores como la solubilidad mineral de la roca de caja, el tiempo de contacto agua-roca, o el tiempo de residencia del agua, y la disponibilidad de partículas con superficies activas capaces de remover elementos desde la solución por adsorción, entre otros factores (Giblin, 2001). Durante la interacción agua/roca, dependiendo de la composición química, propiedades físico-químicas y condiciones termodinámicas de los componentes, ocurren diversas reacciones de

intercambio entre especies (es decir, sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en el agua), entre especies y gases, o entre especies y fases sólidas (minerales), las que, en conjunto con el transporte de elementos y los procesos biológicos, son fundamentales en la determinación de la composición hidrogeoquímica del agua tanto superficial como subterránea (Merkel, 2002).

El principio general de conservación de masa que controla la composición química del agua subterránea que fluye a lo largo de un camino es:

$$\text{Composición inicial del agua + minerales en disolución} - \text{minerales que precipitan} = \text{Composición final del agua}$$

Por lo tanto, la composición del agua subterránea es en gran parte determinada por el tipo y la cantidad de minerales que se disuelven/precipitan en el acuífero (Holland, 2003); procesos que son controlados por los diversos factores antes mencionados.

En el caso de Inca de Oro, el flujo de agua subterránea (de dirección SE-NW) circula a través de la cobertura de gravas (unidad hidrogeológica de sedimentos clásticos), luego ingresa en roca, donde entra en contacto con la paleocolina que corresponde al cuerpo mineralizado (unidad de rocas con porosidad adquirida), para luego salir nuevamente a las gravas, hacia el NW (Figura 10.1). Estos dos medios hospedantes marcan diferencias en las características del agua, tanto en sus parámetros físico-químicos como en su composición química, originadas por la interacción del agua con el medio que atraviesa.

En el caso de las variables físico-químicas, el parámetro que mejor representa esta diferencia es el Total de Sólidos Disueltos (TDS). La interacción del agua a medida que atraviesa el depósito produce un aumento de los TDS en las muestras de agua hospedada en roca respecto de las muestras en grava. La muestra AR-10051 (Figura 10.1), hospedada en roca, es la que presenta mayor contenido de sólidos disueltos (tanto calculados como medidos in situ) en todas las campañas de muestreo. El aumento de TDS a lo largo del flujo de agua subterránea puede explicarse porque la diferencia de permeabilidad y composición mineral de los dos medios hospedantes influye en el comportamiento del agua subterránea. La roca tiene una porosidad secundaria, dada por el fracturamiento y lixiviación de ésta. En este sentido, el medio rocoso tiene una permeabilidad mala en comparación con la de la grava que posee una permeabilidad granular mayor. Por esta razón, la velocidad del agua sería

menor en la roca y, por lo tanto, el tiempo de residencia del agua en este medio es mayor. Por otro lado, el sistema corresponde a un acuitardo, es decir, el agua no fluye en cantidades importantes, no se diluye, lo que permite la concentración de elementos y el aumento del tiempo de residencia del agua en el medio hospedante. Esto concuerda con el mayor contenido de sólidos disueltos de las muestras de agua en roca. Por otra parte, en la roca existe mineralización sulfurada y/o sulfatada (mientras que las gravas se componen principalmente de fragmentos líticos y cuarzo (Capítulo 6; Luca, 2010, *en prep.*), susceptible de generar acidez, que a su vez genera condiciones de lixiviación mineral y disolución. También se debe indicar que en ambiente supérgeno, minerales susceptibles de procesos de oxidación/reducción atraen actividad microbótica, la que también favorece procesos de ruptura y degradación mineral, y por lo tanto favorecen procesos de disolución/precipitación. El pórfido cuprífero Inca de Oro imprime entonces modificaciones importantes en la composición química y condiciones fisicoquímicas de las aguas subterráneas, diferenciándolas de aguas que circulan a través de las gravas.

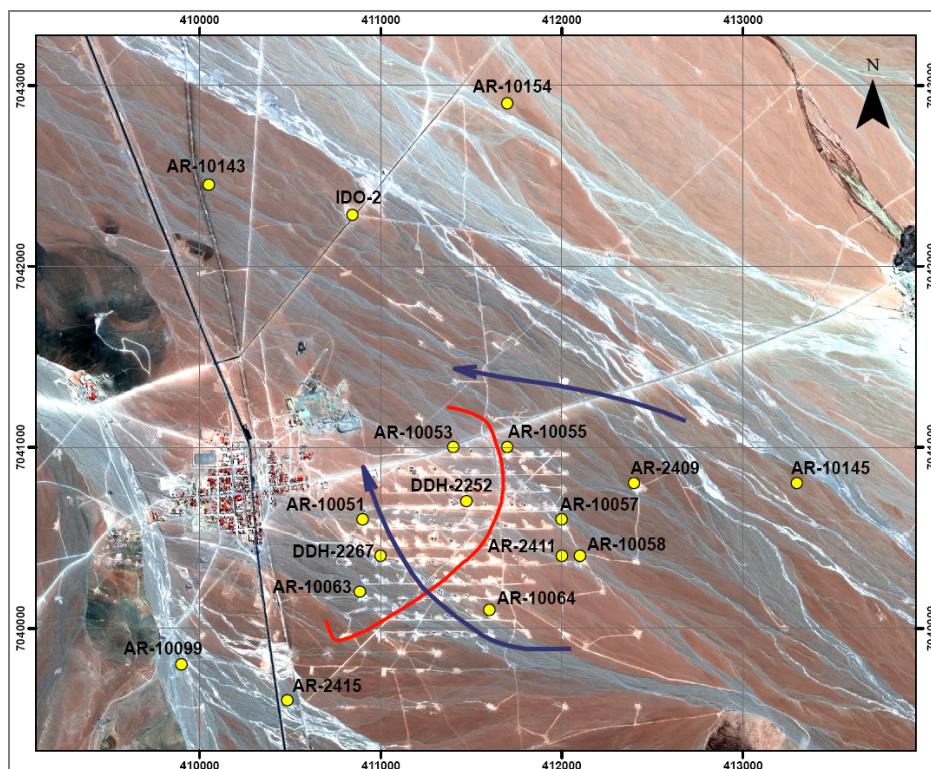


Figura 10.1 Puntos de muestreo en sector de estudio. La línea roja indica el límite entre las muestras hospedadas en roca (hacia la izquierda) y las hospedadas en grava (hacia la derecha). Las flechas azules indican el sentido del flujo del agua subterránea en Inca de Oro.

Las modificaciones que observan las aguas para otros parámetros no son tan evidentes. En el caso de los valores de pH, se observa mayor variabilidad en las muestras de agua hospedadas en roca respecto a las muestras hospedadas en grava. Esta diferencia podría deberse a que las gravas representan, en forma general, un medio más homogéneo que la roca (ésta última presenta variaciones tanto verticales como horizontales en cuanto a mineralogía de alteración y mineralización), donde las reacciones con los minerales presentes pueden modificar las condiciones físico-químicas. Es decir, se pasa de un ambiente buffer de pH neutro-alcalino, a un ambiente con menor capacidad buffer y/o que aun puede generar drenaje ácido por la mineralogía residual de la lixiviación de sulfuros (alunita, jarosita), o por la mineralogía sulfurada en profundidad. Si se considera éste como un ambiente heterogéneo, las reacciones ocurridas a partir de esta mineralogía (sulfuros y sulfatos) podrían influir en las diferencias de valores de pH en muestras de agua en roca respecto de aquella en grava. Es importante mencionar que, considerar en un principio a las gravas como un medio homogéneo, es una suposición generalizada (para mayor detalle de la mineralogía y geoquímica de la cobertura de gravas referirse a Luca (2010, *en prep.*), sin embargo, en este caso se hace referencia principalmente a la mineralogía sulfurada y sulfatada, que no se observa en las gravas.

En cuanto a la química, la interacción agua-roca permite definir distintos grupos de elementos con comportamiento similar (Figura 10.2). Esta diferenciación tiene que ver no solo con la concentración de cada elemento en las muestras de agua, sino que también a las variaciones estacionales (campañas de muestreo en Enero, Julio y Noviembre de 2007 y Abril de 2008, que corresponde a verano, invierno, primavera y otoño, respectivamente). A modo de resumen, de acuerdo a las concentraciones por elemento, se distinguen 5 grupos (se incluyen en esta discusión algunos elementos que no pasan el control de calidad):

Grupo 1: Elementos que aumentan su concentración en sentido del flujo de agua subterránea: Cl, Br, Na, Cs, B.

Grupo 2: Elementos que aumentan su concentración progresivamente en sentido del flujo del agua subterránea en el sector del depósito, y luego disminuyen su concentración en las muestras ubicadas más al norte en el área de estudio (AR-10143, IDO-2, AR-10154, ver Figura 10.1): SO₄, Ca, Li, K, Ge, Sr, S y Zr.

Grupo 3: Elementos que puntualmente aumentan su concentración en muestras de agua hospedadas en roca, pero no de manera progresiva, y luego disminuyen al salir del depósito (Cu, Mo, Mn, Re, U, Zn y W). Las mayores concentraciones corresponden a la muestra DDH-2252 (Figura 10.1) para todos estos elementos y a las muestras AR-10051 y DDH-2267 en algunos de estos (Anexo 5.4).

Grupo 4: Elementos que disminuyen su concentración en sentido del flujo del agua subterránea: Al, Si, Cr, Ba, V, Th, P, e Y. Otros elementos como Fe, Co, Ni y las tierras raras del grupo de los lantánidos (Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er y La) disminuyen su concentración en las campañas de Enero, Nov-Dic y Abril. En la campaña de Julio sus concentraciones son más variables, y las muestras AR-10058 (grava) y AR-10063 (roca) presentan valores anómalos positivos respecto a las otras campañas.

Grupo 5: Elementos sin comportamiento específico. Este grupo reúne al resto de los elementos cuya concentración es variable a lo largo del flujo (As, Ga, Pb, Rb, Se, Sb y Sr) o cuya concentración no varía entre las muestras como el caso del Mg, el que salvo para la muestra AR-10051 presenta concentraciones similares en todas las muestras.

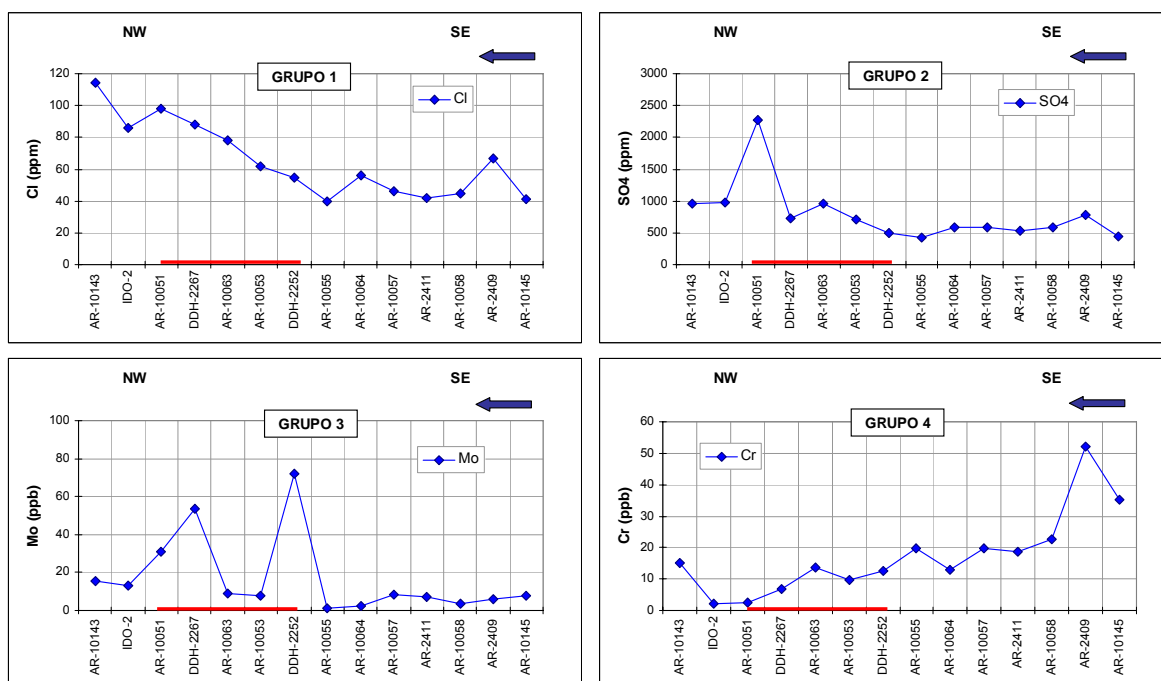


Figura 10.2 Ejemplos de los distintos comportamientos en cada grupo de elementos definido para las concentraciones en muestras de agua de Inca de Oro. Se muestra en este caso las concentraciones de la campaña de muestreo de Abril de 2008.

El agua subterránea de Inca de Oro presenta concentraciones muy bajas de cloruros (76 ppm en promedio), con respecto tanto al background regional (muestras del valle del río Copiapó, 136 ppm en promedio), como a otros depósitos de cobre (Spence y Mantos Blancos). Éstos últimos presentan contenidos de cloruros de 9000 y 45000 ppm en promedio, respectivamente, que responden a aportes de aguas subterráneas profundas y de salares, que no se observa en el área de estudio. Si bien, en Inca de Oro, el contenido de cloro es bajo, el aumento de concentración de este elemento en el sentido del flujo del agua responde a que es un elemento conservativo, es decir, a lo largo del flujo no debería presentar pérdidas significativas pues no es un componente importante en las reacciones de oxidación o reducción, en bajas concentraciones no forma complejos importantes con otros iones y no es significativamente adsorbido por superficies minerales (Hem, 1985).

En el caso del sodio, el aumento en el contenido de este elemento a lo largo del flujo de agua, puede ser explicado porque no hay reacciones de precipitación importantes que controlen la concentración del Na (Hem, 1985), por lo que una vez que entra en solución debiera mantenerse en ese estado (al tener una solubilidad alta es difícil de precipitar), a no ser que sea afectado por procesos evaporativos. En el caso de Inca de Oro, la evaporación no es un proceso fundamental en el control de las concentraciones de sodio y cloro, lo que se comprueba en el gráfico de la Figura 10.3. En éste, se observa que las concentraciones de sodio versus cloro no se agrupan en la línea 1 a 1, como se esperaría en este proceso. Por otro lado, según el cálculo de índices de saturación (SI), ninguna de las muestras de agua está cercana a la saturación de halita, aunque SI_{halita} aumenta con el aumento de contenido de Na y Cl. Por lo tanto, dadas las condiciones físico-químicas existentes no se esperaría precipitación de este mineral a partir de la solución.

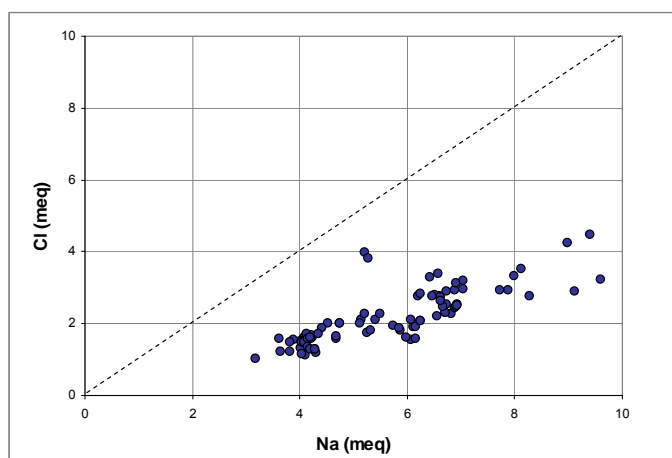


Figura 10.3 Concentración de Na versus Cl (en meq/l) en muestras de agua subterránea de Inca de Oro. La línea punteada corresponde a la relación Na:Cl=1:1.

El aumento de SO_4 en las muestras de agua hospedada en roca, en el sentido del flujo el agua, podría explicarse por procesos de oxidación de sulfuros y/o disolución de yeso. En el caso de Inca de Oro, el aumento de SO_4 en las muestras de agua hospedada en roca por procesos de oxidación de sulfuros es concordante con la mineralogía primaria del depósito (pirita, calcopirita). Además, si el origen del sulfato fuera sólo la disolución de yeso, se esperaría una relación $\text{SO}_4 : \text{Ca} = 1:1$ que no ocurre en este caso (Figura 10.4). En Inca de Oro, las muestras de agua con menor salinidad están subsaturadas con respecto al yeso, mientras que la muestra con mayor salinidad (AR-10051, en el margen NW del depósito, Figura 10.1) alcanza la saturación respecto de este mineral. Sin embargo, ninguna muestra se encuentra sobresaturada, por lo que la precipitación de este mineral no debiera ocurrir en las condiciones físico-químicas y de saturación actuales. Esto sugiere que la precipitación de yeso no es un proceso que controle la concentración de sulfatos, o calcio, en el agua.

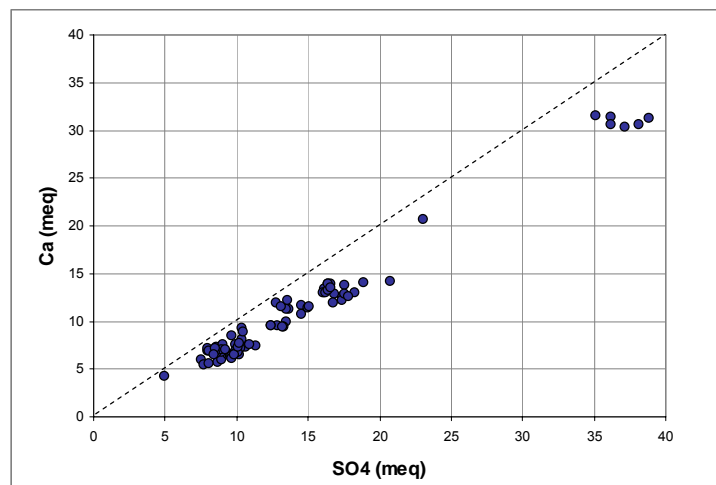
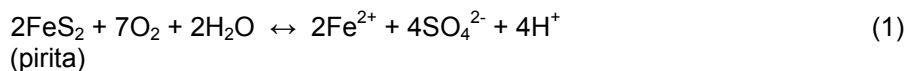


Figura 10.4 Concentración de SO_4 versus Ca (en meq/l) en muestras de agua subterránea de Inca de Oro. La línea punteada corresponde a la relación $\text{SO}_4:\text{Ca}=1:1$.

Los procesos de oxidación de sulfuros (como la pirita, ecuación 1) liberan sulfato, lo que produciría un aumento de su concentración en el agua. No se descarta, sin embargo, que la fuente del sulfato sea la meteorización/disolución de minerales sulfatados como jarosita, alunita, brocantita o antlerita. La presencia de minerales como langita y posnjakita fueron reportadas en Inca de Oro y representarían productos hidratados de la alteración de la brocantita (Chávez, 2006, en Puig, 2006). Estas fuentes de sulfato son concordantes con la mineralogía en el nivel de aguas muestreado (Figura 10.5).



El agua subterránea en contacto con mineralización de sulfuros comúnmente tiene altas concentraciones de Fe disuelto, el que, en condiciones más oxidantes, se oxida de Fe^{2+} a Fe^{3+} , para luego precipitar como óxido/hidróxido (Gray, 2001) en un ambiente de pH ácido (Hem, 1985). En el caso de Inca de Oro, el pH es neutro a levemente alcalino debido probablemente al efecto buffer de minerales como carbonatos o feldespatos. El contenido de Fe en aguas de Inca de Oro es un orden de magnitud mayor que el agua en el valle del río Copiapó y es comparable a aquellas de los depósitos Spence y Mantos Blancos. Estos resultados se discuten más adelante.

En el caso del potasio, las concentraciones son más bien bajas a pesar que estas aumentan en las muestras de agua hospedadas en roca. Estas bajas concentraciones pueden deberse a la resistencia de los minerales de potasio a la descomposición por meteorización, o a la fijación de potasio en arcillas (Majagi *et al*, 2008). Por otra parte, todas las muestras se encuentran sobresaturadas respecto de la alunita, en particular, la muestra con menor contenido de K (AR-10051, con mayor contenido de TDS) presenta los valores más altos de S_{alunita} , indicando que la precipitación de este mineral podría estar controlando el contenido de K^+ en el agua.

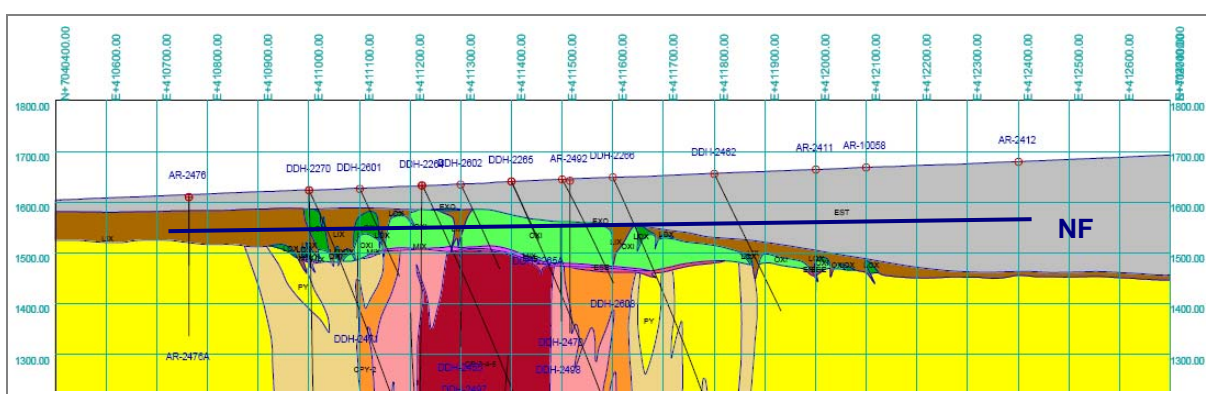


Figura 10.5 Sección 7.040.400 de mineralización en Inca de Oro. Las zonas verdes corresponden a zonas de óxidos de Cu. La línea azul representa aproximadamente el nivel de aguas freáticas. Bajo la zona de oxidación se observa la distribución de sulfuros primarios, en amarillo pirita y anaranjados y rojos, calcopirita.

Los elementos Cu, Mo, Mn, Re, U, Zn y W se comportan de manera similar. La importancia de la asociación de elementos de este grupo, es que la mayoría de ellos corresponden a elementos relacionados con la mineralización típica de los depósitos tipo pórfido cuprífero.

En el caso del Cu, la concentración de este elemento aumenta al entrar al depósito, donde el nivel de agua muestreada pasa por la zona oxidada de éste. Estas altas concentraciones no se observan en las muestras aguas abajo (NW en el sentido del flujo de agua subterránea), lo que podría explicarse porque a pH elevado (neutro o más) la movilidad del Cu es limitada pudiendo precipitar como $\text{Cu}(\text{OH})_2$, adsorberse en superficies minerales inmóviles, o co-precipitar con óxidos de Fe (Taufen, 1997). Los índices de saturación de varios óxidos e hidróxidos de Fe en Inca de Oro indican que el agua está sobresaturada respecto de estos minerales. Este comportamiento también es reportado por Leybourne y Cameron (2008) en el yacimiento Spence, donde el Cu presenta altas concentraciones sólo en aguas muestreadas dentro del depósito, a diferencia de Se, Re, Mo y As cuyos valores elevados se encontraron en aguas tanto dentro del depósito como aguas abajo. Este comportamiento es explicado por los autores debido a que el Cu, y los metales base, se disuelven como cationes, por lo que son fácilmente removidos de la solución principalmente por adsorción a arcillas y por la formación de óxidos, carbonatos o cloruros de Cu secundarios. En cuanto a esto último, de acuerdo a los índices de saturación calculados, en Inca de Oro, como se observa en la Figura 9.12, los minerales oxidados de Cu tienden a saturarse en la solución al entrar el depósito. Esta situación es concordante con la geología en el nivel de aguas freáticas. En las Figuras 10.5 y 10.6 se observa que la zona oxidada del depósito influiría directamente en la composición química de las aguas subterráneas en el nivel muestreado y, por lo tanto, en la saturación mineral a lo largo del depósito y la disolución de minerales. Como se señala en el capítulo 6, la zona de óxidos se compone de “óxidos verdes”, “óxidos negros”, arcillas y limonitas con Cu. La muestra DDH-2252 (Figura 10.6) es la que presenta mayores concentraciones de Cu y mayor saturación de minerales oxidados de Cu. Esta muestra atraviesa una zona con arcillas con Cu, crisocola y óxidos negros diseminados. Estos últimos, corresponden a óxidos de Fe y Mn, donde el Cu se encontraría adsorbido tanto en las redes cristalinas de los óxidos como en forma de inclusiones de minerales de Cu puro (Puig, 2006). De la misma forma, la distribución de cobre soluble y total (Figura 6.4) también influyen y concuerdan con las concentraciones de cobre en el agua.

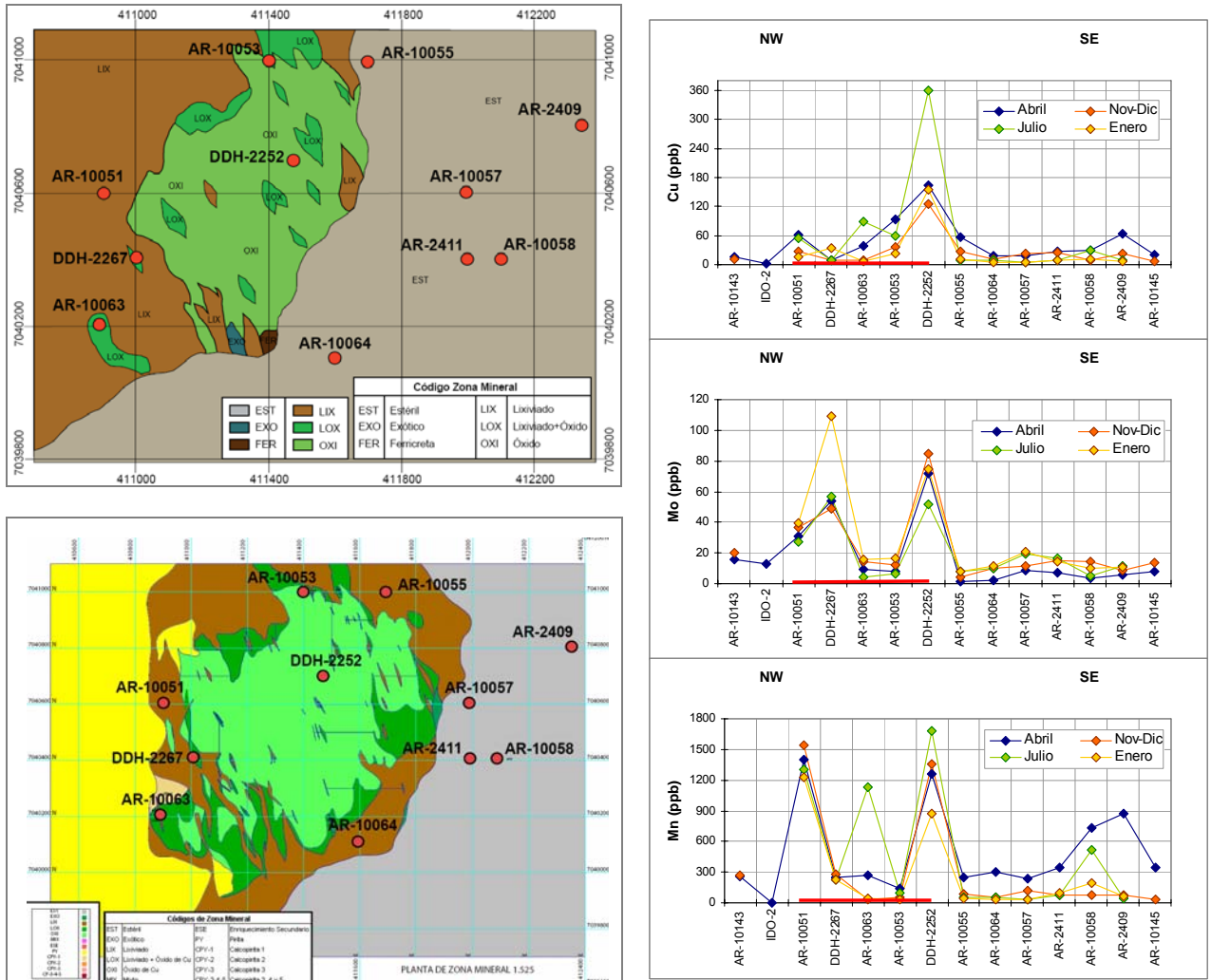


Figura 10.6 Plantas de mineralización en Inca de Oro. La planta superior corresponde a la planta 1550 aprox. a la profundidad del nivel freático. La planta inferior corresponde a la 1525 m. A la derecha se agregan las concentraciones de Cu, Mo y Mn para las cuatro campañas de muestreo.

La Figura 10.7 muestra la mineralización de óxidos negros en distintas profundidades. En el caso de la planta entre las cotas 1400 y 1500 los óxidos negros se ubican en un halo circular posiblemente en torno al pórfido mineralizador, mientras que la planta entre los 1500 y 1560 m su distribución se encuentra controlada por estructuras NE y NW (Puig, 2006). Las muestras de agua subterránea, tomadas aproximadamente en el nivel freático, representan una cota intermedia de esta última planta (cota 1550 aprox.). La figura muestra la intensidad de óxidos negros entre las coordenadas 7.040.000 – 7.041.000, y 411000 – 411750. Los círculos corresponden a las muestras DDH-2252 (circulo superior) y DDH-2267 (circulo inferior).

La muestra DDH-2252 presenta las concentraciones más altas de Mn, al igual que el Cu, lo que se relaciona directamente con la distribución de óxidos negros y la ubicación de esta muestra cercana a una zona de intensidad media a alta. Esta relación no se cumple para la muestra DDH-2267 (la que posee bajas concentraciones de Cu y Mn). Esta muestra presentaba una coloración negra, que no ha podido ser explicada, pero que podría deberse a algún tipo de contaminación que afecte la química del agua.

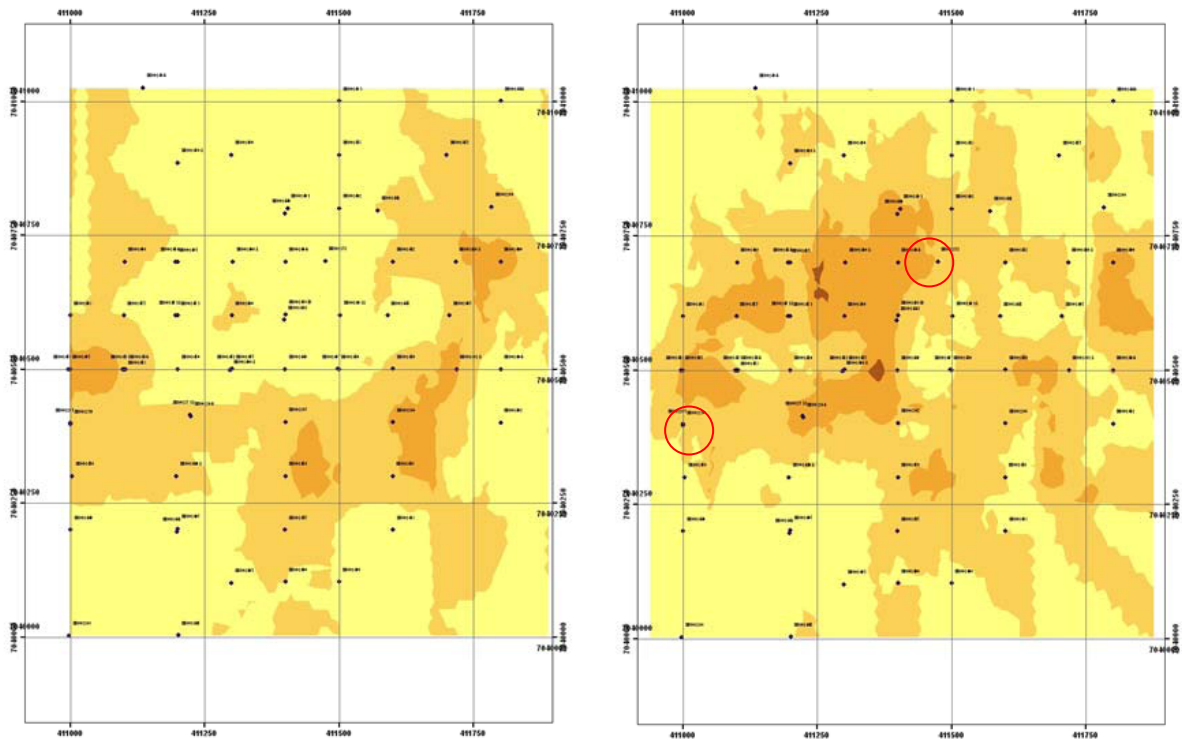


Figura 10.7 Plantas de “intensidad de óxidos negros”. Izq: planta entre cotas 1400 y 1500 m de ocurrencia de óxidos negros. Der: planta entre cotas 1500 y 1560 m de óxidos negros. Colores más oscuros indican mayor intensidad.

Cabe destacar que el Mn es controlado fuertemente por la fase de sedimento suspendido (tiende a ser adsorbido), por lo que se esperaría que presentara variabilidad estacional (Leybourne y Cameron, 2008; Cidu y Frau, 2009). Sin embargo, en el caso de Inca de Oro su comportamiento es más bien estable en el tiempo (Figura 10.8), manteniéndose los máximos en las mismas muestras en todas las campañas, lo que sugiere que estas concentraciones reflejan la presencia de Mn en la mineralización de la roca hospedante (que ocurre principalmente en vetillas y pátinas negras, en forma de óxido negro de cobre y manganeso; Puig, 2006) más que la concentración de Mn relacionada a las partículas en suspensión.

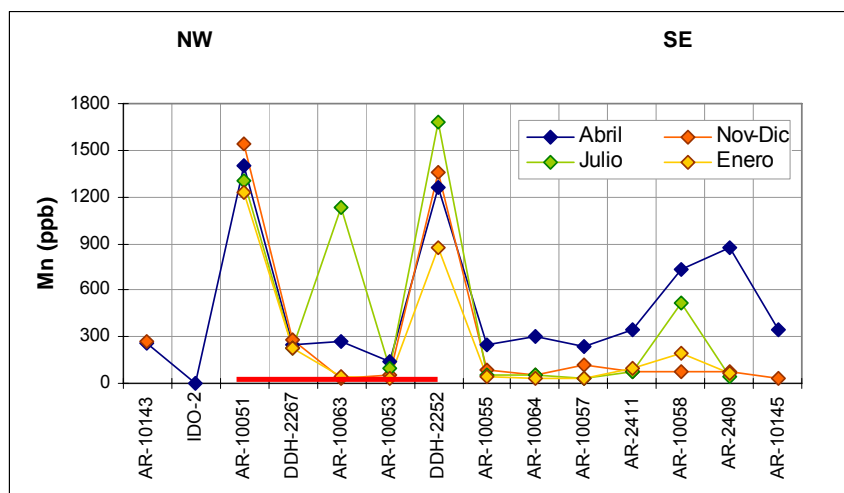


Figura 10.8 Concentración de Mn en las cuatro campañas de muestreo. La línea roja indica las muestras de agua hospedadas en roca.

Las altas concentraciones de molibdeno en muestras de agua hospedadas en roca, también se pueden relacionar directamente con la mineralización del depósito, el que presenta altas concentraciones de este elemento en vetillas e incluso en la roca de caja, donde éstas alcanzan 30 a 40 ppm. Estas altas concentraciones podrían ser un remanente de la mineralización primaria del depósito con alto molibdeno (Puig, 2006).

El interés de este elemento, aparte de estar directamente relacionado con la mineralización tipo pórfido cuprífero, es que, al contrario del Cu, se disuelve como anión (Figura 10.9), más específicamente como oxoanión (MoO_4^{2-}), por lo que, al tener carga negativa, no es adsorbido por coloides como en el caso del Cu, Zn y los metales base (en las condiciones de Eh/pH de Inca de Oro). Por esta razón, las concentraciones en muestras filtradas y en muestras no filtradas no cambian significativamente, como se comprobó con los resultados de la campaña de Marzo de 2009, donde en todas las muestras, salvo en una, la concentración de Mo en muestras filtradas y no filtradas es similar. Esta situación también fue observada en el depósito Spence. En este lugar, Leybourne y Cameron (2006) reportaron una razón de concentraciones de Mo entre muestras no filtradas y filtradas cercanas a 1, al contrario del cobre donde esta razón es mayor que 1.

La especiación del Mo como oxoanión, su movilidad y su baja o nula adsorción a material en suspensión en las condiciones físico-químicas del agua subterránea de Inca de Oro, tienen directas consecuencias en el uso de este elemento como guía de exploración de depósitos cubiertos. Por otra parte, la concentración de este elemento en el agua subterránea no presenta importantes variaciones

estacionales. Además, es un elemento relativamente fácil de lixiviar por aguas naturales desde la roca fuente y, a la vez, es un elemento poco común en aguas subterráneas (Giblin, 2001), que se encuentra en bajas concentraciones (del orden de 1,5 ppb), al contrario del caso de Inca de Oro donde las concentraciones de Mo son altas, llegando incluso a superar los 100 ppb en muestras de agua subterránea hospedadas en roca. Todo esto sugiere que el Mo es un elemento confiable como indicador de mineralización sulfurada en profundidad, y que su uso en campañas de exploración puede llegar a ser efectivo en la detección de este tipo de depósitos.

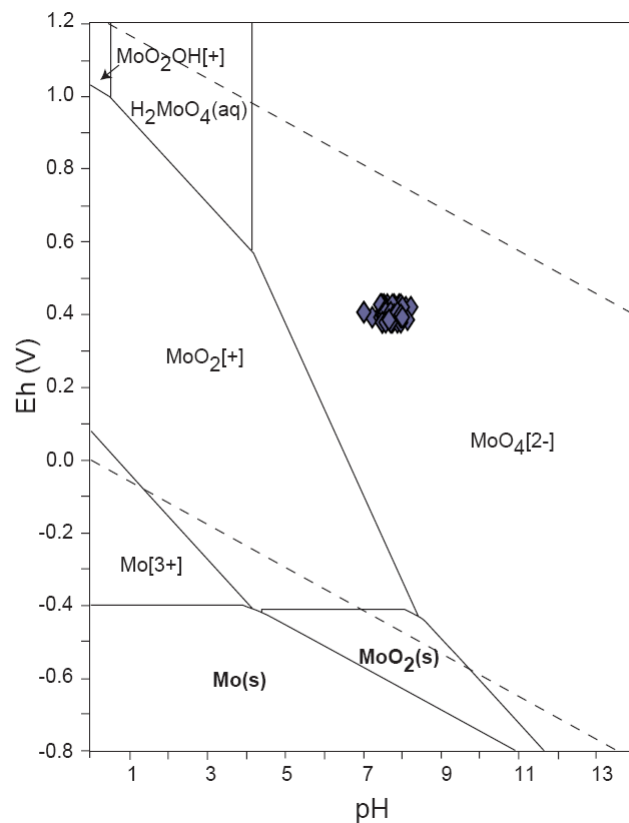


Figura 10.9 Diagrama Eh-pH del sistema Mo-O-H ($\Sigma \text{Mo} = 10^{-10}$, 298.5K, 10^5 Pa). Las muestras de agua de Inca de Oro de las 4 primeras campañas se muestran en rombos grises. Modificado de Takeno, 2005.

El uso de la hidrogeoquímica en campañas de exploración en zonas cubiertas ha sido estudiado en el pasado, tanto en Chile como en países como Estados Unidos y Australia, donde se ha demostrado la existencia de concentraciones anómalas en agua subterránea de elementos relacionados con la mineralización del depósito en profundidad (Gray, 1998, 2001; Gray & Pirlo, 2005; Leybourne & Cameron, 2006, 2008; Taufen 1997). En aguas subterráneas de Inca de Oro, son varios los elementos que se presentan en mayores concentraciones en muestras de agua en contacto con la

roca y que pueden ser potenciales indicadores de la mineralización en profundidad (por ejemplo Cu, Mo, Mn, Re, Zn y W). Sin embargo, el uso de estos elementos debe hacerse teniendo en consideración los procesos que los afectan (como la adsorción en el caso de Cu, Mn y Zn), y que varían según las condiciones físico-químicas de cada sistema, tal como se argumentó para el caso del Mo. De acuerdo a esto, Re y W, presentan características similares al Mo, aunque W presenta mayores variaciones entre muestras filtradas y no filtradas. El Re puede encontrarse asociado a minerales sulfurados de molibdeno (molibdenita, MoS_2) y W también se asocia a Mo (Montero-Serrano *et al*, 2009).

La asociación de elementos responde a distintos controles como la litología o mineralización de la roca circundante así como también a características químicas propias de cada elemento. Esto, en conjunto con la variabilidad estacional en las concentraciones de los elementos, permite determinar los elementos de interés en una potencial campaña de exploración. Por ejemplo, no es conveniente analizar elementos con alta variabilidad estacional, en especial si las interpretaciones se realizarán en base a una sola campaña de muestreo.

En el caso de Inca de Oro, de acuerdo a la variabilidad estacional observada en las concentraciones elementales en agua subterránea, como se describió en el Capítulo 9, se distinguen tres grupos de elementos: elementos que no varían su concentración en el tiempo, elementos que varían levemente o sólo en algunas muestras, pero manteniendo la tendencia general, y elementos variables.

De los elementos analizados, el aluminio es el que presenta mayores variaciones en su concentración, y su ocurrencia probablemente se encuentra asociada a la ocurrencia de arcillas en la zona lixiviada del depósito. En las campañas de invierno y otoño, las concentraciones de este elemento aumentan un orden de magnitud respecto de las campañas de verano y primavera. En el primer caso los promedios de concentración están entre 2100 y 2400 ppb mientras que en el segundo caso entre 600 y 800 ppb. Un comportamiento similar se observa en el caso del Fe cuyos promedios de concentraciones alcanzan los 1450 y 1350 ppb en verano y primavera, y 3400 y 4800 ppb en invierno y otoño, respectivamente. El aumento de concentración, aunque no de manera tan significativa como en los casos anteriores, en las campañas de invierno y otoño también se observa en las concentraciones de Cr, Mn, Ni, P, Pb, Si, V, Y y Zn.

La alta variabilidad de Al y Fe puede ser explicada por el hecho que las muestras no fueron filtradas al momento del muestreo (a excepción de la última campaña). Según Cameron (1996), si las muestras de agua son pasadas a través de un filtro de $0,45 \mu\text{m}$, las especies en ellas son

consideradas como disueltas. Por lo tanto, las muestras no filtradas y acidificadas considerarían especies disueltas y material en suspensión. Fe, Mn y Al estarían presentes en gran medida con material suspendido, presentando mayor variación estacional (Leybourne y Cameron, 2008). Esto es avalado por los resultados de la última campaña de muestreo, donde Al, Fe y Mn presentan las mayores diferencias entre muestras filtradas y no filtradas (Figura 10.10), aumentando la concentración hasta 1000 veces en el caso del Fe, en muestras no filtradas. Es decir, la variación en su concentración refleja en gran medida las variaciones estacionales en la cantidad de material suspendido en la solución. Similares resultados se observan en estudios en muestras de agua superficial de ríos (Cidu y Frau, 2009), donde elementos como el Al, Fe, Mn, Pb, Zn, Cd, Cu, Co, Ni, Cs, Y, REE y Th mostraron marcadas diferencias entre sus concentraciones totales (muestras no filtradas) versus sus concentraciones disueltas (muestras de agua filtradas). Como ya ha sido expuesto anteriormente, estos elementos son transportados preferentemente vía procesos de adsorción en partículas finas como óxidos o hidróxidos de Fe (que poseen afinidad para adsorber metales bajo condiciones de pH neutro a alcalino) y arcillas, en especial si se trata de iones positivos, como Zn, Cd y Ni.

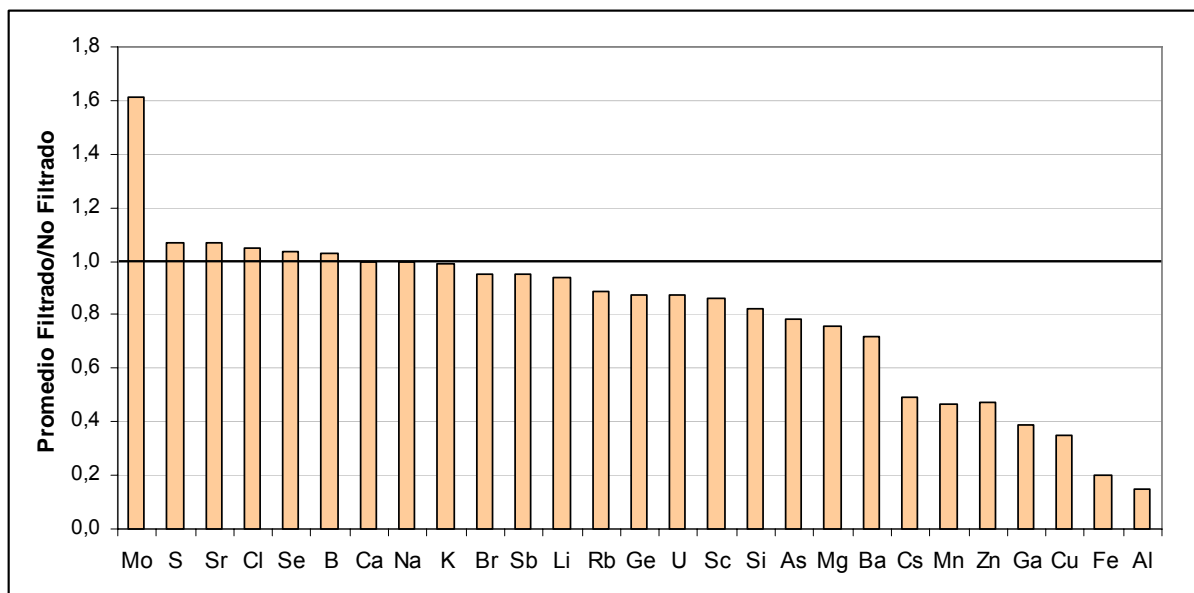


Figura 10.10 Gráfico de barras con los promedios elementales de razones de muestras filtradas/no filtradas. Se observa que Mn, Zn, Cu, Fe y Al ocurren principalmente como material suspendido.

Cabe destacar que tanto Al como Fe y Mn, como se indicó en el Capítulo 7, no cumplen con los estándares de calidad exigidos, en particular, el control de calidad de terreno, debido principalmente a la alta variabilidad en las concentraciones entre muestras duplicados y originales. La alta afinidad con la fase de sedimento suspendido, explicaría la alta variabilidad reportada. Esto es ratificado con los resultados en los cálculos de saturación mineral, donde se observa una alta variación estacional en índices de saturación relacionados con estos elementos, es decir, la fase mineral respectiva puede pasar del equilibrio a la sobresaturación con respecto a la solución en períodos cortos de tiempo, incluso meses. La inestabilidad de estos elementos explica por qué ellos no cumplen con el control de calidad, ya que la reproducibilidad del muestreo en este caso difícilmente se alcanza. Por todos estos motivos estos elementos de todas formas fueron incluidos en los análisis e interpretaciones posteriores, y excluirlos significaría, en realidad, pérdida de información.

El aumento de concentración de metales relacionados a la mineralización y alteración del depósito de Inca de Oro, así como también el aumento de sulfato y TDS es consistente con reacciones agua-roca activas entre el agua subterránea y el depósito. La saturación mineral calculada a partir de los análisis de las aguas, sugieren que minerales secundarios de Cu, como tenorita, malaquita o brocantita, podrían formarse si las condiciones de saturación y la cinética así lo permiten. Otros minerales de cobre como delafosita y CuFe_2O_4 , que corresponden a óxidos de Fe y Cu, se encuentran totalmente sobresaturados en las muestras de agua, sugiriendo que las condiciones son aptas para la precipitación de estos minerales. La delafosita, en particular, se observa en algunas muestras de testigos de la zona de óxidos de Inca de Oro (Puig, 2006). Es decir, los índices de saturación calculados muestran resultados concordantes con la mineralogía observada en el depósito.

El hierro se encuentra en su estado oxidado (Fe^{3+}) y puede precipitar como óxido o hidróxido. Según los índices de saturación calculados, el agua subterránea en Inca de Oro se encuentra sobresaturada en minerales como $\text{Fe}(\text{OH})_{2.7}\text{Cl}_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Fe}_3(\text{OH})_8$, además de jarosita, hematita, goethita y magnetita. Estos minerales también han sido reportados en la zona de oxidación de Inca de Oro.

Todo esto sugiere que las zonas de óxidos y lixiviadas de la parte superior del depósito son las que influyen directamente en la composición del agua subterránea muestreada, demostrando que los procesos de interacción del agua subterránea con la zona de mineralización supérgena de Inca de Oro se encuentran activos. La litología y mineralogía de alteración, en cambio, no parecen ejercer un control importante en la concentración de elementos mayores y traza ni en la saturación mineral en el nivel freático, salvo, la meteorización de silicatos de la roca de caja, como por ejemplo, la albita o

anortita que da como resultado montmorillonita y que en las muestras de agua se encuentra sobresaturada. Sin embargo, la mineralogía de ganga puede ejercer un control buffer de pH, capaz de neutralizar en drenaje ácido.

Por otro lado, la movilidad de los elementos también es un factor importante a considerar, pues la generación o no de una pluma de dispersión, a partir de mineralización o del depósito, en el agua subterránea depende directamente de esta propiedad. Es decir, el entendimiento de la movilidad de los elementos permite interpretar posibles patrones de dispersión geoquímica. A su vez, esta movilidad es controlada por tres procesos fundamentales: la especiación de elementos en la solución, la precipitación mineral y los procesos de adsorción (Taufen, 1997).

En el sector de estudio, el área del depósito es de aproximadamente 1 km² (Figura 10.1). Las muestras tomadas aguas abajo se encuentran de 1,5 a 2 km al norte del depósito. La dispersión de elementos aguas abajo sólo se observa en elementos como el Cl, Br, Na, Cs, B y S, y especies como SO₄. Sin embargo, los elementos de interés, relacionados a la mineralización del sector, como el Cu, Mo, Zn y W, disminuyen sus concentraciones al salir del depósito, el transporte de estos elementos siendo menor a 1,5 km. En el caso de Cu y Zn, como se discutió anteriormente, la dispersión horizontal puede ser limitada principalmente por procesos de adsorción, o por la precipitación/co-precipitación de óxidos e hidróxidos. No se descarta, sin embargo, que las muestras tomadas aguas abajo posean una signatura química influenciada por otros flujos subterráneos, puesto que no se tienen datos hidrológicos de esta zona que permitan conocer la dirección de las aguas y sus posibles aportes subterráneos.

Según los resultados obtenidos en la campaña de Marzo de 2009, los elementos que son transportados preferentemente por partículas en suspensión o coloides son: Cu, Mn, Zn, Al y Fe (en particular, Al, Fe, Mn, junto con Si, pueden formar coloides). La concentración de estos elementos en el agua tiende a disminuir aguas abajo, lo que sugiere que el transporte mediante coloides no es un mecanismo importante de dispersión de elementos (sino un limitante), probablemente debido a que las partículas pueden quedar atrapadas en los poros del medio hospedante (gravas) al salir del depósito, o debido a cambios en las condiciones físico-químicas de ambos medios, en particular, el pH.

En el caso del Mo, si bien las concentraciones disminuyen aguas abajo en relación a las muestras sobre el depósito, los valores medidos en las muestras AR-10143 e IDO-2 (entre 13 y 20 ppb), ubicadas aguas abajo, son mayores que en aguas muestreadas aguas arriba del depósito y están por

sobre las concentraciones normalmente encontradas en agua subterránea (que varían entre 1,5 a 3 ppb), lo que sugiere que este elemento tiende a mantenerse en solución aguas abajo del depósito. Como se ha discutido anteriormente, este elemento, al encontrarse como oxoanión, no es adsorbido ni transportado por partículas en suspensión, por lo que tiende a mantenerse en solución.

El comportamiento catión/anión (la especiación, que depende de factores como el pH y Eh) de cada elemento determina los mecanismos de transporte de estos y su movilidad. Por esta razón se debe precisar si las concentraciones reportadas por los laboratorios corresponden a elementos realmente disueltos en la solución o a concentraciones “totales”, que en caso del molibdeno no debieran variar, pero sí en el caso de cationes. En este sentido, el clima de la zona de muestreo juega un rol importante, puesto que en zonas lluviosas, o zonas con recargas importantes, la cantidad de material en suspensión puede variar notablemente. En el caso de Inca de Oro, al tratarse de una zona árida, la recarga anual es pequeña, además, las lluvias registradas son de carácter torrencial y el rápido escurrimiento dificulta la infiltración en el suelo.

La figura 10.11 muestra un esquema de las concentraciones promedio de varios elementos y especies en las muestras de agua de Inca de Oro (promedio de todas las campañas de muestreo). Se muestra la ubicación del depósito a través de un perfil de mineralización, y la profundidad aproximada del nivel de aguas freáticas. Se observan los distintos patrones de dispersión de elementos descritos anteriormente y su relación con el tipo de medio muestreado (grava-roca).

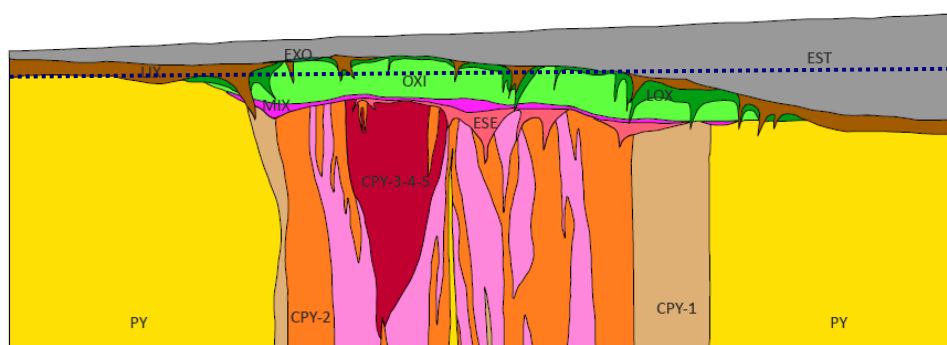
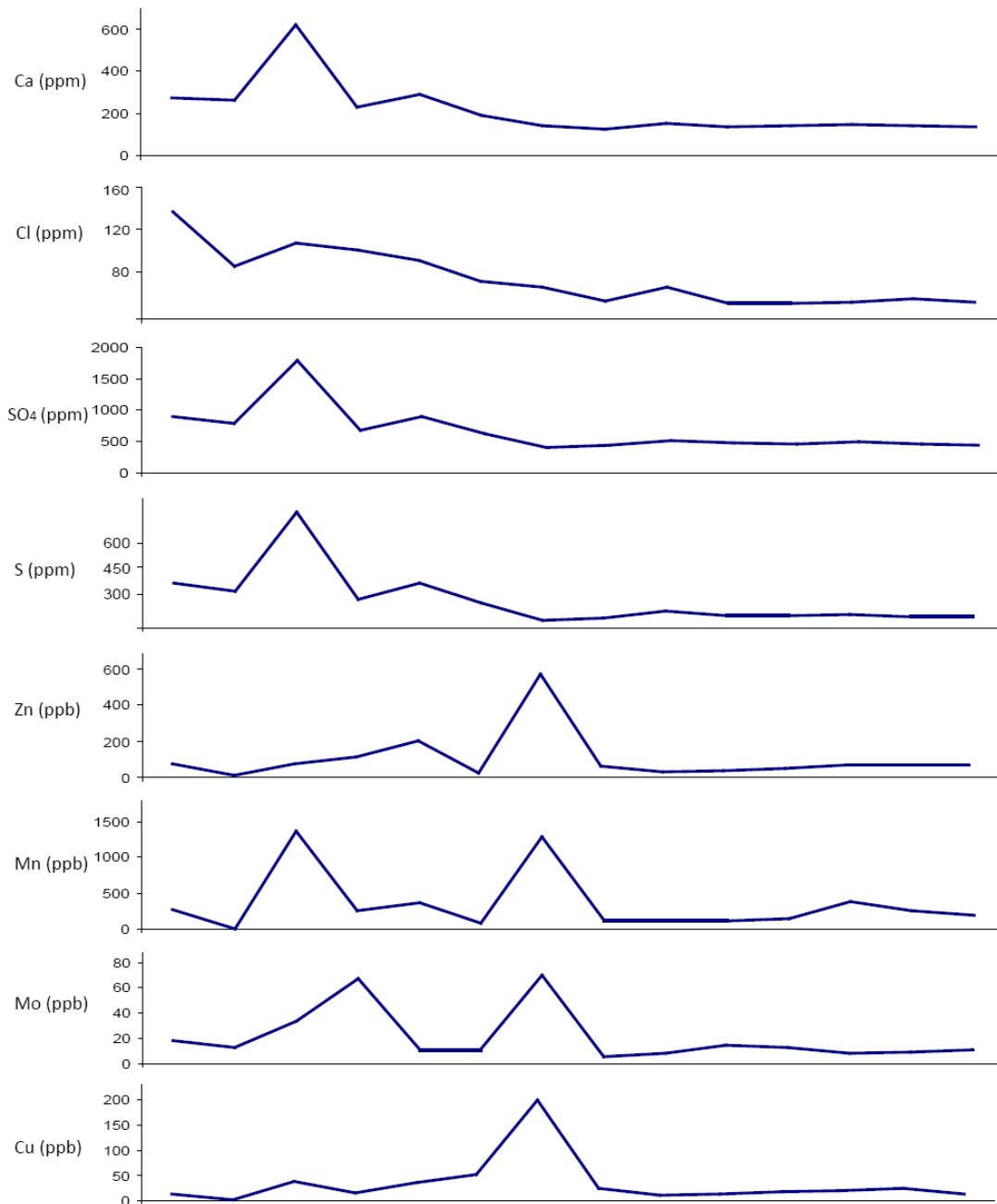


Figura 10.11 Concentraciones promedio de algunos elementos mayores y traza en muestras de agua de Inca de Oro. Los perfiles corresponden a las muestras ordenadas de NW a SE. Se incluye además el perfil 7040500N de mineralización del depósito.

La dispersión de elementos no sólo ocurre de manera horizontal. La dispersión vertical de éstos también es factible y los procesos involucrados han sido reconocidos recientemente, con importantes repercusiones en el entendimiento de la generación de anomalías geoquímicas en superficie, generadas a partir de un cuerpo mineralizado bajo cobertura.

La migración de elementos desde la fuente hacia superficie, y las anomalías generadas por este proceso, han sido explicadas por diversos autores por mecanismos como la difusión, advección, celdas electroquímicas, transporte por vapor y bombeo sísmico (Cameron *et al.*, 2004; Leybourne & Cameron, 2006). Por ejemplo, en el depósito Spence, ubicado en la región de Antofagasta, la alta salinidad en muestras de agua (que superan en algunos casos los 40000 ppm) ha sido explicada por mezcla con aguas salinas profundas, las que habrían ascendido a través de zonas de fracturas, favorecido por el bombeo generado durante la actividad sísmica. Como evidencia de que estas aguas alcanzaron la superficie, se reportó anomalías de varios elementos, entre ellos, Cu, en muestras de suelo asociadas a estas fracturas en superficie. Estos procesos no son observados en Inca de Oro, donde la composición de las muestras de agua no evidencian aporte de aguas profundas, por el contrario, el agua subterránea es ligeramente salobre (con un máximo de 2800 ppm) e incluso hay muestras de agua fresca (< 1000 ppm), y donde anomalías de metales base en muestras de suelo relacionadas a fracturas en superficie no han sido observadas (López, 2010; *en prep.*).

Por otra parte, los procesos que controlan la composición del agua en Inca de Oro, discutidos anteriormente, como la especiación y adsorción, tienen consecuencias en la disponibilidad de elementos en el agua subterránea capaces de migrar desde la solución, ya sea por procesos de difusión, capilaridad, evaporación, gases, etc. En este sentido, la migración vertical de metales base puede ser limitada por la adsorción a partículas en suspensión (por ejemplo, a arcillas), o por la precipitación de óxidos como en el caso del Cu, al contrario de elementos que no son afectados por estos procesos (como por ejemplo, Na, K, Cl, B, Br, Se, Ca y Mo) y que podrían, por lo tanto, estar más disponibles para migrar desde la solución. Dentro de los mecanismos de transporte, la capilaridad y evaporación/precipitación son procesos que podrían explicar las observaciones en muestras tomadas en la cobertura del depósito, que interceptan la tabla de aguas, donde la concentración de algunos metales como Cu y Pb aumenta en la cobertura inmediatamente sobre el nivel freático de aguas subterráneas en la zona marginal del depósito (Luca, 2010, *en prep.*). Cabe destacar que estos mecanismos de transporte son limitados a unos pocos metros por sobre el nivel de aguas subterráneas y son menos eficientes que, por ejemplo, el bombeo tectónico. Además, la ocurrencia de estos procesos en Inca de Oro, es un tema que requiere mayor estudio e investigación.

La disponibilidad de elementos en la solución también depende de procesos como la disolución/precipitación de minerales. En la Figura 10.12 se muestran los índices de saturación del yeso, rodocrosita, brocantita y tenorita como ejemplo, para cuatro campañas de terreno en el área del depósito. La saturación de yeso aumenta en el sentido del flujo conforme aumenta la concentración de calcio y sulfato en el agua. Las concentraciones más altas de manganeso y cobre coinciden con el aumento de saturación de minerales relacionados a ellos. A su vez, el aumento en la saturación de minerales oxidados de cobre se relaciona directamente con la mineralización observada en el nivel muestreado (Figura 10.6)

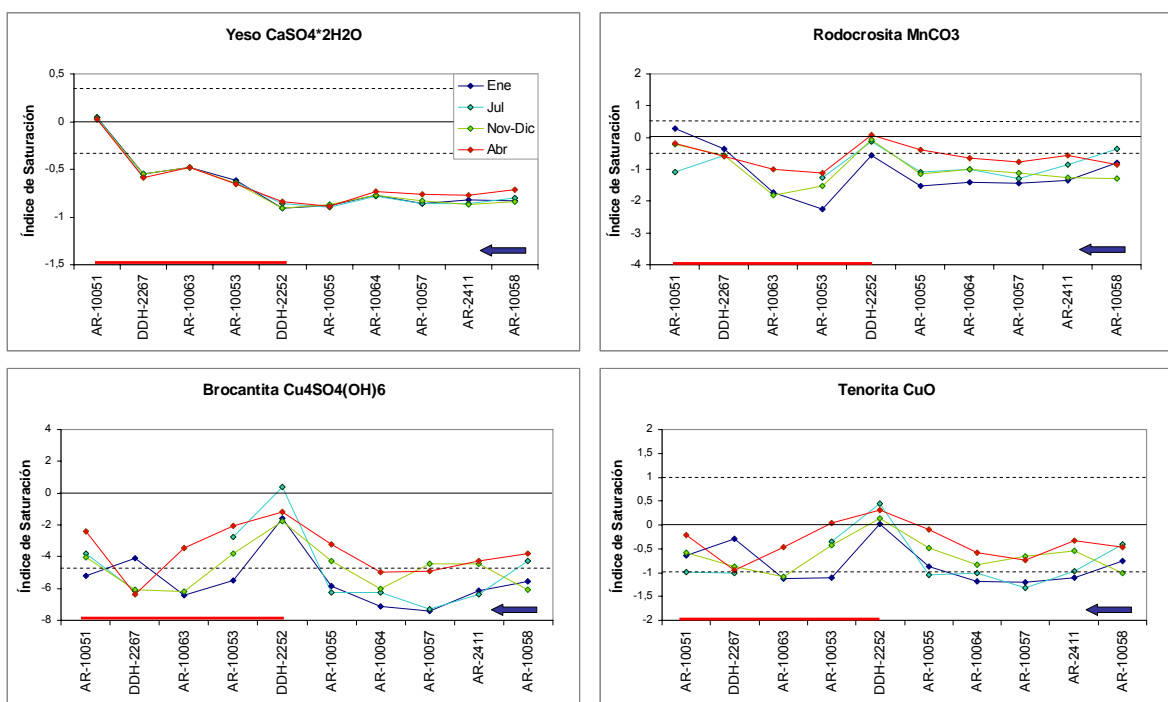


Figura 10.12 Ejemplos de índices de saturación calculados a partir de la concentración de elementos en muestras de agua. Las muestras se encuentran ordenadas de NW a SE. La flecha azul indica el sentido del flujo. La línea roja indica la ubicación de muestras en roca. La línea continua indica el equilibrio con la solución.

En la figura anterior, el rango de equilibrio del mineral con la solución se indica con líneas punteadas. Se puede ver que a lo largo del flujo la fase mineral respectiva puede pasar de estar en disolución, al equilibrio, al menos de manera teórica, pues las reacciones implican una cinética que no se incluye en este tipo de modelamiento. Los resultados mostrados en el capítulo 9 y en el anexo 5.10 muestran además la variabilidad anual de la saturación mineral, de acuerdo a la variabilidad estacional en las concentraciones de elementos. Es decir, la forma en que se encuentra una fase mineral (disuelta, en

equilibrio o precipitada) no es constante en el tiempo, lo que influye directamente en la movilidad y disponibilidad de los elementos en la solución.

En resumen, el grado de meteorización, la especiación y los procesos de adsorción parecen ser los factores clave que afectan la concentración y el transporte de los elementos traza en el agua subterránea en Inca de Oro. La disponibilidad de elementos varía entre campañas de muestreo, lo que queda evidenciado por la variabilidad estacional en su concentración y en los índices de saturación mineral, por lo tanto, la disponibilidad de elementos para migrar desde la solución a superficie, es también variable y dependiente de las condiciones físico químicas del sistema, de la interacción agua-roca y de la cinética involucrada en estas reacciones.

Por último, se debe mencionar que, si bien la profundidad del muestreo no permite relacionar directamente las características del agua subterránea con procesos de oxidación de sulfuros primarios en el depósito, sí se observan efectos indirectos de estos procesos, como el aumento en la concentración de sulfatos en las muestras de agua sobre el depósito, o la saturación de óxidos e hidróxidos de Fe y Cu en el agua. Las muestras obtenidas bajo el nivel freático no exhiben diferencias significativas tanto en las condiciones físico-químicas como en la geoquímica elemental, respecto de las muestras tomadas a la profundidad del nivel freático. Esto, probablemente debido a que la profundidad del muestreo no es suficiente como para alcanzar condiciones físico-químicas distintas, por ejemplo, de pH más ácido (dado por la oxidación de sulfuros). De la misma forma, las comunidades bacterianas observadas en las muestras de agua subterránea (en todos los niveles muestreados) no son del tipo hierro-oxidantes o azufre-oxidantes, que se asocian a la oxidación y desintegración de minerales sulfurados, sino que son de un tipo indeterminado, acorde con las características del nivel de aguas muestreado.

11. CONCLUSIONES

- El agua subterránea de Inca de Oro presenta un pH neutro a levemente alcalino (entre 6.6 y 8), es oxidante, salobre en promedio (1127 ppm) y corresponde a un tipo de agua sulfatada cálcica, concordante con procesos de oxidación de sulfuros y/o meteorización de minerales sulfatados. A nivel regional, la salinidad es similar, e incluso en algunos casos menor, a las muestras de agua del Valle del Río Copiapó (1382 ppm en promedio), ubicado al sur del área de estudio. Sin embargo, el agua de Inca de Oro contiene mayores concentraciones de sulfatos, Cu, Fe, Mn y Mo, respecto del background regional. Las concentraciones de estos últimos dos elementos son comparables con muestras de agua de otros depósitos tipo pórfido cuprífero del Norte de Chile (Spence).
- El estudio de los parámetros físico-químicos del agua subterránea en Inca de Oro y sus alrededores, junto con el análisis de sus componentes químicos, permite diferenciar el agua del sector de estudio en dos tipos:
 - a) agua subterránea hospedada en roca, correspondiente a la unidad hidrogeológica de rocas con porosidad adquirida, y
 - b) agua subterránea hospedada en grava, que corresponde a la unidad hidrogeológica de sedimentos clásticos.Esta clasificación es válida para el entorno del depósito de Inca de Oro, mientras que las muestras recolectadas fuera de este entorno, solo muestran algunos parámetros acordes con esta clasificación, lo que es consistente con la influencia de flujos de agua subterránea de distinta procedencia.
- La composición del agua subterránea en Inca de Oro es controlada por la interacción del agua con la roca. La litología, alteración y en particular, la mineralización de las rocas en la profundidad del nivel freático, influyen en las características químicas del agua subterránea, evidenciado por las concentraciones de elementos asociados a los depósitos tipo pórfido cuprífero, como Cu, Mo, Mn y en menor medida Zn, que aumentan en las muestras de agua en contacto con la mineralización del depósito, así como también a las fases minerales en equilibrio (minerales de

Cu oxidados) y sobresaturadas (óxidos de Cu y Fe) con respecto a la solución, mostradas a partir del cálculo de índices de saturación.

- Los resultados obtenidos (mayores concentraciones de TDS, sulfatos, Ca, Na, Cl, Cu, Mn, Mo y Zn, entre otros, en muestras de agua en roca respecto de muestras en grava, y la saturación de minerales de Cu y Fe en muestras de agua en contacto con la mineralización supérgena del depósito) muestran la existencia de procesos activos de interacción agua-roca, evidenciados en los contrastes de los resultados entre agua hospedada en roca y agua hospedada en grava, en algunos casos y para algunos elementos, con evidentes variaciones estacionales.
- La profundidad del muestreo no permite relacionar directamente las características del agua subterránea con los procesos de oxidación de un depósito tipo pórfido cuprífero, puesto que no se trata de aguas profundas en contacto directo con el cuerpo mineralizado, sino que a aguas freáticas en movimiento, por los que parámetros como el pH y Eh corresponden a este tipo de agua. Sin embargo, sí proporcionan pruebas indirectas de estos procesos, evidenciadas principalmente en la concentración de sulfatos, que aumenta en el agua en contacto con la roca mineralizada, y cuyas concentraciones son levemente mayores al agua subterránea del valle del río Copiapó, ubicado al sur del área de estudio, y en los productos de estos procesos como óxidos e hidróxidos de Fe y Cu.
- Además de la interacción agua-roca, los procesos de adsorción ejercen un control importante en la composición del agua subterránea en Inca de Oro. La diferencia de concentraciones de algunos elementos (como Al, Fe, Mn, Cu, Zn y Cs) entre muestras filtradas y no filtradas pone en evidencia que estos elementos son afectados por procesos de adsorción a material en suspensión. Esto explica la variabilidad estacional en las concentraciones de estos elementos, en particular, las altas variaciones de Al, Fe y Mn en muestras de agua, por lo tanto, la variabilidad estacional en los índices de saturación de minerales asociados a ellos. Esta característica debe tenerse en cuenta al momento de evaluar el control de calidad (especialmente el de terreno) de los análisis de estos elementos, ya que al no cumplir con los estándares, excluirlos de posteriores interpretaciones, puede significar la pérdida de información.

- Las condiciones físico-químicas del agua subterránea influyen y determinan directamente las especies en solución de cada elemento químico. Esta especiación, a su vez, influye en la movilidad y disponibilidad de los elementos y, por lo tanto, en su posterior migración a la zona subsaturada. Por ejemplo, en el caso del cobre, en las condiciones de pH y Eh del agua de Inca de Oro, la especie predominante es $\text{Cu}(\text{OH})_2$, la movilidad es limitada y frecuentemente se espera que el cobre pueda ser adsorbido en superficies minerales o en partículas coloidales, o que precipite/co-precipite con hidróxidos de Fe o como óxidos secundarios de Cu. Otros cationes que son susceptibles a ser adsorbidos son Mn, Pb y Zn. En el caso del molibdeno, la especie predominante es el oxoanión MoO_4^{2-} , es móvil y no es adsorbido por partículas en suspensión. Elementos como Se, Re presentan características similares al Mo.
- La variabilidad estacional y el comportamiento catión/anión de los elementos, debe ser tomado en cuenta al momento de organizar una campaña de muestreo, así como los objetivos de ésta. Para realizar correctas interpretaciones, es necesario identificar aquellos elementos cuya concentración tiende a variar según las condiciones hidrodinámicas de la zona de muestreo. De lo contrario, las interpretaciones basadas en una sola campaña pueden llevar a resultados incorrectos.
- La disponibilidad de elementos en solución varía anualmente, lo que queda evidenciado por la variabilidad estacional tanto en concentraciones (principalmente para elementos como Al, Cr, Ba, Fe, Ni, Co, P, Sc, Zn y Pb) como en los índices de saturación mineral (por ejemplo para minerales como alunita, $\text{Fe}_3(\text{OH})_8$, jarosita y strengita), por lo tanto, la disponibilidad de elementos para migrar desde la solución a superficie, por ejemplo, por procesos de capilaridad o evaporación, es también variable en el tiempo y dependiente de las condiciones físico químicas del sistema, de la interacción agua-roca y de la cinética involucrada en estas reacciones.
- La dispersión de elementos aguas abajo del depósito sólo se observa para elementos como Cl, Br, Na, Cs, B y S, y especies como SO_4 . Otros elementos como Cu, Mn y Zn, disminuyen sus concentraciones al salir del depósito. La asociación de estos elementos con material en suspensión sugiere que el transporte mediante coloides no es un mecanismo importante de dispersión, probablemente debido a que las partículas quedan atrapadas en los poros de la grava, o bien, por cambios en las condiciones físico-químicas del medio hospedante. Por otra

parte, en cuanto a la dispersión vertical de elementos desde la solución, mecanismos como el bombeo tectónico no han sido observados en Inca de Oro. Otros mecanismos como la capilaridad y evaporación podrían ocurrir, pero esto debe ser mejor investigado y demostrado. Los procesos de adsorción que afectan a elementos como el Cu y los metales base, podrían ser un limitante en la migración vertical de elementos desde la solución.

- Los resultados obtenidos en la comparación de muestras filtradas versus no filtradas muestran varios elementos que no varían su concentración según el tipo de muestreo (como Mo, S, Sr, Cl, Se, B, Ca, Na, K, Br, Sb y Li). En particular, el molibdeno, como se mencionó anteriormente, no es adsorbido por partículas en suspensión. Esta propiedad en conjunto con la mínima variación de su concentración en el agua a lo largo de las distintas campañas, el hecho que es un elemento relativamente fácil de lixiviar desde la roca fuente y poco común en aguas naturales (con concentraciones del orden de 1,5 a 3 ppb) y las altas concentraciones registradas en muestras de agua subterránea de Inca de Oro (hasta 100 ppb), lo convierte en un elemento confiable como indicador de mineralización sulfurada y, por lo tanto, su uso en campañas de exploración puede llegar a ser efectivo en la detección de este tipo de depósitos. Por otra parte, elementos como Cu, Mn y Zn son transportados preferentemente por partículas coloidales y pueden precipitar en la forma de óxidos/hidróxidos, por lo que su concentración en muestras de agua presenta mayor variabilidad, por lo que el uso de estos elementos como indicador de mineralización debe ser más cuidadoso.
- Las muestras tomadas a aproximadamente 10 y 20 metros bajo el nivel freático no muestran diferencias significativas respecto de aquellas tomadas en la profundidad del nivel freático. Esto, probablemente se explica porque la profundidad de muestreo no fue suficiente como para alcanzar condiciones físico-químicas distintas, ni el contacto con sulfuros primarios, donde los procesos de oxidación generan condiciones de pH más ácido.
- Las características hidrogeológicas del sector, como el gradiente hidráulico, la permeabilidad de las rocas y el contacto con las distintas unidades hidrogeológicas, influyen directamente en la velocidad del flujo subterráneo y, por lo tanto, en el tiempo de residencia del agua en el medio hospedante, lo que a su vez influye en los procesos de interacción agua-roca y en la composición química del agua.

- El análisis bacteriológico de las muestras de agua indica que, a la profundidad muestreada, con las técnicas empleadas, es posible observar comunidades bacterianas pero no del tipo hierrooxidantes o azufreoxidantes, sino que de un tipo indeterminado, cuyo análisis escapa de los objetivos de este trabajo.
- Los depósitos de mena constituyen fuentes naturales de contaminación, puesto que las interacciones del agua con el depósito pueden concentrar los elementos en cantidades que superan los límites nocivos para la salud. En este sentido, la caracterización química y físico-química del agua subterránea en Inca de Oro, es importante para definir una línea base pre-producción.
- El muestreo de aguas subterráneas puede constituir una herramienta de exploración interesante en zonas cubiertas, y puede constituir un complemento en campañas de perforación de sondajes, donde frecuentemente se intercepta en nivel freático. El estudio de las condiciones químicas y físico-químicas del agua permiten entender la movilidad de elementos y patrones de dispersión, útiles tanto en exploración mineral como en geología ambiental. Si bien, el muestreo y análisis de agua subterránea puede presentar complicaciones, las herramientas computacionales existentes permiten obtener mayores provechos de un análisis químico de agua y, por supuesto, de sus interpretaciones. En este sentido, la toma de muestras debe hacerse con un protocolo de muestreo riguroso en cuanto al manejo y preservación de la muestra. Los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser utilizados en la búsqueda de indicadores de mineralización en una posible campaña de exploración hidrogeoquímica, teniendo en cuenta las condiciones físico-químicas, en particular las condiciones Eh/pH, de cada sistema. No existe un método único que garantice respuestas favorables, puesto que estos procesos pueden involucrar reacciones químicas muy complejas de interpretar, que son altamente variables frente a pequeños cambios en las condiciones físico-químicas del lugar, y dependientes de diversos factores como el clima, la hidrología, y geología de la zona de estudio.

REFERENCIAS

- Aguirre, I., 1999. Hidrogeología del valle del río Copiapó entre el tranque Lautaro y Piedra Colgada. Tesis de Magíster, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.
- Alpers, C.N., Brimhall, G.H., 1988. Middle Miocene climatic change in the Atacama Desert, northern Chile: evidence from supergene mineralization at La Escondida. *Geological Society of America Bulletin*, v. 100, p. 1640-1656.
- Aspandiar, M., Anand, R., and Gray, D., 2006. Mechanisms of Metal Dispersion Through Transported Cover: A Review. CRC Leme Report 230.
- Baeza, L., Chiang, O., Cruz, G., Faúndez, P., Henríquez, H., Kovacic, P., Marquardt, J. C., Morgado, M., Retamal, P., Rivera, S., Segovia, M., Vicencio, H., Villegas, P., Vukasovic, M., y Yañez, L. 2008. Proyecto Inca de Oro, Informe de Exploración Avanzada 2005-2007, Versión 2.1 Corporación Nacional del Cobre de Chile, Vicepresidencia Corporativa de Desarrollo, Gerencia Corporativa de Exploraciones y Exploraciones Mineras Andinas S.A. Informe Interno.
- Cameron, E. M., 1996. Hydrogeochemistry of the Fraser River, British Columbia: seasonal variation in major and minor components. *Journal of Hydrology*, 182, p. 209-225.
- Cameron, E., Hamilton, S., Leybourne, M., Hall, G., and McClenaghan, M., 2004, Finding deeply buried deposits using geochemistry. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, Vol. 4, p. 7-32.
- Cameron, E., Leybourne, M., and Palacios, C., 2007, Atacamite in the oxide zone of copper deposits in northern Chile: involvement of deep formation waters?. *Miner Deposita*, Vol. 42, p. 205-218.
- Carrillo-Chávez, A., 2002, Notas del Curso: Hidrogeoquímica Ambiental, Centro de GeoCiencias UNAM.
- Chávez, W., 2006, Preliminary summary report of samples from the Inca de Oro property. Occurrence of copper within the oxides assemblages. Codelco Chile, Informe Interno.
- Christensen, T.H., Bjerg, P.L., Banwart, S.A., Jakobsen, R., Heron, G., and Albrechtsen, H., 2000, Characterization of redox conditions in groundwater contaminant plumes. *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 45, p. 165-241.
- Cidu, R. and Frau, F., 2009. Distribution of trace elements in filtered and non filtered aqueous fractions: Insights from rivers and streams of Sardinia (Italy). *Applied Geochemistry*, Vol 24, p. 611-623.
- Davis, J. C., 2002, *Statistics and Data Analysis in Geology*, Third Edition. Editorial Willey.
- Drever, J., 1997. *The Geochemistry of Natural Waters*. Prentice Hall, Third Edition.
- Gray, D., 1998, Hydrogeochemistry in the Mount Gibson Gold District, CRC Leme Open File Report 21, 87 p.
- Gray, D., 2001, Hydrogeochemistry in the Yilgarn Craton. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, Vol. 1, p. 253-264.
- Giblin, A., 2001, *Groundwaters: Geochemical Pathfinders to Concealed Ore Deposits*. CSIRO Exploration and Mining.
- Gray, D. and Pirlo, M., 2005, Hydrogeochemistry of the Tunkillia Gold Prospect, South Australia, CRC Leme Open File Report 194/CSIRO EM Report P2005/326, 109 p.
- Hamilton, S., Cameron, E., McClenaghan, M. and Hall, G., 2004. Redox, pH and SP variation over mineralization in thick glacial overburden. Part I: methodologies and field investigation at the Marsh Zone gold property. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, Vol. 4, p. 33-44.

- Hem, J. D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, U.S Geological Survey Water-Supply Paper 2254, Third Edition.
- Henríquez, H., Enero 2007, Hidrogeología Proyecto Inca de Oro, Sector Inca de Oro. Gerencia Corporativa de Exploraciones, Codelco Chile. Informe interno.
- Henríquez, H., Abril 2007, Hidrogeología Proyecto Inca de Oro, Sector Artemisa y Sector Inca Bravo. Gerencia Corporativa de Exploraciones, Codelco Chile. Informe interno.
- Highsmith, P., 2004. Overview of soil gas geochemistry. Explore newsletter, n. 122, Association of Exploration Geochemists.
- Holland, H. D., and Turekian, K., K., 2003, Treatise on Geochemistry, Volume 1, Meteorites, Comets and Planets. Edited by Andrew M. Davis, Elsevier.
- Ingeniería y Geotecnia Limitada, 1981. Evaluación Recursos Hídricos y Alternativas de Abastecimiento de Aguas, Provincia de Chañaral, Región de Atacama, Tomo I.
- Kelley, D., Kelley, K., Coker, W., Caughlin, B., and Doherty, M., 2006, Beyond the Obvious Limits of Ore Deposits: The Use of Mineralogical, Geochemical and Biological Features for the Remote Detection of Mineralization. Economic Geology, Vol. 101, p. 729-752.
- Leybourne, M., and Cameron, E., 2006, Composition of groundwaters associated with porphyry-Cu deposits, Atacama Desert, Chile: Elemental and Isotopic constrains on water sources and water-rock reactions. Geochimica et Cosmochimica Acta 70, 1616-1635.
- Leybourne, M., and Cameron, E., 2006, Composition of Soils and Groundwater at the Pampa del Tamarugal, Chile: Anatomy of a Fossil Geochemical Anomaly Derived from a Distant Porphyry Copper Deposit. Economic Geology, Vol. 101, p. 1569-1581.
- Leybourne, M., and Cameron, E., 2008, Source, transport and fate of rhenium, selenium, molybdenum, arsenic and copper in groundwater associated with porphyry-Cu deposits, Atacama Desert, Chile. Chemical Geology, Vol. 247, p. 208-228.
- López, F., 2010. Caracterización del regolito y evolución de paisaje en el distrito Inca de Oro, región de Atacama, y detección de yacimientos bajo cobertura transportada. Tesis de Magíster, Departamento de Geología, Universidad de Chile, *en preparación*.
- Luca, R., Townley, B., Escobar, B., and Vargas, T., 2008, Formation of hydrocarbon gaseous compounds during bioleaching of copper-sulphide minerals with mesophilic microorganism. Hydrometallurgy, doi: 10.1016/j.hydromet.2008.05.021.
- Luca, R., 2010. Procesos de oxidación química y bioquímica en rocas sulfuro mineralizadas y relación con la generación de iones libres y gases de hidrocarburos: Aplicación a la exploración de yacimientos bajo cobertura. Tesis de Doctorado, Departamento de Geología, Universidad de Chile, *en preparación*.
- Majagi, S., Vijaykumar, K., Rajshekhar, M. and Vasanthkumar, B., 2008. Chemistry of Groundwater in Gulbarga District, Karnataka, India. Environmental Monitoring Assessment 136: 347-354.
- Mann, A. W., Birrel, R. D., Fedikow, M. A. F., and De Souza, H. A. F., 2005, Vertical Ionic Migration: mechanisms, soil anomalies, and sampling depth for mineral exploration. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, Vol. 5, p. 201-210.
- Mapa Hidrogeológico de Chile, escala 1:2500000, 1986. Dirección General de Aguas.
- Matthews, S. J., Cornejo, P., Riquelme, R., 2005, Geología de la Hoja de Inca de Oro, Región de Atacama, escala 1:100000. Subdirección Nacional de Geología.
- Merkel, B. J., and Planer-Friedrich, B., 2002, Groundwater Geochemistry, A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems. Edited by Darrell Kirk Nordstrom, Springer, 207 p.

- Montero-Serrano, J. C., Martínez-Santana, M., Tribouillard, N., Riboulleau, A. y Grabán, G., 2009, Comportamiento geoquímico del molibdeno y sus isótopos en el ambiente sedimentario: un resumen bibliográfico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Vol. 44, p. 263-275.
- Ojeda, G., 2007, *Prospección Geoquímica de Yacimientos Bajo Cobertura Sedimentaria: Caso Cluster Toki, II Región, Chile*. Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Parkhurst, D. L., and Appelo, C. A. J., 1999, *User's Guide to PHREEQC (Version 2) – A Computer Program For Speciation, Batch Reaction, One-Dimensional Transport and Inverse Geochemical Calculations*. Water Resources Investigation Report 99-4259, U.S. Geological Survey.
- Planer-Friedrich, B., 2008, *Apuntes de Curso: Hydrogeochemistry and Thermodynamic Modeling of Mining Related Environmental Problems (PHREEQC)*.
- Puig, A., 2006, *Caracterización de óxidos, no lixiviables, en proyecto Inca de Oro: Inferencias metalúrgicas*. Gerencia Corporativa de Exploraciones, Codelco Chile, Informe Interno.
- Reich, M., Palacios, C., Parada, M. A., Fehn, U., Cameron, E. M., Leybourne, M. I., y Zuñiga, A., 2008, Atacamite formation by deep saline waters in copper deposits from the Atacama Desert, Chile: evidence from fluid inclusions, groundwater geochemistry, TEM, and ³⁶Cl data. *Miner Deposita*, Vol. 43, p. 663-675.
- Rivera, S., Baeza, L., Kovacic, P. y Martínez, A., 2006, *Primeros Antecedentes de la Geología del Pórfido de Cu-Au-Mo Inca de Oro, Tercera Región de Atacama, Chile*. XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, II Región, Chile. Actas, Vol. 2, Geología Económica.
- Stanley, C. R., and Lawie, D., 2007, Average Relative Error in Geochemical Determinations: Clarification, Calculation, and a Plea for Consistency. *Exploration and Mining Geology*, Vol. 16, N. 3-4, p. 265-274.
- Takeno, N., 2005, *Atlas of Eh-pH Diagrams*, Geological Survey of Japan Open File Report No. 419, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 285 p.
- Taufen, P. M., 1997, *Ground Waters and Surface Waters in Exploration Geochemical Surveys*. Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, p. 271-284.
- Townley, B., Puig, A., Luca, R., Ojeda, G., Zamudio, J., Palacios, C., and Rogers, P., 2006, *Deep Penetrating Geochemistry, From Source to Surface: Exploration of Undercover Deposits*. XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, II Región, Chile. Actas, Vol. 2, Geología Económica.
- Townley, B., Puig, A., Ojeda, G., Luca, R., Vargas, T., LeRoux, J. E., 2007, *Understanding real time processes behind the development of surface geochemical expressions from ore bodies beneath cover: source to surface and detection by means of collector devices*, in: *Exploration07, The Fairmont Royal York Hotel, Toronto, ON, Canadá, Exploration in the New Millennium*, Sept. 9, 12, 2007.
- Townley, B., Soto, M. C., López, F. and Luca R., 2009, *Development of Surface Geochemical Contrast Anomalies From Ore Deposits Beneath Transported Overburden: Experimental and Field Results*, Progress Report P778-Chilean Component.
- Wilde, F.D., 2005, *National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. Handbooks for Water-Resources Investigations, Book 9*, USGS.

ANEXOS

Anexo 1. DATOS HIDROLÓGICOS Y QUÍMICA EN INCA DE ORO

Anexo 1.1 Estadística pluviométrica del Sector de Inca de Oro y alrededores (tomado de Ingeniería y Geotecnia Limitada, 1981).

ESTADÍSTICA PLUVIOMÉTRICA DEFINITIVA LAPSO 1940 - 1979
PRECIPITACION ANUAL (mm)

ESTACION	LLANTA	CAÑARAL	DIEGO DE ALMAGRO	POTRERILLOS	INCA DE ORO	CALDERA	COPIAPO SAG
Años registro	14	40	10	23	14	30	17
Años rellenados	26	0	30	17	26	10	23
1940	45,0 *	39,7	40,0 *	128,6	94,0 *	81,1	64,0 *
1941	29,0 *	20,9	26,0 *	51,5	61,0 *	58,0	39,0 *
1942	18,0 *	11,5	17,0 *	27,5	39,0 *	40,4	49,0 *
1943	9,0 *	0,0	8,0 *	10,3	20,0 *	64,4	30,0 *
1944	28,0 *	9,5	25,0 *	72,8	58,0 *	29,5	27,0 *
1945	2,0 *	0,0	2,0 *	9,9	5,0 *	4,3	1,0 *
1946	20,0 *	20,5	18,0 *	62,8	42,0 *	30,9	28,0 *
1947	1,0 *	0,0	0,0 *	1,6	1,0 *	1,6	1,0 *
1948	15,0 *	0,0	14,0 *	68,2	32,0 *	7,7	8,0 *
1949	24,0 *	16,9	22,0 *	79,6	50,0 *	28,2	36,0 *
1950	9,0 *	10,5	8,0 *	15,3	18,0 *	28,5	15,0 *
1951	2,0 *	0,0	2,0 *	8,8	5,0 *	7,7	1,0 *
1952	17,0 *	0,0	16,0 *	24,7	36,0 *	45,3	30,0 *
1953	41,0 *	24,7	37,0 *	159,3	87,0 *	9,7	24,0 *
1954	13,0 *	5,9	12,0 *	51,2	28,0 *	34,8	15,0 *
1955	6,0 *	7,0	6,0 *	31,3	13,0 *	13,2	5,0 *
1956	2,0 *	0,0	2,0 *	0,0	4,0 *	3,9	4,0 *
1957	2,0 *	0,0	2,0 *	2,7	4,0 *	22,2	4,0 *
1958	3,0 *	0,0	2,0 *	1,8	5,0 *	11,2	6,0 *
1959	7,0 *	0,0	6,0 *	3,3	14,0 *	20,7	9,0 *
1960	0,0 *	0,0	0,0 *	0,0	0,0 *	1,6	0,0 *
1961	11,0 *	0,0	10,0 *	35,0	23,0 *	26,5	12,0 *
1962	8,0	22,7	13,0 *	14,3	53,0	24,9	27,0 *
1963	1,0	4,8	0,0 *	28,0 *	5,0	21,4	13,8
1964	0,7	2,4	0,1	9,0 *	5,0	2,4	3,0
1965	8,0 *	6,4	5,6	34,0 *	16,0	45,2	22,7
1966	2,0 *	1,5	2,2	8,0 *	4,0 *	3,6	5,0
1967	21,0	16,3	30,0	42,0 *	37,0	23,3	18,0
1968	1,0	0,0	0,0	0,0 *	0,0	10,0 *	0,0
1969	28,0 *	25,3	17,1	51,0 *	52,0 *	10,1	18,2
1970	0,0	2,4	0,0	20,0 *	2,0 *	3,0	1,3
1971	17,0 *	14,9	12,0 *	30,0 *	33,0 *	8,0 *	4,3
1972	18,7	9,1	17,8	56,0 *	28,0	32,0 *	13,7
1973	8,0	26,1	14,0 *	36,0 *	37,0	12,0 *	8,2
1974	5,4	2,3	0,0 *	5,0 *	17,5	3,0 *	2,5
1975	11,7	3,9	9,0 *	28,0 *	23,5	16,0 *	4,2
1976	11,0	1,1	0,0 *	22,0 *	10,3	14,0 *	8,8
1977	8,5	5,4	0,0 *	21,0 *	12,5	11,0 *	12,0
1978	0,0	0,0	0,0 *	0,0 *	0,0	0,0 *	0,0
1979	0,5	5,3	3,0 *	19,0 *	0,0	10,0 *	0,5

* Valor Estimado

Precipitaciones Inca de Oro 974/40 = 25 mm anuales

Anexo 1.2 Análisis químicos de muestras de agua subterránea Inca de Oro 1 y 2 (Henríquez, 2007).

Muestra Inca de Oro 1

Ubicación: Pique junto a campamento EMSA

Coordenadas: N 7.041.288 / E 409.399

Identificación		Inca de Oro 1	NCh 1333 Limite Permissible
Matriz		Agua Pozo	
Fecha		16/11/06	
Hora		-	
Código de ALS		AN-A11531-1	
Parámetros	Unidades	Resultados	
Aluminio Total	mg/L	<0,5	5,00
Arsénico Total	mg/L	0,006	0,10
Bario Total	mg/L	<0,5	4,00
Berilio Total	mg/L	<0,01	0,10
Boro Total	mg/L	0,7	0,75
Cadmio Total	mg/L	<0,005	0,010
Cianuro Total	mg/L	<0,01	0,20
Cloruro	mg/L	130	200
Cobalto Total	mg/L	<0,02	0,050
Cobre Total	mg/L	<0,01	0,20
Conductividad	µS/cm	2190	-
Coliforme Fecal	NMP/100 mL	N.A	1000
Cromo Total	mg/L	<0,02	0,10
Fluoruro	mg/L	0,52	1,00
Hierro Total	mg/L	<0,05	5,00
Litio Total	mg/L	<0,1	2,50
Manganeso Total	mg/L	<0,01	0,20
Mercurio Total	mg/L	<0,0005	0,001
Molibdeno Total	mg/L	<0,01	0,010
Níquel Total	mg/L	<0,03	0,20
pH	pH	7,38	5,5 - 9,0
Plata Total	mg/L	<0,01	0,20
Plomo Total	mg/L	<0,05	5,00
Razón de Absorción*	meq/L	2,50	-
Selenio Total	mg/L	<0,005	0,020
Sodio Porcentual	%	31,9	35,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1770	-
Sulfato	mg/L	860	250
Vanadio Total	mg/L	<1	0,10
Zinc Total	mg/L	0,03	2,00

N.A = No Analizado. Por no recepcionar muestras de Coliformes

Identificación		Inca de Oro 1	NCh 409/1. Of 84 Limite Permissible Agua Potable
Matriz		Agua Potable	
Fecha		16/11/06	
Hora		-	
Código de ALS		AN-A11531-1	
Parámetros	Unidades	Resultados	
Arsénico Total	mg/L	0,006	0,05
Cadmio Total	mg/L	<0,005	0,01
Cianuro Total	mg/L	<0,01	0,20
Cloruro	mg/L	130	250*
Cobre Total	mg/L	<0,01	1*
Color	UPt-Co	<5	20
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	N.A	< 2
Coliformes Totales	NMP/100 mL	N.A	< 2
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,01	0,05
Detergente	mg/L	<0,05	0,5
Fenolicos Compuestos	mg/L	<0,002	0,002
Fluoruro	mg/L	0,52	1,5
Hierro Total	mg/L	<0,05	0,3*
Magnesio Total	mg/L	9,1	125
Manganeso Total	mg/L	<0,01	0,1*
Mercurio Total	mg/L	<0,0005	0,001
Nitrógeno Amoniac	mg/L	<0,03	0,25
Nitrógeno Nitrato	mg/L	66,3	10*
Nitrogeno Nitrito	mg/L	<0,01	1
Olor	-	Inodoro	Inodoro
pH	pH	7,38	6,0 - 8,5
Plomo Total	mg/L	<0,05	0,05
Sabor	-	N.A	Insipido
Selenio Total	mg/L	<0,005	0,01*
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1770	1000*
Sulfato	mg/L	910	250*
Turbidez	NTU	1	5
Zinc Total	mg/L	0,03	5*

N.A = No Analizado. Por no recepcionar muestras de Coliformes

Muestra Inca de Oro 2

Ubicación: Pozo CHATAL camino Inca de Oro a la Finca

Coordenadas: N 7.042.283/ E 410.844

Identificación		Inca de Oro 2		NCh 1333 Límite Permissible
Matriz		Agua Pozo		
Fecha		16/11/06		
Hora		-		
Código de ALS		AN-A11531-2		
Parámetros	Unidades	Resultados		
Aluminio Total	mg/L	<0,5		5,00
Arsénico Total	mg/L	<0,005		0,10
Bario Total	mg/L	<0,5		4,00
Berilio Total	mg/L	<0,01		0,10
Boro Total	mg/L	0,8		0,75
Cadmio Total	mg/L	<0,005		0,010
Cianuro Total	mg/L	<0,01		0,20
Cloruro	mg/L	76		200
Cobalto Total	mg/L	<0,02		0,050
Cobre Total	mg/L	<0,01		0,20
Conductividad	µS/cm	1850		-
Coliforme Fecal	NMP/100 mL	N.A		1000
Cromo Total	mg/L	<0,02		0,10
Fluoruro	mg/L	0,57		1,00
Hierro Total	mg/L	0,06		5,00
Litio Total	mg/L	<0,1		2,50
Manganeso Total	mg/L	<0,01		0,20
Mercurio Total	mg/L	<0,0005		0,001
Molibdeno Total	mg/L	<0,01		0,010
Níquel Total	mg/L	<0,03		0,20
pH	pH	7,33		5,5 - 9,0
Plata Total	mg/L	<0,01		0,20
Plomo Total	mg/L	<0,05		5,00
Razón de Absorción*	meq/L	2,54		-
Selenio Total	mg/L	<0,005		0,020
Sodio Porcentual	%	31,6		35,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1560		-
Sulfato	mg/L	819		250
Vanadio Total	mg/L	<0,1		0,10
Zinc Total	mg/L	0,01		2,00

N.A = No Analizado. Por no recepcionar muestras de Coliformes

Identificación		Inca de Oro 2	NCh 409/1. Of 84 Limite Permissible Agua Potable
Matriz		Agua Potable	
Fecha		16/11/06	
Hora		-	
Código de ALS		AN-A11531-2	
Parámetros	Unidades	Resultados	
Arsénico Total	mg/L	<0,005	0,05
Cadmio Total	mg/L	<0,005	0,01
Cianuro Total	mg/L	<0,01	0,20
Cloruro	mg/L	76	250*
Cobre Total	mg/L	<0,01	1*
Color	UPt-Co	<5	20
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	N.A	< 2
Coliformes Totales	NMP/100 mL	N.A	< 2
Cromo Hexavalente	mg/L	<0,01	0,05
Detergente	mg/L	<0,05	0,5
Fenolicos Compuestos	mg/L	<0,002	0,002
Fluoruro	mg/L	0,57	1,5
Hierro Total	mg/L	0,06	0,3*
Magnesio Total	mg/L	12,9	125
Manganeso Total	mg/L	<0,01	0,1*
Mercurio Total	mg/L	<0,0005	0,001
Nitrógeno Amoniaco	mg/L	<0,03	0,25
Nitrógeno Nitrato	mg/L	21,2	10*
Nitrogeno Nitrito	mg/L	<0,01	1
Olor	-	Inodoro	Inodoro
pH	pH	7,33	6,0 - 8,5
Plomo Total	mg/L	<0,05	0,05
Sabor	-	N.A	Insípido
Selenio Total	mg/L	<0,005	0,01*
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1560	1000*
Sulfato	mg/L	819	250*
Turbidez	NTU	<1	5
Zinc Total	mg/L	0,01	5*

N.A = No Analizado. Por no recepcionar muestras de Coliformes

Anexo 2. ANÁLISIS DE LABORATORIOS

Anexo 2.1 Límites de detección Grupo 2CB ICP-MS ACMELabs (72 elementos).

Elemento	Límite de detección	Elemento	Límite de detección
Ag	0,05 ppb	Na	50 ppb
Al	1 ppb	Nb	0,01 ppb
As	0,5 ppb	Nd	0,01 ppb
Au	0,05 ppb	Ni	0,2 ppb
B	5 ppb	P	20 ppb
Ba	0,05 ppb	Pb	0,1 ppb
Be	0,05 ppb	Pd	0,2 ppb
Bi	0,05 ppb	Pr	0,01 ppb
Br	5 ppb	Pt	0,01 ppb
Ca	50 ppb	Rb	0,01 ppb
Cd	0,05 ppb	Re	0,01 ppb
Ce	0,01 ppb	Rh	0,01 ppb
Cl	1 ppm	Ru	0,05 ppb
Co	0,02 ppb	S	1 ppm
Cr	0,5 ppb	Sb	0,05 ppb
Cs	0,01 ppb	Sc	1 ppb
Cu	0,1 ppb	Se	0,5 ppb
Dy	0,01 ppb	Si	40 ppb
Er	0,01 ppb	Sm	0,02 ppb
Eu	0,01 ppb	Sn	0,05 ppb
Fe	10 ppb	Sr	0,01 ppb
Ga	0,05 ppb	Ta	0,02 ppb
Gd	0,01 ppb	Tb	0,01 ppb
Ge	0,05 ppb	Te	0,05 ppb
Hf	0,02 ppb	Th	0,05 ppb
Hg	0,1 ppb	Ti	10 ppb
Ho	0,01 ppb	Tl	0,01 ppb
In	0,01 ppb	Tm	0,01 ppb
K	50 ppb	U	0,02 ppb
La	0,01 ppb	V	0,2 ppb
Li	0,1 ppb	W	0,02 ppb
Lu	0,01 ppb	Y	0,01 ppb
Mg	50 ppb	Yb	0,01 ppb
Mn	0,05 ppb	Zn	0,5 ppb
Mo	0,1 ppb	Zr	0,02 ppb

Anexo 3. UBICACIÓN PUNTOS DE MUESTREO

Anexo 3.1 Coordenadas de puntos de muestreo de aguas subterráneas en Inca de Oro.

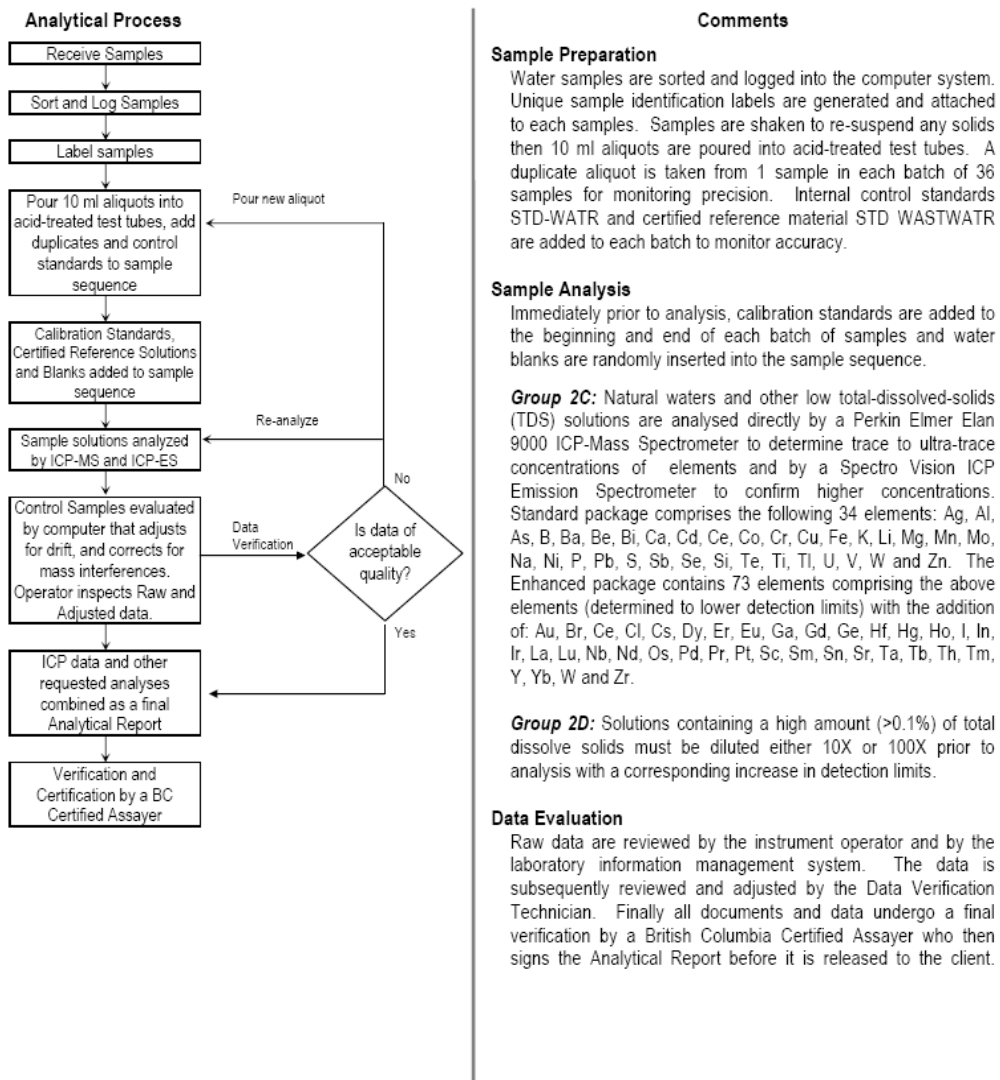
Punto muestreo	UTM Norte	UTM Este
AR-2409	7040799,62	412400,70
AR-2411	7040400,46	412000,76
AR-2415	7039599,98	410485,26
AR-10051	7040599,97	410899,89
AR-10053	7041000,04	411400,12
AR-10055	7041000,01	411699,99
AR-10057	7040600,00	411999,95
AR-10058	7040400,00	412100,00
AR-10063	7040199,84	410884,89
AR-10064	7040099,96	411599,89
AR-10099	7039800,00	409900,00
AR-10143	7042450,00	410050,00
AR-10145	7040800,00	413300,00
AR-10154	7042900,00	411700,00
DDH-2252	7040701,35	411474,03
DDH-2267	7040400,05	411000,54
IDO-2	7042283,00	410844,00

Anexo 4. CONTROL DE CALIDAD

Anexo 4.1 Protocolo y procedimientos analíticos para el análisis geoquímico de muestras de agua subterránea, Grupo 2C, 72 elementos.



METHODS AND SPECIFICATIONS FOR ANALYTICAL PACKAGE GROUP 2C & 2D – WATER ANALYSIS BY ICP-MS



852 East Hastings Street, Vancouver, BC Canada V6A 1R6
Phone (604) 253 3158 Fax (604) 253 1716 e-mail: acmeinfo@acmelab.com

Group 2C&2D(e-mail version1.2) Revision Date: Feb 20, 2007

Anexo 4.2 Porcentaje de muestras sobre el límite de detección del laboratorio para cada elemento.

Se destacan los elementos cuyo porcentaje es menor al 80%.

Elementos		Nº muestras	Nº muestras sobre LD	% muestras sobre LD	Elementos		Nº muestras	Nº muestras sobre LD	% muestras sobre LD
Ag	ppb	87	21	24,14	Na	ppb	87	87	100
Al	ppb	87	87	100	Nb	ppb	87	53	60,92
As	ppb	87	87	100	Nd	ppb	87	87	100
Au	ppb	87	2	2,30	Ni	ppb	87	58	66,67
B	ppb	87	87	100	Os	ppb	87	3	3,45
Ba	ppb	87	87	100	P	ppb	87	81	93,10
Be	ppb	87	40	45,98	Pb	ppb	87	87	100
Bi	ppb	87	0	0	Pd	ppb	87	0	0
Br	ppb	87	87	100	Pr	ppb	87	86	98,85
Ca	ppb	87	87	100	Pt	ppb	87	1	1,15
Cd	ppb	87	44	50,57	Rb	ppb	87	87	100
Ce	ppb	87	87	100	Re	ppb	87	80	91,95
Cl	ppm	87	87	100	Rh	ppb	87	17	19,54
Co	ppb	87	86	98,85	Ru	ppb	87	0	0
Cr	ppb	87	82	94,25	S	ppm	87	87	100
Cs	ppb	87	87	100	Sb	ppb	87	76	87,36
Cu	ppb	87	87	100	Sc	ppb	87	80	91,95
Dy	ppb	87	84	96,55	Se	ppb	87	81	93,10
Er	ppb	87	81	93,10	Si	ppb	87	87	100
Eu	ppb	87	81	93,10	Sm	ppb	87	82	94,25
Fe	ppb	87	82	94,25	Sn	ppb	87	33	37,93
Ga	ppb	87	72	82,76	Sr	ppb	87	87	100
Gd	ppb	87	86	98,85	Ta	ppb	87	1	1,15
Ge	ppb	87	80	91,95	Tb	ppb	87	76	87,36
Hf	ppb	87	4	4,60	Te	ppb	87	1	1,15
Hg	ppb	87	13	14,94	Th	ppb	87	70	80,46
Ho	ppb	87	76	87,36	Ti	ppb	87	59	67,82
In	ppb	87	3	3,45	Tl	ppb	87	40	45,98
Ir	ppb	87	0	0	Tm	ppb	87	60	68,97
K	ppb	87	87	100	U	ppb	87	82	94,25
La	ppb	87	87	100	V	ppb	87	86	98,85
Li	ppb	87	87	100	W	ppb	87	85	97,70
Lu	ppb	87	54	62,07	Y	ppb	87	87	100
Mg	ppb	87	87	100	Yb	ppb	87	81	93,10
Mn	ppb	87	87	100	Zn	ppb	87	87	100
Mo	ppb	87	87	100	Zr	ppb	87	76	87,36

Anexo 4.3 Cálculo de promedio de diferencias relativas de cada elemento para muestras originales y sus duplicados analíticos.

Elemento	Original Duplicado		Error relativo	Original Duplicado		Error relativo	Original Duplicado		Error relativo	Promedio Diferencias Relativas	
	AR-2409			AR-100552E			AR-100552A				
Al	ppb	818	826	0,0097	702	675	0,0392	2793	2836	0,0153	2,494
As	ppb	8,2	8,1	0,0123	4,5	5	0,1053	6	6,1	0,0165	6,192
B	ppb	438	427	0,0254	455	460	0,0109	477	463	0,0298	2,348
Ba	ppb	44,36	44,66	0,0067	28,24	30,09	0,0634	50,88	49,78	0,0219	3,893
Br	ppb	291	291	0,0000	281	318	0,1235	316	317	0,0032	7,135
Ca	ppb	114911	113750	0,0102	123419	126960	0,0283	140125	140049	0,0005	1,735
Ce	ppb	3,17	3,12	0,0159	1,22	1,22	0,0000	9,34	9,08	0,0282	1,871
Cl	ppm	56	52	0,0741	61	63	0,0323	48	48	0,0000	4,665
Co	ppb	0,87	0,88	0,0114	0,77	0,8	0,0382	5,28	5,33	0,0094	2,366
Cr	ppb	8,3	8,2	0,0121	3,6	4	0,1053	26,5	26,4	0,0038	6,121
Cs	ppb	0,2	0,19	0,0513	0,17	0,19	0,1111	0,24	0,24	0,0000	7,065
Cu	ppb	7,4	8,2	0,1026	16,4	18	0,0930	75,9	77,1	0,0157	8,045
Dy	ppb	0,17	0,19	0,1111	0,1	0,1	0,0000	0,72	0,71	0,0140	6,466
Er	ppb	0,08	0,07	0,1333	0,03	0,03	0,0000	0,31	0,31	0,0000	7,698
Eu	ppb	0,05	0,05	0,0000	0,04	0,04	0,0000	0,26	0,27	0,0377	2,179
Fe	ppb	1579	1529	0,0322	661	693	0,0473	5290	5432	0,0265	3,638
Ga	ppb	0,16	0,15	0,0645	0,11	0,11	0,0000	0,28	0,29	0,0351	4,240
Gd	ppb	0,22	0,26	0,1667	0,13	0,13	0,0000	1,04	1,11	0,0651	10,331
Ge	ppb	0,16	0,15	0,0645	0,16	0,16	0,0000	0,15	0,15	0,0000	3,725
Ho	ppb	0,03	0,03	0,0000	0,02	0,02	0,0000	0,13	0,13	0,0000	0,000
K	ppb	3078	2957	0,0401	2976	3174	0,0644	3781	3760	0,0056	4,391
La	ppb	1,19	1,2	0,0084	0,38	0,39	0,0260	2,71	2,67	0,0149	1,794
Li	ppb	22,3	22,4	0,0045	22,3	23,4	0,0481	29	28,1	0,0315	3,332
Mg	ppb	9710	9615	0,0098	10510	9940	0,0557	12393	12657	0,0211	3,487
Mn	ppb	63,45	62,77	0,0108	51,18	52,3	0,0216	340,04	349,52	0,0275	2,114
Mo	ppb	10,5	10,5	0,0000	6	6,6	0,0952	2	2	0,0000	5,499
Na	ppb	83132	81817	0,0159	94756	92657	0,0224	95577	95694	0,0012	1,589
Nd	ppb	1,48	1,48	0,0000	0,54	0,56	0,0364	4,98	4,68	0,0621	4,155
P	ppb	159	162	0,0187	73	67	0,0857	624	652	0,0439	5,663
Pb	ppb	13	13	0,0000	3,5	3,8	0,0822	0,8	0,9	0,1176	8,286
Pr	ppb	0,36	0,36	0,0000	0,13	0,13	0,0000	1,07	1,04	0,0284	1,642
Rb	ppb	2,75	2,73	0,0073	2,91	3,07	0,0535	5,36	5,56	0,0366	3,768
Re	ppb	0,02	0,03	0,4000	0,02	0,03	0,4000	0,03	0,03	0,0000	32,660
S	ppm	155	152	0,0195	177	173	0,0229	167	168	0,0060	1,770
Sb	ppb	0,08	0,08	0,0000	0,025	0,025	0,0000	0,1	0,11	0,0952	5,499
Sc	ppb	3	3	0,0000	3	3	0,0000	7	7	0,0000	0,000
Se	ppb	6,6	6,5	0,0153	6,1	6,4	0,0480	5,6	5,8	0,0351	3,544
Si	ppb	17279	16862	0,0244	15336	15460	0,0081	19630	20236	0,0304	2,299
Sm	ppb	0,27	0,29	0,0714	0,13	0,13	0,0000	1,07	1,04	0,0284	4,439
Sr	ppb	1112,49	1122,75	0,0092	1161,91	1265,88	0,0856	1290,78	1307,29	0,0127	5,027
Tb	ppb	0,03	0,03	0,0000	0,02	0,02	0,0000	0,14	0,14	0,0000	0,000
Th	ppb	0,28	0,26	0,0741	0,07	0,07	0,0000	0,26	0,27	0,0377	4,800
U	ppb	0,67	0,65	0,0303	0,61	0,65	0,0635	1,11	1,16	0,0441	4,792
V	ppb	11,1	11	0,0090	11,9	12,7	0,0650	20	19,8	0,0101	3,835
W	ppb	0,07	0,07	0,0000	0,02	0,02	0,0000	0,07	0,07	0,0000	0,000
Y	ppb	0,76	0,79	0,0387	0,42	0,43	0,0235	3,62	3,51	0,0309	3,164
Yb	ppb	0,05	0,06	0,1818	0,03	0,03	0,0000	0,25	0,27	0,0769	11,398
Zn	ppb	17,5	17,3	0,0115	21,2	21,6	0,0187	172,1	176,5	0,0252	1,931
Zr	ppb	0,04	0,05	0,2222	0,04	0,04	0,0000	0,06	0,06	0,0000	12,830

Anexo 4.4 Cálculo de promedio de diferencias relativas de cada elemento para muestras originales y sus duplicados de terreno.

Elemento	Original	Duplicado	Error relativo	Original	Duplicado	Error relativo	Original	Duplicado	Error relativo	Original	Duplicado	Error relativo	Prom. Dif. Relativas
	AR-2409			AR-10051E			AR-10051N			AR-100533			
Al ppb	621	1353	0,5500	384	645	0,2573	547	779	0,1224	679	1602	0,6550	62,944
As ppb	7,5	8,3	0,1013	5,4	6,5	0,1849	5,4	7,3	0,2992	6	5,8	0,0339	18,379
B ppb	465	418	0,1065	569	596	0,0464	548	538	0,0184	527	544	0,0317	6,089
Ba ppb	34,16	49,5	0,3667	13,64	14,29	0,0465	16,45	18,21	0,1016	18,08	28,41	0,4444	29,345
Br ppb	279	280	0,0036	480	467	0,0275	430	495	0,1405	420	408	0,0290	7,307
Ca ppb	107606	113149	0,0502	625776	622784	0,0048	612216	599127	0,0216	277744	214968	0,2548	13,033
Ce ppb	1,98	4,95	0,8571	0,61	1,01	0,4938	1,18	1,51	0,2454	1,34	4,24	1,0394	72,787
Cl ppm	43	47	0,0889	104	101	0,0293	125	127	0,0159	69	62	0,1069	7,147
Co ppb	0,53	1,36	0,8783	0,45	0,67	0,3929	0,55	1	0,5806	1,29	2,69	0,7035	66,292
Cr ppb	6	9,3	0,4314	2,5	2,5	0,0000	2,5	2,5	0,0000	5,1	10	0,6490	38,964
Cs ppb	0,21	0,22	0,0465	0,16	0,15	0,0645	0,18	0,22	0,2000	0,35	0,32	0,0896	11,656
Cu ppb	9,6	10,7	0,1084	15,3	19,9	0,2614	27,1	21,4	0,2351	50,9	78	0,4205	27,933
Dy ppb	0,12	0,29	0,8293	0,05	0,1	0,6667	0,05	0,14	0,9474	0,1	0,28	0,9474	85,544
Er ppb	0,06	0,12	0,6667	0,05	0,05	0,0000	0,05	0,05	0,0000	0,04	0,14	1,1111	64,788
Eu ppb	0,05	0,08	0,4615	0,05	0,05	0,0000	0,05	0,05	0,0000	0,03	0,1	1,0769	58,583
Fe ppb	1039	1985	0,6257							2442	2813	0,1412	45,354
Ga ppb	0,15	0,23	0,4211	0,25	0,25	0,0000	0,25	0,25	0,0000	0,2	0,21	0,0488	21,193
Gd ppb	0,18	0,38	0,7143	0,15	0,15	0,0000	0,05	0,13	0,8889	0,12	0,42	1,1111	79,607
Ge ppb	0,14	0,13	0,0741	0,25	0,25	0,0000	0,25	0,25	0,0000	0,26	0,21	0,2128	11,265
Ho ppb	0,02	0,06	1,0000	0,05	0,05	0,0000	0,05	0,05	0,0000	0,02	0,05	0,8571	65,854
K ppb	2396	3104	0,2575	2693	3801	0,3412	5649	4625	0,1993	4110	5011	0,1976	25,568
La ppb	0,93	1,94	0,7038	0,26	0,4	0,4242	0,43	0,54	0,2268	0,49	1,48	1,0051	65,897
Li ppb	21,1	23,1	0,0905	55,2	53,2	0,0369	60,4	49,8	0,1924	29,5	27,4	0,0738	11,403
Mg ppb	9524	10067	0,0554	1203	1605	0,2863	1513	1549	0,0235	9835	12014	0,1995	17,705
Mn ppb	40,1	101,2	0,8648	1232,93	1191,88	0,0339	1536,39	1571,8	0,0228	396,2	251,9	0,4453	48,680
Mo ppb	11,4	8,4	0,3030	39,8	37,7	0,0542	36,5	36,9	0,0109	17,2	9,6	0,5672	32,271
Na ppb	83501	82606	0,0108	177634	176805	0,0047	186632	180407	0,0339	131983	122369	0,0756	4,184
Nd ppb	1,12	2,3	0,6901	0,28	0,59	0,7126	0,66	0,67	0,0150	0,65	2,15	1,0714	73,011
P ppb	117	261	0,7619	100	100	0,0000	200	226	0,1221	107	277	0,8854	58,723
Pb ppb	4	8,7	0,7402	12,8	7,1	0,5729	5,5	6,1	0,1034	2,2	7,5	1,0928	72,126
Pr ppb	0,28	0,58	0,6977	0,05	0,13	0,8889	0,15	0,18	0,1818	0,15	0,47	1,0323	77,063
Rb ppb	2,62	3,01	0,1385	3,89	4,33	0,1071	4,71	4,78	0,0148	8,31	9,48	0,1315	10,974
Re ppb	0,03	0,03	0,0000	0,05	0,05	0,0000	0,05	0,05	0,0000	0,03	0,03	0,0000	0,000
S ppm	133	145	0,0863	819	753	0,0840	803	792	0,0138	325	251	0,2569	14,205
Sb ppb	0,08	0,06	0,2857	0,25	0,25	0,0000	0,25	0,25	0,0000	0,11	0,09	0,2000	17,438
Sc ppb	2	3	0,4000	5	5	0,0000	5	5	0,0000	5	6	0,1818	21,969
Se ppb	6,6	6,6	0,0000	2,5	2,5	0,0000	2,5	2,5	0,0000	4,9	5,5	0,1154	5,769
Si ppb	15283	17692	0,1461	9947	9969	0,0022	9274	10258	0,1008	15512	18140	0,1562	11,822
Sm ppb	0,21	0,43	0,6875	0,1	0,1	0,0000	0,1	0,1	0,0000	0,14	0,45	1,0508	62,788
Sr ppb	1040,56	1079,96	0,0372	1472,79	1484,39	0,0078	1544,43	1580,02	0,0228	1556,64	1468,73	0,0581	3,653
Tb ppb	0,03	0,05	0,5000	0,05	0,05	0,0000	0,05	0,05	0,0000	0,02	0,05	0,8571	49,616
Th ppb	0,44	0,86	0,6462	0,25	0,25	0,0000	0,25	0,25	0,0000	0,17	0,45	0,9032	55,528
U ppb	0,64	0,69	0,0752	0,1	0,1	0,0000	0,1	0,1	0,0000	0,44	0,62	0,3396	17,392
V ppb	9,9	12,3	0,2162	1	1	0,0000	2,7	6	0,7586	8,2	11,4	0,3265	42,687
W ppb	0,21	0,1	0,7097	7,05	6,25	0,1203	6,19	6,02	0,0278	0,32	0,09	1,1220	66,665
Y ppb	0,6	1,24	0,6957	0,22	0,39	0,5574	0,45	0,48	0,0645	0,51	1,46	0,9645	65,745
Yb ppb	0,05	0,1	0,6667	0,05	0,05	0,0000	0,05	0,05	0,0000	0,04	0,12	1,0000	60,093
Zn ppb	16,9	21,6	0,2442	43,8	29,5	0,3902	130,8	41,1	1,0436	33,6	71,6	0,7224	67,508
Zr ppb	0,07	0,17	0,8333	0,1	0,1	0,0000	0,1	0,24	0,8235	0,05	0,02	0,8571	72,583

Anexo 4.5 Balance iónico de muestras de agua subterránea en Inca de Oro.

4.5.1 Resumen teórico para el cálculo de error de balance

El error de balance se calcula mediante la fórmula:

$$Error(\%) = 100 \times \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}}$$

Donde las concentraciones de cationes y aniones mayoritarios se expresa en meq/l. Para realizar la transformación de mg/l o ppm a meq/l se debe dividir la concentración del elemento o especie por su peso atómico o molecular respectivamente y luego multiplicar por la carga de dicho elemento o molécula, por ejemplo:

$$Ca^{2+} [meq/l] = 2 \times \frac{Ca [ppm]}{40,08}$$

La siguiente Tabla muestra los resultados obtenidos en el cálculo del error de balance para 12 muestras de agua subterránea tomadas durante la campaña de Abril de 2008 y 7 muestras tomadas en la campaña de Abril de 2009. El análisis de estas muestras se realizó en el laboratorio SGS Chile.

Tabla 4.5.1 Resultados del balance de cargas en muestras de agua subterránea de Inca de Oro, campaña Abril de 2008.

Muestra	Cl- mg/L	SO4= mg/L	HCO3- mg/L	rCL- meq/L	rSO4= meq/L	rHCO3- meq/L	Suma aniones	Na+ mg/L	K+ mg/L	Mg++ mg/L	Ca++ mg/L	rNa+ meq/L	rK+ meq/L	rMg++ meq/L	rCa++ meq/L	Suma cationes	Error (%)
AR-10051	104,0	1682	16,3	2,93	35,04	0,27	38,24	159,0	2,48	0,40	660,0	6,91	0,06	0,03	33,00	40,01	2,26
AR-10053	79,0	626,0	58,8	2,23	13,04	0,96	16,23	105,0	4,80	9,00	192,0	4,57	0,12	0,74	9,60	15,03	-3,84
AR-10055	63,0	433,0	60,4	1,77	9,02	0,99	11,79	85,4	10,4	10,40	152,0	3,71	0,27	0,86	7,60	12,44	2,68
AR-10057	62,0	510,0	64,8	1,75	10,63	1,06	13,43	79,8	4,55	9,87	159,0	3,47	0,12	0,81	7,95	12,35	-4,21
DDH-2252	67,0	459,0	238,0	1,89	9,56	3,90	15,35	118,0	5,79	11,90	154,0	5,13	0,15	0,98	7,70	13,96	-4,75
AR-10058	5,0	484,0	58,1	0,14	10,08	0,95	11,18	78,4	4,27	6,44	177,0	3,41	0,11	0,53	8,85	12,90	7,15
AR-10143	19,0	908,0	41,1	0,54	18,92	0,67	20,13	202,0	7,88	3,64	310,0	8,78	0,20	0,30	15,50	24,78	10,37
AR-10145	5,0	418,0	73,3	0,14	8,71	1,20	10,05	76,8	3,42	5,31	158,0	3,34	0,09	0,44	7,90	11,76	7,85
AR-2409	7,0	452,0	66,7	0,20	9,42	1,09	10,71	66,6	3,48	5,17	146,0	2,90	0,09	0,43	7,30	10,71	0,01
AR-10063	101,0	820,0	49,0	2,85	17,08	0,80	20,73	131,0	4,57	8,06	274,0	5,70	0,12	0,66	13,70	20,18	-1,36
AR-10064	73,0	503,0	58,4	2,06	10,48	0,96	13,49	90,3	4,72	9,15	183,0	3,93	0,12	0,75	9,15	13,95	1,67
AR-2415	102,0	909,0	56,1	2,87	18,94	0,92	22,73	141,0	5,31	8,98	289,0	6,13	0,14	0,74	14,45	21,46	-2,88

Tabla 4.5.2 Resultados del balance de cargas en muestras de agua subterránea de Inca de Oro, campaña Marzo de 2009.

Muestra	Cl- mg/L	SO4= mg/L	HCO3- mg/L	NO3- mg/l	rCL- meq/L	rSO4= meq/L	rHCO3- meq/L	rNO3- meq/L	Suma aniones	Na+ mg/L	K+ mg/L	Mg++ mg/L	Ca++ mg/L	rNa+ meq/L	rK+ meq/L	rMg++ meq/L	rCa++ meq/L	Suma cationes	Error (%)
AR-10051	103,0	1699	12,2	0,64	2,90	35,40	0,20	0,01	38,51	169,0	2,22	3,80	561,0	7,35	0,06	0,31	28,05	35,77	-3,69
AR-10053	75,0	638,0	49,6	15,4	2,11	13,29	0,81	0,25	16,47	132,0	4,14	10,20	216,0	5,74	0,11	0,84	10,80	17,48	3,00
DDH-2252	67,0	500,0	116,0	3,2	1,89	10,42	1,90	0,05	14,26	109,0	4,11	11,80	132,0	4,74	0,11	0,97	6,60	12,42	-6,90
AR-10143	137,0	883,0	57,7	15,6	3,86	18,40	0,95	0,25	23,45	244,0	6,63	4,59	229,0	10,61	0,17	0,38	11,45	22,61	-1,84
AR-10145	51,0	379,0	65,2	6,4	1,44	7,90	1,07	0,10	10,50	82,2	2,28	8,22	97,2	3,57	0,06	0,68	4,86	9,17	-6,79
AR-2415	106,0	842,0	48,0	17,6	2,99	17,54	0,79	0,28	21,60	193,0	4,94	9,42	191,0	8,39	0,13	0,78	9,55	18,84	-6,81

Anexo 4.6 Ejemplo de output software PHREEQC para el cálculo de balance de cargas para elementos mayores en muestras de agua de la campaña de Abril de 2008.

 Reading data base.

 SOLUTION_MASTER_SPECIES
 SOLUTION_SPECIES
 PHASES
 EXCHANGE_MASTER_SPECIES
 EXCHANGE_SPECIES
 SURFACE_MASTER_SPECIES
 SURFACE_SPECIES
 RATES
 END

 Reading input data for simulation 1.

 SOLUTION_SPREAD
 units mg/L

temp	pH	pe	Na	K	Mg	Ca	Cl	S	Alkalinity
								as SO4	as HCO3
21.8	7.46	6.75	159.00	2.48	0.40	660.0	104.0	1682.00	16.3
26.9	7.26	6.20	105.00	4.80	9.00	192.0	79.0	626.00	58.8
24.2	7.7	6.46	85.40	10.40	10.40	152.0	63.0	433.00	60.4
22.4	7.46	6.17	79.80	4.55	9.87	159.0	62.0	510.00	64.8
25.9	7.41	6.31	118.00	5.79	11.90	154.0	67.0	459.00	238.0
22.3	7.41	6.39	78.40	4.27	6.44	177.0	5.0	484.00	58.1
24.4	7.88	6.34	202.00	7.88	3.64	310.0	19.0	908.00	41.1
22.4	7.71	6.55	76.80	3.42	5.31	158.0	5.0	418.00	73.3
18.4	7.6	6.24	66.60	3.48	5.17	146.0	7.0	452.00	66.7
23.5	7.26	6.20	131.00	4.57	8.06	274.0	101.0	820.00	49.0
24.3	7.61	6.70	90.30	4.72	9.15	183.0	73.0	503.00	58.4
22.4	7.33	6.23	141.00	5.31	8.98	289.0	102.0	909.00	56.1

SELECTED_OUTPUT
 file cálculo-error.csv
 percent_error true
 END

 Beginning of initial solution calculations.

 Initial solution 12.

-----Solution composition-----

Elements	Molality	Moles
Alkalinity	9.208e-04	9.208e-04
Ca	7.221e-03	7.221e-03
Cl	2.881e-03	2.881e-03
K	1.360e-04	1.360e-04
Mg	3.699e-04	3.699e-04
Na	6.142e-03	6.142e-03
S	9.477e-03	9.477e-03

-----Description of solution-----

pH = 7.330
 pe = 6.230
 Activity of water = 1.000
 Ionic strength = 3.024e-02
 Mass of water (kg) = 1.000e+00
 Total carbon (mol/kg) = 9.973e-04
 Total CO2 (mol/kg) = 9.973e-04
 Temperature (deg C) = 22.400
 Electrical balance (eq) = -1.294e-03
 Percent error, 100*(Cat-|An|)/(Cat+|An|) = -3.67
 Iterations = 8
 Total H = 1.110133e+02
 Total O = 5.554703e+01

-----Distribution of species-----

Species	Log		Log		Gamma
	Molality	Activity	Molality	Activity	
OH-	2.062e-07	1.753e-07	-6.686	-6.756	-0.071
H+	5.349e-08	4.677e-08	-7.272	-7.330	-0.058
H2O	5.551e+01	9.996e-01	1.744	-0.000	0.000
C(4)	9.973e-04				
HCO3-	8.779e-04	7.517e-04	-3.057	-3.124	-0.067
CO2	8.125e-05	8.182e-05	-4.090	-4.087	0.003
CaHCO3+	2.992e-05	2.544e-05	-4.524	-4.595	-0.071
CaCO3	3.127e-06	3.149e-06	-5.505	-5.502	0.003
NaHCO3	2.155e-06	2.170e-06	-5.666	-5.663	0.003
MgHCO3+	1.417e-06	1.205e-06	-5.849	-5.919	-0.071
CO3-2	1.328e-06	7.139e-07	-5.877	-6.146	-0.270
MgCO3	9.000e-08	9.063e-08	-7.046	-7.043	0.003

NaCO3-	7.034e-08	5.980e-08	-7.153	-7.223	-0.071
Ca	7.221e-03				
Ca+2	5.146e-03	2.767e-03	-2.289	-2.558	-0.269
CaSO4	2.042e-03	2.057e-03	-2.690	-2.687	0.003
CaHCO3+	2.992e-05	2.544e-05	-4.524	-4.595	-0.071
CaCO3	3.127e-06	3.149e-06	-5.505	-5.502	0.003
CaOH+	1.154e-08	9.813e-09	-7.938	-8.008	-0.071
CaHSO4+	6.423e-10	5.460e-10	-9.192	-9.263	-0.071
Cl	2.881e-03				
Cl-	2.881e-03	2.435e-03	-2.540	-2.613	-0.073
H(0)	1.095e-30				
H2	5.474e-31	5.512e-31	-30.262	-30.259	0.003
K	1.360e-04				
K+	1.326e-04	1.121e-04	-3.877	-3.950	-0.073
KSO4-	3.379e-06	2.872e-06	-5.471	-5.542	-0.071
Mg	3.699e-04				
Mg+2	2.534e-04	1.385e-04	-3.596	-3.859	-0.262
MgSO4	1.150e-04	1.158e-04	-3.939	-3.936	0.003
MgHCO3+	1.417e-06	1.205e-06	-5.849	-5.919	-0.071
MgCO3	9.000e-08	9.063e-08	-7.046	-7.043	0.003
MgOH+	9.972e-09	8.478e-09	-8.001	-8.072	-0.071
Na	6.142e-03				
Na+	6.027e-03	5.135e-03	-2.220	-2.289	-0.070
NaSO4-	1.137e-04	9.663e-05	-3.944	-4.015	-0.071
NaHCO3	2.155e-06	2.170e-06	-5.666	-5.663	0.003
NaCO3-	7.034e-08	5.980e-08	-7.153	-7.223	-0.071
O(0)	3.877e-33				
O2	1.938e-33	1.952e-33	-32.713	-32.710	0.003
S(-2)	0.000e+00				
HS-	0.000e+00	0.000e+00	-84.067	-84.138	-0.071
H2S	0.000e+00	0.000e+00	-84.495	-84.492	0.003
S5-2	0.000e+00	0.000e+00	-86.253	-86.463	-0.209
S4-2	0.000e+00	0.000e+00	-86.475	-86.699	-0.225
S6-2	0.000e+00	0.000e+00	-86.493	-86.689	-0.196
S-2	0.000e+00	0.000e+00	-89.522	-89.804	-0.282
S3-2	0.000e+00	0.000e+00	-89.915	-90.157	-0.242
S2-2	0.000e+00	0.000e+00	-91.152	-91.409	-0.257
S(6)	9.477e-03				
SO4-2	7.202e-03	3.818e-03	-2.143	-2.418	-0.276
CaSO4	2.042e-03	2.057e-03	-2.690	-2.687	0.003
MgSO4	1.150e-04	1.158e-04	-3.939	-3.936	0.003
NaSO4-	1.137e-04	9.663e-05	-3.944	-4.015	-0.071
KSO4-	3.379e-06	2.872e-06	-5.471	-5.542	-0.071
HSO4-	1.931e-08	1.641e-08	-7.714	-7.785	-0.071
CaHSO4+	6.423e-10	5.460e-10	-9.192	-9.263	-0.071

Anexo 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Anexo 5.1 Estadística univariable por campaña

Tabla 5.1.1 Estadígrafos básicos, campaña enero 2007.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		13	7,33	0,27	3,7	0,99	6,80	7,79
Eh	mV	13	409,04	5,15	1,3	17,50	401,50	419,00
EC	uS/cm	13	1348,69	473,92	35,1	1725,00	899,00	2624,00
TDS	ppm	13	1101,56	565,21	51,3	2100,20	711,06	2811,26
Temp	°C	13	25,58	0,86	3,4	3,30	24,00	27,30
SO4	ppm	13	652,74	394,96	60,5	1482,53	384,01	1866,54
HCO3	ppm	13	56,27	7,03	12,5	25,54	42,64	68,18
Cl	ppm	13	79,54	27,22	34,2	87,00	54,00	141,00
Ca	ppm	13	203,10	136,58	67,2	510,87	114,91	625,78
K	ppm	13	6,43	6,14	95,5	22,81	2,55	25,36
Mg	ppm	13	11,18	3,20	28,7	13,51	1,20	14,71
Na	ppm	13	121,00	30,75	25,4	94,50	83,13	177,63
Al	ppb	13	606,31	518,12	85,5	1949,00	61,00	2010,00
As	ppb	13	6,80	4,04	59,4	15,90	3,90	19,80
B	ppb	13	567,54	108,59	19,1	301,00	438,00	739,00
Ba	ppb	13	27,54	13,40	48,6	42,39	13,64	56,03
Br	ppb	13	367,08	122,65	33,4	417,00	162,00	579,00
Cs	ppb	13	0,20	0,11	57,8	0,45	0,04	0,49
Cu	ppb	13	22,37	40,71	182,0	153,10	1,80	154,90
Fe	ppb	13	1228,69	1694,71	137,9	6197,00	5,00	6202,00
Ga	ppb	13	0,13	0,08	64,4	0,26	0,03	0,28
Ge	ppb	13	0,22	0,17	76,0	0,65	0,11	0,76
Li	ppb	13	29,82	10,21	34,2	40,60	14,60	55,20
Mn	ppb	13	222,98	382,08	171,4	1224,92	8,01	1232,93
Mo	ppb	13	28,24	30,35	107,5	101,90	7,60	109,50
Rb	ppb	13	5,67	3,73	65,7	12,51	2,37	14,88
S	ppm	13	263,08	180,89	68,8	679,00	140,00	819,00
Sb	ppb	13	0,15	0,14	96,2	0,53	0,06	0,59
Sc	ppb	13	2,92	0,86	29,5	4,00	1,00	5,00
Se	ppb	13	5,30	2,20	41,4	8,00	1,60	9,60
Si	ppb	13	15317,23	3189,90	20,8	10974,00	8196,00	19170,00
Sr	ppb	13	1428,54	391,70	27,4	1211,13	942,03	2153,16
U	ppb	13	3,02	8,53	282,5	31,28	0,10	31,38
Zn	ppb	13	126,57	315,69	249,4	1155,90	17,50	1173,40

Tabla 5.1.2 Estadígrafos básicos, campaña julio 2007.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		16	7,51	0,26	3,50	1,02	6,80	7,82
Eh	mV	16	428,00	11,15	2,61	30,40	412,10	442,50
EC	uS/cm	16	1313,50	454,02	34,57	1799,00	861,00	2660,00
TDS	ppm	16	1070,63	531,13	49,61	2035,39	648,54	2683,94
Temp	°C	16	20,94	1,08	5,15	3,50	19,20	22,70
SO4	ppm	16	619,55	358,55	57,87	1379,91	359,99	1739,91
HCO3	ppm	16	60,89	6,78	11,14	26,31	42,64	68,95
Cl	ppm	16	74,81	26,98	36,07	92,00	43,00	135,00
Ca	ppm	16	205,65	137,96	67,09	522,51	107,61	630,12
K	ppm	16	6,87	6,22	90,46	20,18	2,34	22,52
Mg	ppm	16	12,40	3,45	27,84	17,45	3,20	20,65
Na	ppm	16	121,51	30,16	24,82	97,62	83,50	181,12
Al	ppb	15	1194,73	1036,02	86,72	4139,00	216,00	4355,00
As	ppb	16	6,88	4,08	59,35	16,60	2,90	19,50
B	ppb	16	576,19	105,35	18,28	288,00	457,00	745,00
Ba	ppb	16	34,60	15,61	45,10	58,14	15,91	74,05
Br	ppb	16	351,69	131,96	37,52	437,00	160,00	597,00
Cs	ppb	16	0,26	0,15	55,49	0,45	0,07	0,52
Cu	ppb	16	49,11	88,91	181,06	354,10	5,00	359,10
Fe	ppb	16	3093,50	3725,02	120,41	11223,00	340,00	11563,00
Ga	ppb	16	0,21	0,09	44,64	0,36	0,07	0,43
Ge	ppb	16	0,30	0,31	103,68	0,99	0,11	1,10
Li	ppb	16	31,31	9,99	31,92	41,50	15,30	56,80
Mn	ppb	16	431,34	565,88	131,19	1650,27	30,52	1680,79
Mo	ppb	16	24,84	23,10	93,00	79,70	4,20	83,90
Rb	ppb	16	6,50	3,72	57,22	11,04	2,42	13,46
S	ppm	16	247,88	164,22	66,25	632,00	129,00	761,00
Sb	ppb	16	0,11	0,06	58,06	0,23	0,03	0,25
Sc	ppb	16	3,00	1,03	34,43	3,00	2,00	5,00
Se	ppb	16	4,94	2,52	51,01	8,70	1,40	10,10
Si	ppb	16	17089,31	6026,20	35,26	25350,00	10137,00	35487,00
Sr	ppb	16	1452,71	504,67	34,74	1927,63	948,90	2876,53
U	ppb	16	4,09	9,08	221,83	28,00	0,10	28,10
Zn	ppb	16	135,41	246,74	182,22	924,70	16,30	941,00

Tabla 5.1.3 Estadígrafos básicos, campaña noviembre 2007.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		29	7,45	0,21	2,87	0,79	7,18	7,97
Eh	mV	29	428,18	8,28	1,93	33,30	408,20	441,50
EC	uS/cm	29	1337,03	464,17	34,72	1929,00	671,00	2600,00
TDS	ppm	29	1168,23	528,36	45,23	2107,25	682,21	2789,45
Temp	°C	29	25,37	1,87	7,38	10,10	21,00	31,10
SO4	ppm	29	694,28	356,46	51,34	1445,41	386,19	1831,61
HCO3	ppm	29	59,35	5,51	9,28	20,38	52,44	72,82
Cl	ppm	29	85,76	30,28	35,31	106,00	53,00	159,00
Ca	ppm	29	210,25	124,00	58,97	499,79	112,43	612,22
K	ppm	29	6,30	5,39	85,54	22,48	2,73	25,21
Mg	ppm	29	9,97	2,76	27,68	11,15	1,43	12,57
Na	ppm	29	132,58	36,45	27,49	128,27	87,95	216,22
Al	ppb	29	865,55	989,31	114,30	5054,00	115,00	5169,00
As	ppb	29	5,54	1,51	27,22	6,50	3,10	9,60
B	ppb	29	568,31	124,17	21,85	442,00	383,00	825,00
Ba	ppb	29	27,64	11,38	41,17	41,50	13,30	54,80
Br	ppb	29	350,79	128,53	36,64	511,00	166,00	677,00
Cs	ppb	29	0,37	0,52	138,42	2,46	0,06	2,52
Cu	ppb	29	29,14	33,74	115,79	120,90	4,70	125,60
Fe	ppb	29	1272,72	1714,69	134,73	6292,00	5,00	6297,00
Ga	ppb	29	0,16	0,15	89,61	0,63	0,03	0,65
Ge	ppb	29	0,24	0,20	84,14	0,85	0,13	0,98
Li	ppb	29	31,39	10,03	31,96	39,10	21,30	60,40
Mn	ppb	29	339,97	523,01	153,84	1535,36	14,13	1549,49
Mo	ppb	29	25,19	26,90	106,80	92,70	4,20	96,90
Rb	ppb	29	6,07	3,21	52,87	11,55	2,80	14,35
S	ppm	29	282,10	163,26	57,87	662,00	141,00	803,00
Sb	ppb	29	0,11	0,06	55,01	0,29	0,03	0,31
Sc	ppb	29	3,00	0,89	29,55	3,00	2,00	5,00
Se	ppb	29	4,91	1,80	36,60	6,30	1,00	7,30
Si	ppb	29	14549,10	2540,32	17,46	9365,00	9274,00	18639,00
Sr	ppb	29	1441,68	336,50	23,34	1006,04	1071,84	2077,88
U	ppb	29	3,33	7,95	238,39	26,84	0,10	26,94
Zn	ppb	29	50,51	40,76	80,70	140,90	8,20	149,10

Tabla 5.1.4 Estadígrafos básicos, campaña abril 2008.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		30	7,45	0,18	2,44	0,63	7,12	7,75
Eh	mV	30	398,99	10,70	2,68	36,50	385,30	421,80
EC	uS/cm	30	1360,40	429,31	31,56	1920,00	672,00	2592,00
TDS	ppm	30	1130,15	492,89	43,61	2198,87	476,17	2675,04
Temp	°C	30	24,36	2,02	8,28	9,50	18,40	27,90
SO4	ppm	30	655,99	329,06	50,16	1500,00	239,91	1739,91
HCO3	ppm	30	59,50	4,68	7,87	16,25	50,89	67,15
Cl	ppm	30	67,27	21,82	32,44	78,00	36,00	114,00
Ca	ppm	30	227,39	121,48	53,42	544,91	85,77	630,68
K	ppm	30	5,47	3,79	69,16	16,66	2,18	18,84
Mg	ppm	30	11,46	2,67	23,30	12,06	2,43	14,49
Na	ppm	30	133,41	36,41	27,30	147,86	72,84	220,70
Al	ppb	29	1606,55	1226,13	76,32	4554,00	70,00	4624,00
As	ppb	30	6,01	1,78	29,56	6,70	2,50	9,20
B	ppb	30	569,20	124,44	21,86	447,00	310,00	757,00
Ba	ppb	30	33,35	14,01	41,99	46,76	12,55	59,31
Br	ppb	30	391,10	133,34	34,09	520,00	158,00	678,00
Cs	ppb	30	0,30	0,23	77,59	1,29	0,07	1,36
Cu	ppb	30	39,02	35,40	90,72	161,40	2,50	163,90
Fe	ppb	30	3746,17	2481,34	66,24	10533,00	5,00	10538,00
Ga	ppb	30	0,21	0,14	67,61	0,55	0,03	0,57
Ge	ppb	30	0,23	0,19	81,82	0,81	0,08	0,89
Li	ppb	30	31,35	8,99	28,69	42,90	17,60	60,50
Mn	ppb	30	426,89	457,15	107,09	1457,79	5,01	1462,80
Mo	ppb	30	20,22	23,59	116,68	88,40	1,20	89,60
Rb	ppb	30	6,86	2,84	41,37	10,45	3,15	13,60
S	ppm	30	264,57	150,71	56,96	687,00	74,00	761,00
Sb	ppb	30	0,11	0,05	47,04	0,23	0,03	0,25
Sc	ppb	30	5,53	1,25	22,63	6,00	3,00	9,00
Se	ppb	30	4,46	1,62	36,42	5,20	0,90	6,10
Si	ppb	30	16705,30	3922,82	23,48	16951,00	8707,00	25658,00
Sr	ppb	30	1514,87	397,30	26,23	1570,41	636,02	2206,43
U	ppb	30	2,60	5,28	203,39	18,50	0,10	18,60
Zn	ppb	30	85,61	61,66	72,02	229,90	10,30	240,20

Tabla 5.1.5 Estadígrafos básicos, campaña marzo 2009.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		6	7,10	0,18	2,53	0,44	6,83	7,27
Eh	mV	0	----	----	----	----	----	----
EC	uS/cm	6	1564,50	602,99	38,54	1642,00	909,00	2551,00
TDS	ppm	6	1321,96	824,22	62,35	2250,31	652,24	2902,55
Temp	°C	6	24,82	1,03	4,17	2,30	23,60	25,90
SO4	ppm	6	765,02	568,52	74,32	1530,57	357,81	1888,38
HCO3	ppm	6	50,46	4,64	9,20	11,35	43,41	54,76
Cl	ppm	6	84,17	34,79	41,33	88,00	43,00	131,00
Ca	ppm	6	282,97	205,75	72,71	559,13	125,61	684,73
K	ppm	6	4,70	2,11	44,84	6,04	2,35	8,38
Mg	ppm	6	11,06	4,19	37,88	11,97	3,73	15,70
Na	ppm	6	149,33	52,37	35,07	144,92	88,31	233,23
Al	ppb	6	2709,67	3768,31	139,07	10057,00	19,00	10076,00
As	ppb	6	6,33	1,97	31,18	5,80	3,20	9,00
B	ppb	6	581,50	135,78	23,35	352,00	368,00	720,00
Ba	ppb	6	27,06	6,99	25,84	18,80	18,71	37,51
Br	ppb	6	416,00	169,58	40,77	473,00	223,00	696,00
Cs	ppb	6	0,71	0,95	134,40	2,45	0,19	2,64
Cu	ppb	6	33,55	30,62	91,26	68,10	8,20	76,30
Fe	ppb	6	3329,50	4631,37	139,10	11884,00	5,00	11889,00
Ga	ppb	6	0,59	0,88	148,02	2,31	0,03	2,33
Ge	ppb	6	0,20	0,04	21,82	0,12	0,13	0,25
Li	ppb	6	38,70	18,76	48,48	49,50	26,20	75,70
Mn	ppb	6	546,02	697,79	127,79	1818,64	28,64	1847,28
Mo	ppb	6	19,18	13,65	71,17	32,60	5,20	37,80
Rb	ppb	6	5,48	1,74	31,67	5,15	2,49	7,64
S	ppm	6	314,50	260,38	82,79	701,00	128,00	829,00
Sb	ppb	6	0,16	0,08	50,01	0,19	0,08	0,27
Sc	ppb	6	6,00	3,52	58,69	10,00	3,00	13,00
Se	ppb	6	3,78	1,12	29,59	2,70	2,50	5,20
Si	ppb	6	16051,67	3644,70	22,71	10819,00	12002,00	22821,00
Sr	ppb	6	1515,48	370,22	24,43	1026,81	1067,65	2094,46
U	ppb	6	1,73	2,76	159,41	7,20	0,10	7,30
Zn	ppb	6	77,58	77,35	99,70	198,10	27,60	225,70

Anexo 5.2 Estadística básica por muestra.

Tabla 5.2.1 Estadígrafos básicos muestra AR-10051.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		7	7,28	0,30	4,15	0,99	6,80	7,79
Eh	mV	6	422,42	15,85	3,75	43,80	396,10	439,90
EC	uS/cm	7	2591,71	41,22	1,59	117,00	2543,00	2660,00
TDS	ppm	7	2751,00	87,68	3,19	237,08	2665,47	2902,55
Temp	°C	7	23,49	2,27	9,68	6,50	19,20	25,70
SO4	ppm	7	1791,37	73,93	4,13	200,87	1687,50	1888,38
HCO3	ppm	7	55,06	7,80	14,17	25,54	42,64	68,18
Cl	ppm	7	109,71	9,91	9,03	27,00	98,00	125,00
Ca	ppm	7	629,34	26,02	4,13	75,86	608,87	684,73
K	ppm	7	3,85	1,23	31,95	3,47	2,18	5,65
Mg	ppm	7	2,80	1,74	62,16	4,90	1,20	6,11
Na	ppm	7	186,94	10,78	5,76	31,73	177,63	209,36
Al	ppb	7	1700,29	1226,31	72,12	2972,00	384,00	3356,00
As	ppb	7	6,79	1,41	20,74	4,00	5,40	9,40
B	ppb	7	597,71	64,75	10,83	172,00	520,00	692,00
Ba	ppb	7	19,79	5,26	26,57	14,14	13,64	27,78
Br	ppb	7	481,57	49,69	10,32	119,00	430,00	549,00
Cs	ppb	7	0,30	0,13	44,60	0,33	0,16	0,49
Cu	ppb	7	44,61	21,70	48,65	51,90	15,30	67,20
Fe	ppb	7	2154,57	2157,33	100,13	5411,00	50,00	5461,00
Ga	ppb	7	0,35	0,18	50,80	0,41	0,25	0,66
Ge	ppb	7	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25
Li	ppb	7	60,56	6,94	11,46	20,50	55,20	75,70
Mn	ppb	7	1474,28	200,40	13,59	614,35	1232,93	1847,28
Mo	ppb	7	34,00	4,04	11,88	12,50	27,30	39,80
Rb	ppb	7	5,33	1,30	24,37	4,08	3,89	7,97
S	ppm	7	784,57	33,86	4,32	92,00	737,00	829,00
Sb	ppb	7	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25
Sc	ppb	7	5,00	0,00	0,00	0,00	5,00	5,00
Se	ppb	7	2,50	0,00	0,00	0,00	2,50	2,50
Si	ppb	7	12111,71	2682,65	22,15	6880,00	9274,00	16154,00
Sr	ppb	7	1565,63	124,68	7,96	356,95	1438,82	1795,77
U	ppb	7	0,13	0,08	58,79	0,20	0,10	0,30
Zn	ppb	7	79,90	53,20	66,58	134,20	41,80	176,00

Tabla 5.2.2 Estadígrafos básicos muestra AR-10053.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		9	7,18	0,21	2,94	0,57	6,80	7,37
Eh	mV	8	410,93	16,07	3,91	42,40	387,60	430,00
EC	uS/cm	9	1314,78	76,15	5,79	251,00	1236,00	1487,00
TDS	ppm	9	1078,00	105,14	9,75	372,00	934,82	1306,82
Temp	°C	9	26,02	2,73	10,49	10,70	20,40	31,10
SO4	ppm	9	637,04	76,28	11,97	279,48	508,47	787,94
HCO3	ppm	9	52,36	5,45	10,41	14,70	42,64	57,34
Cl	ppm	9	71,67	6,87	9,59	19,00	62,00	81,00
Ca	ppm	9	204,35	28,81	14,10	90,60	187,14	277,74
K	ppm	9	5,53	1,12	20,20	3,84	4,11	7,95
Mg	ppm	9	11,34	0,87	7,63	2,44	9,84	12,27
Na	ppm	9	122,41	4,52	3,69	14,05	117,94	131,98
Al	ppb	9	752,22	393,51	52,31	1315,00	206,00	1521,00
As	ppb	9	5,37	0,40	7,51	1,20	4,80	6,00
B	ppb	9	546,44	20,93	3,83	63,00	521,00	584,00
Ba	ppb	9	21,19	3,83	18,07	10,50	17,42	27,92
Br	ppb	9	380,89	30,99	8,14	83,00	337,00	420,00
Cs	ppb	9	0,30	0,06	18,68	0,15	0,23	0,38
Cu	ppb	9	56,12	22,18	39,53	70,50	22,10	92,60
Fe	ppb	9	1168,78	943,89	80,76	2314,00	128,00	2442,00
Ga	ppb	9	0,14	0,06	47,13	0,21	0,03	0,23
Ge	ppb	9	0,24	0,01	5,17	0,04	0,22	0,26
Li	ppb	9	27,39	1,70	6,21	5,20	25,70	30,90
Mn	ppb	9	127,03	107,90	84,94	363,07	33,13	396,20
Mo	ppb	9	11,08	4,34	39,19	12,00	5,20	17,20
Rb	ppb	9	8,97	0,74	8,26	2,04	7,64	9,68
S	ppm	9	255,89	34,94	13,65	128,00	197,00	325,00
Sb	ppb	9	0,09	0,01	13,03	0,03	0,08	0,11
Sc	ppb	9	4,11	1,36	33,18	3,00	3,00	6,00
Se	ppb	9	5,62	0,68	12,02	2,10	4,20	6,30
Si	ppb	9	17028,22	1131,28	6,64	2902,00	15512,00	18414,00
Sr	ppb	9	1447,28	63,46	4,39	184,71	1371,93	1556,64
U	ppb	9	0,55	0,07	12,11	0,20	0,44	0,64
Zn	ppb	9	37,29	22,48	60,29	75,40	16,30	91,70

Tabla 5.2.3 Estadígrafos básicos muestra AR-10063.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		7	7,32	0,13	1,75	0,34	7,19	7,53
Eh	mV	7	418,17	20,23	4,84	51,00	387,80	438,80
EC	uS/cm	7	1467,00	352,26	24,01	975,00	671,00	1646,00
TDS	ppm	7	1408,31	186,57	13,25	518,45	1308,02	1826,48
Temp	°C	7	24,14	1,54	6,40	4,40	22,00	26,40
SO4	ppm	7	844,09	120,05	14,22	338,43	770,47	1108,90
HCO3	ppm	7	56,05	3,30	5,89	8,77	52,70	61,47
Cl	ppm	7	89,00	8,93	10,03	20,00	78,00	98,00
Ca	ppm	7	276,97	61,80	22,31	176,51	238,79	415,30
K	ppm	7	5,17	0,73	14,04	2,03	4,58	6,60
Mg	ppm	7	12,81	3,51	27,42	10,01	10,63	20,65
Na	ppm	7	152,81	2,84	1,86	8,58	148,46	157,04
Al	ppb	6	864,50	641,13	74,16	1544,00	212,00	1756,00
As	ppb	7	7,47	2,26	30,18	6,60	5,50	12,10
B	ppb	7	673,29	29,56	4,39	84,00	624,00	708,00
Ba	ppb	7	25,81	13,14	50,92	38,03	15,59	53,62
Br	ppb	7	492,14	35,76	7,27	91,00	432,00	523,00
Cs	ppb	7	0,24	0,04	14,92	0,10	0,19	0,29
Cu	ppb	7	29,71	27,91	93,94	80,70	7,80	88,50
Fe	ppb	7	3800,86	4058,59	106,78	11410,00	153,00	11563,00
Ga	ppb	7	0,16	0,09	59,20	0,28	0,03	0,30
Ge	ppb	7	0,22	0,02	7,20	0,05	0,20	0,25
Li	ppb	7	31,77	4,99	15,70	14,40	28,50	42,90
Mn	ppb	7	265,95	389,67	146,52	1097,92	28,55	1126,47
Mo	ppb	7	11,60	3,99	34,37	11,70	4,20	15,90
Rb	ppb	7	5,80	1,14	19,57	3,35	4,90	8,25
S	ppm	7	350,71	54,98	15,68	155,00	317,00	472,00
Sb	ppb	7	0,15	0,05	33,30	0,15	0,10	0,25
Sc	ppb	7	4,14	1,46	35,33	4,00	2,00	6,00
Se	ppb	7	5,66	0,31	5,48	0,90	5,30	6,20
Si	ppb	7	18154,43	7737,58	42,62	22402,00	13085,00	35487,00
Sr	ppb	7	2213,32	303,49	13,71	912,86	1963,67	2876,53
U	ppb	7	1,13	0,46	40,89	1,32	0,82	2,14
Zn	ppb	7	143,63	179,29	124,83	490,50	24,00	514,50

Tabla 5.2.4 Estadígrafos básicos muestra AR-10143.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		4	7,71	0,34	4,42	0,75	7,22	7,97
Eh	mV	3	415,80	24,60	5,92	42,90	387,40	430,30
EC	uS/cm	4	1639,75	407,03	24,82	841,00	1030,00	1871,00
TDS	ppm	4	1536,67	139,29	9,06	283,97	1421,38	1705,35
Temp	°C	4	24,45	1,09	4,45	2,60	23,30	25,90
SO4	ppm	4	856,17	118,74	13,87	259,83	737,72	997,55
HCO3	ppm	4	66,05	8,79	13,30	19,35	53,47	72,82
Cl	ppm	4	138,75	20,27	14,61	45,00	114,00	159,00
Ca	ppm	4	273,80	11,57	4,22	24,17	259,61	283,77
K	ppm	4	7,19	0,85	11,89	1,84	6,54	8,38
Mg	ppm	4	9,23	4,42	47,92	9,79	5,91	15,70
Na	ppm	4	219,16	11,09	5,06	26,73	206,50	233,23
Al	ppb	4	5311,50	3342,60	62,93	7317,00	2759,00	10076,00
As	ppb	4	8,73	0,88	10,14	2,10	7,50	9,60
B	ppb	4	702,00	30,03	4,28	66,00	659,00	725,00
Ba	ppb	4	21,16	6,12	28,92	14,04	13,26	27,30
Br	ppb	4	681,25	9,98	1,46	22,00	674,00	696,00
Cs	ppb	4	2,08	0,61	29,27	1,28	1,36	2,64
Cu	ppb	4	18,28	7,03	38,49	16,20	12,20	28,40
Fe	ppb	4	6305,00	3851,80	61,09	8844,00	3045,00	11889,00
Ga	ppb	4	1,04	0,86	82,39	1,76	0,57	2,33
Ge	ppb	4	0,15	0,04	25,33	0,08	0,13	0,21
Li	ppb	4	39,73	3,41	8,59	8,20	35,10	43,30
Mn	ppb	4	443,14	227,20	51,27	482,56	255,41	737,97
Mo	ppb	4	15,88	3,12	19,67	7,10	13,20	20,30
Rb	ppb	4	5,97	0,94	15,82	2,22	4,65	6,87
S	ppm	4	356,25	54,38	15,27	119,00	302,00	421,00
Sb	ppb	4	0,22	0,07	29,21	0,15	0,16	0,31
Sc	ppb	4	6,50	4,43	68,23	10,00	3,00	13,00
Se	ppb	4	5,85	1,05	18,01	2,10	4,80	6,90
Si	ppb	4	15583,00	5153,09	33,07	10987,00	11834,00	22821,00
Sr	ppb	4	1309,43	97,10	7,42	207,46	1242,97	1450,43
U	ppb	4	0,23	0,06	27,28	0,13	0,17	0,30
Zn	ppb	4	128,68	73,80	57,35	172,20	53,50	225,70

Tabla 5.2.5 Estadígrafos básicos muestra DDH-2252.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		10	7,25	0,11	1,56	0,39	7,02	7,41
Eh	mV	9	421,07	20,28	4,82	48,70	393,00	441,70
EC	uS/cm	10	1149,70	35,60	3,10	130,00	1087,00	1217,00
TDS	ppm	10	797,20	30,63	3,84	103,80	724,89	828,69
Temp	°C	10	24,21	2,78	11,49	8,10	19,40	27,50
SO4	ppm	10	411,09	23,57	5,73	74,24	359,99	434,23
HCO3	ppm	10	54,17	2,91	5,37	10,06	48,31	58,38
Cl	ppm	10	64,50	7,96	12,34	20,00	55,00	75,00
Ca	ppm	10	138,12	8,98	6,50	32,09	120,14	152,23
K	ppm	10	6,45	1,12	17,44	4,46	4,17	8,63
Mg	ppm	10	12,52	0,69	5,48	2,29	11,71	14,00
Na	ppm	10	137,99	8,05	5,83	27,37	116,36	143,72
Al	ppb	10	481,30	651,47	135,36	2215,00	19,00	2234,00
As	ppb	10	3,06	0,40	13,09	1,40	2,50	3,90
B	ppb	10	584,60	40,80	6,98	142,00	475,00	617,00
Ba	ppb	10	45,55	8,10	17,78	25,76	32,28	58,04
Br	ppb	10	323,80	15,82	4,88	54,00	297,00	351,00
Cs	ppb	10	0,38	0,08	21,73	0,24	0,28	0,52
Cu	ppb	10	131,82	90,45	68,62	346,90	12,20	359,10
Fe	ppb	10	1785,60	2684,35	150,33	9022,00	5,00	9027,00
Ga	ppb	10	0,12	0,12	98,38	0,41	0,03	0,43
Ge	ppb	10	0,22	0,03	13,73	0,12	0,17	0,29
Li	ppb	10	30,74	2,90	9,43	8,80	26,20	35,00
Mn	ppb	10	1226,89	333,40	27,17	1179,18	501,61	1680,79
Mo	ppb	10	76,55	19,09	24,93	59,10	37,80	96,90
Rb	ppb	10	8,14	0,96	11,76	3,80	6,03	9,83
S	ppm	10	152,40	10,79	7,08	34,00	129,00	163,00
Sb	ppb	10	0,13	0,06	45,08	0,20	0,07	0,27
Sc	ppb	10	4,00	0,94	23,57	2,00	3,00	5,00
Se	ppb	10	1,98	0,45	22,81	1,30	1,40	2,70
Si	ppb	10	17061,50	1608,66	9,43	5980,00	14780,00	20760,00
Sr	ppb	10	1257,50	57,87	4,60	197,47	1127,37	1324,84
U	ppb	10	22,66	7,15	31,56	24,08	7,30	31,38
Zn	ppb	10	267,38	421,11	157,50	1146,40	27,00	1173,40

Tabla 5.2.6 Estadígrafos básicos muestra DDH-2267.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		7	7,62	0,09	1,17	0,25	7,52	7,77
Eh	mV	7	420,19	13,48	3,21	36,20	400,90	437,10
EC	uS/cm	7	1625,00	46,08	2,84	149,00	1550,00	1699,00
TDS	ppm	7	1218,41	57,55	4,72	141,17	1155,95	1297,12
Temp	°C	7	24,17	2,03	8,40	4,90	21,20	26,10
SO4	ppm	7	669,41	44,83	6,70	111,35	613,27	724,62
HCO3	ppm	7	63,79	2,30	3,61	6,45	61,21	67,66
Cl	ppm	7	102,14	11,94	11,69	32,00	88,00	120,00
Ca	ppm	7	231,09	4,64	2,01	13,26	225,74	239,01
K	ppm	7	22,37	2,95	13,19	7,04	18,32	25,36
Mg	ppm	7	13,53	0,80	5,91	2,31	12,40	14,71
Na	ppm	7	148,61	4,23	2,85	11,09	142,35	153,44
Al	ppb	7	908,71	213,87	23,54	494,00	698,00	1192,00
As	ppb	7	3,99	0,71	17,77	2,00	2,90	4,90
B	ppb	7	737,14	40,30	5,47	118,00	673,00	791,00
Ba	ppb	7	28,37	2,49	8,79	7,70	25,04	32,74
Br	ppb	7	164,57	6,73	4,09	20,00	158,00	178,00
Cs	ppb	7	0,48	0,05	10,85	0,16	0,39	0,55
Cu	ppb	7	12,93	9,30	71,97	27,00	6,40	33,40
Fe	ppb	7	6817,43	1069,18	15,68	3107,00	5440,00	8547,00
Ga	ppb	7	0,23	0,06	25,25	0,15	0,17	0,32
Ge	ppb	7	0,94	0,11	11,69	0,34	0,76	1,10
Li	ppb	7	40,94	3,62	8,85	9,00	36,20	45,20
Mn	ppb	7	256,66	26,80	10,44	63,45	228,87	292,32
Mo	ppb	7	60,97	22,50	36,90	65,70	43,80	109,50
Rb	ppb	7	13,84	0,58	4,16	1,52	13,36	14,88
S	ppm	7	270,71	20,53	7,58	51,00	245,00	296,00
Sb	ppb	7	0,19	0,18	97,07	0,52	0,07	0,59
Sc	ppb	7	2,14	0,69	32,20	2,00	1,00	3,00
Se	ppb	7	1,27	0,35	27,89	1,00	0,90	1,90
Si	ppb	7	9590,14	996,01	10,39	2844,00	8196,00	11040,00
Sr	ppb	7	1916,46	62,99	3,29	174,26	1844,71	2018,97
U	ppb	7	1,01	0,18	17,66	0,44	0,82	1,26
Zn	ppb	7	126,43	14,26	11,28	40,30	108,80	149,10

Tabla 5.2.7 Estadígrafos básicos muestra AR-2409.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		4	7,57	0,21	2,71	0,50	7,32	7,82
Eh	mV	4	412,68	17,96	4,35	40,70	389,90	430,60
EC	uS/cm	4	910,00	78,39	8,61	168,00	856,00	1024,00
TDS	ppm	4	797,68	235,54	29,53	500,36	648,54	1148,90
Temp	°C	4	23,13	3,76	16,26	7,90	18,40	26,30
SO4	ppm	4	456,06	132,50	29,05	283,84	368,73	652,57
HCO3	ppm	4	62,57	5,29	8,46	12,90	56,05	68,95
Cl	ppm	4	54,75	9,88	18,04	24,00	43,00	67,00
Ca	ppm	4	144,86	66,49	45,90	136,87	107,61	244,48
K	ppm	4	3,88	2,03	52,32	4,49	2,40	6,89
Mg	ppm	4	10,22	1,59	15,52	3,48	9,09	12,57
Na	ppm	4	97,24	24,86	25,56	51,25	83,13	134,39
Al	ppb	3	776,00	138,85	17,89	268,00	621,00	889,00
As	ppb	4	7,88	1,10	13,96	2,60	6,60	9,20
B	ppb	4	533,25	149,92	28,11	319,00	438,00	757,00
Ba	ppb	4	39,99	7,30	18,26	14,55	33,44	47,99
Br	ppb	4	297,75	66,74	22,41	159,00	231,00	390,00
Cs	ppb	4	0,21	0,02	12,05	0,06	0,18	0,24
Cu	ppb	4	25,80	25,82	100,07	55,70	7,40	63,10
Fe	ppb	4	3594,75	4634,26	128,92	9499,00	1039,00	10538,00
Ga	ppb	4	0,17	0,03	19,80	0,07	0,15	0,22
Ge	ppb	4	0,14	0,02	15,43	0,05	0,11	0,16
Li	ppb	4	26,13	5,94	22,72	13,10	21,10	34,20
Mn	ppb	4	262,12	408,41	155,81	834,32	40,10	874,42
Mo	ppb	4	9,10	2,51	27,58	5,70	5,70	11,40
Rb	ppb	4	4,38	3,03	69,22	6,29	2,62	8,91
S	ppm	4	173,00	60,68	35,08	130,00	133,00	263,00
Sb	ppb	4	0,09	0,02	20,46	0,04	0,08	0,12
Sc	ppb	4	4,00	3,37	84,16	7,00	2,00	9,00
Se	ppb	4	6,23	0,43	6,99	0,80	5,80	6,60
Si	ppb	4	17943,00	5364,03	29,89	12106,00	13552,00	25658,00
Sr	ppb	4	1153,27	159,35	13,82	347,61	1040,56	1388,17
U	ppb	4	0,79	0,28	35,31	0,57	0,63	1,20
Zn	ppb	4	73,18	86,58	118,32	182,80	16,90	199,70

Tabla 5.2.8 Estadígrafos básicos muestra AR-2411.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		6	7,50	0,20	2,73	0,54	7,19	7,73
Eh	mV	6	410,73	20,24	4,93	45,20	385,30	430,50
EC	uS/cm	6	1086,33	107,05	9,85	283,00	1017,00	1300,00
TDS	ppm	6	805,95	27,77	3,45	72,32	764,34	836,66
Temp	°C	6	24,00	1,35	5,61	3,70	21,80	25,50
SO4	ppm	6	470,98	19,70	4,18	52,40	442,96	495,36
HCO3	ppm	6	60,78	5,28	8,69	13,93	52,70	66,63
Cl	ppm	6	50,33	6,22	12,35	15,00	42,00	57,00
Ca	ppm	6	143,62	14,86	10,34	41,83	128,44	170,27
K	ppm	6	2,85	0,31	10,91	0,79	2,55	3,35
Mg	ppm	6	12,04	1,21	10,08	3,40	10,80	14,21
Na	ppm	6	96,34	2,15	2,23	5,41	93,39	98,81
Al	ppb	6	1589,50	1189,03	74,81	2976,00	1039,00	4015,00
As	ppb	6	5,78	0,65	11,23	1,90	5,00	6,90
B	ppb	6	469,33	38,10	8,12	106,00	434,00	540,00
Ba	ppb	6	40,64	6,85	16,86	20,34	32,39	52,73
Br	ppb	6	275,83	18,55	6,73	47,00	247,00	294,00
Cs	ppb	6	0,16	0,04	23,09	0,10	0,13	0,23
Cu	ppb	6	16,32	7,98	48,90	18,70	9,20	27,90
Fe	ppb	6	1995,83	1994,07	99,91	5030,00	1020,00	6050,00
Ga	ppb	6	0,25	0,15	58,37	0,40	0,15	0,55
Ge	ppb	6	0,13	0,01	7,47	0,03	0,12	0,15
Li	ppb	6	27,50	3,03	11,02	9,20	23,40	32,60
Mn	ppb	6	127,94	107,30	83,87	273,86	72,26	346,12
Mo	ppb	6	13,95	3,52	25,22	9,60	7,00	16,60
Rb	ppb	6	3,22	0,55	16,98	1,43	2,76	4,19
S	ppm	6	179,83	9,02	5,02	24,00	167,00	191,00
Sb	ppb	6	0,09	0,02	17,50	0,05	0,07	0,12
Sc	ppb	6	3,67	1,51	41,06	4,00	2,00	6,00
Se	ppb	6	5,23	0,42	8,08	1,10	4,60	5,70
Si	ppb	6	16264,33	2075,56	12,76	6152,00	13918,00	20070,00
Sr	ppb	6	1226,09	50,63	4,13	135,88	1154,11	1289,99
U	ppb	6	0,64	0,05	7,07	0,13	0,59	0,72
Zn	ppb	6	44,32	24,12	54,42	63,80	22,50	86,30

Tabla 5.2.9 Estadígrafos básicos muestra AR-2415.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		9	7,31	0,18	2,40	0,57	6,93	7,50
Eh	mV	8	415,31	16,58	3,99	48,80	389,50	438,30
EC	uS/cm	9	1690,33	28,94	1,71	81,00	1651,00	1732,00
TDS	ppm	9	1380,70	67,02	4,85	230,29	1229,48	1459,77
Temp	°C	9	23,92	2,10	8,76	6,30	20,00	26,30
SO4	ppm	9	809,29	61,29	7,57	209,61	667,85	877,46
HCO3	ppm	9	55,88	4,53	8,10	14,70	45,99	60,70
Cl	ppm	9	99,33	9,94	10,00	26,00	87,00	113,00
Ca	ppm	9	266,95	10,30	3,86	27,59	251,18	278,76
K	ppm	9	5,89	0,38	6,45	1,17	5,46	6,63
Mg	ppm	9	12,72	0,77	6,02	2,06	11,70	13,77
Na	ppm	9	159,13	2,05	1,29	6,94	154,99	161,93
Al	ppb	9	480,56	447,30	93,08	1249,00	61,00	1310,00
As	ppb	9	7,12	0,44	6,15	1,30	6,30	7,60
B	ppb	9	705,33	46,58	6,60	160,00	665,00	825,00
Ba	ppb	9	16,14	2,79	17,29	7,97	13,30	21,27
Br	ppb	9	530,67	41,09	7,74	112,00	465,00	577,00
Cs	ppb	9	0,09	0,05	53,37	0,15	0,04	0,19
Cu	ppb	9	8,31	3,61	43,47	11,90	4,70	16,60
Fe	ppb	9	920,00	1040,52	113,10	2852,00	5,00	2857,00
Ga	ppb	9	0,11	0,09	84,53	0,25	0,03	0,27
Ge	ppb	9	0,22	0,01	6,01	0,04	0,20	0,24
Li	ppb	9	28,60	2,82	9,88	9,10	24,00	33,10
Mn	ppb	9	40,62	30,40	74,83	82,33	8,01	90,34
Mo	ppb	9	12,21	1,59	13,04	4,80	9,30	14,10
Rb	ppb	9	4,62	0,35	7,63	1,22	4,12	5,34
S	ppm	9	334,78	28,07	8,38	96,00	270,00	366,00
Sb	ppb	9	0,09	0,02	24,17	0,05	0,06	0,11
Sc	ppb	9	3,33	1,58	47,43	3,00	2,00	5,00
Se	ppb	9	6,03	0,49	8,08	1,50	5,20	6,70
Si	ppb	9	13650,33	981,76	7,19	3376,00	11751,00	15127,00
Sr	ppb	9	2055,36	77,26	3,76	228,65	1915,52	2144,17
U	ppb	9	1,13	0,07	6,34	0,19	1,04	1,23
Zn	ppb	9	27,82	28,61	102,82	92,50	8,20	100,70

Tabla 5.2.10 Estadígrafos básicos muestra AR-10055.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		6	7,50	0,17	2,27	0,42	7,28	7,70
Eh	mV	6	408,43	10,96	2,68	30,30	389,70	420,00
EC	uS/cm	6	991,17	47,78	4,82	144,00	934,00	1078,00
TDS	ppm	6	762,45	32,85	4,31	84,37	706,56	790,93
Temp	°C	6	25,78	2,95	11,46	8,00	20,70	28,70
SO4	ppm	6	441,51	29,41	6,66	76,42	388,38	464,80
HCO3	ppm	6	60,74	4,39	7,22	10,83	55,02	65,86
Cl	ppm	6	53,50	8,07	15,08	21,00	40,00	61,00
Ca	ppm	6	129,12	7,84	6,07	20,15	119,98	140,13
K	ppm	6	3,19	0,38	11,91	1,15	2,63	3,78
Mg	ppm	6	11,27	0,67	5,95	1,88	10,51	12,39
Na	ppm	6	94,10	2,59	2,75	7,53	89,20	96,73
Al	ppb	6	1213,50	870,31	71,72	2288,00	505,00	2793,00
As	ppb	6	5,18	0,79	15,16	1,80	4,20	6,00
B	ppb	6	450,83	24,76	5,49	67,00	410,00	477,00
Ba	ppb	6	33,83	8,47	25,05	22,64	28,24	50,88
Br	ppb	6	286,17	20,52	7,17	59,00	257,00	316,00
Cs	ppb	6	0,19	0,03	13,31	0,07	0,17	0,24
Cu	ppb	6	32,78	27,43	83,67	66,40	9,50	75,90
Fe	ppb	6	2104,33	2136,18	101,51	4708,00	582,00	5290,00
Ga	ppb	6	0,15	0,07	44,02	0,18	0,10	0,28
Ge	ppb	6	0,15	0,01	7,88	0,03	0,13	0,16
Li	ppb	6	24,08	2,76	11,47	8,00	21,00	29,00
Mn	ppb	6	135,52	126,44	93,30	299,43	40,61	340,04
Mo	ppb	6	4,77	2,77	58,04	6,40	1,20	7,60
Rb	ppb	6	3,41	1,05	30,78	2,78	2,58	5,36
S	ppm	6	166,33	13,47	8,10	35,00	142,00	177,00
Sb	ppb	6	0,07	0,03	40,99	0,09	0,03	0,11
Sc	ppb	6	3,83	1,83	47,87	5,00	2,00	7,00
Se	ppb	6	5,53	0,68	12,35	1,60	4,50	6,10
Si	ppb	6	15890,67	1874,39	11,80	5211,00	14419,00	19630,00
Sr	ppb	6	1174,64	76,96	6,55	233,22	1057,56	1290,78
U	ppb	6	0,77	0,23	29,52	0,50	0,61	1,11
Zn	ppb	6	73,30	67,65	92,30	150,90	21,20	172,10

Tabla 5.2.11 Estadígrafos básicos muestra AR-10057.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		4	7,47	0,12	1,57	0,28	7,32	7,60
Eh	mV	4	407,95	18,26	4,48	41,20	385,50	426,70
EC	uS/cm	4	1021,50	62,68	6,14	132,00	983,00	1115,00
TDS	ppm	4	800,81	36,17	4,52	86,80	762,44	849,25
Temp	°C	4	22,98	2,12	9,22	5,10	20,60	25,70
SO4	ppm	4	473,53	20,71	4,37	50,22	449,51	499,73
HCO3	ppm	4	59,99	3,02	5,03	7,22	56,05	63,28
Cl	ppm	4	50,00	4,08	8,16	8,00	46,00	54,00
Ca	ppm	4	139,71	15,66	11,21	33,67	128,98	162,66
K	ppm	4	2,81	0,45	16,02	1,04	2,34	3,38
Mg	ppm	4	11,51	0,74	6,40	1,80	10,66	12,46
Na	ppm	4	93,85	1,79	1,91	4,09	92,15	96,24
Al	ppb	4	1112,25	759,78	68,31	1673,00	392,00	2065,00
As	ppb	4	5,75	0,49	8,58	1,20	5,20	6,40
B	ppb	4	467,25	23,85	5,10	52,00	432,00	484,00
Ba	ppb	4	32,60	10,16	31,17	21,50	24,09	45,59
Br	ppb	4	274,25	30,46	11,11	70,00	231,00	301,00
Cs	ppb	4	0,14	0,02	17,63	0,05	0,12	0,17
Cu	ppb	4	12,60	9,23	73,23	18,40	4,70	23,10
Fe	ppb	4	1619,50	1422,74	87,85	3050,00	599,00	3649,00
Ga	ppb	4	0,13	0,03	27,33	0,08	0,09	0,17
Ge	ppb	4	0,13	0,01	6,28	0,02	0,12	0,14
Li	ppb	4	26,93	1,73	6,41	4,20	24,70	28,90
Mn	ppb	4	105,74	97,52	92,23	208,44	28,43	236,87
Mo	ppb	4	14,95	5,99	40,04	12,30	8,40	20,70
Rb	ppb	4	2,97	0,67	22,45	1,20	2,37	3,57
S	ppm	4	181,00	9,49	5,24	23,00	170,00	193,00
Sb	ppb	4	0,07	0,01	11,66	0,02	0,06	0,08
Sc	ppb	4	3,50	1,73	49,49	4,00	2,00	6,00
Se	ppb	4	5,25	0,29	5,50	0,70	4,90	5,60
Si	ppb	4	16088,50	2020,36	12,56	4458,00	14615,00	19073,00
Sr	ppb	4	1206,32	86,08	7,14	198,08	1132,77	1330,85
U	ppb	4	0,58	0,15	25,85	0,32	0,48	0,80
Zn	ppb	4	37,70	23,27	61,72	50,40	18,00	68,40

Tabla 5.2.12 Estadígrafos básicos muestra AR-10058.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		6	7,49	0,21	2,78	0,49	7,25	7,74
Eh	mV	6	412,70	10,76	2,61	29,60	399,10	428,70
EC	uS/cm	6	1011,00	45,18	4,47	120,00	978,00	1098,00
TDS	ppm	6	818,68	31,18	3,81	92,07	784,07	876,15
Temp	°C	6	23,58	1,51	6,39	3,90	22,30	26,20
SO4	ppm	6	481,54	13,15	2,73	39,30	460,43	499,73
HCO3	ppm	6	60,31	5,37	8,91	12,64	54,25	66,89
Cl	ppm	6	52,50	4,09	7,78	11,00	45,00	56,00
Ca	ppm	6	144,22	21,81	15,12	55,73	130,28	186,01
K	ppm	6	3,19	0,46	14,33	1,35	2,55	3,90
Mg	ppm	6	12,63	1,75	13,87	4,03	10,85	14,88
Na	ppm	6	95,05	2,41	2,54	5,96	92,45	98,41
Al	ppb	6	2435,67	1639,19	67,30	3711,00	913,00	4624,00
As	ppb	6	5,78	0,58	10,11	1,40	5,00	6,40
B	ppb	6	465,67	11,08	2,38	32,00	454,00	486,00
Ba	ppb	6	49,14	16,88	34,36	44,47	29,58	74,05
Br	ppb	6	279,50	22,14	7,92	62,00	248,00	310,00
Cs	ppb	6	0,13	0,02	13,83	0,05	0,10	0,15
Cu	ppb	6	18,28	9,61	52,58	21,40	8,20	29,60
Fe	ppb	6	2055,67	1218,13	59,26	3235,00	743,00	3978,00
Ga	ppb	6	0,20	0,08	37,41	0,19	0,12	0,31
Ge	ppb	6	0,12	0,02	16,85	0,05	0,08	0,13
Li	ppb	6	28,27	2,05	7,26	5,50	25,70	31,20
Mn	ppb	6	294,15	270,27	91,88	662,95	73,53	736,48
Mo	ppb	6	9,48	4,70	49,59	11,20	3,40	14,60
Rb	ppb	6	4,06	1,10	27,02	2,58	2,92	5,50
S	ppm	6	184,67	6,02	3,26	18,00	175,00	193,00
Sb	ppb	6	0,06	0,03	42,51	0,09	0,03	0,11
Sc	ppb	6	4,00	2,00	50,00	5,00	3,00	8,00
Se	ppb	6	5,23	0,31	6,00	0,80	4,90	5,70
Si	ppb	6	19162,50	4127,60	21,54	10060,00	14480,00	24540,00
Sr	ppb	6	1245,75	88,21	7,08	225,56	1180,17	1405,73
U	ppb	6	0,71	0,20	28,73	0,51	0,55	1,06
Zn	ppb	6	54,90	42,43	77,29	112,10	20,70	132,80

Tabla 5.2.13 Estadígrafos básicos muestra AR-10064.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		6	7,60	0,11	1,46	0,26	7,44	7,70
Eh	mV	6	417,13	15,69	3,76	45,00	392,70	437,70
EC	uS/cm	6	1133,50	54,59	4,82	149,00	1082,00	1231,00
TDS	ppm	6	891,78	23,01	2,58	57,78	855,79	913,57
Temp	°C	6	23,73	2,31	9,75	5,80	21,00	26,80
SO4	ppm	6	516,83	19,30	3,74	52,40	491,00	543,40
HCO3	ppm	6	63,28	2,86	4,52	6,71	59,15	65,86
Cl	ppm	6	66,00	7,46	11,30	18,00	56,00	74,00
Ca	ppm	6	155,36	11,03	7,10	29,78	147,30	177,08
K	ppm	6	5,11	0,35	6,85	0,94	4,77	5,71
Mg	ppm	6	11,36	0,99	8,69	2,71	10,49	13,20
Na	ppm	6	106,11	2,80	2,64	7,78	101,53	109,32
Al	ppb	6	1130,67	1217,90	107,72	3111,00	494,00	3605,00
As	ppb	6	5,15	0,45	8,75	1,30	4,60	5,90
B	ppb	6	508,83	21,81	4,29	61,00	484,00	545,00
Ba	ppb	6	26,09	10,15	38,91	27,49	18,88	46,37
Br	ppb	6	359,50	25,01	6,96	74,00	314,00	388,00
Cs	ppb	6	0,28	0,08	27,02	0,21	0,14	0,35
Cu	ppb	6	10,50	4,13	39,31	12,60	5,30	17,90
Fe	ppb	6	1107,50	1312,91	118,55	3446,00	311,00	3757,00
Ga	ppb	6	0,14	0,06	43,09	0,16	0,10	0,26
Ge	ppb	6	0,19	0,03	18,21	0,09	0,12	0,21
Li	ppb	6	25,08	2,17	8,66	6,40	21,30	27,70
Mn	ppb	6	94,38	101,97	108,05	264,04	37,61	301,65
Mo	ppb	6	8,98	3,32	37,01	9,20	2,40	11,60
Rb	ppb	6	9,09	0,51	5,64	1,19	8,51	9,70
S	ppm	6	200,83	8,84	4,40	24,00	189,00	213,00
Sb	ppb	6	0,12	0,02	17,48	0,06	0,10	0,16
Sc	ppb	6	4,50	2,07	46,08	5,00	3,00	8,00
Se	ppb	6	6,47	0,58	9,00	1,40	5,90	7,30
Si	ppb	6	19348,00	2878,96	14,88	8212,00	16785,00	24997,00
Sr	ppb	6	1179,59	42,88	3,64	104,65	1108,35	1213,00
U	ppb	6	0,71	0,13	18,33	0,35	0,61	0,96
Zn	ppb	6	25,58	9,61	37,56	23,70	15,20	38,90

Tabla 5.2.14 Estadígrafos básicos muestra AR-10145.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
pH		5	7,58	0,21	2,81	0,54	7,22	7,76
Eh	mV	4	419,73	12,88	3,07	25,60	408,50	434,10
EC	uS/cm	5	973,40	62,29	6,40	164,00	909,00	1073,00
TDS	ppm	5	744,07	70,21	9,44	175,41	652,24	827,65
Temp	°C	5	24,94	1,48	5,92	3,80	22,40	26,20
SO4	ppm	5	425,93	52,71	12,37	128,82	357,81	486,63
HCO3	ppm	5	62,86	5,50	8,75	13,93	53,47	67,40
Cl	ppm	5	49,00	9,27	18,93	20,00	41,00	61,00
Ca	ppm	5	132,80	6,85	5,16	18,14	125,61	143,75
K	ppm	5	2,96	0,47	15,92	1,28	2,35	3,63
Mg	ppm	5	9,57	0,75	7,88	1,85	8,97	10,82
Na	ppm	5	93,01	5,20	5,59	12,04	87,72	99,75
Al	ppb	5	1030,80	911,44	88,42	2088,00	374,00	2462,00
As	ppb	5	6,20	0,64	10,26	1,50	5,10	6,60
B	ppb	5	373,40	20,70	5,54	55,00	341,00	396,00
Ba	ppb	5	41,42	9,16	22,11	23,21	31,56	54,77
Br	ppb	5	256,20	19,92	7,77	51,00	223,00	274,00
Cs	ppb	5	0,25	0,03	12,73	0,08	0,20	0,28
Cu	ppb	5	13,60	8,78	64,53	19,70	6,40	26,10
Fe	ppb	5	2660,00	3654,69	137,39	8523,00	482,00	9005,00
Ga	ppb	5	0,12	0,07	56,52	0,16	0,07	0,23
Ge	ppb	5	0,14	0,02	12,60	0,04	0,13	0,17
Li	ppb	5	30,14	9,10	30,19	22,70	23,40	46,10
Mn	ppb	5	115,61	135,29	117,03	314,53	28,64	343,17
Mo	ppb	5	10,58	2,79	26,42	5,70	7,90	13,60
Rb	ppb	5	3,46	0,90	25,98	2,02	2,49	4,51
S	ppm	5	159,20	24,14	15,16	59,00	128,00	187,00
Sb	ppb	5	0,09	0,03	40,33	0,09	0,03	0,11
Sc	ppb	5	4,00	1,41	35,36	3,00	3,00	6,00
Se	ppb	5	4,78	0,97	20,20	2,70	3,30	6,00
Si	ppb	5	15585,80	2425,10	15,56	6445,00	12002,00	18447,00
Sr	ppb	5	1209,78	88,64	7,33	221,23	1067,65	1288,88
U	ppb	5	1,07	0,14	13,40	0,39	0,85	1,24
Zn	ppb	5	53,46	46,15	86,32	110,30	14,20	124,50

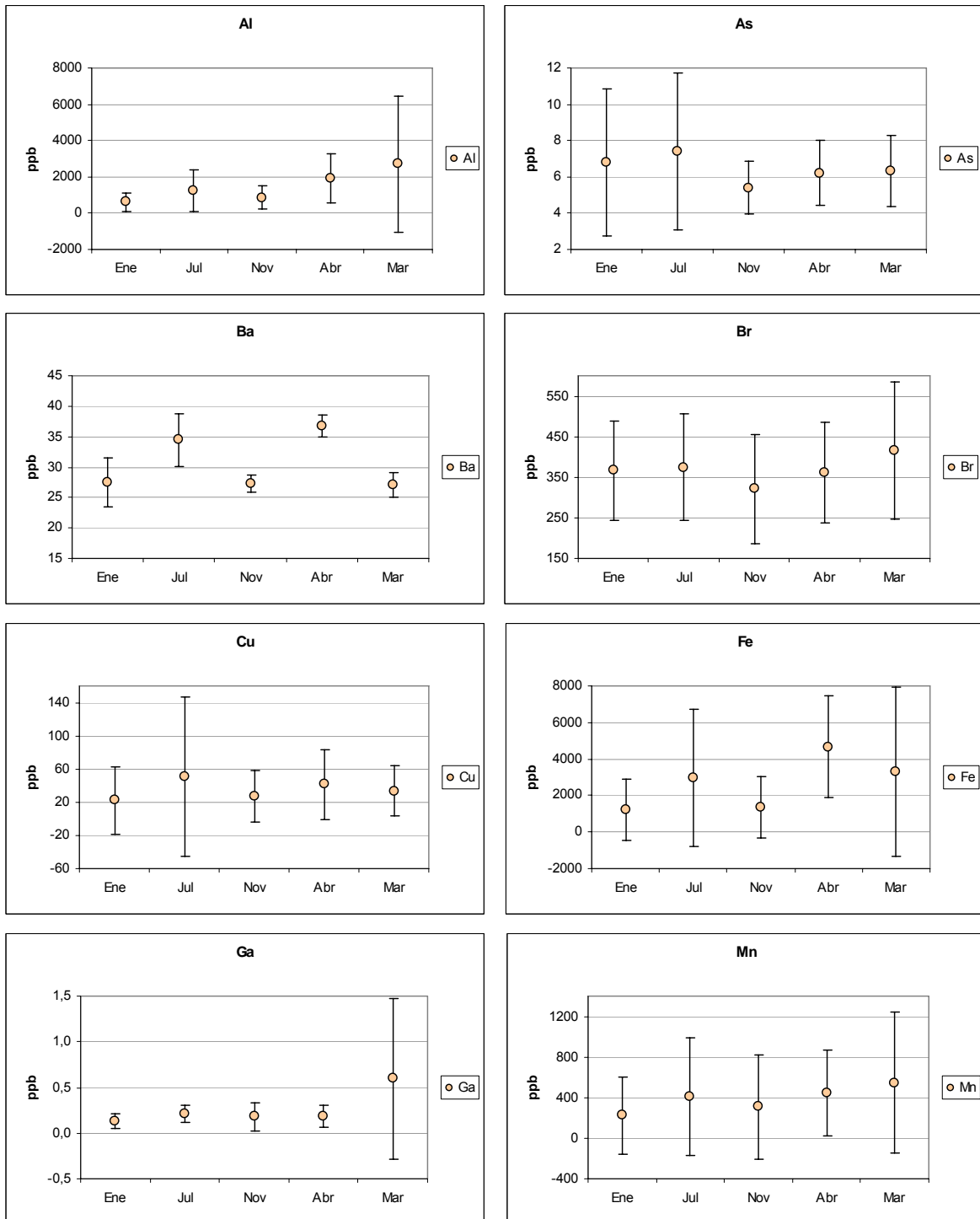
Anexo 5.3 Estadística básica, muestras filtradas.

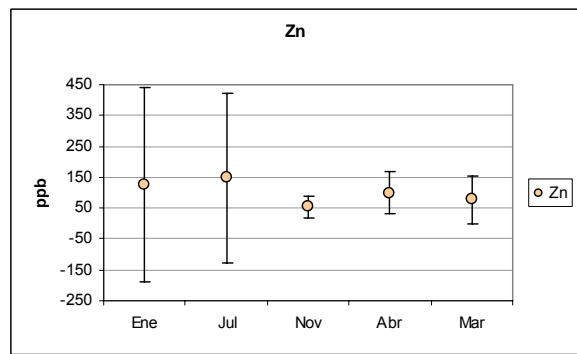
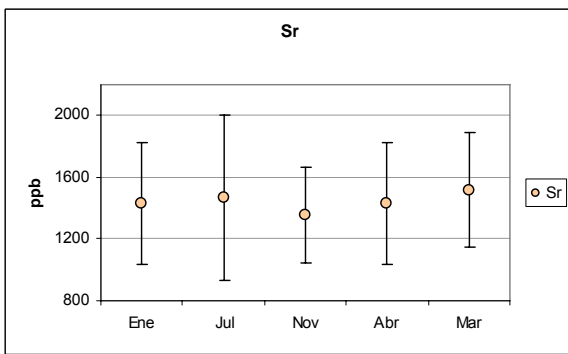
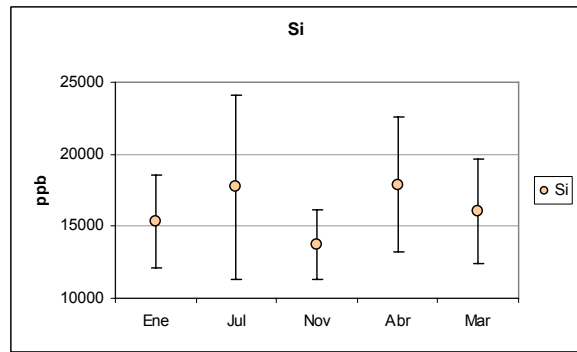
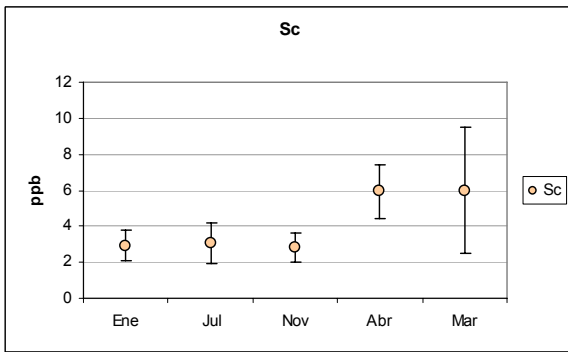
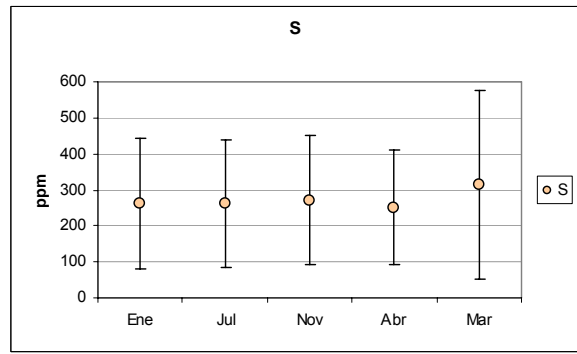
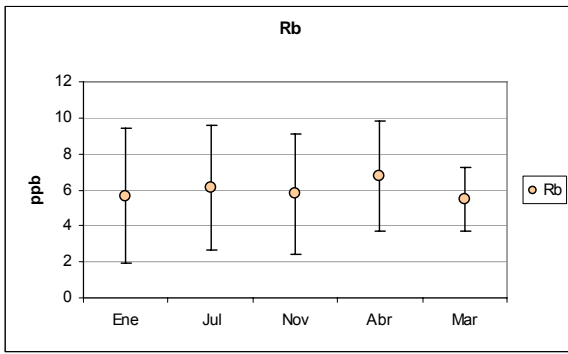
Tabla 5.3.1 Estadígrafos básicos muestras de agua subterránea filtrada, campaña marzo 2009.

		Muestras	Media	Desv. Est.	Cv%	Rango	Mínimo	Máximo
Cl	ppm	6	87,33	35,56	40,71	84,00	48,00	132,00
Ca	ppm	6	281,61	209,70	74,46	566,03	127,46	693,49
K	ppm	6	4,59	1,76	38,33	4,68	2,52	7,19
Mg	ppm	6	8,83	4,58	51,79	11,72	0,82	12,55
Na	ppm	6	149,25	53,33	35,74	149,84	88,52	238,35
Al	ppb	6	115,33	146,80	127,28	354,00	15,00	369,00
As	ppb	6	4,92	1,79	36,46	4,70	2,50	7,20
B	ppb	6	597,33	141,62	23,71	362,00	407,00	769,00
Ba	ppb	6	20,90	14,01	67,04	37,20	3,47	40,67
Br	ppb	6	392,50	147,28	37,52	419,00	209,00	628,00
Cs	ppb	6	0,31	0,41	134,32	1,09	0,03	1,12
Cu	ppb	6	12,30	12,73	103,50	32,90	4,60	37,50
Fe	ppb	6	272,00	360,81	132,65	894,00	5,00	899,00
Ga	ppb	6	0,09	0,08	92,90	0,23	0,03	0,25
Ge	ppb	6	0,17	0,07	40,93	0,19	0,06	0,25
Li	ppb	6	34,12	16,20	47,50	43,10	23,10	66,20
Mn	ppb	6	408,68	743,58	181,95	1856,41	1,93	1858,34
Mo	ppb	6	24,72	12,92	52,26	33,20	10,70	43,90
Rb	ppb	6	4,68	1,59	33,96	4,45	2,68	7,13
S	ppm	6	326,50	260,65	79,83	688,00	143,00	831,00
Sb	ppb	6	0,17	0,13	74,28	0,30	0,03	0,32
Sc	ppb	6	4,17	0,75	18,07	2,00	3,00	5,00
Se	ppb	6	3,78	1,21	31,91	3,00	2,40	5,40
Si	ppb	6	12251,83	2118,03	17,29	5779,00	8392,00	14171,00
Sr	ppb	6	1588,89	482,27	30,35	1274,79	1196,07	2470,86
U	ppb	6	1,55	2,50	161,55	6,48	0,10	6,58
Zn	ppb	6	18,45	16,70	90,53	43,40	5,00	48,40

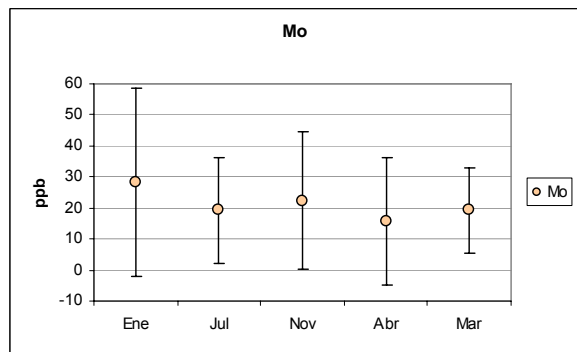
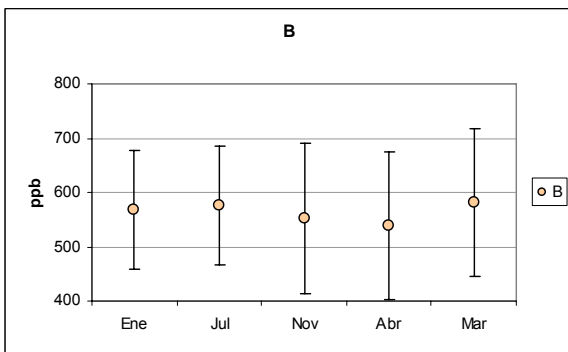
Anexo 5.4 Promedios por campaña de elementos que pasan el control de calidad. Las barras de error representan la desviación estándar de cada elemento. Se presentan los gráficos en grupos de acuerdo al comportamiento, o tendencias generales, de los elementos.

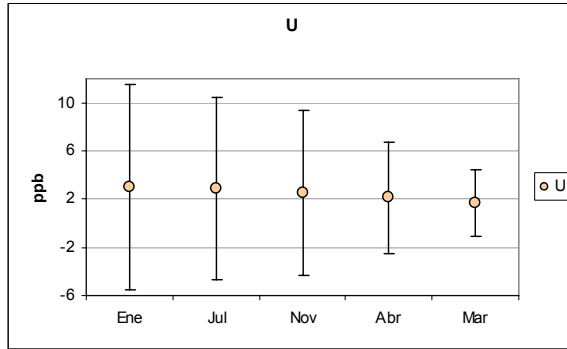
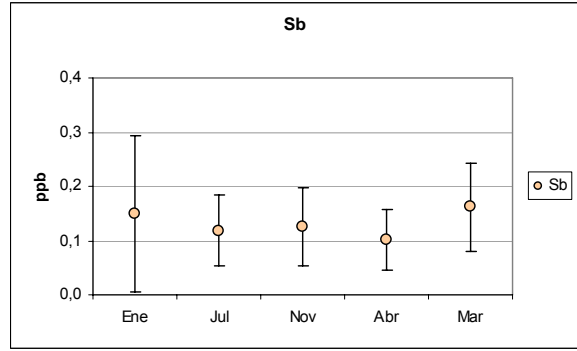
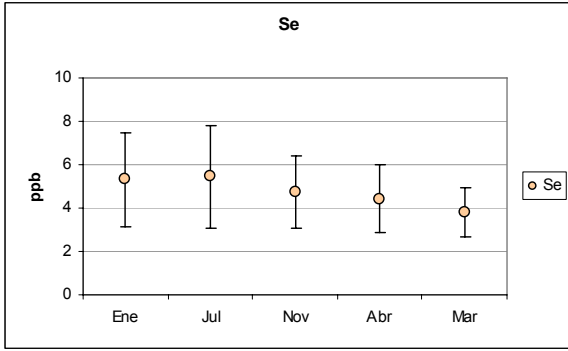
Grupo 1



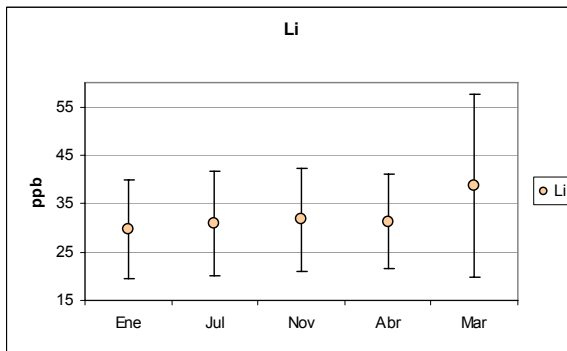
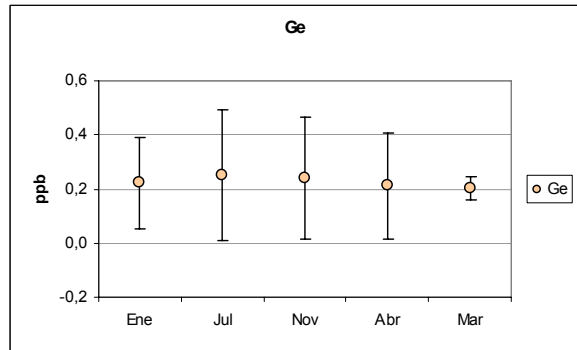
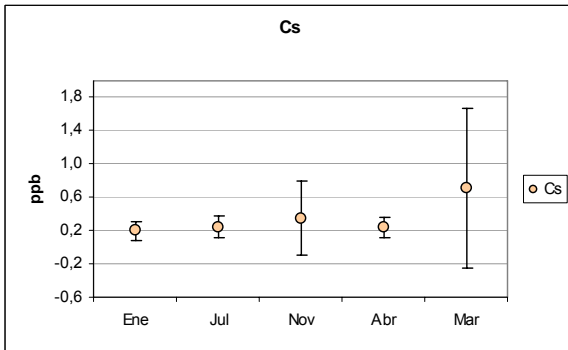


Grupo 2





Grupo 3



Anexo 6. RESULTADOS

Anexo 6.1 Resultados de análisis químicos y físico-químicos.

Tabla 6.1.1 Resultados de mediciones de parámetros físico-químicos en muestras de agua subterránea para las cuatro primeras campañas de terreno, incluidas correcciones.

Muestra	Fecha muestreo	pH medido	pH corregido	Eh medido	Eh corregido	Conduct.	TDS medido	TDS calculado	Temperatura
AR-10051	23/01/2007	7,79	7,8	219	419	2624	1317	2811	24,6
AR-10053	23/01/2007	6,8	6,8	215,6	415,6	1365	682	1078	25,6
AR-10063	24/01/2007	7,19	7,2	214	414	1606	804	1380	26,4
AR-10099	25/01/2007	7,26	7,3	210,6	410,6	1235	618	838	25,6
DDH-2252	23/01/2007	7,02	7,0	204,4	404,4	1155	578	775	25
DDH-2267	23/01/2007	7,77	7,8	212,1	412,1	1699	837	1255	24,8
AR-2409	23/01/2007	7,32	7,4	207,5	407,5	899	448	711	26,3
AR-2411	23/01/2007	7,19	7,2	206	406	1057	529	809	24
AR-2415	24/01/2007	7,26	7,3	209,8	409,8	1732	865	1371	25,5
AR-10055	23/01/2007	7,28	7,3	208,1	408,1	1000	499	778	27,3
AR-10057	24/01/2007	7,51	7,5	201,5	401,5	999	499	790	25,7
AR-10058	23/01/2007	7,44	7,5	202,8	402,8	1019	509	811	26,2
AR-10064	24/01/2007	7,44	7,5	206,1	406,1	1143	571	913	25,5
AR-10051	22/07/2007	6,8	6,6	219,8	419,8	2660	1326	2684	19,2
AR-10053	22/07/2007	7,34	7,2	219,7	419,7	1286	642	1046	20,4
AR-10063	24/07/2007	7,53	7,4	238,8	438,8	1620	809	1826	22
AR-10099	21/07/2007	7,22	7,1	242,5	442,5	1232	616	829	20,8
DDH-2252	22/07/2007	7,36	7,2	239,6	439,6	1136	567	819	19,4
DDH-2252-2	22/07/2007	7,28	7,1	241,7	441,7	1149	574	725	19,4
DDH-2267	22/07/2007	7,66	7,5	237,1	437,1	1651	825	1188	21,2
DDH-2267-2	22/07/2007	7,56	7,5	236,9	436,9	1621	811	1183	21,5
AR-2409	24/07/2007	7,82	7,7	230,6	430,6	861	430	649	21,8
AR-2411	24/07/2007	7,73	7,6	226,4	426,4	1017	509	764	21,8
AR-2415	21/07/2007	7,41	7,3	214,3	414,3	1711	855	1433	20
AR-10055	22/07/2007	7,63	7,5	217,8	417,8	983	491	739	20,7
AR-10057	22/07/2007	7,6	7,5	218,1	418,1	983	490	762	20,6
AR-10058	24/07/2007	7,74	7,7	212,1	412,1	994	496	824	22,7
AR-10058-2	24/07/2007	7,74	7,7	214,9	414,9	998	498	784	22,4
AR-10064	22/07/2007	7,7	7,6	237,7	437,7	1114	556	874	21,2
AR-10051	30/11/2007	7,27	7,3	237,9	437,9	2600	1295	2789	25,3
AR-10051-2	30/11/2007	7,26	7,3	239,9	439,9	2572	1285	2729	25,7
AR-10053	01/12/2007	7,23	7,3	230	430	1289	645	1069	27
AR-10053-2	01/12/2007	7,24	7,4	208,2	408,2	1236	619	1069	31,1
AR-10053-3	01/12/2007	7,3	7,3	228,7	428,7	1349	673	1163	26
AR-10063	30/11/2007	7,23	7,2	237,1	437,1	1579	789	1373	25,3
AR-10063-2	30/11/2007	7,43	7,4	237	437	671	833	1335	24,8
AR-10143	02/12/2007	7,97	8,0	229,7	429,7	1821	909	1705	24,5
AR-10143-2	02/12/2007	7,91	7,9	230,3	430,3	1837	918	1597	23,3
DDH-2252	01/12/2007	7,2	7,3	241,5	441,5	1115	558	800	27,5
DDH-2252-2	01/12/2007	7,18	7,2	231,2	431,2	1152	574	825	26,5
DDH-2252-3	01/12/2007	7,29	7,3	232,4	432,4	1188	594	810	25,1
DDH-2267	02/12/2007	7,52	7,6	223,7	423,7	1550	772	1281	26,1
DDH-2267-2	02/12/2007	7,68	7,7	219	419	1638	819	1297	24,4
AR-2409	01/12/2007	7,55	7,6	222,7	422,7	856	430	682	26
AR-2411	30/11/2007	7,36	7,4	227,2	427,2	1300	502	781	25,2
AR-2411-2	30/11/2007	7,53	7,5	230,5	430,5	1020	508	837	23,3
AR-2415	02/12/2007	7,5	7,5	237,6	437,6	1656	827	1415	26,3
AR-2415-2	02/12/2007	7,48	7,5	220,8	420,8	1659	826	1460	25,1
AR-2415-3	02/12/2007	7,43	7,5	238,3	438,3	1651	825	1425	26,3
AR-10055	01/12/2007	7,37	7,4	211,1	411,1	976	487	791	25,9
AR-10055-2	01/12/2007	7,41	7,5	220	420	934	466	786	28,7

...continuación Tabla 6.1.1

AR-10057	30/11/2007	7,32	7,3	226,7	426,7	989	494	801	23,2
AR-10058	30/11/2007	7,33	7,3	218,6	418,6	978	488	814	24,4
AR-10058-2	30/11/2007	7,25	7,2	228,7	428,7	979	488	803	23,5
AR-10064	01/12/2007	7,7	7,7	224,2	424,2	1144	569	902	23,6
AR-10064-2	01/12/2007	7,58	7,5	225,8	425,8	1127	562	914	22,4
AR-10145	02/12/2007	7,76	7,8	234,1	434,1	982	490	828	25,1
AR-10145-2	02/12/2007	7,63	7,6	227,1	427,1	966	482	799	25,4
AR-10051	15/04/2008	7,46	7,4	221,8	421,8	2592	1297	2675	21,8
AR-10051-2	17/04/2008	7,12	7,1	196,1	396,1	2543	1271	2665	24
AR-10053	15/04/2008	7,26	7,3	187,6	387,6	1261	632	1014	26,9
AR-10053-2	16/04/2008	7,37	7,4	208,4	408,4	1276	634	1022	25,7
AR-10053-3	16/04/2008	7,22	7,2	189,2	389,2	1487	745	1307	25,8
AR-10063	15/04/2008	7,26	7,2	187,8	387,8	1646	824	1308	23,5
AR-10063-2	16/04/2008	7,38	7,4	199,4	399,4	1552	776	1325	24,4
AR-10063-3	16/04/2008	7,22	7,1	213,1	413,1	1595	799	1310	22,6
AR-10143	16/04/2008	7,88	7,9	196	396	1858	932		24,4
AR-10143-2	16/04/2008	7,73	7,7	187,4	387,4	1030	515	1423	24,1
DDH-2252	15/04/2008	7,41	7,4	194,3	394,3	1217	609	829	25,9
DDH-2252-2	17/04/2008	7,27	7,3	211,5	411,5	1144	570	810	25,7
DDH-2252-3	17/04/2008	7,31	7,3	193	393	1154	578	788	23,3
DDH-2267	16/04/2008	7,54	7,5	211,6	411,6	1618	808	1156	25,1
DDH-2267-2	17/04/2008	7,61	7,6	200,9	400,9	1598	799	1169	26,1
IDO-2	17/04/2008	7,48	7,5	188,6	388,6	1570	781	1343	27,1
AR-2409	15/04/2008	7,6	7,4	189,9	389,9	1024	513	1149	18,4
AR-2411	16/04/2008	7,7	7,7	189	389	1048	523	823	25,5
AR-2411-2	17/04/2008	7,51	7,5	185,3	385,3	1076	539	822	24,2
AR-2415	15/04/2008	7,33	7,3	189,5	389,5	1707	854	1371	22,4
AR-2415-2	16/04/2008	7,24	7,2	206,8	406,8	1710	850	1361	23,6
AR-2415-3	16/04/2008	7,24	7,2	205,4	405,4	1702	851	1362	22,5
AR-10055	15/04/2008	7,7	7,7	203,9	403,9	1078	540	707	24,2
AR-10055-2	17/04/2008	7,62	7,7	189,7	389,7	976	488	774	27,9
AR-10057	15/04/2008	7,46	7,4	185,5	385,5	1115	558	849	22,4
AR-10058	15/04/2008	7,41	7,3	199,1	399,1	1098	551	876	22,3
AR-10064	15/04/2008	7,61	7,6	219	419	1231	604	892	24,3
AR-10064-2	17/04/2008	7,49	7,5	192,7	392,7	1082	533	856	26,8
AR-10145	16/04/2008	7,71	7,6	209,2	409,2	1073	537	732	22,4
AR-10145-2	17/04/2008	7,6	7,6	208,5	408,5	937	468	710	26,2
AR-10154	17/04/2008	7,75	7,8	205,5	405,5	672	335	476	25,8

* Eh en mV, Conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$, TDS en ppm y temperatura en $^{\circ}\text{C}$

Tabla 6.1.2 Resultados de análisis de elementos mayores en muestras de agua subterránea para las cuatro primeras campañas de terreno. Se incluyen datos extrapolados.

Muestras	Fecha muestreo	Ca	K	Mg	Na	Cl	SO4	HCO3
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm
AR-2409	Ene 07	114911	3078	9710	83132	56	417	56,05
AR-2409-DL	Ene 07	113750	2957	9615	81817	52	-	-
AR-2411	Ene 07	141074	2553	12101	93391	54	480	52,70
AR-2415	Ene 07	257698	6152	12665	154988	103	810	54,51
AR-10051	Ene 07	625776	2693	1203	177634	104	1867	68,18
AR-10053	Ene 07	197957	6363	11836	118223	75	648	42,64
AR-10055	Ene 07	126801	3237	11407	94045	57	458	55,02
AR-10057	Ene 07	130460	2592	11471	92888	54	469	60,96
AR-10058	Ene 07	135265	3113	12770	92453	54	484	59,15
AR-10063	Ene 07	252023	4976	11654	151831	98	836	52,70
AR-10064	Ene 07	148945	5313	11374	104128	71	543	59,15
AR-10099	Ene 07	138166	9569	11813	119912	141	391	54,51
AR-10051D	Ene 07	622784	3801	1605	176805	101	-	-
DDH-2252	Ene 07	137068	8626	12681	140494	68	384	48,31
DDH-2267	Ene 07	234099	25360	14709	149889	99	698	67,66
STANDARD WASTWATERD2	Ene 07	133	<50	<50	<50	<1	-	-
AR-2409	Jul 07	107606	2396	9524	83501	43	369	68,95
AR-2411	Jul 07	131637	2573	12155	94366	48	443	66,63
AR-2415	Jul 07	276665	6632	13547	158567	104	845	58,38
AR-10051	Jul 07	630120	4697	3201	181118	104	1740	42,64
AR-10053	Jul 07	191281	5737	12153	117936	71	620	56,57
AR-10055	Jul 07	119978	2629	11289	89198	55	430	64,05
AR-10057	Jul 07	128983	2339	11454	92147	47	450	63,28
AR-10058	Jul 07	150443	3464	14877	92674	52	478	66,89
AR-10058-2	Jul 07	130284	2550	11901	94131	52	460	66,89
AR-10063	Jul 07	415296	6603	20648	154906	90	1109	61,47
AR-10064	Jul 07	147296	4879	11302	101532	66	511	65,86
AR-10099	Jul 07	142678	7872	12416	121136	135	384	53,47
AR-2409D	Jul 07	113149	3104	10067	82606	47	415	57,09
DDH-2252	Jul 07	145877	7114	13996	141728	68	360	55,02
DDH-2252-2	Jul 07	120140	6371	12275	135151	64	655	64,83
DDH-2267	Jul 07	225744	21569	13837	142354	98	646	62,25
DDH-2267-2	Jul 07	226377	22519	13875	143759	100	-	-
STANDARD WASTWATERD2	Jul 07	133	<50	<50	<50	<1	-	-
AR-2409	Nov 07	112426	3175	9089	87950	53	386	61,99
AR-2411	Nov 07	128443	3346	10802	96053	56	458	57,09
AR-2415	Nov 07	258241	6057	11937	161826	105	843	60,70
AR-10051	Nov 07	612216	5649	1513	186632	125	1832	54,76
AR-10053	Nov 07	187142	5571	11053	124331	75	639	53,73
AR-10055	Nov 07	127401	3256	10651	96730	60	465	57,34
AR-10057	Nov 07	136749	3380	10659	94125	53	476	56,05
AR-10058	Nov 07	130383	2964	10868	97156	56	489	56,31
AR-10063	Nov 07	244778	5653	10634	152468	97	836	53,73
AR-10064	Nov 07	150134	4914	10490	109316	71	524	65,86
AR-10143	Nov 07	283773	7218	5909	216224	159	998	72,82
AR-10145	Nov 07	134255	3627	9355	99754	61	487	67,40
AR-2411-2	Nov 07	143106	2893	10975	97203	57	495	61,47
AR-2415-2	Nov 07	260077	6023	11791	161928	113	877	60,18
AR-2415-3	Nov 07	251175	5575	11704	158807	111	858	58,89

AR-10051D	Nov 07	599127	4625	1549	180407	127	-	-
AR-10051-2	Nov 07	608869	4642	1426	183927	118	1786	54,51
AR-10053-2	Nov 07	187370	7954	11012	119879	81	635	53,99
AR-10053-3	Nov 07	214141	5220	10244	126268	81	698	55,54
AR-10055-2	Nov 07	123419	2976	10510	94756	61	465	58,38
AR-10055-2-DL	Nov 07	126960	3174	9940	92657	63		
AR-10058-2	Nov 07	132920	3165	10849	95506	56	478	54,25
AR-10063-2	Nov 07	238785	4969	10738	148460	98	805	58,89
AR-10064-2 IS	Nov 07	-	-	-	-	-	-	-
AR-10064-2D	Nov 07	155190	5079	10504	106735	74	530	64,83
AR-10143-2	Nov 07	282680	6539	6988	206500	151	908	71,27
AR-10145-2	Nov 07	130683	2730	9020	96529	57	471	64,05
DDH-2252	Nov 07	133440	6492	11884	143699	73	406	52,96
DDH-2267	Nov 07	228757	24758	12397	147578	117	720	61,21
DDH-2252-2	Nov 07	136320	6735	11708	139719	75	430	52,44
DDH-2252-3	Nov 07	132912	6953	11748	143720	73	415	55,28
DDH-2267-2	Nov 07	231592	25208	12571	151106	120	725	65,34
STANDARD WASTWATERD3	Nov 07	54	<50	<50	<50	<1	-	-
AR-2409	Mar 08	244480	6888	12571	134386	67	653	63,28
AR-2411	Mar 08	170272	3040	14205	98806	42	463	65,86
AR-2415	Mar 08	278082	5703	13113	159486	90	797	56,31
AR-10051	Mar 08	613020	2180	2428	190270	98	1740	59,67
AR-10053	Mar 08	189860	5052	11669	120566	62	598	54,51
AR-10055	Mar 08	136997	3262	11347	94311	40	388	65,86
AR-10057	Mar 08	162657	2924	12458	96240	46	500	59,67
AR-10058	Mar 08	186013	3900	14490	98408	45	500	58,38
AR-10063	Mar 08	259331	4607	11570	150781	78	777	54,51
AR-10064	Mar 08	177078	5713	13199	107359	56	502	63,54
AR-10143 IS	Mar 08	-	-	-	-	-	-	-
AR-10145	Mar 08	143748	3066	10815	92768	41	408	66,11
AR-10154	Mar 08	85766	2830	5929	72838	36	240	67,15
AR-2411-2	Mar 08	147163	2667	12024	98237	45	487	60,96
AR-2415-2	Mar 08	278762	5962	13766	158644	87	790	53,99
AR-2415-3	Mar 08	271916	5464	12773	159465	89	797	53,99
AR-10051-2	Mar 08	630676	3880	6106	209362	103	1688	50,89
AR-10053-2	Mar 08	192421	5210	12015	122517	64	598	57,34
AR-10053-3	Mar 08	277744	4110	9835	131983	69	788	53,47
AR-10053-3D	Mar 08	214968	5011	12014	122369	62	-	-
AR-10055-2	Mar 08	140125	3781	12393	95577	48	443	63,79
AR-10055-2-DL	Mar 08	140049	3760	12657	95694	48	-	-
AR-10063-2	Mar 08	267981	4816	12355	157039	80	775	57,60
AR-10063-3	Mar 08	260561	4575	12086	154195	82	770	53,47
AR-10064-2	Mar 08	153512	4770	11308	107584	58	491	60,44
AR-10143-2	Mar 08	259607	6606	8328	220696	114	781	66,63
AR-10145-2	Mar 08	129691	3026	9671	87716	43	406	63,28
DDH-2252	Mar 08	152226	6041	12848	139739	55	434	58,38
DDH-2267	Mar 08	239005	18323	13661	153443	88	613	61,73
DDH-2252-2	Mar 08	140104	5848	12644	137497	57	430	54,76
DDH-2252-3	Mar 08	135939	6110	12954	141804	56	408	55,80
DDH-2267-2	Mar 08	232065	18835	13652	152139	93	629	63,54
IDO-2	Mar 08	264958	5027	11561	158361	86	788	60,18
STANDARD WASTWATERD5	Mar 08	74	<50	<50	<50	1	-	-

Tabla 6.1.3 Resultados de análisis geoquímico en muestras de agua subterránea para las cuatro primeras campañas de terreno.

Muestras	Fecha muestreo	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Ce	Co
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-2409	Ene 07	<.05	818	8,2	<.05	438	44,36	0,15	<.05	291	<.05	3,17	0,87
AR-2409-DL	Ene 07	<.05	826	8,1	<.05	427	44,66	0,12	<.05	291	<.05	3,12	0,88
AR-2411	Ene 07	0,11	1151	6,1	<.05	450	42,25	0,09	<.05	286	0,07	4,16	1,46
AR-2415	Ene 07	<.05	61	6,7	<.05	691	13,76	<.05	<.05	526	<.05	0,16	<.02
AR-10051	Ene 07	<.5	384	5,4	<.5	569	13,64	<.5	<.5	480	<.5	0,61	0,45
AR-10053	Ene 07	<.05	206	4,9	<.05	553	18,9	<.05	<.05	396	0,15	0,51	0,29
AR-10055	Ene 07	<.05	505	6	<.05	471	32,26	<.05	<.05	297	0,06	1,26	0,56
AR-10057	Ene 07	<.05	392	5,7	<.05	484	24,09	<.05	<.05	277	<.05	1,14	0,32
AR-10058	Ene 07	<.05	2010	6,1	<.05	454	56,03	0,18	<.05	288	0,1	7,56	2,57
AR-10063	Ene 07	<.05	301	5,5	<.05	681	16,27	<.05	<.05	509	0,06	0,88	0,24
AR-10064	Ene 07	0,07	494	5,4	<.05	545	21,46	<.05	<.05	368	0,06	1,32	0,48
AR-10099	Ene 07	0,08	139	19,8	<.05	720	15,83	<.05	<.05	579	<.05	0,21	0,08
AR-10051D	Ene 07	<.5	645	6,5	<.5	596	14,29	<.5	<.5	467	<.5	1,01	0,67
DDH-2252	Ene 07	0,08	697	3,9	<.05	583	34,15	<.05	<.05	313	0,12	1,45	8,84
DDH-2267	Ene 07	<.05	724	4,7	<.05	739	25,04	0,1	<.05	162	0,08	0,93	2,12
STANDARD WASTWATERD2	Ene 07	379,2	381	173,3	<.05	1517	495,9	493,5	<.05	7	120,1	0,03	113
AR-2409	Jul 07	<.05	621	7,5	<.05	465	34,16	0,12	<.05	279	<.05	1,98	0,53
AR-2411	Jul 07	<.05	1153	5,6	<.05	479	36,72	0,14	<.05	294	<.05	3,81	1,55
AR-2415	Jul 07	0,06	216	7,3	<.05	696	15,91	<.05	<.05	577	0,06	0,49	0,18
AR-10051	Jul 07	<.5	2031	9,4	<.5	628	25,4	<.5	<.5	495	<.5	4,35	3,06
AR-10053	Jul 07	0,06	909	5,8	<.05	566	24,72	0,08	<.05	400	0,17	2,13	1,44
AR-10055	Jul 07	0,08	640	5,6	<.05	457	30,14	0,12	<.05	293	<.05	1,91	0,56
AR-10057	Jul 07	0,06	623	5,7	<.05	474	24,95	<.05	<.05	288	<.05	1,73	0,47
AR-10058	Jul 07	0,06	4355	6,3	<.05	460	74,05	0,41	<.05	287	0,28	23,33	6,13
AR-10058-2	Jul 07	<.05	1100	5,7	<.05	462	34,83	0,1	<.05	284	<.05	3,55	1,3
AR-10063	Jul 07	<.5	9371	12,1	<.5	692	53,62	1,2	<.5	515	0,51	46,69	15,72
AR-10064	Jul 07	<.05	628	5,1	<.05	505	23,2	0,07	<.05	364	0,08	1,58	0,57
AR-10099	Jul 07	<.05	638	19,5	<.05	745	19	<.05	<.05	597	0,09	1,14	0,62
AR-2409D	Jul 07	0,06	1353	8,3	<.05	418	49,5	0,17	<.05	280	0,07	4,95	1,36
DDH-2252	Jul 07	<.05	2234	3	<.05	617	58,04	0,07	<.05	323	0,14	5,46	12,88
DDH-2252-2	Jul 07	0,08	411	2,9	<.05	589	43,15	<.05	<.05	310	<.05	7,34	9,08
DDH-2267	Jul 07	0,14	1170	3,6	<.05	711	28,03	0,12	<.05	161	0,08	1,26	0,94
DDH-2267-2	Jul 07	0,11	1192	4,9	<.05	673	27,74	0,18	<.05	160	0,09	1,38	1,02
STANDARD WASTWATERD2	Jul 07	379,2	381	173,3	<.05	1517	495,9	493,5	<.05	7	120,1	0,03	113
AR-2409	Nov 07	<.05	889	6,6	0,07	473	33,44	<.05	<.05	231	<.05	2,58	1,24
AR-2411	Nov 07	<.05	1039	5	<.05	540	32,39	0,07	<.05	247	<.05	2,36	1,2
AR-2415	Nov 07	<.05	115	6,3	<.05	825	13,3	<.05	<.05	465	<.05	0,23	0,04
AR-10051	Nov 07	<.5	547	5,4	<.5	548	16,45	<.5	<.5	430	<.5	1,18	0,55
AR-10053	Nov 07	<.05	451	5,1	<.05	523	17,46	0,07	<.05	337	0,08	1,06	0,74
AR-10055	Nov 07	<.05	1023	4,8	<.05	435	29,82	<.05	<.05	257	<.05	2,08	1,24
AR-10057	Nov 07	<.05	1369	5,2	<.05	432	35,77	0,07	<.05	231	<.05	4,67	1,86
AR-10058	Nov 07	<.05	913	5	<.05	469	29,58	0,07	<.05	248	<.05	2,71	0,99
AR-10063	Nov 07	0,16	212	5,6	<.05	642	15,59	<.05	<.05	432	0,08	0,55	0,23
AR-10064	Nov 07	<.05	602	4,6	<.05	484	18,88	<.05	<.05	314	<.05	1,35	0,68
AR-10143	Nov 07	<.05	2759	8,8	<.05	704	19,73	<.05	<.05	674	0,1	2,84	2,35
AR-10145	Nov 07	<.05	407	6,6	<.05	383	31,56	<.05	<.05	254	<.05	1,14	0,53
AR-2411-2	Nov 07	<.05	1096	5,5	<.05	434	40,7	0,07	<.05	260	<.05	3,74	1,34
AR-2415-2	Nov 07	<.05	274	7,2	<.05	692	14,79	<.05	<.05	500	<.05	0,6	0,24
AR-2415-3	Nov 07	<.05	162	7,4	<.05	665	13,37	<.05	<.05	496	<.05	0,29	0,11
AR-10051D	Nov 07	<.5	779	7,3	<.5	538	18,21	<.5	<.5	495	<.5	1,51	1
AR-10051-2	Nov 07	<.5	711	6,1	<.5	520	16,05	<.5	<.5	445	<.5	1,57	0,81
AR-10053-2	Nov 07	0,07	628	4,8	<.05	549	19,81	0,15	<.05	357	0,15	1,24	1,15
AR-10053-3	Nov 07	<.05	421	5,6	<.05	521	17,42	0,06	<.05	365	0,07	0,93	0,7
AR-10055-2	Nov 07	<.05	702	4,5	<.05	455	28,24	<.05	<.05	281	<.05	1,22	0,77
AR-10055-2-DL	Nov 07	<.05	675	5	<.05	460	30,09	0,06	<.05	318	<.05	1,22	0,8
AR-10058-2	Nov 07	<.05	1612	5,2	<.05	486	41,01	<.05	<.05	260	0,06	5,84	2,21
AR-10063-2	Nov 07	<.05	465	6,5	<.05	708	18,81	<.05	<.05	452	<.05	1,36	0,6
AR-10064-2 IS	Nov 07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10064-2D	Nov 07	<.05	602	4,9	<.05	506	21,43	<.05	<.05	353	<.05	1,97	0,75

AR-10143-2	Nov 07	<.05	5169	9,6	<.05	725	27,3	0,36	<.05	677	0,16	6,83	4,21
AR-10145-2	Nov 07	<.05	374	6,6	<.05	396	36,91	<.05	<.05	274	<.05	1,34	0,51
DDH-2252	Nov 07	0,11	325	3,1	<.05	584	47,07	<.05	<.05	317	<.05	1,15	9,64
DDH-2267	Nov 07	0,06	829	3,7	<.05	791	29,75	<.05	<.05	166	0,07	1,22	0,89
DDH-2252-2	Nov 07	0,09	168	3,3	<.05	610	47,51	<.05	<.05	351	<.05	0,44	9,45
DDH-2252-3	Nov 07	0,1	224	3,3	<.05	602	54,8	<.05	<.05	321	<.05	0,52	9,7
DDH-2267-2	Nov 07	0,09	1013	4,4	<.05	779	32,74	<.05	<.05	178	0,06	1,44	1,32
STANDARD WASTWATERD3	Nov 07	590,2	427	456,9	<.05	1013	660,3	490,4	<.05	<5	378,9	<.01	357,6
AR-2409	Mar 08	<.05	6486	9,2	0,08	757	47,99	0,42	<.05	390	0,31	26,07	9,27
AR-2411	Mar 08	<.05	4015	6,9	<.05	446	52,73	0,27	<.05	278	0,1	13,22	5,61
AR-2415	Mar 08	<.05	814	6,8	<.05	697	18,56	<.05	<.05	566	<.05	2,63	1,03
AR-10051	Mar 08	<.5	1713	7	<.5	561	17,67	<.5	<.5	549	<.5	3,53	3,43
AR-10053	Mar 08	<.05	1010	5,2	<.05	541	25,01	<.05	<.05	399	0,14	3,2	2,59
AR-10055	Mar 08	<.05	1618	4,2	<.05	410	31,62	0,25	<.05	273	0,1	5,69	3,77
AR-10057	Mar 08	0,09	2065	6,4	<.05	479	45,59	0,28	<.05	301	0,08	11,85	4,05
AR-10058	Mar 08	<.05	4624	6,4	<.05	463	59,31	0,59	<.05	310	0,25	26,53	10,37
AR-10063	Mar 08	<.05	1756	8,2	<.05	624	28,2	0,1	<.05	496	0,12	8,07	3,51
AR-10064	Mar 08	<.05	3605	5,9	<.05	492	46,37	0,31	<.05	388	0,1	16,89	6,16
AR-10143 IS	Mar 08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10145	Mar 08	<.05	2462	5,1	<.05	341	54,77	0,42	<.05	263	0,06	15,25	4,57
AR-10154	Mar 08	<.05	2154	8,2	<.05	310	39,29	0,13	<.05	216	0,07	4,08	2,95
AR-2411-2	Mar 08	<.05	1083	5,6	<.05	467	39,03	0,06	<.05	290	<.05	3,61	1,46
AR-2415-2	Mar 08	<.05	1310	7,2	<.05	704	21,27	<.05	<.05	575	0,06	2,81	1,46
AR-2415-3	Mar 08	<.05	376	7,6	<.05	702	15,61	<.05	<.05	564	<.05	1,03	0,52
AR-10051-2	Mar 08	<.5	3356	7,6	<.5	692	27,78	<.5	<.5	541	<.5	5,27	4,32
AR-10053-2	Mar 08	<.05	945	5,5	<.05	554	21,4	0,07	<.05	412	0,17	2,64	1,42
AR-10053-3	Mar 08	<.05	679	6	<.05	527	18,08	<.05	<.05	420	0,08	1,34	1,29
AR-10053-3D	Mar 08	<.05	1602	5,8	<.05	544	28,41	0,1	<.05	408	0,16	4,24	2,69
AR-10055-2	Mar 08	<.05	2793	6	<.05	477	50,88	0,23	<.05	316	0,13	9,34	5,28
AR-10055-2-DL	Mar 08	<.05	2836	6,1	<.05	463	49,78	0,21	<.05	317	0,12	9,08	5,33
AR-10063-2	Mar 08	<.05	1445	7,4	<.05	679	26,02	0,09	<.05	523	0,08	5,61	2,45
AR-10063-3	Mar 08	<.05	1008	7	<.05	687	22,19	<.05	<.05	518	0,1	4,06	1,86
AR-10064-2	Mar 08	<.05	853	5	<.05	521	25,22	0,1	<.05	370	<.05	2,68	1,2
AR-10143-2	Mar 08	<.05	3242	7,5	<.05	659	13,26	<.05	<.05	678	0,08	3,6	2,81
AR-10145-2	Mar 08	<.05	1426	6,5	<.05	379	46,37	0,21	<.05	267	<.05	5,44	2,15
DDH-2252	Mar 08	<.05	535	2,7	<.05	582	44,8	<.05	<.05	339	<.05	1,25	8,16
DDH-2267	Mar 08	0,07	735	3,7	<.05	722	26,3	0,08	<.05	158	<.05	1,06	1,26
DDH-2252-2	Mar 08	<.05	109	2,7	<.05	589	43,18	<.05	<.05	331	<.05	0,35	4,03
DDH-2252-3	Mar 08	<.05	91	2,5	<.05	615	50,5	<.05	<.05	336	<.05	0,31	4,82
DDH-2267-2	Mar 08	<.05	698	2,9	<.05	745	29,02	0,07	<.05	167	0,06	1,11	1,03
IDO-2	Mar 08	<.05	70	7,3	<.05	654	12,55	<.05	<.05	499	<.05	0,07	0,06
STANDARD WASTWATERD5	Mar 08	311,5	467	900,1	<.05	1445	325	360,8	<.05	7	393,5	<.01	894,6

...continuación Tabla 6.1.3

Muestras	Fecha muestreo	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-2409	Ene 07	8,3	0,2	7,4	0,17	0,08	0,05	1579	0,16	0,22	0,16	<.02	<.1
AR-2409-DL	Ene 07	8,2	0,19	8,2	0,19	0,07	0,05	1529	0,15	0,26	0,15	<.02	<.1
AR-2411	Ene 07	5,5	0,16	9,2	0,24	0,1	0,07	1427	0,18	0,32	0,13	<.02	<.1
AR-2415	Ene 07	1,6	0,04	5,1	0,01	<.01	<.01	<10	<.05	0,02	0,22	<.02	<.1
AR-10051	Ene 07	<.5	0,16	15,3	<.1	<.1	<.1	<100	<.5	0,15	<.5	<.2	<.1
AR-10053	Ene 07	1,2	0,24	22,1	0,03	0,02	0,01	128	<.05	0,07	0,22	<.02	<.1
AR-10055	Ene 07	3,4	0,18	11,3	0,11	0,05	0,03	582	0,1	0,16	0,15	<.02	<.1
AR-10057	Ene 07	4,1	0,12	4,7	0,06	0,03	0,01	599	0,09	0,09	0,13	<.02	<.1
AR-10058	Ene 07	8	0,14	12,5	0,49	0,22	0,13	2080	0,28	0,63	0,12	<.02	<.1
AR-10063	Ene 07	3	0,19	7,8	0,06	0,03	0,02	601	0,09	0,09	0,21	<.02	<.1
AR-10064	Ene 07	2,5	0,28	5,3	0,07	0,04	0,02	311	0,1	0,12	0,2	<.02	<.1
AR-10099	Ene 07	0,7	0,07	1,8	0,02	0,01	<.01	44	<.05	0,03	0,11	<.02	<.1
AR-10051D	Ene 07	<.5	0,15	19,9	0,1	<.1	<.1	110	<.5	0,15	<.5	<.2	<.1
DDH-2252	Ene 07	4,8	0,28	154,9	0,14	0,06	0,04	2365	0,17	0,17	0,22	<.02	<.1
DDH-2267	Ene 07	4,8	0,49	33,4	0,1	0,04	0,02	6202	0,17	0,13	0,76	<.02	<.1
STANDARD WASTWATERD2	Ene 07	539,9	<.01	796,5	0,02	0,02	<.01	2686	<.05	0,03	<.05	<.02	<.1

AR-2409	Jul 07	6	0,21	9,6	0,12	0,06	0,05	1039	0,15	0,18	0,14	<.02	<.1
AR-2411	Jul 07	3,5	0,14	9,4	0,23	0,1	0,07	1027	0,23	0,31	0,13	<.02	<.1
AR-2415	Jul 07	2,3	0,07	7,4	0,03	0,02	0,01	340	0,07	0,05	0,21	<.02	<.1
AR-10051	Jul 07	<5	0,32	54,5	0,47	0,23	0,19	1912	<.5	0,63	<.5	<.2	<.1
AR-10053	Jul 07	2,1	0,32	60,1	0,16	0,07	0,04	926	0,18	0,22	0,23	<.02	<.1
AR-10055	Jul 07	3,1	0,18	9,5	0,15	0,06	0,04	614	0,13	0,2	0,14	<.02	<.1
AR-10057	Jul 07	6,1	0,17	5	0,1	0,05	0,03	666	0,13	0,15	0,13	<.02	<.1
AR-10058	Jul 07	8,7	0,12	29	1,47	0,67	0,4	2937	0,31	2,13	0,11	<.02	<.1
AR-10058-2	Jul 07	4,6	0,15	8,2	0,22	0,11	0,06	1104	0,19	0,32	0,13	<.02	<.1
AR-10063	Jul 07	44,8	0,23	88,5	2,82	1,22	0,92	11563	<.5	4,21	<.5	<.2	<.1
AR-10064	Jul 07	3,1	0,27	9,6	0,11	0,05	0,03	730	0,12	0,14	0,21	<.02	0,1
AR-10099	Jul 07	1,9	0,12	5,4	0,06	0,03	0,02	603	0,18	0,08	0,14	<.02	<.1
AR-2409D	Jul 07	9,3	0,22	10,7	0,29	0,12	0,08	1985	0,23	0,38	0,13	<.02	<.1
DDH-2252	Jul 07	16,6	0,52	359,1	0,42	0,18	0,11	9027	0,43	0,52	0,29	<.02	0,1
DDH-2252-2	Jul 07	2,7	0,46	110,5	0,4	0,14	0,17	1157	0,14	0,61	0,23	<.02	<.1
DDH-2267	Jul 07	8,7	0,44	9,5	0,12	0,06	0,03	7304	0,3	0,16	1,03	0,02	0,1
DDH-2267-2	Jul 07	5,9	0,49	10,4	0,14	0,06	0,03	8547	0,32	0,19	1,1	0,03	0,1
STANDARD WASTWATERD2	Jul 07	539,9	<.01	796,5	0,02	0,02	<.01	2686	<.05	0,03	<.05	<.02	<.1
AR-2409	Nov 07	9,1	0,18	23,1	0,15	0,06	0,05	1223	0,15	0,19	0,15	<.02	<.1
AR-2411	Nov 07	5,9	0,15	24,5	0,15	0,07	0,05	1020	0,2	0,21	0,15	<.02	<.1
AR-2415	Nov 07	2,6	0,08	10,5	0,01	0,01	0,01	<10	<.05	0,02	0,21	<.02	<.1
AR-10051	Nov 07	<5	0,18	27,1	<.1	<.1	<.1	<100	<.5	<.1	<.5	<.2	<.1
AR-10053	Nov 07	2,3	0,23	35,4	0,06	0,03	0,02	246	0,09	0,09	0,24	<.02	<.1
AR-10055	Nov 07	7,5	0,18	26,5	0,16	0,06	0,06	1121	0,15	0,23	0,16	<.02	<.1
AR-10057	Nov 07	10,6	0,13	23,1	0,27	0,13	0,08	1564	0,17	0,37	0,14	<.02	<.1
AR-10058	Nov 07	3,6	0,12	9,5	0,15	0,08	0,05	743	0,14	0,19	0,13	<.02	<.1
AR-10063	Nov 07	2,4	0,21	8,8	0,04	0,02	0,01	153	<.05	0,06	0,21	<.02	<.1
AR-10064	Nov 07	3,3	0,29	11,2	0,1	0,04	0,03	436	0,11	0,12	0,21	<.02	<.1
AR-10143	Nov 07	8,9	1,79	12,2	0,34	0,18	0,1	3045	0,65	0,4	0,14	<.02	<.1
AR-10145	Nov 07	3,8	0,26	7,7	0,06	0,03	0,02	646	0,09	0,07	0,15	<.02	<.1
AR-2411-2	Nov 07	5,3	0,13	12,4	0,19	0,08	0,07	1077	0,15	0,27	0,13	<.02	<.1
AR-2415-2	Nov 07	2,9	0,07	6,4	0,04	0,02	0,01	300	0,08	0,07	0,24	<.02	<.1
AR-2415-3	Nov 07	2,2	0,06	4,7	0,01	<.01	0,01	116	<.05	0,03	0,22	<.02	<.1
AR-10051D	Nov 07	<5	0,22	21,4	0,14	<.1	<.1	316	<.5	0,13	<.5	<.2	<.1
AR-10051-2	Nov 07	<5	0,22	23,8	0,11	<.1	<.1	295	<.5	0,17	<.5	<.2	<.1
AR-10053-2	Nov 07	2,8	0,27	74,7	0,09	0,04	0,03	604	0,12	0,1	0,23	<.02	<.1
AR-10053-3	Nov 07	2,9	0,26	42,1	0,05	0,02	0,02	355	0,1	0,09	0,25	<.02	<.1
AR-10055-2	Nov 07	3,6	0,17	16,4	0,1	0,03	0,04	661	0,11	0,13	0,16	<.02	<.1
AR-10055-2-DL	Nov 07	4	0,19	18	0,1	0,03	0,04	693	0,11	0,13	0,16	<.02	<.1
AR-10058-2	Nov 07	5,7	0,13	20,9	0,34	0,16	0,12	1492	0,18	0,48	0,13	<.02	<.1
AR-10063-2	Nov 07	4	0,25	16,3	0,07	0,04	0,03	690	0,12	0,1	0,22	<.02	<.1
AR-10064-2 IS	Nov 07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10064-2D	Nov 07	4,6	0,34	9,3	0,13	0,06	0,05	551	0,11	0,18	0,2	<.02	<.1
AR-10143-2	Nov 07	13,6	2,52	15,6	0,72	0,43	0,26	5145	0,62	0,93	0,13	<.02	<.1
AR-10145-2	Nov 07	3,3	0,28	6,4	0,07	0,03	0,02	571	0,07	0,09	0,13	<.02	<.1
DDH-2252	Nov 07	2,1	0,43	125,6	0,07	0,04	0,02	1023	0,09	0,13	0,23	<.02	0,1
DDH-2267	Nov 07	4	0,51	9,1	0,12	0,06	0,03	6297	0,21	0,15	0,98	0,02	0,1
DDH-2252-2	Nov 07	1,3	0,44	114,2	0,06	0,03	0,01	633	0,07	0,08	0,23	<.02	0,1
DDH-2252-3	Nov 07	2,2	0,44	113,9	0,05	0,02	0,02	602	0,1	0,07	0,21	<.02	0,1
DDH-2267-2	Nov 07	5,3	0,55	13,7	0,11	0,07	0,04	6245	0,24	0,18	0,94	0,02	0,1
STANDARD WASTWATERD3	Nov 07	183	<.01	549,9	<.01	<.01	<.01	400	0,1	<.01	<.05	<.02	<.1
AR-2409	Mar 08	52,1	0,24	63,1	1,57	0,71	0,57	10538	0,22	2,43	0,11	<.02	<.1
AR-2411	Mar 08	18,6	0,23	27,9	0,71	0,34	0,25	6050	0,55	1,03	0,12	<.02	<.1
AR-2415	Mar 08	7,6	0,07	8,4	0,13	0,07	0,05	1873	0,12	0,24	0,2	<.02	<.1
AR-10051	Mar 08	<5	0,26	61,7	0,35	0,11	0,12	3431	<.5	0,46	<.5	<.2	<.1
AR-10053	Mar 08	9,8	0,27	92,6	0,21	0,09	0,07	2127	0,11	0,34	0,23	<.02	<.1
AR-10055	Mar 08	19,7	0,19	57,1	0,53	0,24	0,2	4358	0,13	0,84	0,13	<.02	<.1
AR-10057	Mar 08	19,6	0,12	17,6	0,65	0,27	0,24	3649	0,11	1,01	0,12	<.02	<.1
AR-10058	Mar 08	22,6	0,1	29,6	1,59	0,72	0,55	3978	0,12	2,32	0,08	<.02	<.1
AR-10063	Mar 08	13,6	0,28	37,8	0,42	0,19	0,19	6084	0,16	0,69	0,2	<.02	<.1
AR-10064	Mar 08	13	0,14	17,9	0,96	0,44	0,36	3757	0,26	1,5	0,12	<.02	<.1
AR-10143 IS	Mar 08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10145	Mar 08	35,1	0,23	19,6	0,8	0,33	0,28	9005	0,14	1,27	0,17	<.02	<.1
AR-10154	Mar 08	11,1	0,53	13	0,28	0,13	0,09	5066	0,19	0,42	0,13	<.02	<.1
AR-2411-2	Mar 08	7,9	0,14	14,5	0,19	0,08	0,07	1374	0,21	0,28	0,13	<.02	<.1
AR-2415-2	Mar 08	6,8	0,14	16,6	0,13	0,06	0,04	2857	0,27	0,22	0,22	<.02	<.1
AR-2415-3	Mar 08	4	0,07	6,7	0,07	0,02	0,03	1899	0,13	0,11	0,24	<.02	<.1

AR-10051-2	Mar 08	11	0,47	62,7	0,48	0,2	0,16	3883	0,57	0,69	<.5	<.2	<.1
AR-10053-2	Mar 08	6,4	0,36	50,9	0,16	0,08	0,05	2436	0,18	0,26	0,24	<.02	<.1
AR-10053-3	Mar 08	5,1	0,35	50,9	0,1	0,04	0,03	2442	0,2	0,12	0,26	<.02	<.1
AR-10053-3D	Mar 08	10	0,32	78	0,28	0,14	0,1	2813	0,21	0,42	0,21	<.02	<.1
AR-10055-2	Mar 08	26,5	0,24	75,9	0,72	0,31	0,26	5290	0,28	1,04	0,15	<.02	<.1
AR-10055-2-DL	Mar 08	26,4	0,24	77,1	0,71	0,31	0,27	5432	0,29	1,11	0,15	<.02	<.1
AR-10063-2	Mar 08	13	0,29	24,1	0,31	0,15	0,11	4024	0,3	0,48	0,22	<.02	<.1
AR-10063-3	Mar 08	10,7	0,26	24,7	0,21	0,09	0,09	3491	0,16	0,32	0,22	<.02	<.1
AR-10064-2	Mar 08	4,3	0,35	9,7	0,16	0,08	0,05	860	0,14	0,21	0,19	<.02	<.1
AR-10143-2	Mar 08	15,1	1,36	16,9	0,43	0,23	0,13	5141	0,57	0,5	0,13	<.02	<.1
AR-10145-2	Mar 08	13,4	0,2	26,1	0,3	0,12	0,11	2596	0,23	0,45	0,13	<.02	<.1
DDH-2252	Mar 08	12,4	0,31	163,9	0,1	0,04	0,03	2524	0,15	0,13	0,22	<.02	<.1
DDH-2267	Mar 08	6,7	0,46	8	0,11	0,06	0,03	7687	0,22	0,15	0,89	<.02	0,1
DDH-2252-2	Mar 08	1,6	0,33	83,8	0,04	0,02	0,01	287	<.05	0,06	0,21	<.02	0,1
DDH-2252-3	Mar 08	1,8	0,34	80,1	0,03	0,02	0,01	233	<.05	0,04	0,2	<.02	0,1
DDH-2267-2	Mar 08	4	0,39	6,4	0,13	0,06	0,04	5440	0,17	0,17	0,89	<.02	0,1
IDO-2	Mar 08	2	0,23	2,5	<.01	<.01	<.01	<10	<.05	0,01	0,2	<.02	<.1
STANDARD WASTWATERD5	Mar 08	670,3	<.01	394,8	<.01	<.01	<.01	900	<.05	<.01	0,23	<.02	0,1

...continuación Tabla 6.1.3

Muestras	Fecha muestreo	Ho	In	Ir	La	Li	Lu	Mn	Mo	Nb	Nd	Ni	Os
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-2409	Ene 07	0,03	<.01	<.05	1,19	22,3	0,01	63,45	10,5	0,01	1,48	1	<.05
AR-2409-DL	Ene 07	0,03	<.01	<.05	1,2	22,4	0,01	62,77	10,5	0,01	1,48	1	<.05
AR-2411	Ene 07	0,05	<.01	<.05	1,53	27,5	0,02	99,42	14,5	0,01	1,93	1	<.05
AR-2415	Ene 07	<.01	<.01	<.05	0,08	27,9	<.01	8,01	13	<.01	0,09	<.2	<.05
AR-10051	Ene 07	<.1	<.1	<.5	0,26	55,2	<.1	1233	39,8	<.1	0,28	<.2	<.5
AR-10053	Ene 07	0,01	<.01	<.05	0,2	27	<.01	33,13	16,3	0,01	0,26	<.2	<.05
AR-10055	Ene 07	0,02	<.01	<.05	0,42	23,3	0,01	40,61	7,6	<.01	0,61	<.2	<.05
AR-10057	Ene 07	0,01	<.01	<.05	0,42	27,2	<.01	28,43	20,7	0,01	0,53	<.2	<.05
AR-10058	Ene 07	0,09	<.01	<.05	2,76	28	0,03	196,1	10	<.01	3,48	2	<.05
AR-10063	Ene 07	0,01	<.01	<.05	0,34	31,3	<.01	38,74	15,9	0,01	0,43	0,7	<.05
AR-10064	Ene 07	0,02	<.01	<.05	0,47	26,5	0,01	37,61	11,6	0,01	0,62	<.2	<.05
AR-10099	Ene 07	<.01	<.01	<.05	0,08	14,6	<.01	15,92	22,9	0,01	0,12	<.2	<.05
AR-10051D	Ene 07	<.1	<.1	<.5	0,4	53,2	<.1	1192	37,7	<.1	0,59	<.2	<.5
DDH-2252	Ene 07	0,03	<.01	<.05	0,64	31,9	0,01	875,5	74,8	<.01	0,83	2,3	<.05
DDH-2267	Ene 07	0,02	<.01	<.05	0,28	45	0,01	228,9	109,5	0,01	0,32	1,3	<.05
STANDARD WASTWATERD2	Ene 07	0,02	<.01	<.05	<.01	<.1	0,02	707,3	463,9	<.01	0,02	1125	<.05
AR-2409	Jul 07	0,02	<.01	<.05	0,93	21,1	0,01	40,1	11,4	0,02	1,12	0,3	<.05
AR-2411	Jul 07	0,04	<.01	<.05	1,48	26,7	0,01	76,57	16,2	0,01	1,83	0,4	<.05
AR-2415	Jul 07	0,01	<.01	<.05	0,21	29,5	<.01	30,52	13,4	0,01	0,24	1,4	<.05
AR-10051	Jul 07	<.1	<.1	<.5	1,78	56,8	<.1	1307	27,3	<.1	2,47	<.2	<.5
AR-10053	Jul 07	0,03	<.01	<.05	0,8	27	0,01	93,22	6,3	0,01	1,02	<.2	<.05
AR-10055	Jul 07	0,02	<.01	<.05	0,76	24,9	0,01	50,96	7,6	0,01	0,98	<.2	<.05
AR-10057	Jul 07	0,02	<.01	<.05	0,7	26,9	<.01	34,6	19,3	0,01	0,86	1,7	<.05
AR-10058	Jul 07	0,26	<.01	<.05	9,67	31,2	0,08	515,9	4,8	0,01	12,24	5	<.05
AR-10058-2	Jul 07	0,04	<.01	<.05	1,4	27,3	0,01	86,36	14,6	0,01	1,8	0,3	<.05
AR-10063	Jul 07	0,5	<.1	<.5	18,5	42,9	0,12	1126	4,2	<.1	23,56	8,6	<.5
AR-10064	Jul 07	0,02	<.01	<.05	0,65	25,2	0,01	57,57	10,3	0,01	0,8	1	<.05
AR-10099	Jul 07	0,01	<.01	<.05	0,42	15,3	<.01	52,03	21,2	0,01	0,53	<.2	<.05
AR-2409D	Jul 07	0,06	<.01	<.05	1,94	23,1	0,01	101,2	8,4	0,01	2,3	1,1	<.05
DDH-2252	Jul 07	0,07	<.01	<.05	2,1	34,3	0,02	1681	51,4	<.01	2,62	4,2	<.05
DDH-2252-2	Jul 07	0,06	<.01	<.05	4,6	30	0,02	1244	83,9	<.01	4,89	0,8	<.05
DDH-2267	Jul 07	0,03	<.01	<.05	0,38	40,7	0,01	229,3	56,6	0,06	0,46	2,4	<.05
DDH-2267-2	Jul 07	0,03	<.01	<.05	0,46	41,2	0,01	275,5	49	0,06	0,52	<.2	<.05
STANDARD WASTWATERD2	Jul 07	0,02	<.01	<.05	<.01	<.1	0,02	707,3	463,9	<.01	0,02	1125	<.05
AR-2409	Nov 07	0,03	<.01	<.05	0,85	26,9	0,01	70,52	8,8	0,01	1,14	1,6	<.05
AR-2411	Nov 07	0,03	<.01	<.05	0,81	32,6	0,01	72,26	14,9	0,01	1,12	1	0,06
AR-2415	Nov 07	<.01	<.01	<.05	0,08	33,1	<.01	15,8	12,4	0,02	0,13	<.2	0,07
AR-10051	Nov 07	<.1	<.1	<.5	0,43	60,4	<.1	1536	36,5	<.1	0,66	2,8	0,72

AR-10053	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,34	25,7	0,01	53,2	11,9	0,01	0,44	<.2	<.05
AR-10055	Nov 07	0,03	<.01	<.05	0,62	24	0,01	84,32	4,2	0,01	0,92	0,6	<.05
AR-10057	Nov 07	0,05	<.01	<.05	1,48	24,7	0,01	123,1	11,4	0,01	2,05	1,3	<.05
AR-10058	Nov 07	0,03	<.01	<.05	0,87	25,7	0,01	73,53	14,5	<.01	1,18	<.2	<.05
AR-10063	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,2	28,5	<.01	28,55	14,5	0,01	0,28	<.2	<.05
AR-10064	Nov 07	0,02	<.01	<.05	0,47	21,3	<.01	51,9	10	0,01	0,67	<.2	<.05
AR-10143	Nov 07	0,06	<.01	<.05	1	40,6	0,02	273,5	20,3	0,01	1,72	2,8	<.05
AR-10145	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,41	23,4	<.01	37,62	13,4	0,01	0,53	<.2	<.05
AR-2411-2	Nov 07	0,04	<.01	<.05	1,21	23,4	0,01	87,48	14,5	<.01	1,65	<.2	<.05
AR-2415-2	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,2	26	<.01	26,51	11,8	0,01	0,28	<.2	<.05
AR-2415-3	Nov 07	<.01	<.01	<.05	0,09	24	<.01	14,13	12,9	0,01	0,13	0,2	<.05
AR-10051D	Nov 07	<.1	<.1	<.5	0,54	49,8	<.1	1572	36,9	<.1	0,67	<.2	<.5
AR-10051-2	Nov 07	<.1	<.1	<.5	0,51	57,7	<.1	1549	35,7	<.1	0,66	<.2	<.5
AR-10053-2	Nov 07	0,02	<.01	<.05	0,42	26,6	<.01	73,55	8,5	0,01	0,58	<.2	<.05
AR-10053-3	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,29	26,3	<.01	157,5	13,4	0,01	0,37	<.2	<.05
AR-10055-2	Nov 07	0,02	<.01	<.05	0,38	22,3	<.01	51,18	6	<.01	0,54	<.2	<.05
AR-10055-2-DL	Nov 07	0,02	<.01	<.05	0,39	23,4	<.01	52,3	6,6	<.01	0,56	0,4	<.05
AR-10058-2	Nov 07	0,06	<.01	<.05	1,86	27,2	0,02	156,6	9,6	<.01	2,68	1,2	<.05
AR-10063-2	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,45	29,6	<.01	55,02	14,3	0,01	0,61	0,5	<.05
AR-10064-2 IS	Nov 07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10064-2D	Nov 07	0,02	<.01	<.05	0,73	24,5	0,01	51,23	10,5	0,01	1,03	<.2	<.05
AR-10143-2	Nov 07	0,14	0,01	<.05	2,27	43,3	0,05	505,7	14,3	0,01	4,07	6	<.05
AR-10145-2	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,45	25,8	<.01	30,32	13,6	<.01	0,61	<.2	<.05
DDH-2252	Nov 07	0,02	<.01	<.05	0,3	31,6	<.01	1356	84,7	<.01	0,41	<.2	<.05
DDH-2267	Nov 07	0,03	<.01	<.05	0,31	41,9	<.01	283,4	48,6	0,04	0,4	<.2	<.05
DDH-2252-2	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,11	35	<.01	1273	96,9	<.01	0,21	<.2	<.05
DDH-2252-3	Nov 07	0,01	<.01	<.05	0,13	33,1	<.01	1475	96,9	<.01	0,18	<.2	<.05
DDH-2267-2	Nov 07	0,03	<.01	<.05	0,37	45,2	0,01	292,3	65,5	0,05	0,5	0,3	<.05
STANDARD WASTWATERD3	Nov 07	<.01	<.01	<.05	<.01	<.1	<.01	2733	210,9	0,01	<.01	650,1	<.05
AR-2409	Mar 08	0,28	0,01	<.05	10,38	34,2	0,1	874,4	5,7	0,01	13,52	40,8	<.05
AR-2411	Mar 08	0,13	0,01	<.05	4,7	28,5	0,04	346,1	7	0,01	6,21	46,2	<.05
AR-2415	Mar 08	0,03	<.01	<.05	0,96	28,1	0,01	84,55	10	0,01	1,27	29,2	<.05
AR-10051	Mar 08	<.1	<.1	<.5	1,22	57,6	<.1	1401	31,2	<.1	1,91	28,3	<.5
AR-10053	Mar 08	0,04	<.01	<.05	1,23	26,2	0,01	135,4	7,7	0,01	1,6	25,8	<.05
AR-10055	Mar 08	0,09	<.01	<.05	1,54	21	0,02	246	1,2	0,01	3,12	28,2	<.05
AR-10057	Mar 08	0,11	<.01	<.05	4,49	28,9	0,03	236,9	8,4	<.01	5,84	29,1	<.05
AR-10058	Mar 08	0,29	<.01	<.05	10,36	30,2	0,09	736,5	3,4	<.01	14,17	34,6	<.05
AR-10063	Mar 08	0,08	<.01	<.05	2,73	29,7	0,03	270,5	9,1	0,01	3,88	31	<.05
AR-10064	Mar 08	0,17	<.01	<.05	6,32	27,7	0,06	301,7	2,4	0,01	8,57	39,1	<.05
AR-10143 IS	Mar 08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10145	Mar 08	0,13	<.01	<.05	6,47	46,1	0,04	343,2	8	<.01	7,73	34,5	<.05
AR-10154	Mar 08	0,05	<.01	<.05	1,44	17,6	0,02	178,9	2,6	<.01	2,06	3,9	<.05
AR-2411-2	Mar 08	0,03	<.01	<.05	1,28	26,3	0,01	85,77	16,6	0,01	1,7	1,6	<.05
AR-2415-2	Mar 08	0,02	<.01	<.05	0,92	29	0,01	90,34	9,3	0,01	1,23	35,9	<.05
AR-2415-3	Mar 08	0,01	<.01	<.05	0,4	27,6	<.01	37,82	13	0,01	0,59	34,3	<.05
AR-10051-2	Mar 08	<.1	<.1	<.5	1,91	60,5	<.1	1445	32,7	<.1	2,92	9,3	<.5
AR-10053-2	Mar 08	0,03	<.01	<.05	0,94	27,3	0,01	98,35	13,2	0,01	1,34	29,2	<.05
AR-10053-3	Mar 08	0,02	<.01	<.05	0,49	29,5	0,01	396,2	17,2	0,01	0,65	42	<.05
AR-10053-3D	Mar 08	0,05	<.01	<.05	1,48	27,4	0,02	251,9	9,6	<.01	2,15	30,5	<.05
AR-10055-2	Mar 08	0,13	<.01	<.05	2,71	29	0,03	340	2	<.01	4,98	6,7	<.05
AR-10055-2-DL	Mar 08	0,13	<.01	<.05	2,67	28,1	0,03	349,5	2	<.01	4,68	6,1	<.05
AR-10063-2	Mar 08	0,05	<.01	<.05	2,05	30,7	0,02	177,7	11,3	0,01	2,8	41,9	<.05
AR-10063-3	Mar 08	0,04	<.01	<.05	1,35	29,7	0,01	164,7	11,9	<.01	1,92	30,3	<.05
AR-10064-2	Mar 08	0,03	<.01	<.05	0,91	25,3	0,01	66,31	9,1	<.01	1,26	1,7	<.05
AR-10143-2	Mar 08	0,08	<.01	<.05	1,3	35,1	0,03	255,4	15,7	<.01	2,24	31,5	<.05
AR-10145-2	Mar 08	0,05	<.01	<.05	2,08	28,1	0,02	138,3	7,9	<.01	2,67	3,3	<.05
DDH-2252	Mar 08	0,02	<.01	<.05	0,41	28,5	0,01	1260	71,9	<.01	0,61	28,9	<.05
DDH-2267	Mar 08	0,02	<.01	<.05	0,32	36,4	0,01	251,1	53,8	0,03	0,41	36,9	<.05
DDH-2252-2	Mar 08	0,01	<.01	<.05	0,12	28,3	<.01	1140	77,6	<.01	0,18	1,2	<.05
DDH-2252-3	Mar 08	0,01	<.01	<.05	0,1	28,5	<.01	1463	89,6	<.01	0,15	1,5	<.05
DDH-2267-2	Mar 08	0,02	<.01	<.05	0,31	36,2	0,01	236,2	43,8	0,03	0,44	1,8	<.05
IDO-2	Mar 08	<.01	<.01	<.05	0,03	28,6	<.01	5,01	13,2	<.01	0,04	2,1	<.05
STANDARD WASTWATERD5	Mar 08	<.01	<.01	<.05	<.01	<.1	<.01	256,2	521,3	<.01	0,01	793,1	<.05

...continuación Tabla 6.1.3

Muestras	Fecha muestreo	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh	Ru	S	Sb	Sc
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb
AR-2409	Ene 07	159	13	<.2	0,36	<.01	2,75	0,02	<.01	<.05	155	0,08	3
AR-2409-DL	Ene 07	162	13	<.2	0,36	<.01	2,73	0,03	<.01	<.05	152	0,08	3
AR-2411	Ene 07	194	19,1	<.2	0,48	<.01	2,76	0,02	<.01	<.05	184	0,1	3
AR-2415	Ene 07	<20	6,1	<.2	0,02	<.01	4,25	0,03	0,02	<.05	335	0,06	2
AR-10051	Ene 07	<200	12,8	<.2	<.1	<.1	3,89	<.1	<.1	<.5	819	<.5	<10
AR-10053	Ene 07	34	10,3	<.2	0,06	<.01	9,68	0,04	<.01	<.05	261	0,1	3
AR-10055	Ene 07	80	1,2	<.2	0,14	<.01	2,58	0,03	<.01	<.05	174	0,07	3
AR-10057	Ene 07	49	6,7	<.2	0,12	<.01	2,37	0,03	<.01	<.05	179	0,07	3
AR-10058	Ene 07	372	10,8	<.2	0,85	<.01	3,77	0,03	<.01	<.05	186	0,06	3
AR-10063	Ene 07	44	8,2	<.2	0,1	<.01	5,02	0,2	0,02	<.05	347	0,19	3
AR-10064	Ene 07	70	6,9	<.2	0,14	<.01	8,84	0,03	<.01	<.05	213	0,12	3
AR-10099	Ene 07	21	4,2	<.2	0,03	<.01	4,49	0,06	<.01	<.05	143	0,1	3
AR-10051D	Ene 07	<200	7,1	<.2	0,13	<.1	4,33	<.1	<.1	<.5	753	<.5	<10
DDH-2252	Ene 07	269	6,8	<.2	0,19	<.01	8,44	0,11	<.01	<.05	140	0,15	3
DDH-2267	Ene 07	59	5,6	<.2	0,08	<.01	14,88	0,11	0,01	<.05	284	0,59	1
STANDARD WASTWATERD2	Ene 07	<20	176,6	<.2	0,02	<.01	0,01	<.01	0,01	<.05	<1	765,2	<1
AR-2409	Jul 07	117	4	<.2	0,28	<.01	2,62	0,03	<.01	<.05	133	0,08	2
AR-2411	Jul 07	153	6,5	<.2	0,45	<.01	2,92	0,02	<.01	<.05	167	0,07	3
AR-2415	Jul 07	48	12,3	<.2	0,06	<.01	4,69	0,03	0,03	<.05	351	0,11	2
AR-10051	Jul 07	<200	13	<.2	0,58	<.1	5,49	<.1	<.1	<.5	761	<.5	<10
AR-10053	Jul 07	110	4,2	<.2	0,24	<.01	9,4	0,03	<.01	<.05	248	0,08	3
AR-10055	Jul 07	97	8,6	<.2	0,24	<.01	2,64	0,02	<.01	<.05	161	0,06	2
AR-10057	Jul 07	81	15,7	<.2	0,2	<.01	2,42	0,02	<.01	<.05	170	0,06	2
AR-10058	Jul 07	957	34,4	<.2	2,93	0,01	5,5	0,03	<.01	<.05	183	0,06	4
AR-10058-2	Jul 07	177	5	<.2	0,42	<.01	2,92	0,02	<.01	<.05	175	<.05	3
AR-10063	Jul 07	1908	23,5	<.2	5,61	<.1	8,25	<.1	<.1	<.5	472	<.5	<10
AR-10064	Jul 07	91	33	<.2	0,19	<.01	8,58	0,03	<.01	<.05	198	0,12	3
AR-10099	Jul 07	72	13,1	<.2	0,13	<.01	4,11	0,05	<.01	<.05	140	0,12	3
AR-2409D	Jul 07	261	8,7	<.2	0,58	<.01	3,01	0,03	<.01	<.05	145	0,06	3
DDH-2252	Jul 07	269	17,1	<.2	0,62	<.01	9,83	0,11	<.01	<.05	154	0,13	4
DDH-2252-2	Jul 07	99	5,3	<.2	1,26	<.01	7,84	0,1	<.01	<.05	129	0,07	3
DDH-2267	Jul 07	68	3,1	<.2	0,11	<.01	13,46	0,11	0,01	<.05	264	0,15	2
DDH-2267-2	Jul 07	81	4,9	<.2	0,12	<.01	13,38	0,11	<.01	<.05	260	0,13	2
STANDARD WASTWATERD2	Jul 07	<20	176,6	<.2	0,02	<.01	0,01	<.01	0,01	<.05	<1	765,2	<1
AR-2409	Nov 07	115	31,2	<.2	0,27	<.01	3,24	0,02	<.01	<.05	141	0,12	2
AR-2411	Nov 07	99	26,1	<.2	0,27	<.01	3,48	0,03	<.01	<.05	174	0,12	2
AR-2415	Nov 07	<20	2,7	<.2	0,03	<.01	4,56	0,03	<.01	<.05	350	0,07	2
AR-10051	Nov 07	<200	5,5	<.2	0,15	<.1	4,71	<.1	<.1	<.5	803	<.5	<10
AR-10053	Nov 07	60	2	<.2	0,12	<.01	9,19	0,03	<.01	<.05	257	0,09	3
AR-10055	Nov 07	121	4,4	<.2	0,21	<.01	3,2	0,02	<.01	<.05	177	0,11	3
AR-10057	Nov 07	212	9,9	<.2	0,5	<.01	3,53	0,02	<.01	<.05	182	0,08	3
AR-10058	Nov 07	127	6,4	<.2	0,28	<.01	3,16	0,02	<.01	<.05	188	0,07	3
AR-10063	Nov 07	40	3,1	<.2	0,06	<.01	4,9	0,05	0,02	<.05	347	0,1	2
AR-10064	Nov 07	89	7,9	<.2	0,15	<.01	8,51	0,02	<.01	<.05	204	0,11	3
AR-10143	Nov 07	261	4	<.2	0,36	<.01	6,05	0,19	<.01	<.05	421	0,31	3
AR-10145	Nov 07	625	4,4	<.2	0,12	<.01	3,05	0,03	<.01	<.05	187	0,1	3
AR-2411-2	Nov 07	154	4,7	<.2	0,4	<.01	2,8	0,02	<.01	<.05	191	0,09	3
AR-2415-2	Nov 07	38	2,2	<.2	0,06	<.01	4,43	0,03	0,02	<.05	366	0,07	2
AR-2415-3	Nov 07	29	1,6	<.2	0,03	<.01	4,12	0,03	0,01	<.05	357	0,06	2
AR-10051D	Nov 07	226	6,1	<.2	0,18	<.1	4,78	<.1	<.1	<.5	792	<.5	<10
AR-10051-2	Nov 07	<200	6,5	<.2	0,17	<.1	4,59	<.1	<.1	<.5	782	<.5	<10
AR-10053-2	Nov 07	58	5,5	<.2	0,14	<.01	9,45	0,03	<.01	<.05	255	0,09	3
AR-10053-3	Nov 07	49	3,4	<.2	0,09	<.01	8,12	0,03	<.01	<.05	284	0,08	3
AR-10055-2	Nov 07	73	3,5	<.2	0,13	<.01	2,91	0,02	<.01	<.05	177	<.05	3
AR-10055-2-DL	Nov 07	67	3,8	<.2	0,13	<.01	3,07	0,03	<.01	<.05	173	<.05	3
AR-10058-2	Nov 07	275	8,6	<.2	0,64	<.01	3,67	0,02	<.01	<.05	183	0,06	3
AR-10063-2	Nov 07	51	8,2	<.2	0,14	<.01	5,36	0,04	0,01	<.05	333	0,12	3
AR-10064-2 IS	Nov 07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10064-2D	Nov 07	115	2,1	<.2	0,23	<.01	9,44	0,03	<.01	<.05	207	0,1	4
AR-10143-2	Nov 07	495	6,7	<.2	0,89	<.01	6,87	0,21	<.01	<.05	380	0,19	5
AR-10145-2	Nov 07	684	1,8	<.2	0,15	<.01	2,92	0,03	<.01	<.05	180	0,09	3
DDH-2252	Nov 07	79	3,3	<.2	0,1	<.01	8,49	0,09	<.01	<.05	150	0,08	3

DDH-2267	Nov 07	72	2,5	<.2	0,1	<.01	13,85	0,11	<.01	<.05	294	0,12	2
DDH-2252-2	Nov 07	61	1,5	<.2	0,04	<.01	8,56	0,1	<.01	<.05	161	0,1	3
DDH-2252-3	Nov 07	65	1,9	<.2	0,04	<.01	8,44	0,1	<.01	<.05	154	0,09	4
DDH-2267-2	Nov 07	92	14,1	<.2	0,12	<.01	14,35	0,11	<.01	<.05	296	0,14	2
STANDARD WASTWATERD3	Nov 07	<20	632,1	6,4	<.01	<.01	0,01	<.01	0,02	<.05	<1	436	<.1
AR-2409	Mar 08	1412	132	<.2	3,09	<.01	8,91	0,04	<.01	<.05	263	0,09	9
AR-2411	Mar 08	678	7,8	<.2	1,4	<.01	4,19	0,02	<.01	<.05	176	0,09	6
AR-2415	Mar 08	148	6,1	<.2	0,29	<.01	4,64	0,03	0,01	<.05	329	0,09	5
AR-10051	Mar 08	477	6,4	<.2	0,39	<.1	5,08	<.1	<.1	<.5	761	<.5	<10
AR-10053	Mar 08	225	2	<.2	0,36	<.01	9,36	0,03	<.01	<.05	238	0,09	6
AR-10055	Mar 08	424	0,3	<.2	0,69	<.01	3,78	0,02	<.01	<.05	142	0,08	5
AR-10057	Mar 08	724	3,2	<.2	1,34	<.01	3,57	0,03	<.01	<.05	193	0,07	6
AR-10058	Mar 08	1446	7,8	<.2	3,24	<.01	5,32	0,02	<.01	<.05	193	0,11	8
AR-10063	Mar 08	348	8,3	<.2	0,86	<.01	5,54	0,05	0,01	<.05	320	0,14	6
AR-10064	Mar 08	912	6,2	<.2	2	<.01	9,49	0,03	<.01	<.05	194	0,16	8
AR-10143 IS	Mar 08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10145	Mar 08	734	11,3	<.2	1,79	<.01	4,31	0,03	<.01	<.05	151	<.05	6
AR-10154	Mar 08	323	5	<.2	0,45	<.01	4,83	0,01	<.01	<.05	74	0,06	6
AR-2411-2	Mar 08	197	2,5	<.2	0,38	<.01	3,15	0,02	<.01	<.05	187	0,09	5
AR-2415-2	Mar 08	129	3,3	<.2	0,29	<.01	5,34	0,03	0,02	<.05	326	0,1	5
AR-2415-3	Mar 08	80	1	<.2	0,12	<.01	4,7	0,03	0,02	<.05	329	0,1	5
AR-10051-2	Mar 08	554	59	<.2	0,6	<.1	7,97	<.1	<.1	<.5	737	<.5	<10
AR-10053-2	Mar 08	204	4,8	<.2	0,3	<.01	9,55	0,03	<.01	<.05	238	0,11	6
AR-10053-3	Mar 08	107	2,2	<.2	0,15	<.01	8,31	0,03	<.01	<.05	325	0,11	5
AR-10053-3D	Mar 08	277	7,5	<.2	0,47	<.01	9,48	0,03	<.01	<.05	251	0,09	6
AR-10055-2	Mar 08	624	0,8	<.2	1,07	<.01	5,36	0,03	<.01	<.05	167	0,1	7
AR-10055-2-DL	Mar 08	652	0,9	<.2	1,04	<.01	5,56	0,03	<.01	<.05	168	0,11	7
AR-10063-2	Mar 08	256	6,1	<.2	0,63	<.01	5,94	0,05	0,02	<.05	319	0,14	5
AR-10063-3	Mar 08	182	5,6	<.2	0,44	<.01	5,61	0,05	0,02	<.05	317	0,13	5
AR-10064-2	Mar 08	157	2	<.2	0,28	<.01	9,7	0,03	<.01	<.05	189	0,11	6
AR-10143-2	Mar 08	287	3,7	<.2	0,47	<.01	4,65	0,18	<.01	<.05	322	0,23	5
AR-10145-2	Mar 08	324	5,9	<.2	0,6	<.01	4,51	0,02	<.01	<.05	150	0,11	5
DDH-2252	Mar 08	107	2	<.2	0,12	<.01	8,13	0,08	<.01	<.05	163	0,14	5
DDH-2267	Mar 08	88	3	<.2	0,09	<.01	13,36	0,1	0,01	<.05	245	0,1	3
DDH-2252-2	Mar 08	59	1,5	<.2	0,03	<.01	7,55	0,08	<.01	<.05	161	0,12	5
DDH-2252-3	Mar 08	49	1,1	<.2	0,03	<.01	8,05	0,08	<.01	<.05	151	0,11	5
DDH-2267-2	Mar 08	91	2,1	<.2	0,1	<.01	13,6	0,09	<.01	<.05	252	0,07	3
IDO-2	Mar 08	29	1,6	<.2	0,01	<.01	11,38	0,03	0,01	<.05	325	<.05	5
STANDARD WASTWATERD5	Mar 08	<20	255,1	8,1	<.01	<.01	0,01	<.01	<.01	<.05	<1	470,3	<.1

...continuación Tabla 6.1.3

Muestras	Fecha muestreo	Se	Si	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-2409	Ene 07	6,6	17279	0,27	0,09	1112	<.02	0,03	<.05	0,28	16	0,01	0,01
AR-2409-DL	Ene 07	6,5	16862	0,29	0,08	1123	<.02	0,03	<.05	0,26	16	<.01	0,01
AR-2411	Ene 07	5,2	16643	0,37	0,07	1279	<.02	0,05	<.05	0,45	13	0,01	0,02
AR-2415	Ene 07	6	13285	<.02	0,06	2026	<.02	<.01	<.05	<.05	<10	<.01	<.01
AR-10051	Ene 07	<.5	9947	<.2	<.5	1473	<.2	<.1	<.5	<.5	<100	<.1	<.1
AR-10053	Ene 07	6,3	17185	0,05	0,09	1519	<.02	0,01	<.05	<.05	10	<.01	<.01
AR-10055	Ene 07	6,1	15591	0,13	0,11	1217	<.02	0,02	<.05	0,1	<10	<.01	0,01
AR-10057	Ene 07	5,2	15220	0,11	0,12	1178	<.02	0,01	<.05	0,11	13	<.01	<.01
AR-10058	Ene 07	5,4	18749	0,72	<.05	1245	<.02	0,09	<.05	0,76	16	0,02	0,03
AR-10063	Ene 07	5,7	14991	0,08	<.05	2153	<.02	0,01	<.05	0,11	15	<.01	<.01
AR-10064	Ene 07	6,8	19170	0,12	<.05	1208	<.02	0,02	<.05	0,12	11	<.01	0,01
AR-10099	Ene 07	9,6	16326	0,02	<.05	942	<.02	<.01	<.05	<.05	12	<.01	<.01
AR-10051D	Ene 07	<.5	9969	<.2	<.5	1484	<.2	<.1	<.5	<.5	<100	<.1	<.1
DDH-2252	Ene 07	1,6	16542	0,19	0,12	1200	<.02	0,03	<.05	0,1	11	0,08	0,01
DDH-2267	Ene 07	1,9	8196	0,09	<.05	2019	<.02	0,02	<.05	0,24	17	0,01	0,01
STANDARD WASTWATERD2	Ene 07	152,2	185	0,03	<.05	222	<.02	0,02	<.05	<.05	<10	335,4	0,02
AR-2409	Jul 07	6,6	15283	0,21	0,1	1041	<.02	0,03	<.05	0,44	22	0,01	0,01
AR-2411	Jul 07	5,7	15824	0,37	<.05	1217	<.02	0,04	<.05	0,43	27	0,01	0,01

AR-2415	Jul 07	6,7	13660	0,05	0,13	2144	<.02	0,01	<.05	0,08	<10	<.01	<.01
AR-10051	Jul 07	<5	12295	0,6	<.5	1480	<.2	<.1	<.5	<.5	<100	<.1	<.1
AR-10053	Jul 07	6,2	18357	0,21	<.05	1452	<.02	0,03	<.05	0,25	21	0,01	0,01
AR-10055	Jul 07	6	15079	0,19	<.05	1155	<.02	0,03	<.05	0,19	21	0,01	0,01
AR-10057	Jul 07	5,6	15446	0,16	<.05	1183	<.02	0,02	<.05	0,26	20	<.01	0,01
AR-10058	Jul 07	5,7	23818	2,28	0,07	1278	<.02	0,27	<.05	2,23	13	0,04	0,09
AR-10058-2	Jul 07	5,4	16300	0,34	<.05	1185	<.02	0,04	<.05	0,45	20	0,01	0,02
AR-10063	Jul 07	5,9	35487	4,56	<.5	2877	<.2	0,53	<.5	3,1	<100	<.1	0,18
AR-10064	Jul 07	6,8	18179	0,15	<.05	1146	<.02	0,02	<.05	0,22	16	0,01	0,01
AR-10099	Jul 07	10,1	16068	0,12	0,06	948,9	<.02	0,01	<.05	0,1	39	0,01	0,01
AR-2409D	Jul 07	6,6	17692	0,43	<.05	1080	<.02	0,05	<.05	0,86	16	0,01	0,02
DDH-2252	Jul 07	1,6	20760	0,55	0,12	1279	<.02	0,07	<.05	0,49	20	0,09	0,03
DDH-2252-2	Jul 07	1,4	16582	0,82	<.05	1127	<.02	0,08	<.05	0,12	11	0,06	0,02
DDH-2267	Jul 07	1,5	10137	0,11	0,2	1845	<.02	0,02	0,06	0,18	19	0,01	0,01
DDH-2267-2	Jul 07	1,4	10154	0,13	0,07	1886	<.02	0,03	<.05	0,15	20	0,02	0,01
STANDARD WASTWATERD2	Jul 07	152,2	185	0,03	<.05	222	<.02	0,02	<.05	<.05	<10	335,4	0,02
AR-2409	Nov 07	5,8	13552	0,24	0,09	1072	<.02	0,03	<.05	0,29	15	0,01	0,01
AR-2411	Nov 07	5,2	13918	0,21	0,1	1212	<.02	0,02	<.05	0,23	18	0,01	0,01
AR-2415	Nov 07	6,1	11751	0,02	<.05	2036	0,02	<.01	<.05	<.05	<10	<.01	<.01
AR-10051	Nov 07	<5	9274	<.2	<.5	1544	<.2	<.1	<.5	<.5	<100	<.1	<.1
AR-10053	Nov 07	5,7	15622	0,09	<.05	1385	<.02	0,01	<.05	0,12	14	0,01	<.01
AR-10055	Nov 07	4,9	14419	0,24	<.05	1166	<.02	0,03	<.05	0,09	<10	0,01	0,01
AR-10057	Nov 07	4,9	14615	0,39	<.05	1133	<.02	0,05	<.05	0,4	12	0,01	0,02
AR-10058	Nov 07	4,9	14480	0,23	<.05	1180	<.02	0,03	<.05	0,31	15	0,01	0,01
AR-10063	Nov 07	5,6	13085	0,06	0,06	2037	<.02	0,01	<.05	0,06	10	<.01	<.01
AR-10064	Nov 07	5,9	16785	0,14	<.05	1108	<.02	0,02	<.05	0,16	12	<.01	0,01
AR-10143	Nov 07	6,9	11834	0,37	<.05	1297	<.02	0,06	<.05	0,32	79	0,01	0,03
AR-10145	Nov 07	5	14583	0,11	<.05	1289	<.02	0,01	<.05	0,24	<10	<.01	<.01
AR-2411-2	Nov 07	5,7	15221	0,3	<.05	1205	<.02	0,04	<.05	0,33	14	<.01	0,01
AR-2415-2	Nov 07	6,7	13195	0,06	<.05	2078	<.02	0,01	<.05	<.05	12	<.01	<.01
AR-2415-3	Nov 07	6,1	13302	0,03	<.05	1916	<.02	<.01	<.05	<.05	<10	<.01	<.01
AR-10051D	Nov 07	<5	10258	<.2	<.5	1580	<.2	<.1	<.5	<.5	<100	<.1	<.1
AR-10051-2	Nov 07	<5	10193	<.2	<.5	1575	<.2	<.1	<.5	<.5	<100	<.1	<.1
AR-10053-2	Nov 07	6,1	17361	0,12	0,08	1372	<.02	0,02	<.05	0,1	18	<.01	0,01
AR-10053-3	Nov 07	5,7	16616	0,08	<.05	1417	<.02	0,01	<.05	0,07	13	<.01	<.01
AR-10055-2	Nov 07	6,1	15336	0,13	<.05	1162	<.02	0,02	<.05	0,07	10	<.01	<.01
AR-10055-2-DL	Nov 07	6,4	15460	0,13	<.05	1266	<.02	0,02	<.05	0,07	11	<.01	0,01
AR-10058-2	Nov 07	5	17088	0,53	<.05	1181	<.02	0,06	<.05	0,56	10	<.01	0,03
AR-10063-2	Nov 07	6,2	14729	0,11	<.05	1964	<.02	0,02	<.05	0,09	17	<.01	0,01
AR-10064-2 IS	Nov 07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10064-2D	Nov 07	7,3	18639	0,2	<.05	1210	<.02	0,02	<.05	0,17	13	<.01	0,01
AR-10143-2	Nov 07	6,6	15727	0,93	<.05	1243	<.02	0,13	<.05	0,76	58	<.01	0,07
AR-10145-2	Nov 07	6	16437	0,11	<.05	1277	<.02	0,01	<.05	0,16	<10	<.01	<.01
DDH-2252	Nov 07	2,6	17569	0,1	<.05	1253	<.02	0,01	<.05	0,1	<10	0,04	0,01
DDH-2267	Nov 07	1	9933	0,11	<.05	1948	<.02	0,02	<.05	0,12	14	<.01	0,01
DDH-2252-2	Nov 07	2,4	18100	0,05	<.05	1325	<.02	0,01	<.05	<.05	<10	0,04	<.01
DDH-2252-3	Nov 07	1,8	17520	0,05	<.05	1258	<.02	0,01	<.05	<.05	<10	0,05	<.01
DDH-2267-2	Nov 07	1,2	11040	0,14	0,07	1968	<.02	0,03	<.05	0,17	17	<.01	0,01
STANDARD WASTWATERD3	Nov 07	665,8	162	0,02	<.05	107,9	<.02	<.01	<.05	<.05	<10	566,5	<.01
AR-2409	Mar 08	5,9	25658	2,7	0,2	1388	<.02	0,29	<.05	2,1	<10	0,04	0,12
AR-2411	Mar 08	4,6	20070	1,18	<.05	1154	<.02	0,13	<.05	1,22	16	0,02	0,05
AR-2415	Mar 08	5,5	14549	0,28	<.05	1963	<.02	0,03	<.05	0,3	15	<.01	0,01
AR-10051	Mar 08	<5	11622	0,35	<.5	1439	<.2	<.1	<.5	<.5	<100	<.1	<.1
AR-10053	Mar 08	5,6	18414	0,34	<.05	1430	<.02	0,04	<.05	0,34	11	0,01	0,02
AR-10055	Mar 08	4,5	15289	0,74	<.05	1058	<.02	0,1	<.05	0,16	<10	0,03	0,04
AR-10057	Mar 08	5,3	19073	1,14	<.05	1331	<.02	0,12	<.05	0,93	<10	0,01	0,04
AR-10058	Mar 08	5	24540	2,81	0,12	1406	<.02	0,28	<.05	1,95	<10	0,03	0,12
AR-10063	Mar 08	5,4	16889	0,76	<.05	2103	<.02	0,08	<.05	0,83	<10	0,01	0,03
AR-10064	Mar 08	6,1	24997	1,75	<.05	1213	<.02	0,17	<.05	1,76	10	0,02	0,07
AR-10143 IS	Mar 08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AR-10145	Mar 08	4,8	18447	1,51	<.05	1192	<.02	0,15	<.05	1,95	<10	0,01	0,05
AR-10154	Mar 08	3,2	17766	0,42	<.05	636	<.02	0,05	<.05	0,49	<10	0,01	0,02
AR-2411-2	Mar 08	5	15910	0,32	0,06	1290	<.02	0,04	<.05	0,35	17	<.01	0,01
AR-2415-2	Mar 08	6,1	15127	0,25	0,23	2116	<.02	0,02	<.05	0,34	26	<.01	0,01
AR-2415-3	Mar 08	5,9	13534	0,11	0,08	2126	<.02	0,01	<.05	0,15	13	<.01	<.01
AR-10051-2	Mar 08	<5	15297	0,56	<.5	1653	<.2	<.1	<.5	<.5	<100	<.1	<.1
AR-10053-2	Mar 08	5,9	18084	0,27	<.05	1494	<.02	0,03	<.05	0,28	22	<.01	0,01

AR-10053-3	Mar 08	4,9	15512	0,14	0,09	1557	<.02	0,02	<.05	0,17	24	<.01	0,01
AR-10053-3D	Mar 08	5,5	18140	0,45	0,32	1469	<.02	0,05	<.05	0,45	17	<.01	0,02
AR-10055-2	Mar 08	5,6	19630	1,07	0,19	1291	<.02	0,14	<.05	0,26	10	0,02	0,05
AR-10055-2-DL	Mar 08	5,8	20236	1,04	0,2	1307	<.02	0,14	<.05	0,27	<10	0,02	0,05
AR-10063-2	Mar 08	5,5	16096	0,55	0,08	2206	<.02	0,06	<.05	0,64	23	<.01	0,02
AR-10063-3	Mar 08	5,3	15804	0,39	0,07	2153	<.02	0,04	<.05	0,47	14	<.01	0,02
AR-10064-2	Mar 08	5,9	18318	0,24	<.05	1192	<.02	0,03	<.05	0,28	14	<.01	0,01
AR-10143-2	Mar 08	5,1	11950	0,5	<.05	1248	<.02	0,07	<.05	0,35	64	<.01	0,04
AR-10145-2	Mar 08	4,8	16460	0,51	0,11	1224	<.02	0,06	<.05	0,55	14	<.01	0,02
DDH-2252	Mar 08	1,9	16764	0,13	<.05	1284	<.02	0,01	<.05	0,12	10	0,03	0,01
DDH-2267	Mar 08	0,9	8707	0,13	0,07	1867	<.02	0,02	<.05	0,1	16	<.01	0,01
DDH-2252-2	Mar 08	2,1	16081	0,03	0,09	1316	<.02	0,01	<.05	<.05	<10	0,01	<.01
DDH-2252-3	Mar 08	1,7	15917	0,04	0,06	1248	<.02	0,01	<.05	<.05	<10	<.01	<.01
DDH-2267-2	Mar 08	1	8964	0,11	0,13	1883	<.02	0,02	<.05	0,1	12	<.01	0,01
IDO-2	Mar 08	5,3	15690	<.02	<.05	1987	<.02	<.01	<.05	<.05	<10	<.01	<.01
STANDARD WASTWATERD5	Mar 08	310,7	154	0,02	<.05	230,6	<.02	<.01	<.05	<.05	<10	613,7	<.01

...continuación Tabla 6.1.3

Muestras	Fecha muestreo	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-2409	Ene 07	0,67	11,1	0,07	0,76	0,05	17,5	0,04
AR-2409-DL	Ene 07	0,65	11	0,07	0,79	0,06	17,3	0,05
AR-2411	Ene 07	0,65	10,4	0,09	1,14	0,09	46,2	0,05
AR-2415	Ene 07	1,15	8,5	0,19	0,05	<.01	18,3	0,04
AR-10051	Ene 07	<.2	<2	7,05	0,22	<.1	43,8	<.2
AR-10053	Ene 07	0,56	6,1	0,25	0,16	0,01	48,8	0,08
AR-10055	Ene 07	0,63	10	0,04	0,46	0,03	24,4	0,04
AR-10057	Ene 07	0,48	8,2	0,11	0,29	0,02	21,4	0,08
AR-10058	Ene 07	0,66	11,3	0,05	2,2	0,2	47,3	0,06
AR-10063	Ene 07	0,87	7,4	0,24	0,27	0,02	34,9	0,09
AR-10064	Ene 07	0,63	8,2	0,16	0,39	0,03	26,1	0,08
AR-10099	Ene 07	0,63	15,2	0,22	0,07	0,01	22,8	0,06
AR-10051D	Ene 07	<.2	<2	6,25	0,39	<.1	29,5	<.2
DDH-2252	Ene 07	31,38	3	6,94	0,67	0,06	1173	0,06
DDH-2267	Ene 07	0,82	2,1	3,63	0,37	0,04	120,5	0,09
STANDARD WASTWATERD2	Ene 07	<.02	631,6	0,09	0,03	0,02	683,5	0,04
AR-2409	Jul 07	0,64	9,9	0,21	0,6	0,05	16,9	0,07
AR-2411	Jul 07	0,63	9,5	0,13	1,03	0,09	22,5	0,09
AR-2415	Jul 07	1,23	9,4	0,22	0,16	0,01	30,2	0,08
AR-10051	Jul 07	<.2	7,9	2,11	1,85	0,14	76	0,25
AR-10053	Jul 07	0,64	10,7	0,04	0,69	0,06	16,3	0,1
AR-10055	Jul 07	0,61	9,9	0,05	0,59	0,04	26,5	0,09
AR-10057	Jul 07	0,51	9	0,12	0,46	0,03	18	0,09
AR-10058	Jul 07	0,86	13	0,06	6,88	0,55	70,6	0,2
AR-10058-2	Jul 07	0,56	9,9	0,13	1,04	0,08	21,3	0,13
AR-10063	Jul 07	2,14	33,9	<.2	13,3	0,99	514,5	0,22
AR-10064	Jul 07	0,61	8,1	0,21	0,53	0,04	35,1	0,1
AR-10099	Jul 07	0,67	19,6	0,21	0,31	0,02	32,2	0,1
AR-2409D	Jul 07	0,69	12,3	0,1	1,24	0,1	21,6	0,17
DDH-2252	Jul 07	28,1	8,3	8,45	1,84	0,16	941	0,03
DDH-2252-2	Jul 07	26,54	2,9	7,36	1,59	0,1	107	0,04
DDH-2267	Jul 07	0,84	2,2	5,03	0,44	0,04	115,8	0,56
DDH-2267-2	Jul 07	0,82	2,5	4,26	0,56	0,04	122,6	0,58
STANDARD WASTWATERD2	Jul 07	<.02	631,6	0,09	0,03	0,02	683,5	0,04
AR-2409	Nov 07	0,63	11,7	0,06	0,71	0,06	58,6	0,06
AR-2411	Nov 07	0,61	10,6	0,08	0,7	0,05	55,3	0,11
AR-2415	Nov 07	1,08	10,3	0,28	0,08	0,01	20,8	0,06
AR-10051	Nov 07	<.2	2,7	6,19	0,45	<.1	130,8	<.2

AR-10053	Nov 07	0,49	8,6	0,07	0,33	0,02	24,2	0,1
AR-10055	Nov 07	0,64	13	0,02	0,72	0,04	49,7	0,04
AR-10057	Nov 07	0,52	11,6	0,03	1,24	0,1	43	0,13
AR-10058	Nov 07	0,55	10,2	0,07	0,75	0,06	20,7	0,07
AR-10063	Nov 07	0,82	9,6	0,26	0,17	0,01	24	0,1
AR-10064	Nov 07	0,7	9,6	0,27	0,44	0,04	20	0,04
AR-10143	Nov 07	0,18	19,1	1,17	1,84	0,16	53,5	0,03
AR-10145	Nov 07	1,09	9,5	0,28	0,3	0,02	17,9	0,05
AR-2411-2	Nov 07	0,59	11,2	0,08	0,96	0,06	27,8	0,12
AR-2415-2	Nov 07	1,11	12,2	0,19	0,19	0,01	10,9	0,08
AR-2415-3	Nov 07	1,06	11,8	0,22	0,08	<.01	8,2	0,05
AR-10051D	Nov 07	<.2	6	6,02	0,48	<.1	41,1	0,24
AR-10051-2	Nov 07	<.2	4,3	5,98	0,48	<.1	43,3	<.2
AR-10053-2	Nov 07	0,55	10,2	0,04	0,44	0,03	39,8	0,11
AR-10053-3	Nov 07	0,49	8,9	0,16	0,29	0,03	28,4	0,09
AR-10055-2	Nov 07	0,61	11,9	0,02	0,42	0,03	21,2	0,04
AR-10055-2-DL	Nov 07	0,65	12,7	0,02	0,43	0,03	21,6	0,04
AR-10058-2	Nov 07	0,59	11,2	0,04	1,72	0,14	36,7	0,1
AR-10063-2	Nov 07	0,87	10,7	0,21	0,36	0,02	40,8	0,11
AR-10064-2 IS	Nov 07	-	-	-	-	-	-	-
AR-10064-2D	Nov 07	0,7	9,8	0,36	0,66	0,05	15,2	0,05
AR-10143-2	Nov 07	0,25	24,2	0,61	4,05	0,35	140,5	0,02
AR-10145-2	Nov 07	1,13	9,5	0,29	0,33	0,01	14,2	0,05
DDH-2252	Nov 07	25,21	3,6	11,02	0,35	0,03	95,1	0,03
DDH-2267	Nov 07	1,08	3,1	4,49	0,45	0,03	108,8	0,3
DDH-2252-2	Nov 07	26,94	3,5	11,69	0,22	0,02	58,7	0,03
DDH-2252-3	Nov 07	26,74	2,9	10,88	0,25	0,02	107,5	0,02
DDH-2267-2	Nov 07	1,26	3,5	5,22	0,49	0,05	149,1	0,39
STANDARD WASTWATERD3	Nov 07	<.02	166,3	0,06	0,01	<.01	722,7	0,1
AR-2409	Mar 08	1,2	26,6	0,09	8,73	0,62	199,7	0,08
AR-2411	Mar 08	0,72	16,7	0,04	3,95	0,29	86,3	0,02
AR-2415	Mar 08	1,04	11,9	0,06	0,82	0,05	17,8	0,02
AR-10051	Mar 08	<.2	6,8	3,24	1,38	0,14	47,6	<.2
AR-10053	Mar 08	0,62	10,7	0,12	1,07	0,08	25,2	<.02
AR-10055	Mar 08	1	16,9	<.02	2,71	0,18	145,9	<.02
AR-10057	Mar 08	0,8	15,3	0,04	3,4	0,23	68,4	<.02
AR-10058	Mar 08	1,06	15,8	0,03	8,82	0,62	132,8	0,03
AR-10063	Mar 08	1,18	18,5	0,05	2,42	0,17	240,2	0,07
AR-10064	Mar 08	0,96	15,5	0,02	5,18	0,4	38,9	<.02
AR-10143 IS	Mar 08	-	-	-	-	-	-	-
AR-10145	Mar 08	1,24	12,9	0,19	4,13	0,28	124,5	0,02
AR-10154	Mar 08	1,46	17,5	0,08	1,5	0,11	121,6	<.02
AR-2411-2	Mar 08	0,66	10	0,25	1	0,08	27,8	0,06
AR-2415-2	Mar 08	1,11	13,2	0,07	0,74	0,06	32,8	0,03
AR-2415-3	Mar 08	1,2	10,9	0,14	0,33	0,02	10,7	0,03
AR-10051-2	Mar 08	0,3	10,6	4,35	2,1	0,16	176	0,29
AR-10053-2	Mar 08	0,58	9,5	0,12	0,87	0,06	91,7	0,02
AR-10053-3	Mar 08	0,44	8,2	0,32	0,51	0,04	33,6	0,05
AR-10053-3D	Mar 08	0,62	11,4	0,09	1,46	0,12	71,6	0,02
AR-10055-2	Mar 08	1,11	20	0,07	3,62	0,25	172,1	0,06
AR-10055-2-DL	Mar 08	1,16	19,8	0,07	3,51	0,27	176,5	0,06
AR-10063-2	Mar 08	1,03	14	0,11	1,64	0,13	74,6	0,04
AR-10063-3	Mar 08	1	13	0,1	1,17	0,09	76,4	0,03
AR-10064-2	Mar 08	0,64	9,6	0,23	0,81	0,06	18,2	0,04
AR-10143-2	Mar 08	0,17	18,8	0,55	2,38	0,21	95	<.02
AR-10145-2	Mar 08	1,04	9,8	0,33	1,56	0,12	73,5	0,05
DDH-2252	Mar 08	18,6	3,9	7,39	0,45	0,04	102,3	<.02
DDH-2267	Mar 08	1,09	2,1	3,44	0,48	0,03	126,5	0,25
DDH-2252-2	Mar 08	17,43	2,4	9,71	0,18	0,01	27	0,03
DDH-2252-3	Mar 08	18,38	1,8	12,94	0,14	0,02	29,3	0,03
DDH-2267-2	Mar 08	1,13	2,3	4,07	0,48	0,03	141,7	0,23
IDO-2	Mar 08	0,61	10,2	0,18	0,04	<.01	10,3	0,03
STANDARD WASTWATERD5	Mar 08	<.02	229,9	0,16	<.01	<.01	477,5	0,05

* D = duplicado de terreno, DL = duplicado de laboratorio.

Tabla 6.1.4 Concentración de iones Cu²⁺, Cl⁻ y I⁻ en muestras de agua subterránea de Inca de Oro, expresadas en mV.

Muestra	Cu+2	Cl-	I-	Cu+2	Cl-	I-	Cu+2	Cl-	I-	Cu+2	Cl-	I-
DDH2252	70,3	177,2	-38,5	71,2	200,6	-8,2	34,6	172,6	-7,3	76,7	157,2	-36,7
DDH2252-2	-	-	-	69,9	199,3	-10,8	95,4	173	-6,3	78,3	160	-50,9
	-	-	-	-	-	-	71,3	172,2	-11,5	72,1	159,5	-50,6
DDH2267	20,1	169,7	-34,4	66,8	192,1	-8,4	37,2	163,5	-17,9	56,4	152,7	-39,2
DDH2267-2	-	-	-	62,2	191	-16,6	37,9	161,9	-26,6	43,6	154,2	-55,9
AR10051	37,5	176,4	-4,9	76,8	189,4	20,6	123	162,1	3,9	106,1	152,7	-19,7
	-	-	-	-	-	-	127,8	164,9	25,5	91,6	147,8	-29,8
AR10053	35,4	176,1	67,2	92,6	198,2	36,6	114,7	171,4	22,5	101,5	156,5	4,2
	-	-	-	-	-	-	109,9	170,9	33,8	94,9	157,5	8,2
	-	-	-	-	-	-	124,4	169,6	22,5	94,1	155,6	8,4
AR10063	49,5	170,6	89,5	95,4	194,2	24,5	125,4	166	31,7	84	153,5	16
	-	-	-	-	-	-	108,3	165,1	9,8	86,5	152,8	14,6
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100,7	152,7	4,9
AR10099	33,8	170,3	12,1	73,9	181,5	37,2	-	-	-	-	-	-
AR2409	52	185,7	25,1	88	205,5	35,4	102,8	177,8	25,4	83,6	163,4	14,3
AR2411	148	183,4	48,5	93,5	206,1	21,3	131,7	176,8	36,1	114,1	161,1	3,7
	-	-	-	-	-	-	99,4	176,6	23,6	86,4	164,2	14,4
AR10055	58,7	182,9	89,4	93,7	205,8	35,5	105,3	177,2	33,6	89,9	163,3	14,6
	-	-	-	-	-	-	104,3	176,7	22,4	96,5	164,8	8,6
AR10057	62,1	181,8	41,8	89,3	206,7	37,5	106,6	180	33,8	90,4	165,1	10,4
AR10058	150,2	184,2	55,5	90,6	205,8	32,2	135,2	177	38	83,3	165,9	15,5
	-	-	-	92,1	206,9	34,1	106,3	178,3	21,2	-	-	-
AR10064	70,3	177,8	75,5	89,7	195,3	46,5	105,4	173,1	16,6	100,8	155,4	7,8
	-	-	-	-	-	-	106,3	172,6	23	118,8	154,5	0,7
AR2415	41,3	167,5	72	92,2	179,8	59,5	116,4	163,9	32,8	87,8	148,9	14,2
	-	-	-	-	-	-	114,4	162,5	17,9	95,2	149	13
	-	-	-	-	-	-	112,3	163,2	22,1	93,1	150,8	12,9
AR10145	-	-	-	-	-	-	137	179,2	37,6	104,8	166,6	-21,3
AR10145-2	-	-	-	-	-	-	118,3	178,5	31,9	92,4	166,3	7,3
AR10143	-	-	-	-	-	-	95,3	156,2	7	101,9	142	-7,2
AR10143-2	-	-	-	-	-	-	149,2	157,2	36,6	100,3	139	-22,7
IDO 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105,9	153,4	1,8
AR10154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	109,7	172,8	-36,3

Anexo 6.2 Resultados de cálculo de error de balance de cargas en PHREEQC en muestras de agua con dos métodos de cálculo de concentraciones de sulfato.

Muestras	Error PHREEQC SO4 Fórmula	Error PHREEQC SO4 gráfico	Muestras	Error PHREEQC SO4 Fórmula	Error PHREEQC SO4 gráfico
AR-10051	-23,57	-6,23	AR-2411-2	-8,93	-1,94
AR-10051D	-18,15	-0,95	AR-2415	-12,43	-1,09
AR-10053	-10	-0,34	AR-2415-2	-14,96	-3,45
AR-10063	-13,49	-2,02	AR-2415-3	-15,27	-3,91
AR-10099	-1,81	1,55	AR-10055	-9,31	-3,07
DDH-2252	13,41	17,12	AR-10055-2	-11,27	-5,06
DDH-2267	-3,85	5,93	AR-10055-2-DL	-6,39	0,04
AR-2409	-9,4	-4,39	AR-10057	-7,78	-1,12
AR-2409-DL	-38,55	-33,93	AR-10058	-10,89	-4,03
AR-2411	-6,97	-0,18	AR-10058-2	-8,76	-2,08
AR-2415	-10,54	0,58	AR-10064	-10,11	-2,82
AR-10055	-8,71	-2,58	AR-10064-2	-10,29	63,09
AR-10057	-9,59	-3,2	AR-10064-2D	-10,4	-3,03
AR-10058	-8,81	-1,9	AR-10145	-11,26	-4,66
AR-10064	-12,79	-5,06	AR-10145-2	-10,62	-4,28
AR-10051	-16,95	0,34	AR-10051	-18,12	-0,9
AR-10053	-8,62	0,53	AR-10051-2	-12,34	4,91
AR-10063	-7,24	6,97	AR-10053	-5,5	3,54
AR-10099	1,24	4,46	AR-10053-2	-4,92	4,05
DDH-2252	12,21	16,88	AR-10053-3	-7,04	4,62
DDH-2252-2	11,6	14,51	AR-10053-3D	-3,08	6,48
DDH-2267	-2,57	6,63	AR-10063	-6,12	5,18
DDH-2267-2	-1,39	7,68	AR-10063-2	-4,17	7,02
AR-2409	-3,85	-0,37	AR-10063-3	-5,47	5,61
AR-2409D	-6,02	-1,62	AR-10143	-6,87	72,04
AR-2411	-4,56	1,23	AR-10143-2	-1,29	9,18
AR-2415	-9,72	1,67	DDH-2252	10,22	15,55
AR-10055	-8,3	-3	DDH-2252-2	7,44	12,64
AR-10057	-6,81	-0,84	DDH-2252-3	10,44	14,97
AR-10058	-2,58	4,29	DDH-2267	5,34	14
AR-10058-2	-7,87	-1,69	DDH-2267-2	2,04	10,9
AR-10064	-9,96	-2,87	IDO-2	-6,83	4,31
AR-10051	-22,91	-5,88	AR-2409	0,46	10,1
AR-10051D	-23,65	-6,7	AR-2411	6,23	12,86
AR-10051-2	-21,57	-4,5	AR-2411-2	-4,9	2,13
AR-10053	-10,99	-1,6	AR-2415	-4,85	6,36
AR-10053-2	-11,59	-2,28	AR-2415-2	-3,67	7,59
AR-10053-3	-11,87	-1,72	AR-2415-3	-5,76	5,45
AR-10063	-14,66	-3,27	AR-10055	6,06	10,33
AR-10063-2	-14,14	-3,09	AR-10055-2	-0,55	5,44
AR-10143	-16,15	-4,42	AR-10055-2-DL	2,03	8,35
AR-10143-2	-10,84	0,51	AR-10057	-2,61	4,8
DDH-2252	8,36	12,69	AR-10058	5,09	12,67
DDH-2252-2	4,75	9,77	AR-10064	2,07	9,4
DDH-2252-3	6,85	11,41	AR-10064-2	-3,82	3,07
DDH-2267	-8,42	1,43	AR-10145	4,93	9,91
DDH-2267-2	-8,11	1,71	AR-10145-2	-1,11	3,74
AR-2409	-4,81	-0,77	AR-10154	12,51	9,38
AR-2411	-7,78	-1,64			

* D = duplicado de terreno, DL = duplicado de laboratorio.

Anexo 6.3 Diagramas de Piper para muestras de agua subterránea de Inca de Oro, por campaña y profundidad de muestreo.

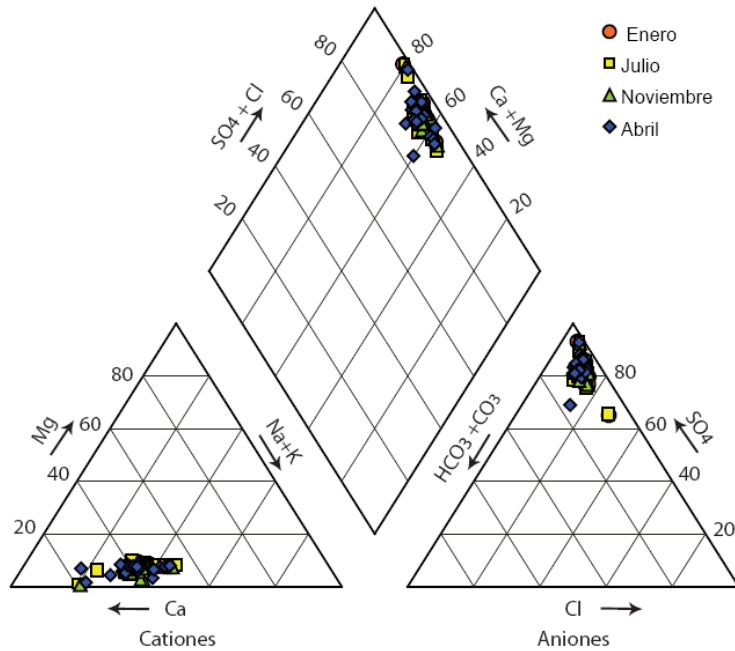


Figura 6.3.1 Diagrama de Piper de las muestras de agua subterránea para las cuatro primeras campañas de terreno

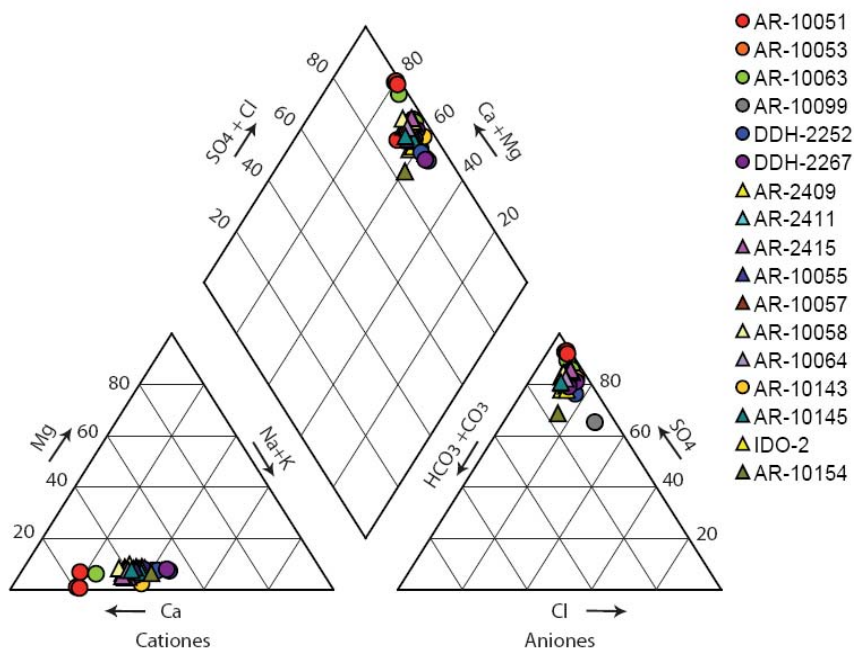


Figura 6.3.2 Diagrama de Piper para las muestras de agua subterránea tomadas en el nivel freático.

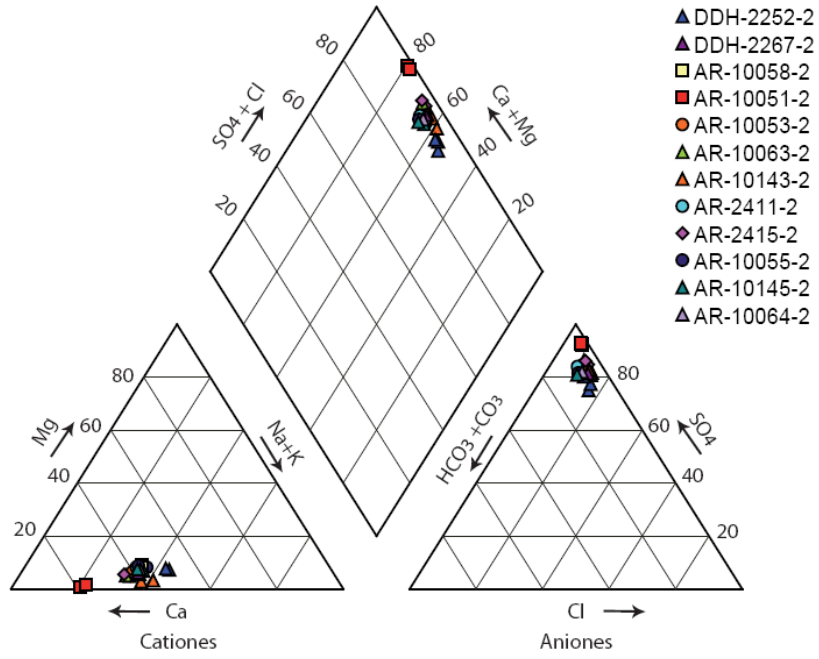


Figura 6.3.3 Diagrama de Piper para las muestras de agua subterránea tomadas a aproximadamente 10 metros del nivel freático.

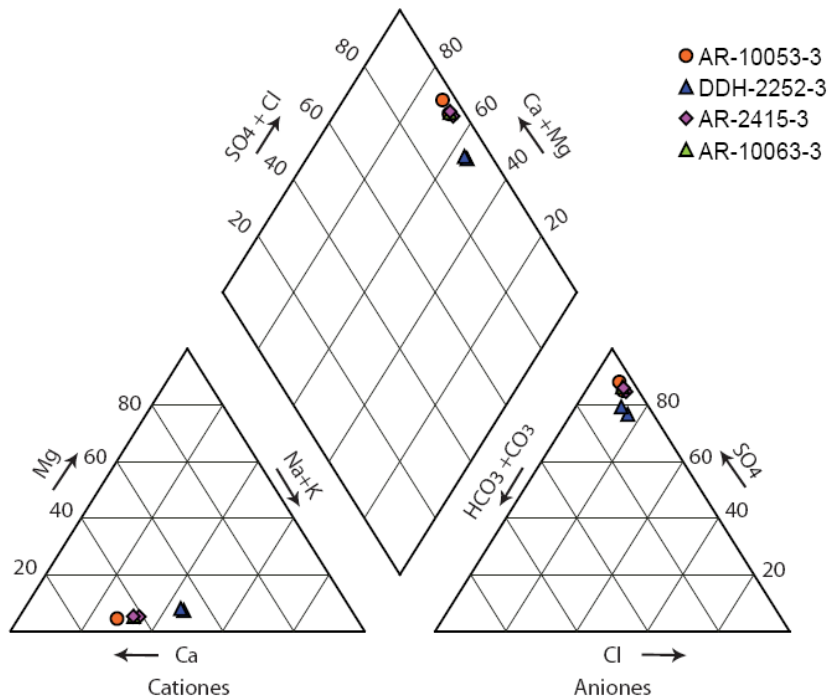
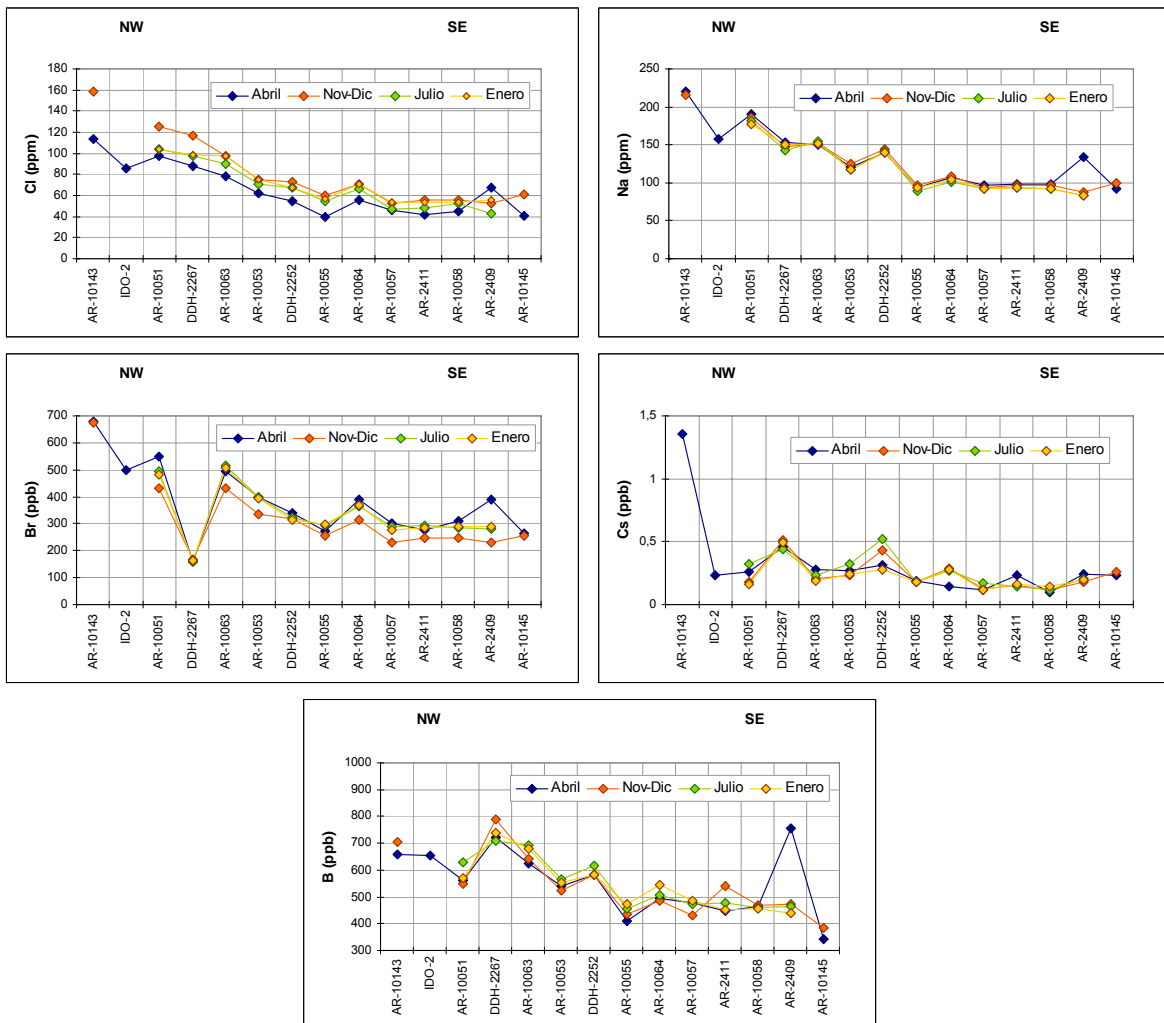


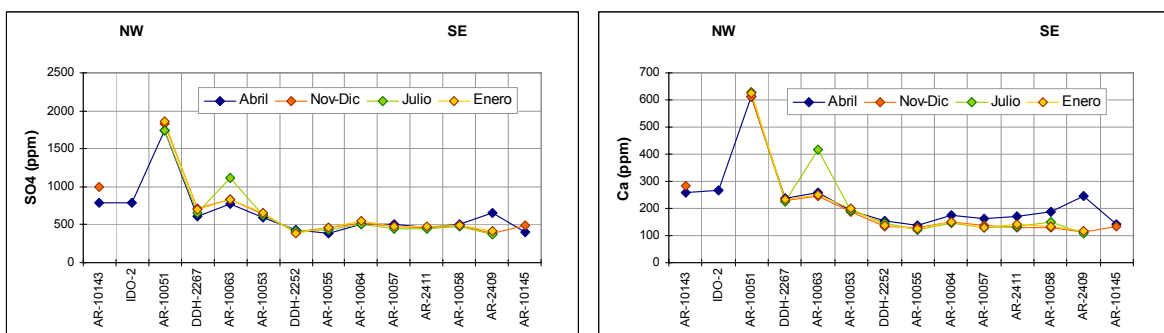
Figura 6.3.4 Diagrama de Piper para las muestras de agua subterránea tomadas a aproximadamente 20 metros del nivel freático.

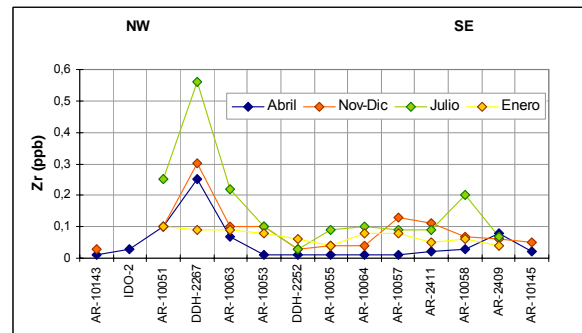
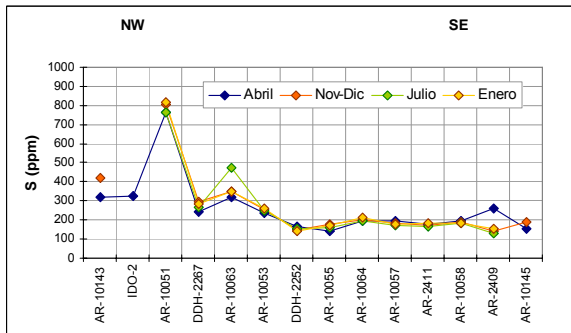
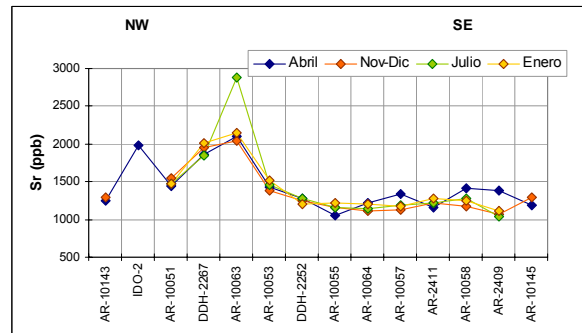
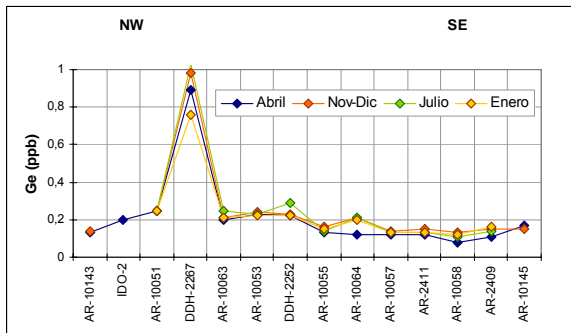
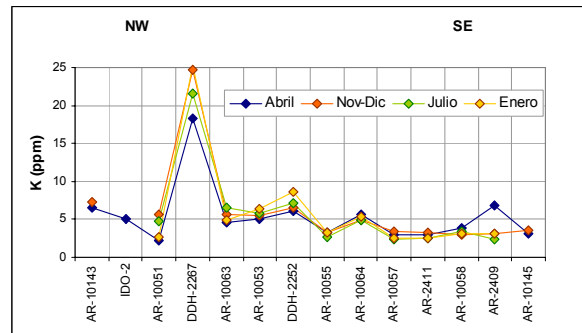
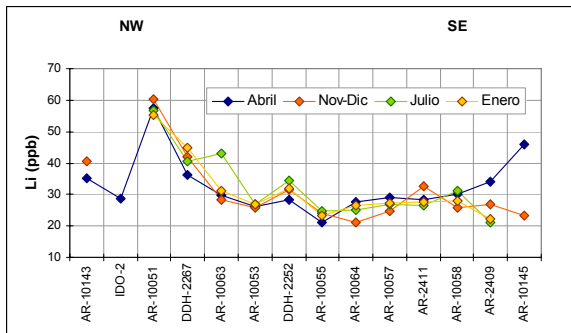
Anexo 6.4 Gráficos elementales según dirección de flujo del agua subterránea. Se presentan los datos de las cuatro campañas de terreno. Las muestras se encuentran ordenadas de SE a NW de derecha a izquierda.

Grupo 1

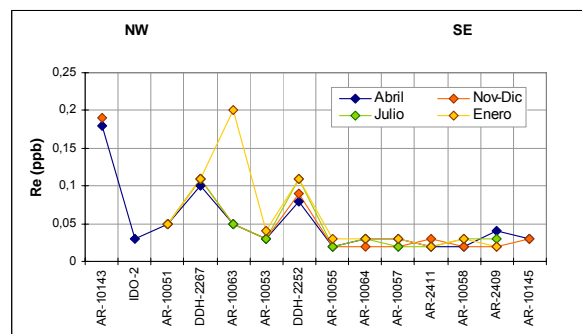
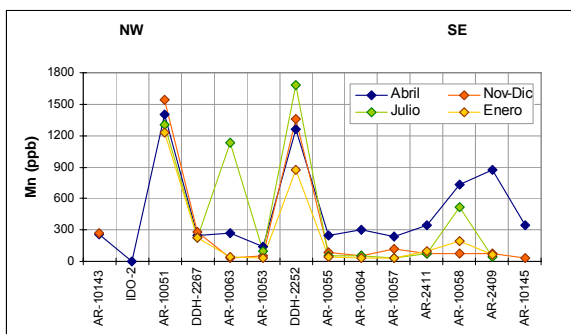
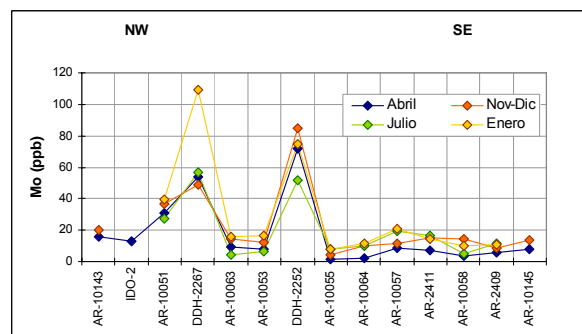
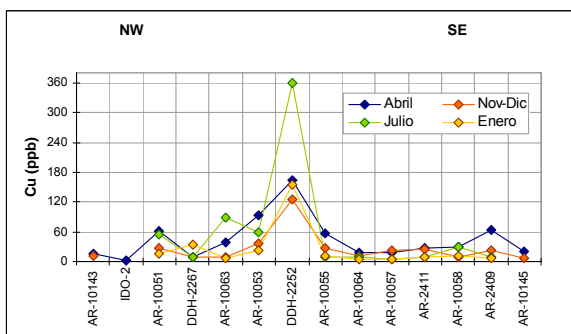


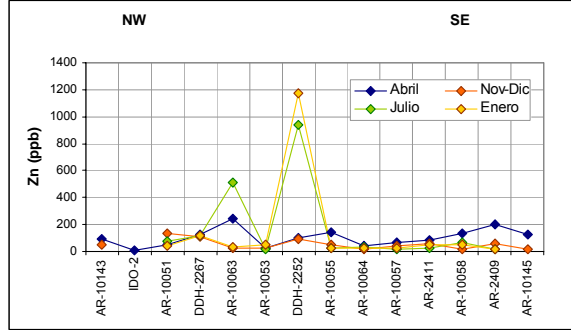
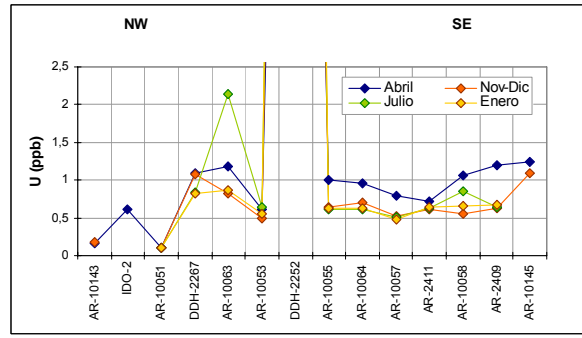
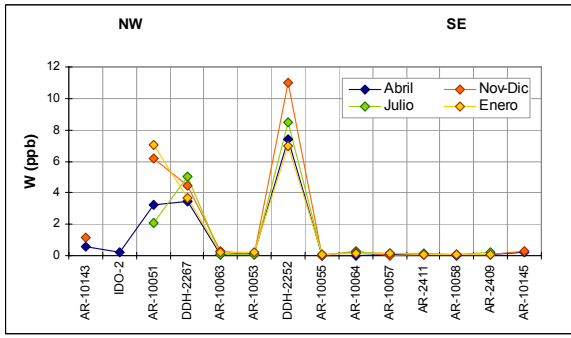
Grupo 2



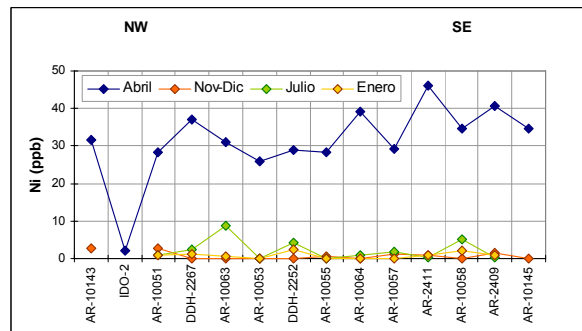
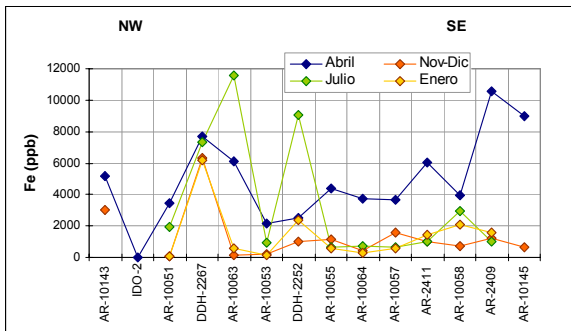
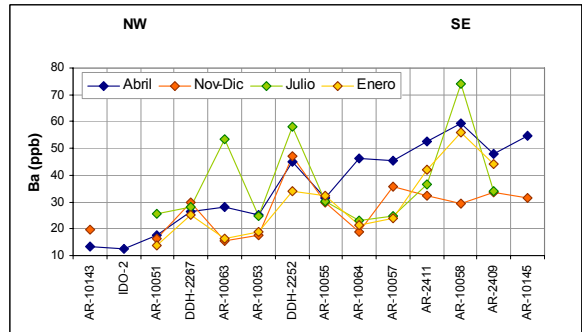
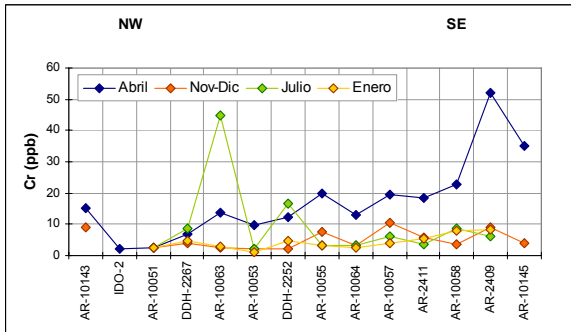
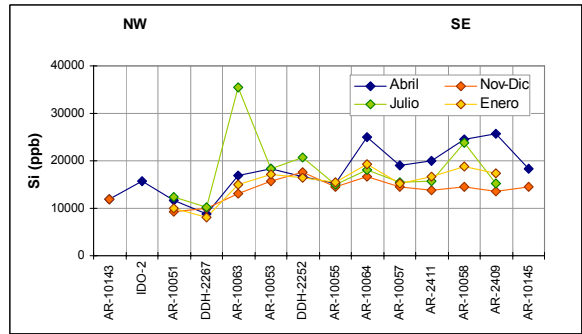
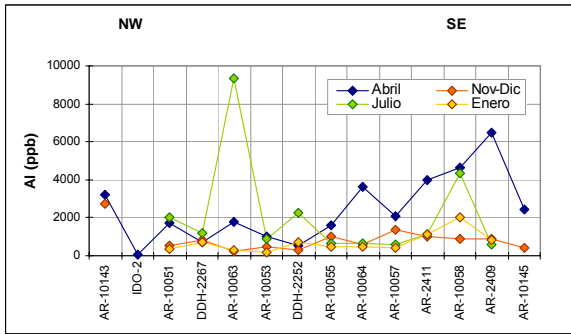


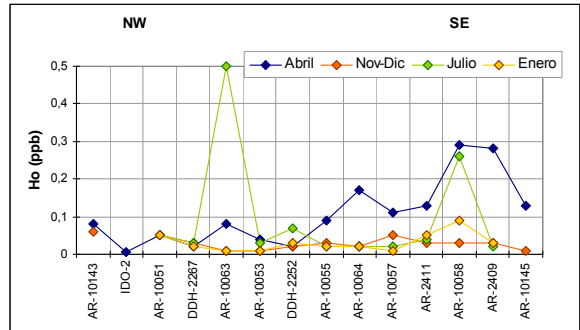
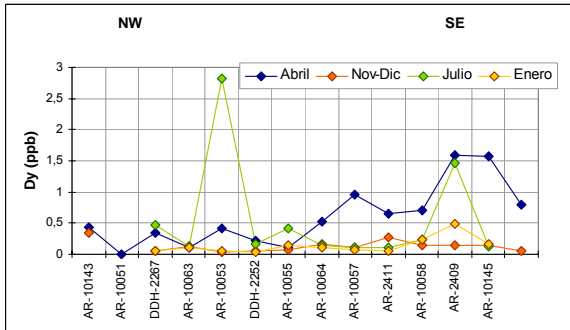
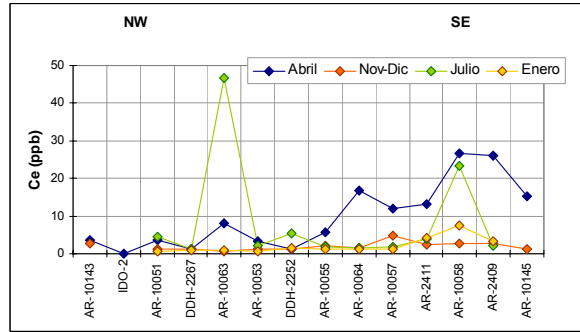
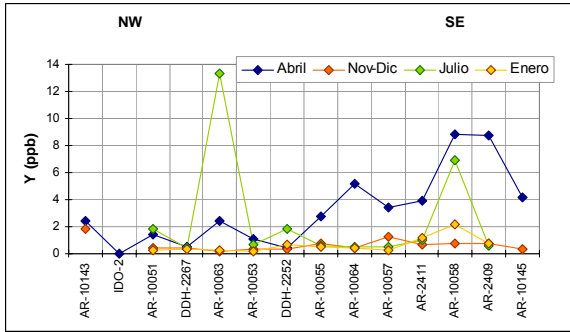
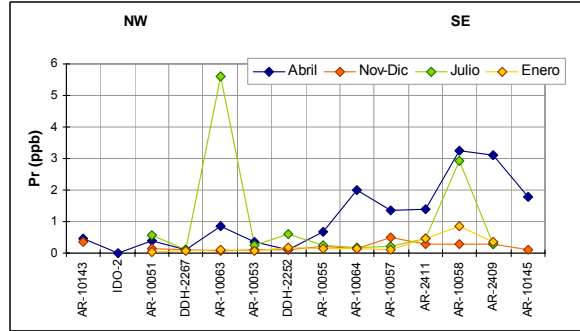
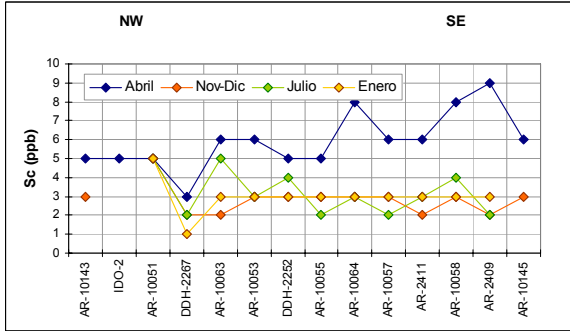
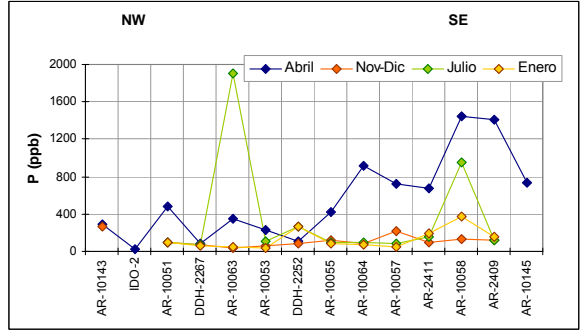
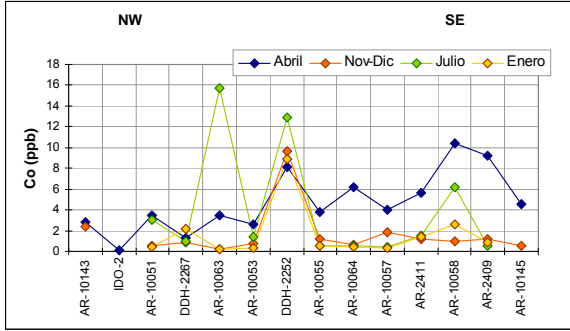
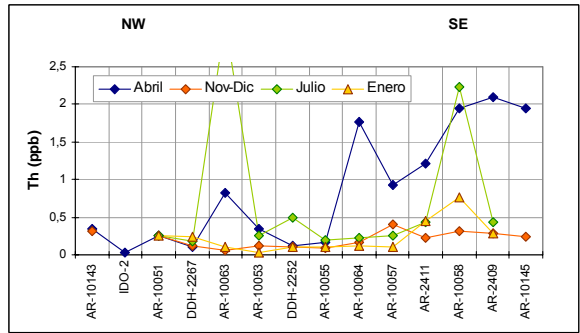
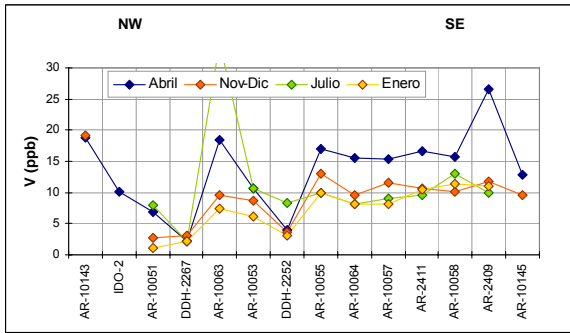
Grupo 3

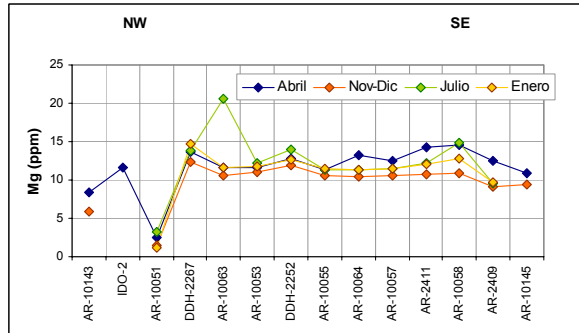
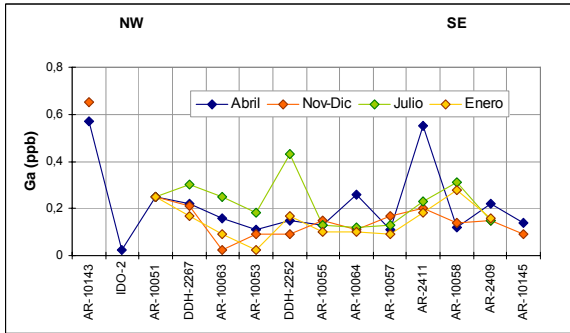
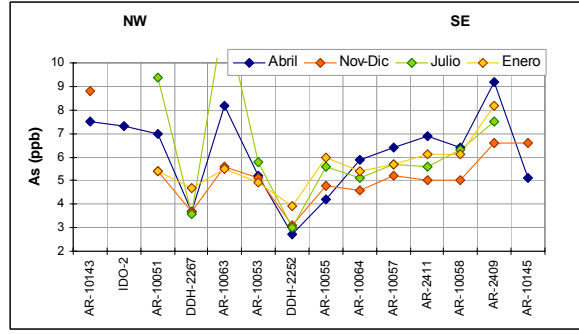
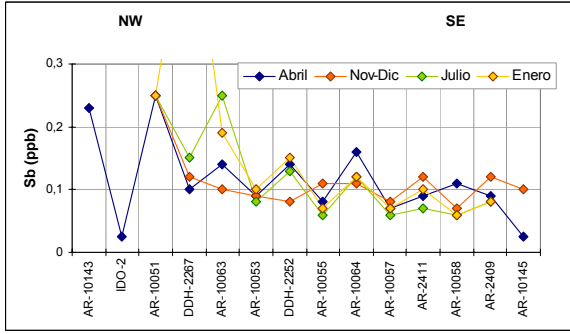
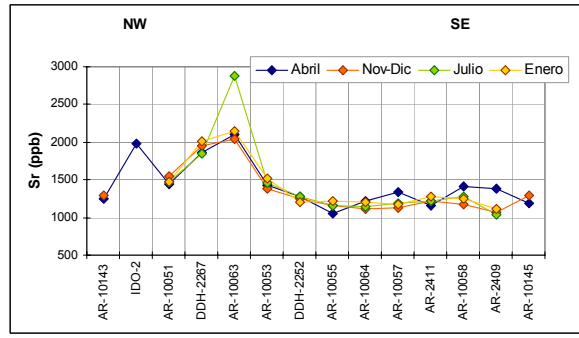
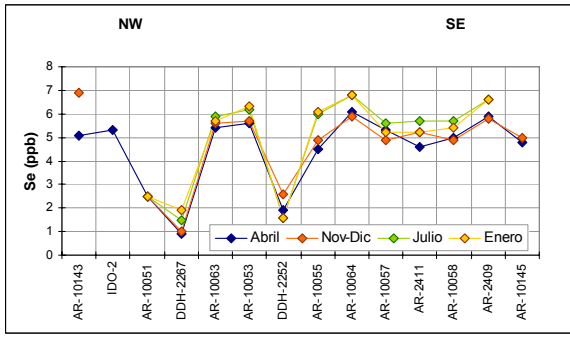




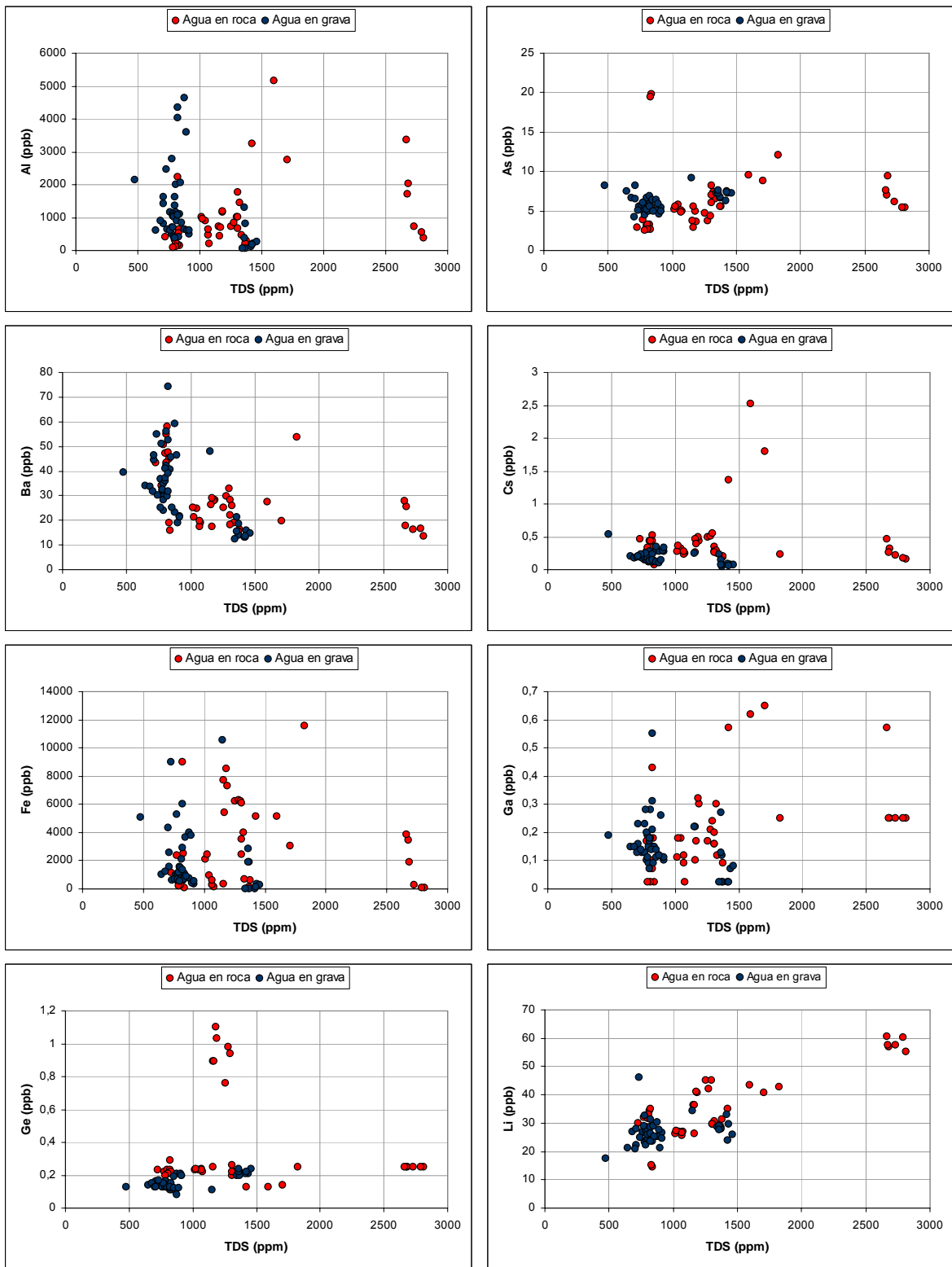
Grupo 4

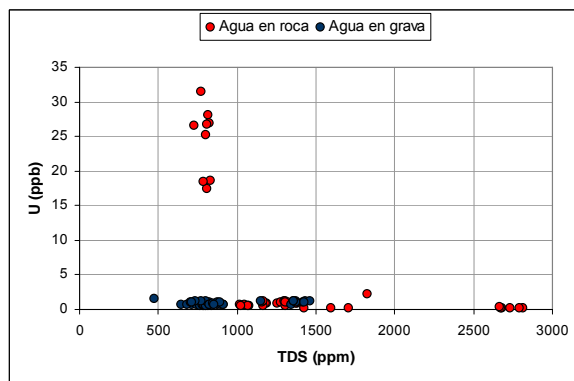
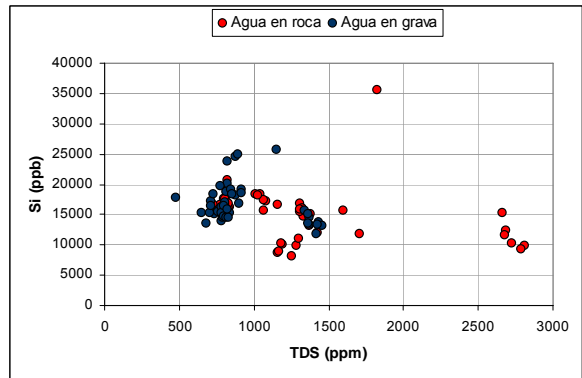
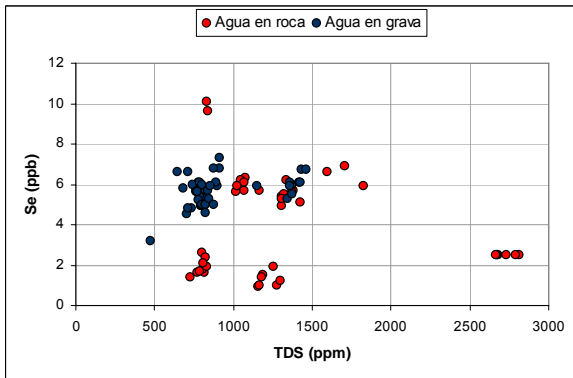
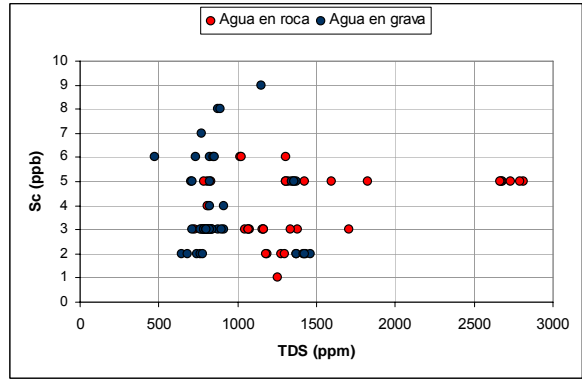
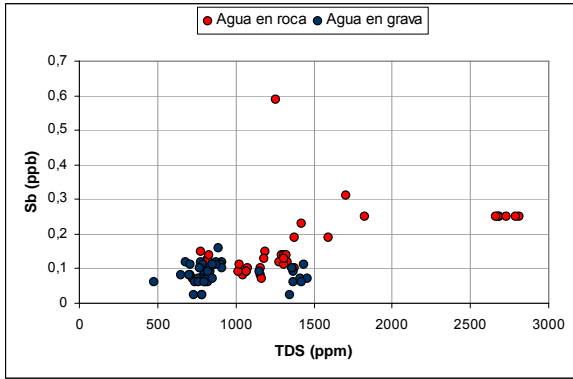
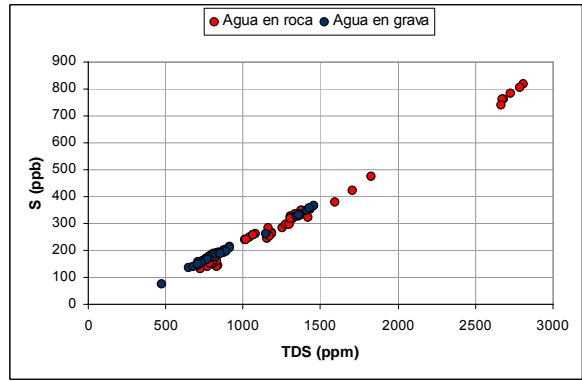
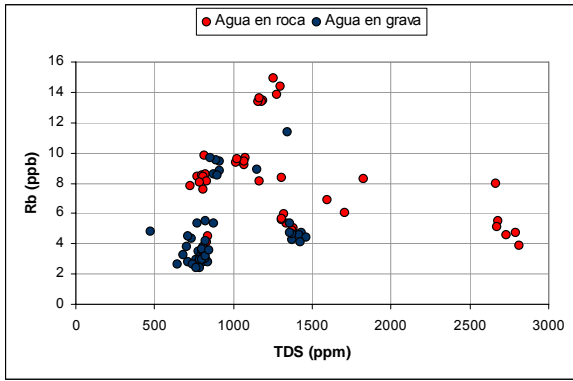




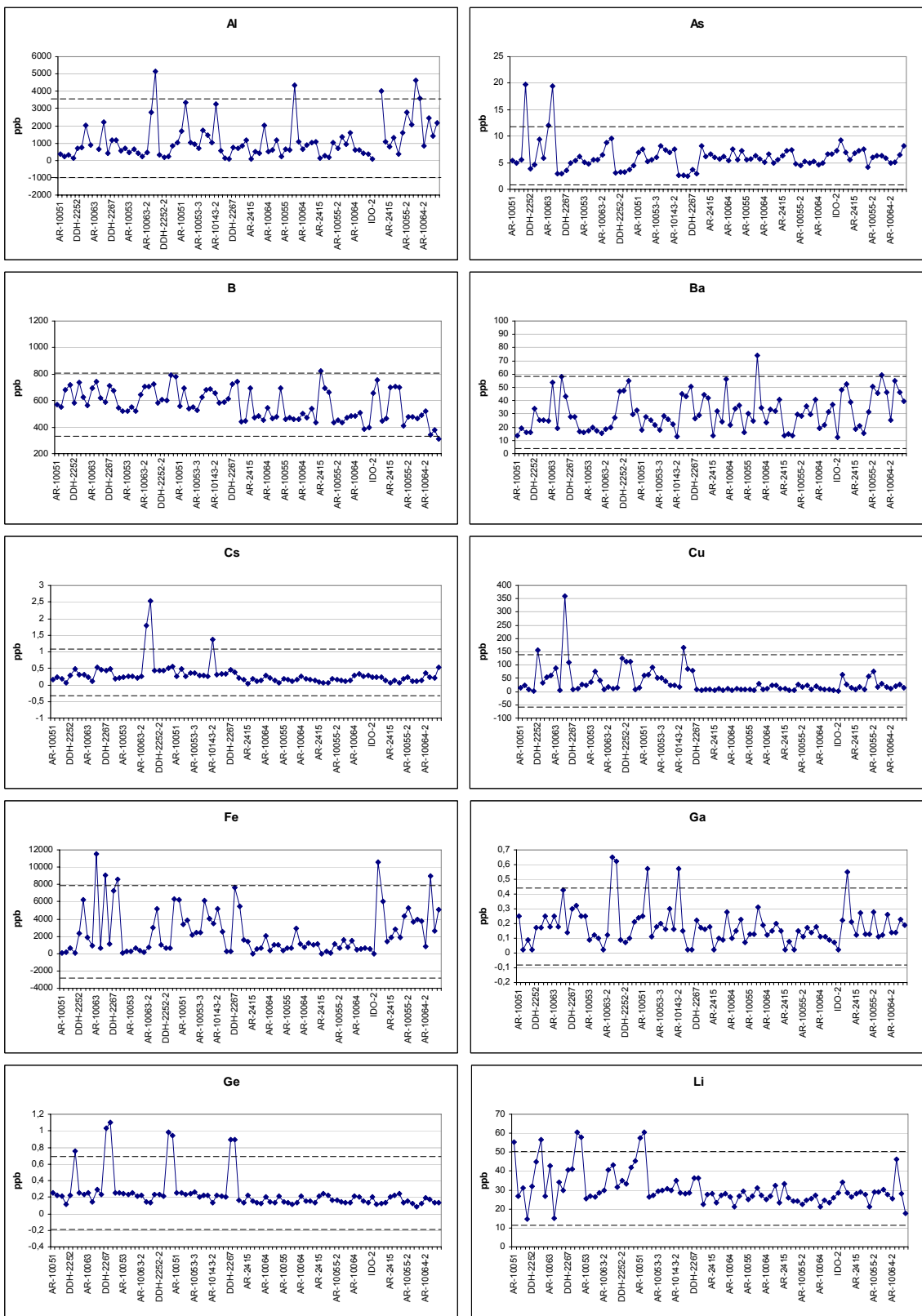


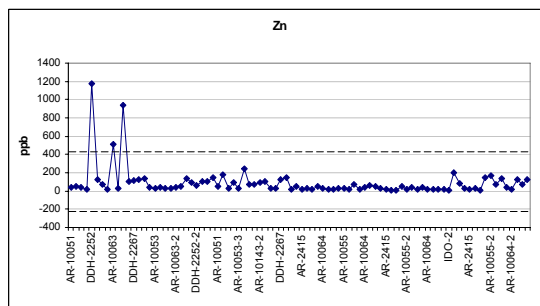
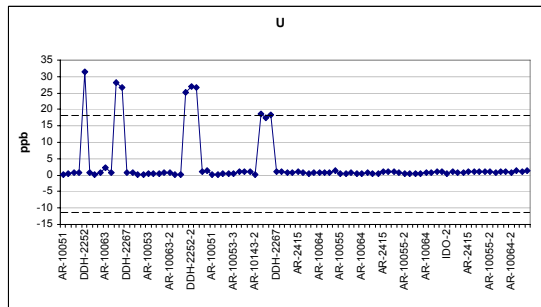
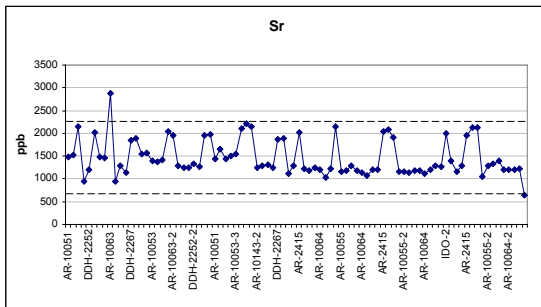
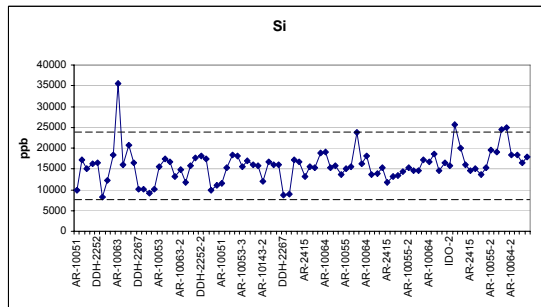
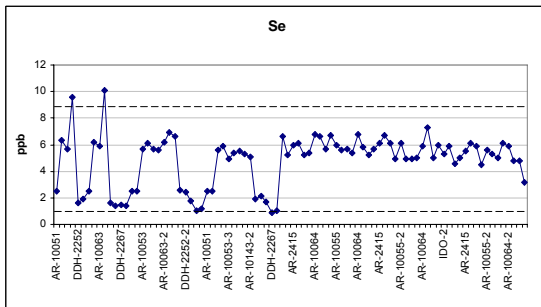
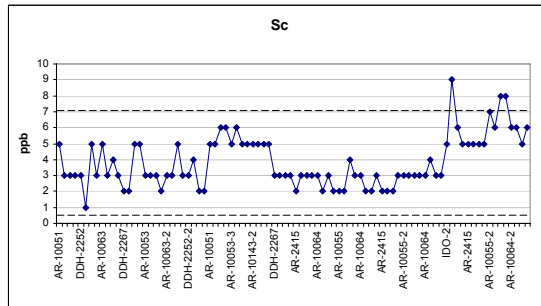
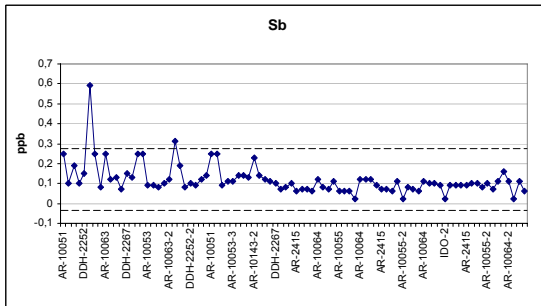
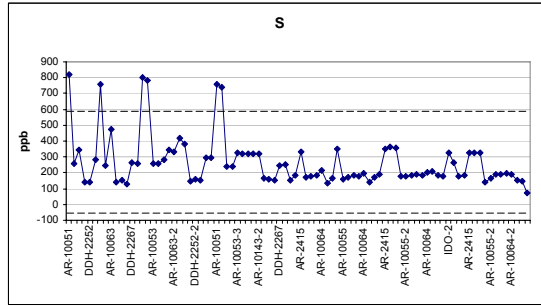
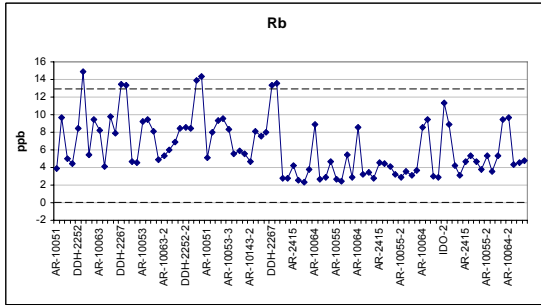
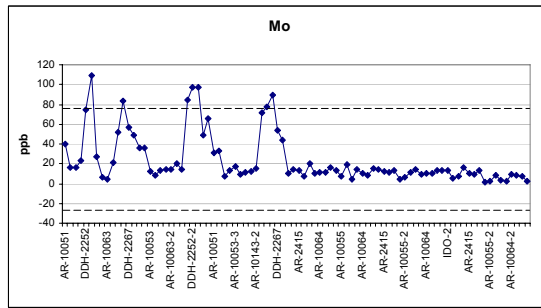
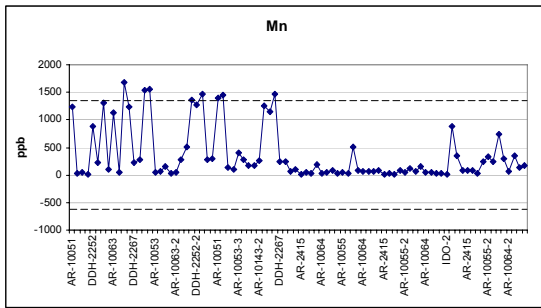
Anexo 6.5 Gráficos de composición relativa para elementos menores y traza.





Anexo 6.6 Concentraciones de elementos que pasan control de calidad. En línea punteada se muestran los umbrales superior e inferior calculado para cada elemento.





Anexo 6.7 Resultados análisis geoquímico de 72 elementos y análisis in-situ de parámetros físico-químicos en muestras de agua subterránea de la campaña de Marzo 2009.

Elementos	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Ca	Cd	Ce
Muestras	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-10143F	<,05	36	6,4	<,05	713	3,47	<,05	<,05	628	256045	<,05	<,01
AR-10051F	<,5	18	<,5	<,5	662	12,97	<,5	<,5	394	693487	<,5	<,1
AR-10053F	<,05	15	4,5	<,05	561	15,19	<,05	<,05	348	199583	<,05	0,02
DDH-2252F	<,05	220	3,4	<,05	472	34,53	<,05	<,05	295	144049	0,09	0,23
AR-10145F	<,05	369	5,5	<,05	407	40,67	0,1	<,05	209	127459	<,05	0,89
AR-10143	0,07	10076	9	0,06	720	24,36	0,06	<,05	696	269147	0,15	8,3
AR-10051	<,5	3160	6,6	<,5	666	21,57	<,5	<,5	431	684730	<,5	4,48
AR-10053	0,11	1521	5,4	<,05	584	27,92	0,21	<,05	342	201236	0,15	2,47
DDH-2252	0,06	19	3,2	<,05	475	32,28	<,05	<,05	297	147151	0,09	0,01
AR-10145	0,13	485	6,2	<,05	368	37,51	<,05	<,05	223	125605	<,05	0,96
STANDARD WASTWATERD8	306,68	1882	301,4	<,05	750	2072,4	29,57	<,05	<5	<50	551,54	<,01
Elementos	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge
Muestras	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-10143F	132	<,02	1	1,12	5,4	0,02	<,01	<,01	<10	0,09	0,02	0,06
AR-10051F	115	0,32	<,5	<,1	13,3	<,1	<,1	<,1	899	<,5	<,1	<,5
AR-10053F	65	<,02	1,5	0,15	6,3	<,01	<,01	<,01	<10	<,05	<,01	0,2
DDH-2252F	55	3,85	1,2	0,27	37,5	0,01	<,01	<,01	239	0,06	0,02	0,16
AR-10145F	48	0,26	2,7	0,21	4,6	0,04	0,01	<,01	479	0,09	0,06	0,13
AR-10143	131	9,31	29,5	2,64	28,4	1,04	0,65	0,38	11889	2,33	1,13	0,21
AR-10051	116	4,05	<,5	0,49	67,2	0,42	0,13	0,18	5461	0,66	0,52	<,5
AR-10053	67	1,58	4,9	0,38	76,3	0,15	0,08	0,06	1255	0,23	0,17	0,23
DDH-2252	56	2,97	<,5	0,29	12,2	<,01	<,01	<,01	<10	<,05	<,01	0,17
AR-10145	43	0,28	3,2	0,26	8,2	0,05	0,02	0,01	482	0,07	0,06	0,13
STANDARD WASTWATERD8	<1	589,28	522,6	<,01	299	<,01	<,01	<,01	850	0,07	<,01	0,67
Elementos	Hf	Hg	Ho	In	Ir	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo
Muestras	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-10143F	<,02	<,1	<,01	<,01	<,05	7192	0,01	26,5	<,01	6428	6,05	25,7
AR-10051F	<,2	<,1	<,1	<,1	<,5	3125	<,1	66,2	<,1	822	1858,3	43,9
AR-10053F	<,02	<,1	<,01	<,01	<,05	4394	0,01	25,3	<,01	11565	1,93	17
DDH-2252F	<,02	<,1	<,01	<,01	<,05	4258	0,09	23,1	<,01	12545	559,13	35,7
AR-10145F	<,02	<,1	<,01	<,01	<,05	2515	0,37	29	<,01	9157	23,34	10,7
AR-10143	<,02	<,1	0,21	0,02	<,05	8383	2,74	39,9	0,08	15698	737,97	13,2
AR-10051	<,2	<,1	<,1	<,1	<,5	3230	1,58	75,7	<,1	3729	1847,3	34,8
AR-10053	<,02	<,1	0,03	<,01	<,05	4567	0,81	30,9	0,01	12274	102,71	5,2
DDH-2252	<,02	<,1	<,01	<,01	<,05	4167	0,01	26,2	<,01	12456	501,61	37,8
AR-10145	<,02	<,1	<,01	<,01	<,05	2348	0,37	27,3	<,01	8967	28,64	10
STANDARD WASTWATERD8	<,02	<,1	<,01	<,01	<,05	<50	<,01	<,1	<,01	<50	1706,7	474,6
Elementos	Na	Nb	Nd	Ni	Os	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re
Muestras	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-10143F	238353	<,01	0,01	<,2	0,07	<20	1	<,2	<,01	<,01	3,66	0,13
AR-10051F	176878	<,1	<,1	<,2	<,5	<200	<,1	<,2	<,1	<,1	4,21	<,1
AR-10053F	121210	<,01	0,02	<,2	0,07	<20	1,1	<,2	<,01	<,01	7,13	0,02
DDH-2252F	117182	<,01	0,12	<,2	<,05	32	132,4	<,2	0,02	<,01	5,85	0,03
AR-10145F	88515	0,02	0,4	0,2	<,05	57	3,8	<,2	0,1	<,01	2,68	0,02
AR-10143	233231	0,01	5,51	8,7	<,05	384	43,3	<,2	1,25	<,01	6,31	0,15
AR-10051	179645	<,1	2,12	<,2	<,5	424	36,9	<,2	0,46	<,1	5,6	<,1
AR-10053	120001	0,01	1,04	2,5	<,05	97	13,2	<,2	0,27	<,01	7,64	0,03
DDH-2252	116355	<,01	<,01	2,6	<,05	26	133,3	<,2	<,01	<,01	6,03	0,03
AR-10145	88307	0,01	0,45	18,2	<,05	59	21,6	<,2	0,12	<,01	2,49	0,01
STANDARD WASTWATERD8	<50	0,01	<,01	640,2	<,05	<20	168,1	7,2	<,01	<,01	0,01	<,01

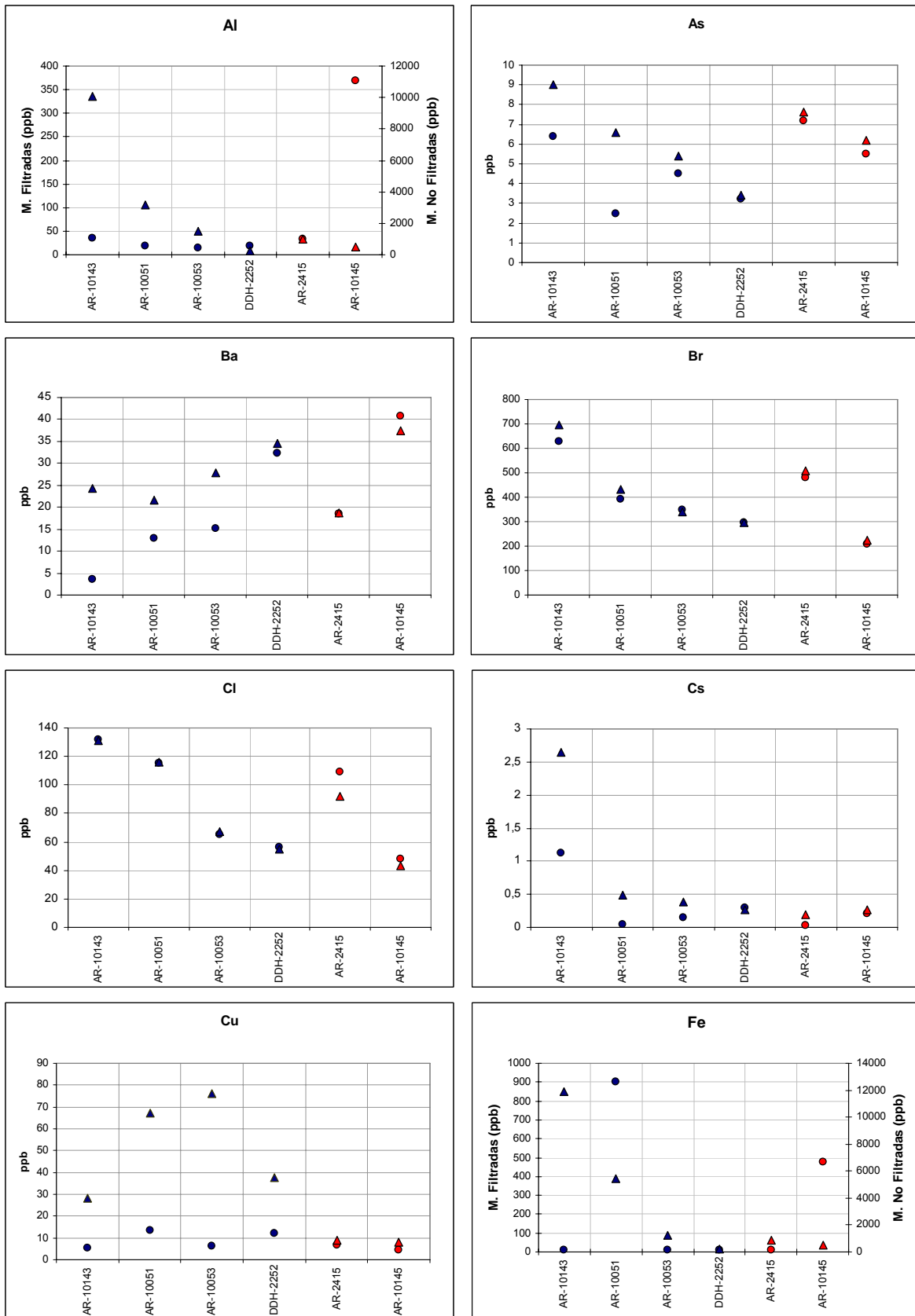
Elementos	Rh	Ru	S	Sb	Sc	Se	Si	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb
Muestras	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-10143F	<,01	<,05	321	0,32	3	5,4	8392	<,02	<,05	1510,55	<,02	<,01
AR-10051F	<,1	<,5	831	<,5	<10	<5	11475	<,2	<,5	1779,42	<,2	<,1
AR-10053F	<,01	<,05	184	<,05	4	4	13869	<,02	<,05	1349,36	<,02	<,01
DDH-2252F	<,01	<,05	150	0,28	5	2,4	14171	<,02	<,05	1196,07	<,02	<,01
AR-10145F	<,01	<,05	143	0,06	4	3,6	12691	0,06	<,05	1227,06	<,02	<,01
AR-10143	<,01	<,05	302	0,16	13	4,8	22821	1,35	<,05	1450,43	<,02	0,17
AR-10051	<,1	<,5	829	<,5	<10	<5	16154	0,59	<,5	1795,77	<,2	<,1
AR-10053	<,01	<,05	197	0,08	5	4,2	16103	0,21	<,05	1400,47	<,02	0,03
DDH-2252	<,01	<,05	161	0,27	5	2,7	14780	<,02	<,05	1284,09	<,02	<,01
AR-10145	<,01	<,05	128	0,1	3	3,3	12002	0,07	<,05	1067,65	<,02	<,01
STANDARD WASTWATERD8	<,01	<,05	<1	552,49	<1	635,4	173	<,02	<,05	108,81	<,02	<,01
Elementos	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
Muestras	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-10143F	<,05	<,05	<10	<,01	<,01	0,13	13,9	2,3	0,05	<,01	5	0,02
AR-10051F	<,5	<,5	<100	<,1	<,1	<,2	<2	10,99	<,1	<,1	5,7	<,2
AR-10053F	0,06	<,05	<10	<,01	<,01	0,42	6,1	0,25	<,01	<,01	7,4	<,02
DDH-2252F	<,05	<,05	<10	<,01	<,01	6,58	6,2	9,43	0,08	<,01	23,8	0,03
AR-10145F	<,05	0,12	24	<,01	<,01	0,88	7,8	0,25	0,25	<,01	20,4	0,05
AR-10143	<,05	0,97	189	0,01	0,1	0,3	49,5	0,35	5,42	0,55	225,7	0,05
AR-10051	<,5	<,5	<100	<,1	<,1	<,2	8,2	4,08	1,59	<,1	41,8	<,2
AR-10053	<,05	0,27	22	0,01	0,01	0,6	11,8	0,04	0,8	0,05	27,6	0,05
DDH-2252	<,05	<,05	<10	<,01	<,01	7,3	5,5	9,92	0,01	<,01	32,5	0,02
AR-10145	<,05	0,12	16	<,01	<,01	0,85	7,8	0,33	0,23	0,01	37,2	0,04
STANDARD WASTWATERD8	<,05	<,05	<10	151,29	<,01	<,02	470,9	0,09	<,01	<,01	1679,3	0,07

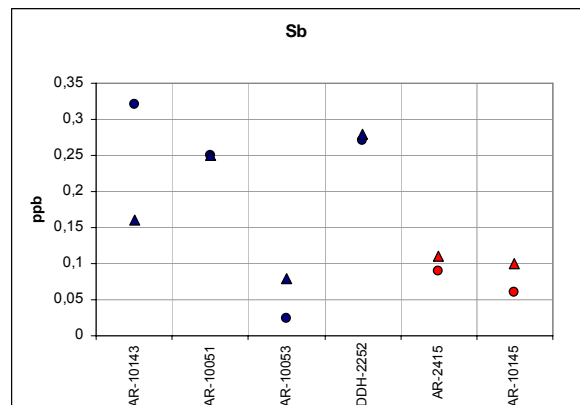
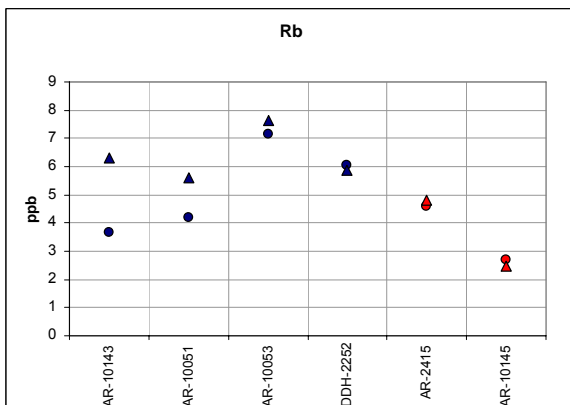
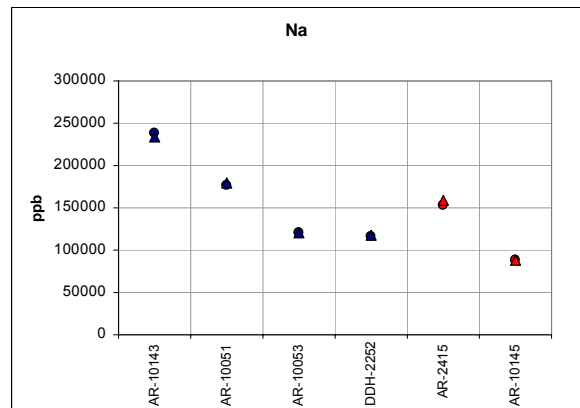
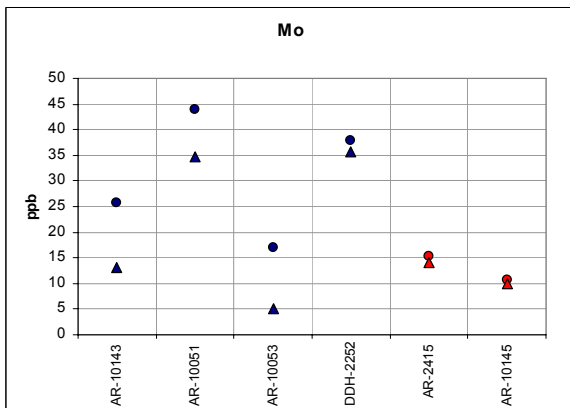
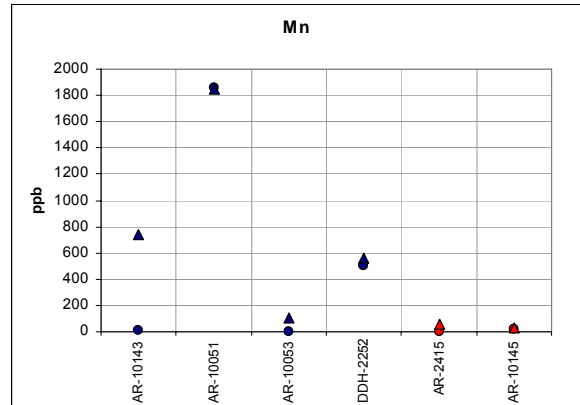
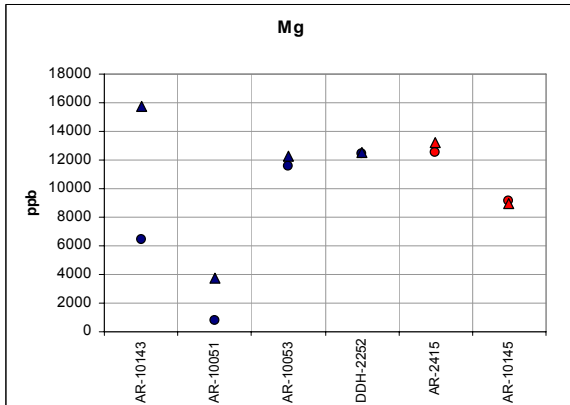
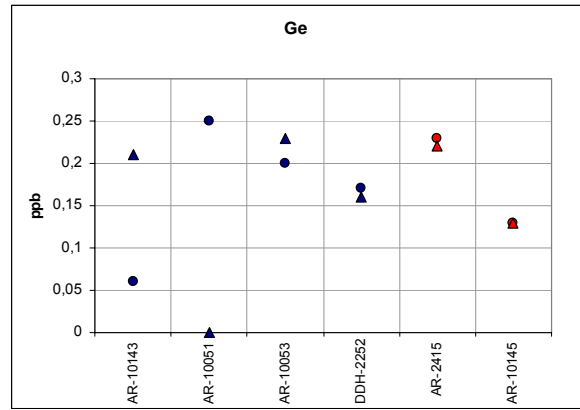
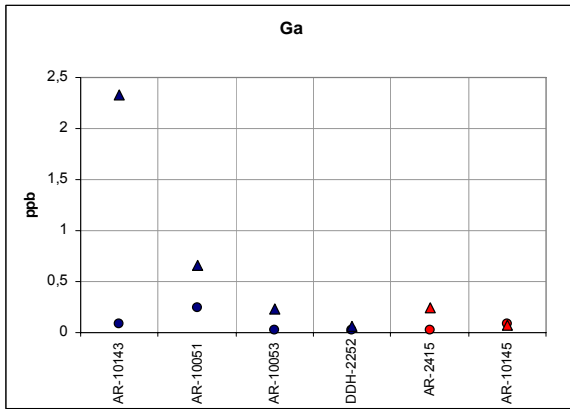
* F = muestras filtradas.

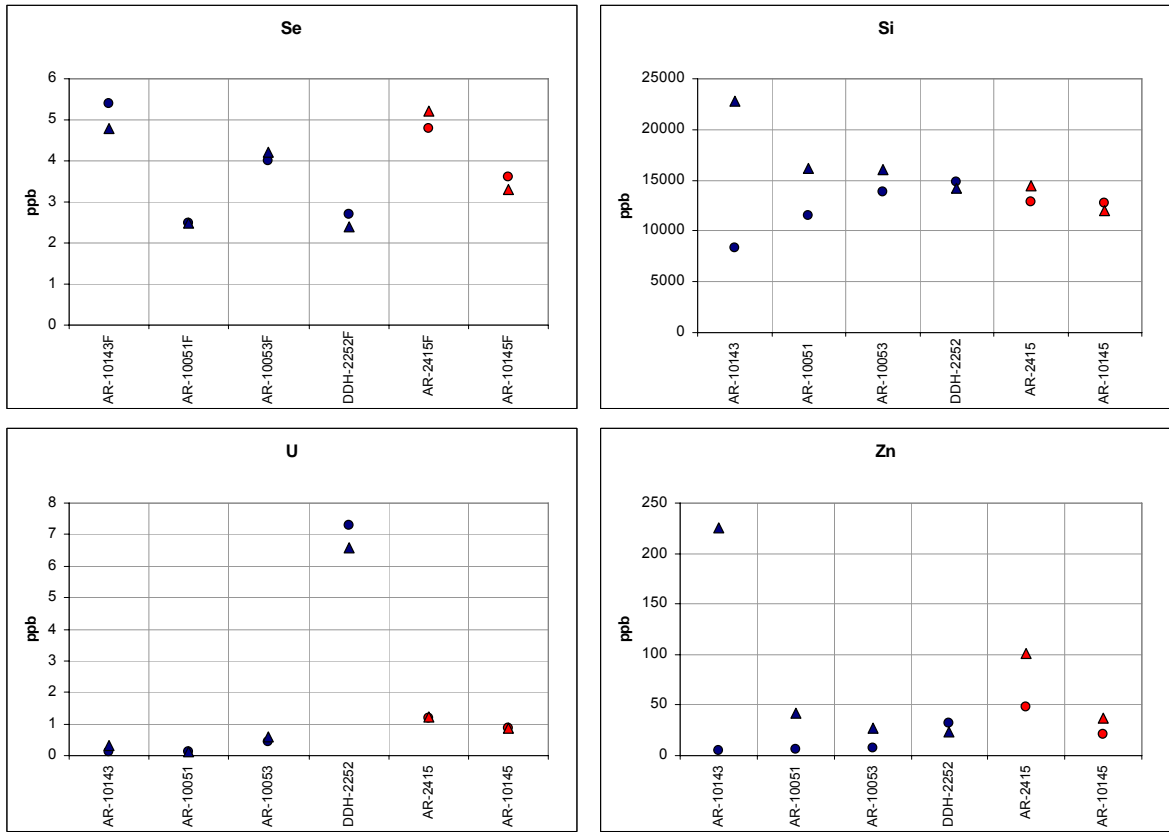
Parámetros físico-químicos:

Muestra	pH	pH corregido	EC uS/cm	TDS medido ppm	Temperatura °C
DDH2252	7,15	7,13	1087	544	24,3
AR10145	7,22	7,24	909	454	25,6
AR10051	7,27	7,23	2551	1277	23,8
AR10143	7,22	7,25	1871	935	25,9
AR2415	6,93	6,89	1685	843	23,6
AR2415	7,15	7,06	1675	838	22
AR10053	6,83	6,85	1284	642	25,7

Anexo 6.8 Concentración de elementos en muestras filtradas (círculos) y no filtradas (triángulos). En azul se grafican las muestras de agua hospedada en roca y en rojo las muestras de agua hospedada en grava.







Anexo 6.9 Resultados cálculo de razones entre muestras de agua subterránea filtradas y no filtradas.

Se incluyen sólo los elementos que pasaron el control de calidad.

Muestras	Al	As	B	Ba	Br	Ca	Cl	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	K	Li
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AR-2415 Filt/No Filt	0,03	0,95	1,14	0,99	0,95	1,00	1,18	0,16	0,74	0,01	0,10	1,05	1,10	1,07
AR-10051 Filt/No Filt	0,01	0,38	0,99	0,60	0,91	1,01	0,99	0,10	0,20	0,16	0,38	1,00	0,97	0,87
AR-10053 Filt/No Filt	0,01	0,83	0,96	0,54	1,02	0,99	0,97	0,39	0,08	0,01	0,11	0,87	0,96	0,82
AR-10143 Filt/No Filt	0,00	0,71	0,99	0,14	0,90	0,95	1,01	0,42	0,19	0,00	0,04	0,29	0,86	0,66
AR-10145 Filt/No Filt	0,76	0,89	1,11	1,08	0,94	1,01	1,12	0,81	0,56	0,99	1,29	1,00	1,07	1,06
DDH-2252 Filt/No Filt	0,09	0,94	1,01	0,93	1,01	1,02	1,02	1,07	0,33	0,04	0,42	1,06	0,98	1,13
Muestras	Mg	Mn	Mo	Na	Rb	S	Sb	Sc	Se	Si	Sr	U	Zn	
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	
AR-2415 Filt/No Filt	0,94	0,06	1,09	0,97	0,95	1,22	0,82	0,80	0,92	0,89	1,18	0,96	0,48	
AR-10051 Filt/No Filt	0,22	1,01	1,26	0,98	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,71	0,99	1,00	0,14	
AR-10053 Filt/No Filt	0,94	0,02	3,27	1,01	0,93	0,93	0,31	0,80	0,95	0,86	0,96	0,70	0,27	
AR-10143 Filt/No Filt	0,41	0,01	1,95	1,02	0,58	1,06	2,00	0,23	1,13	0,37	1,04	0,43	0,02	
AR-10145 Filt/No Filt	1,02	0,81	1,07	1,00	1,08	1,12	0,60	1,33	1,09	1,06	1,15	1,04	0,55	
DDH-2252 Filt/No Filt	0,99	0,90	1,06	0,99	1,03	1,07	0,96	1,00	1,13	1,04	1,07	1,11	1,37	