



TECK – MDO

**ESTUDIO HIDROLOGICO
DEL SALAR DE MARICUNGA**

MARZO 1998



TECK – MDO

**ESTUDIO HIDROLOGICO
DEL SALAR DE MARICUNGA**

MARZO 1998



TECK - MDO

**ESTUDIO HIDROLOGICO
DEL SALAR DE MARICUNGA**

MARZO 1998

HIDROLOGIA DEL SALAR DE MARICUNGA

RESUMEN

Minera Santa Rosa, creada a través de un "joint venture" entre la Empresa Minera Mantos Blancos y Teck Corporation de Canadá, proyecta desarrollar una producción de oro de 250.000 a 350.000 onzas al año en las minas Lobo y Marte.

El presente informe corresponde al estudio hidrológico del Salar de Maricunga realizado por Minera Santa Rosa SMC (MSR) y Minera Mantos de Oro (MDO), como parte de la caracterización hidrológica del área de influencia del proyecto Lobo-Marte y para obtener los antecedentes necesarios que permitan evaluar, por un lado, los efectos de uso de agua directo por la empresa MDO y, por otro lado, el posible impacto ambiental originados por una explotación continua del orden de 150 l/s de agua subterránea, en la Quebrada Ciénaga Redonda, necesarios para satisfacer la demanda hídrica de Minera Santa Rosa.

El presente informe realizó estudios en diferentes etapas que consistieron en una primera instancia en la generación de un catastro de derechos y exploraciones de agua, con el fin de abarcar un mayor conocimiento sobre las demandas potenciales existentes. Con dicha información se podrá planear la forma en que los derechos de agua de las compañías MSR y MDO deben ser protegidos, sobre todo, durante la vida útil del proyecto, y así asegurar que este recurso no se agote antes del período estipulado.

Luego de la recopilación de los antecedentes necesarios sobre geología, hidrogeología, geofísica, calidad de aguas, entre otras, se realizaron campañas geofísicas de sondeos TEM en la porción sur del Salar de Maricunga y en la Quebrada de Ciénaga Redonda, como también la perforación de cuatro pozos de monitoreo entre Villalobos y Pantanillo; actividades que sirvieron para abarcar un mayor conocimiento del área.

Una vez obtenidos los antecedentes se determinó el balance hídrico del salr, en el cual se consideraron las principales quebradas afluentes, las que se estudiaron con un detalle que fue función de la cantidad de información disponible.

Una vez definida la hidrogeología, el patron de flujo subterráneo y el balance hidrológico, se incorporaron los datos en un modelo hidrogeológico de flujos de agua subterránea, para predecir la influencia que tendría el bombeo de pozos de producción de MSR y MDO, sobre el acuífero del Salar de Maricunga.

Los principales conocimientos adquiridos en el presente estudio se resumen a continuación.

La cuenca del Salar de Maricunga, corresponde a una cuenca endorreica, cuya zona de equilibrio está constituida por el salar mismo. La cuenca total presenta una superficie total de 1965,5 km² y se extiende entre los 3.760 m.s.n.m. y los 6.052 m.s.n.m., siendo ésta última elevación el punto más alto de la cuenca, correspondiendo a la cumbre del cerro Azufre o Copiapó. El salar mismo presenta una superficie de 152,5 km², con una elevación media de

3.770 m.s.n.m. aproximadamente. Su principal afluente es la quebrada Ciénaga Redonda que presenta una superficie de aproximadamente 726 km², siendo sus quebradas afluentes más importantes, las de Barros Negros, Villalobos, Pantanillo, Valle Ancho, Lajitas, Los Patos o Cuesta Colorada y de los Carcanales. La quebrada de Ciénaga Redonda presenta una longitud total de cauce de 47 km, presentando las quebradas Villalobos y el río Barros Negros una longitud total de 90 y 85 km², respectivamente. La pendiente media de la quebrada Ciénaga Redonda, se han estimado en 0.7 %. Presenta un curso de sur a norte en gran parte de su recorrido, y en el sector de Vega Ciénaga Redonda toma un curso norponiente, para llegar finalmente al plano del Salar de Maricunga.

El agua del acuífero que existe en el sector norte del Salar, se caracteriza por presentar mala calidad de aguas, debido a la alta concentración de sales disueltas, lo que impide su uso para consumo humano y limita el uso industrial. Por otro lado, el acuífero que se encuentra en el sector sur del Salar, es de mayor extensión y sus aguas son de mejor calidad, debido a que la concentración de sales disueltas es relativamente baja, esto permite su uso, principalmente, para la industria de la minería, pero restringe su uso como agua potable.

En el acuífero recién mencionado, se detectó la presencia de una cuña salina con los sondeos geofísicos realizados. El espesor de la cuña salina aumenta hacia el Salar, mientras que hacia la Quebrada Ciénaga Redonda, ésta no fue detectada. Por otro lado, este acuífero presenta un volumen de agua almacenado de aproximadamente $4,8 \times 10^9$ m³.

Según los rendimientos presentados por los pozos de MDO, del orden de los 100 l/s, se puede establecer que las características hidrogeológicas del acuífero son muy buenas, tanto en la zona sur del Salar de Maricunga, como en la zona que se extiende hacia Ciénaga Redonda, donde se encuentran los pozos N°1 y 2 de Marte, que tienen un rendimiento similar de 100 l/s. La explotación promedio de MDO en los últimos 4 años, alcanza la cifra promedio de 46 l/s, que representa apenas un 3% de las pérdidas totales por evaporación.

Las fluctuaciones estacionales de los niveles estáticos de los pozos del Salar de Maricunga, medidos a lo largo de siete años, varían en promedio, aproximadamente entre 1 y 4 metros, siendo mayores en magnitud que las variaciones producidas por la extracción artificial.

Las superficies evaporantes en el área de estudio, corresponde a: aguas libres de distintos grados de salinidad, suelos con agua subterránea poco profundas, zonas de vegas y zonas con vegetación y niveles de agua subterránea cercana a la superficie. La descarga total por evaporación y evapotranspiración se calculó que sería de 1.518 l/s.

Hay personas que han planteado la posible interconexión entre la Laguna del Negro Francisco y el Salar de Maricunga sin embargo, los antecedentes geológicos señalan que existe un alzamiento de la roca basal antes de que el Río Astaburuaga llegue al llano de la Laguna del Negro Francisco, por lo cual se puede concluir que no existe conexión entre el Negro Francisco y el Salar de Maricunga, ya que esta roca basal impide la conexión de ambos sectores. Pero por otra parte, existen evidencias de que el Río Astaburuaga aporta

subterráneamente del orden de 124 l/s, al caudal subterráneo del valle Ciénaga Redonda, que es el principal afluente al Salar de Maricunga.

Con relación al balance hídrico establecido, toda el agua proveniente de las quebradas afluentes se infiltra al entrar al llano del Salar. La recarga total al agua subterránea es de 1.448 l/s, que equivale a una precipitación efectiva de 18.7 mm, representando el 14% de la precipitación media de la cuenca.

La implementación del modelo hidrológico de escurrimiento, se basó en los antecedentes hidrogeológicos y los antecedentes entregados por el balance hidrológico. Fue conectado al modelo que se realizó para el sector de Ciénaga Redonda y posteriormente calibrado. Finalizada la calibración y realizado el análisis de sensibilidad, se simuló los diferentes escenarios de bombeo planteados para la operación de Marte-Lobo y un bombeo constante en los pozos de MDO.

Los resultados señalan que tanto el bombeo actual de MDO, como el futuro planeado para MSR, tienen una influencia despreciable sobre la superficie equipotencial del acuífero del salar. El modelo señala que los descensos de niveles, en la zona donde se ubican los pozos de producción de MDO, serán menores que las fluctuaciones naturales anuales o interanuales. Esto permite indicar que el actual bombeo de MDO no afecta las condiciones de flujo del acuífero del Salar de Maricunga.

Calculada la posible disminución del flujo subterráneo hacia la Laguna Santa Rosa se determinó que ella es menor que 0,82 %, lo cual en términos reales es despreciable.

Junto con la calibración del modelo se realizó un análisis de sensibilidad, para visualizar la importancia de la indeterminación de algunos parámetros. Este análisis entregó como resultado, que la variación de los parámetros más importante no causaban cambios en el comportamiento del acuífero, por lo cual se puede señalar que los resultados que entrega el modelo, sobre el comportamiento del acuífero, son confiables.

CONCLUSIONES

- A partir del estudio hidrológico del Salar de Maricunga elaborado, y de los objetivos propuestos se pueden establecer las siguientes conclusiones:
- Con relación al balance de aguas, se obtuvo para las subcuencas del sector del Salar un caudal afluente de 138 l/s, mientras que para las subcuencas del sector sur, el caudal que ingresa al Salar es de 937 l/s.
- Considerando que toda el agua proveniente de las quebradas afluentes se infiltra al encontrar al llano del Salar, la recarga total al agua subterránea es de 1.448 l/s, que equivale a una precipitación efectiva de 18.7 mm, representando el 14 % de la precipitación media de la cuenca.
- La principal salida que tiene el sistema Salar de Maricunga, es el proceso de evaporación, que genera una descarga total de 1.518 l/s.
- Según los resultados que establece el modelo, las actividades de bombeo en conjunto, de MDO en la cuenca del Salar de Maricunga y aquellos propuestas para MSR en Quebrada Ciénaga Redonda, no generan impactos negativos en el área modelada, ya que los descensos de la superficie equipotencial son menores que las fluctuaciones naturales.
- De acuerdo a los cinco escenarios de bombeo establecidos para el proyecto Lobo-Marte, considerando que MDO bombea agua en forma continua, el modelo indica que las variaciones del nivel frático en la zona donde se ubican los pozos de producción de MDO, no son perceptibles, ya que son menores que las fluctuaciones naturales medidas.
- La disminución del flujo de agua subterránea que fluye hacia la Laguna Santa Rosa, es de 1.4 % y hacia el Salar de Maricunga de 1.6 %, al cabo de sesenta años. Ello implica que el flujo subterráneo no presentará cambios detectables debido a la explotación de MDO y MRS.

HIDROLOGIA DEL SALAR DE MARICUNGA

INDICE

	Nº pag.
- INDICE.....	I
- INDICE DE ANEXOS.....	IV
- INDICE DE FIGURAS.....	V
1. - INTRODUCCION.....	1
1.1. - Objetivos.....	2
1.2. - Metodología de Trabajo.....	2
2. - ANTECEDENTES GENERALES.....	4
2.1. - Marco Geológico.....	4
2.1.1.- Generalidades.....	4
2.1.2.- Introducción.....	4
2.1.3.- Marco Tectónico Regional.....	4
2.1.4.- Geología Regional.....	5
2.1.4.1. - Paleozoico.....	5
2.1.4.2. - Mesozoico.....	6
2.1.4.3. - Cenozoico.....	7
2.1.4.4. - Cuaternario.....	7
2.1.4.5. - Geología Estructural del Area.....	8
2.2. - Hidrología.....	9
2.2.1.- Red de Drenaje.....	9
2.2.2.- Datos Existentes.....	9
2.2.3.- Calidad del Agua.....	10
2.3. - Hidrogeología.....	12
2.3.1. -Unidades Hidrogeológicas.....	12
2.3.2. -Geofísica del Area de Estudio.....	14
2.3.2.1. - Sondajes Estratigráficos.....	16
2.3.3. - Caracterización Hidrogeológica.....	17
2.3.3.1. - Geometría Acuífera y Tipo de Acuífero.....	17
2.3.3.2. - Profundidad del Agua Subterránea.....	18
2.3.3.3. - Movimiento.....	19
2.3.3.4. - Volumen Embalsado.....	19
2.3.4. -Conexión Laguna Negro Francisco – Ciénaga Redonda.....	20

3. - BALANCE.....	22
3.1 - Metodología.....	22
3.1.1.- Balance Hídrico.....	22
3.1.2.- Evapotranspiración.....	23
3.1.3.- Evaporación.....	23
3.1.4.- Experiencia de Evaporación en el Salar de Atacama.....	23
3.1.5.- Aplicaciones en Cuencas Altiplánicas.....	24
3.2.- Antecedentes.....	24
3.2.1.- Subdivisión del Area.....	24
3.2.2.- Perfil de Precipitación.....	25
3.2.3.- Perfil de Temperaturas.....	26
3.3.- Subcuencas Controladas.....	27
3.4.- Subcuencas No Controladas.....	29
3.5.- Evaporación desde el Salar.....	30
3.6.- Balance de Agua del Salar.....	34
3.6.1. -Entradas o Recargas.....	34
3.6.2. -Salidas o Descargas.....	36
4. - MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO DEL SALAR DE MARICUNGA.....	38
4.1. - Modelo Conceptual Hidrogeológico.....	38
4.1.1. - Area de Estudio.....	39
4.1.2. - Entradas de Flujos de Agua Subterránea.....	39
4.1.3. - Descarga de Flujos de Agua Subterránea.....	42
4.2. - Metodología de Modelación.....	42
4.2.1. - Hipótesis del Modelo.....	43
4.2.2. - Procedimiento de la Modelación.....	44
4.3. - Implementación del Modelo de Agua Subterránea.....	45
4.3.1. - Area del Modelo.....	45
4.3.2. - Condiciones de Borde (Características/Procesos).....	46
4.3.3. - Distribución de la Conductividad Hidráulica y del Almacenamiento del Acuífero.....	48
4.3.4. - Balance de Masas.....	49
4.4. - Calibración del Modelo de Flujo de Agua Subterránea.....	49
4.4.1. - Calibración de Parámetros y Puntos de Control.....	49
4.4.2. - Resultados de la Calibración.....	50
4.4.3. - Análisis del Modelo de Sensibilidad.....	51

4.5. – Evaluación de la Extracción de Agua Subterránea.....	53
4.5.1. - Pozos de Producción Existentes de Mantos de Oro.....	54
4.5.2. - Río Lamas.....	54
4.5.3. - Laguna Santa Rosa.....	55
4.5.4. - Salar de Maricunga.....	55
4.6. - Discusión de los Resultados de Modelación.....	55
5. - BIBLIOGRAFIA.....	58

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESTRATIGRAFIA

ANEXO B: TABLAS DE NIVELES DE AGUA

- Tabla N° 1-B: Niveles de Aguas Pozos - Quebrada Ciénaga Redonda
- Tabla N° 2-B: Nivel de Aguas Pozos de Exploración Sector Astaburuaga - Pantanillo
- Tabla N° 3-B: Niveles Estáticos
- Tabla N° 4-B: Estadísticas Pluviométricas Ampliadas
- Tablas N° 5-B a 9-B: Caudales Medios Mensuales
- Tabla N° 10-B: Ubicación de Sondajes (TEM)
- Tabla N° 11-B: Consumo de Agua

ANEXO C: TABLAS DE ANALISIS QUIMICOS Y DIAGRAMAS DE STIFF - PIPER

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1:	Ubicación Zona de Estudio
Figura N° 1.2:	Derechos de Agua Existentes.
Figura N° 1.3:	Catastro de Derechos de Agua Salar de Maricunga, Ciénaga Redonda y Laguna del Negro Francisco.
Figura N° 2.1:	Geología Regional.
Figura N° 2.2:	Marco Tectónico Regional.
Figura N° 2.3:	Marco Geológico Salar de Maricunga – Ciénaga Redonda.
Figura N° 2.4:	Ubicación de Estaciones Meteorológicas – Fluviométricas.
Figura N° 2.5:	Ubicación de Puntos de Muestreo de Calidad de Aguas.
Figura N° 2.6:	Hidrogeología- Sector Salar de Maricunga.
Figura N° 2.7:	Hidrogeología- Sector Ciénaga Redonda.
Figura N° 2.8:	Ubicación de Sondeos Geofísicos.
Figura N° 2.9:	Perfiles Geofísicos Interpretados.
Figura N° 2.10:	Localización de Pozos.
Figura N° 2.11:	Perfil Estratigráfico Sectores Río Astaburuaga – Pantanillo.
Figura N° 2.12:	Perfil Estratigráfico- Sector Pantanillo.
Figura N° 2.13:	Curvas Equipotenciales- Salar de Maricunga.
Figura N° 2.14:	Desconexión Hidrogeológica.
Figura N° 3.1:	Cuencas Hidrológicas Sector Salar de Maricunga – Ciénaga Redonda.
Figura N° 3.2:	Perfil de Precipitación.

- Figura N° 3.3: Perfil de Temperaturas.
- Figura N° 3.4: Esquema de Balance de Aguas del Salar de Maricunga.
- Figura N° 4.1: Ubicación del Area de Estudio del Salar de Maricunga.
- Figura N° 4.2: Modelo Conceptual: Flujos de Entrada desde Quebradas Adyacentes.
- Figura N° 4.3: Cuencas Principales.
- Figura N° 4.4: Area, Orientación, Extensión y Discretización del Modelo.
- Figura N° 4.5: Superficie Topográfica Interpretada.
- Figura N° 4.6: Espesor Interpretado del Acuífero Principal.
- Figura N° 4.7: Interpretación de Elevaciones del Techo de la Unidad de Arcilla.
- Figura N° 4.8: Corte Longitudinal Sur-Norte.
- Figura N° 4.9: Corte Transversal Oeste-Este.
- Figura N° 4.10: Balance de Agua en el Salar de Maricunga.
- Figura N° 4.11: Condiciones de Borde del Modelo.
- Figura N° 4.12: Puntos de Calibración.
- Figura N° 4.13: Superficie Freática Calibrada y Distribución de Conductividades Hidráulicas.
- Figura N° 4.14: Niveles Simulados v/s Observados.
- Figura N° 4.15: Diagrama Radial: Escenario Base Calibrado v/s Condiciones Observadas.
- Figura N° 4.16: Diagrama Radial: Escenarios de Sensibilidad 1 y 2.
- Figura N° 4.17: Diagrama Radial: Escenarios de Sensibilidad 3 y 4.
- Figura N° 4.18: Diagrama Radial: Escenarios de Sensibilidad 5 y 6.
- Figura N° 4.19a: Mapa Potenciométrico del Nivel Freático: Análisis de Sensibilidad (Casos 1 y 2).

- Figura N° 4.19b: Mapa Potenciométrico del Nivel Freático: Análisis de Sensibilidad (Casos 3 y 4).
- Figura N° 4.19c: Mapa Potenciométrico del Nivel Freático: Análisis de Sensibilidad (Casos 5 y 6).
- Figura N° 4.20: Superficie de la Napa Freática: – Resultados del Modelo después de 12 Años.
- Figura N° 4.21: Superficie de la Napa Freática – Resultado del Modelo después de 50 Años.
- Figura N° 4.22: Respuesta Hidráulica en los Pozos MDO-9 y MDO-23.
- Figura N° 4.23: Respuesta Hidráulica en los Pozos MDO-24 y Río Lamas.
- Figura N° 4.24: Respuesta del Flujo de Descarga hacia la Laguna Santa Rosa.
- Figura N° 4.25: Respuesta del Flujo de Descarga hacia el Salar de Maricunga.
- Figura N° 4.26: Respuesta del Acuífero con el Tiempo después de 5 y 18 Años. Corte Transversal a través de los Pozos MDO.
- Figura N° 4.27: Recuperación del Acuífero con el Tiempo después de 50 y 150 Años. Corte Transversal a través de los Pozos de MDO.

HIDROLOGIA DEL SALAR DE MARICUNGA

1. - INTRODUCCION

Empresa Minera Mantos Blancos, operó entre los años 1988 y 1992, el yacimiento Marte ubicado en la cordillera de la Tercera Región, en el sector denominado Ciénaga Redonda o Valle Ancho, que es una quebrada afluente del Salar de Maricunga que corre en dirección de Sur a Norte desde el sector de Pantanillo, cercano al Río Astaburuaga.

En el sector sur del yacimiento Marte, se desarrolla otro proyecto minero conocido como Lobo, el cual se ubica a un costado de la quebrada Villalobos, afluente del Ciénaga Redonda por el costado oeste a siete kilómetros al sur de Marte.

Para llevar adelante el proyecto Lobo-Marte, Empresa Minera Mantos Blancos y TECK Corporation de Canadá, crean Minera Santa Rosa S.C.M. a través de un "joint venture", en el cual TECK posee el 60% de las acciones de MSR. El objeto de este "joint venture" es desarrollar las minas Lobo y Marte y alcanzar una producción de oro de 250.000 a 350.000 onzas al año. En la actualidad TECK está llevando adelante el estudio de factibilidad y paralelamente el estudio de impacto ambiental. Como complemento a este último, se están desarrollando una serie de estudios necesarios para comprender el medio ambiente y a su vez dar seguridad a la infraestructura que el proyecto necesita.

Dentro de este último contexto, Minera Santa Rosa (en adelante MSR) vio la necesidad de realizar estudios conducentes a la evaluación hidrológica del Salar de Maricunga y del valle de Ciénaga Redonda, (Figura N° 1.1) con el objeto de tener los antecedentes que permitan determinar la seguridad del recurso agua y evaluar los posibles impactos en el medio ambiente, derivados del bombeo continuo del futuro campo de pozos.

Considerando que el acuífero del Salar de Maricunga está siendo explotado por Minera Mantos de Oro (en adelante MDO) para abastecer al mineral de La Coipa, la cual lleva operando desde 1989-97 sin interrupción, TECK realizó un acuerdo con MDO para financiar, en forma conjunta, los trabajos hidrológicos del Salar de Maricunga.

Las principales razones que llevaron a MDO a ser uno de los partícipes importantes del estudio, fue su preocupación por el medio ambiente en el que actúan. Además, MDO advirtió que el trabajo en conjunto, en el sector sur del Salar de Maricunga, le otorgaría la oportunidad de revisar y asegurar que no se está afectando en forma negativa este sector, y a su vez le permitiría mejorar, si ello fuera necesario, su programa de monitoreo del acuífero del salar. En este sentido, uno de los principales objetivos para MDO, es la obtención de un modelo predictivo de los posibles efectos, que la explotación de agua subterránea del salar, pudiese producir en el sistema de flujo subterráneo.

Por otro lado, MDO se encuentra preocupada por la gran cantidad de derechos de agua que se han otorgado dentro de la cuenca del Salar de Maricunga, por lo que este estudio le da la oportunidad de incrementar los antecedentes hidrológicos e hidrogeológicos, que le permitirán a futuro, proyectar los efectos de un incremento en el uso del agua en la cuenca del Salar de Maricunga.

Luego de una licitación privada, MSR y MDO decidieron encomendar a la oficina consultora EDRA S.A. la realización de un estudio hidrológico en el sector del Salar de Maricunga, con el fin de caracterizar hidrológicamente el área de influencia del proyecto Lobo-Marte y obtener los antecedentes necesarios que permitan evaluar los efectos de uso de agua por la empresa MDO y la explotación continua del orden de 150 l/s de agua subterránea, en Ciénaga Redonda, necesarios para satisfacer la demanda hídrica del proyecto Lobo-Marte.

1.1. - Objetivos:

La realización de este estudio estuvo orientada a la definición de dos aspectos principales:

- Establecer un balance hidrológico del Salar de Maricunga, sobre la base de los antecedentes existentes y de la realización de trabajos complementarios.
- Evaluar el efecto de la extracción de agua subterránea sobre el área de influencia del proyecto Lobo-Marte.

Para alcanzar los objetivos antes señalados, se planteó la realización del trabajo en etapas que permitieran un desarrollo coordinado y permitiese tomar decisiones de modificación de objetivos secundarios, al término de cada una de ellas.

1.2.- Metodología de Trabajo

El desarrollo de este trabajo, se estructuró en 5 etapas, las que a continuación se mencionan:

- **Etapla 1:** Realización de un catastro de derechos y exploraciones de aguas del sector en estudio.

Esta etapa ya ha finalizado y la información fue entregada en tablas que contienen la información sobre los siguientes temas:

- Derechos en trámite
- Derechos otorgados
- Areas de exploración en trámites
- Areas de exploración concedidas

La información antes señalada fue entregada con la finalización de la Etapa 1 o Task 1, con fecha Mayo de 1997.

La información sobre derechos de agua de la zona de influencia del proyecto, es indispensable para entender las demandas potenciales de agua y las posibles interacciones que la explotación de agua subterránea que el proyecto Lobo-Marte planea, pudiese tener con terceros usuarios del agua. También entrega información estratégica para planear la forma en que los derechos de agua de las compañías MSR y MDO deben ser protegidos. Un resumen de los derechos otorgados en el área de estudio se presenta en las Figuras N° 1.2 y N° 1.3, fuera de texto.

- **Etapa 2:** Esta etapa estuvo orientada a la colección y evaluación de los antecedentes geológicos, geofísicos, estratigráficos, hidrogeológicos y de calidad de aguas existentes en el área de estudio, con el fin de establecer y proponer actividades complementarias necesarias para alcanzar los objetivos planteados.
- **Etapa 3:** En esta etapa se propusieron algunas actividades requeridas para alcanzar los objetivos propuestos. Las más relevantes estuvieron centradas en dos aspectos fundamentales:
 - a) Realización de campañas geofísicas de sondeos TEM en el Salar y en la Quebrada Ciénaga Redonda.
 - b) Perforación de pozos de monitoreo distribuidos en el área de estudio.
- **Etapa 4:** Esta etapa comprende el balance hídrico del Salar de Maricunga y la evaluación de la influencia del proyecto Lobo-Marte y MDO, sobre el sistema de flujo subterráneo del Salar de Maricunga.
- **Etapa 5:** Esta etapa está orientada a estudiar la influencia del bombeo de los pozos de producción del proyecto Lobo-Marte, en la Quebrada Ciénaga Redonda.

2. - ANTECEDENTES GENERALES

2.1. - Marco Geológico

2.1.1. - Generalidades

La principal fuente de información, para definir el marco geológico dentro del cual se encuentra ubicado el proyecto, corresponde al estudio realizado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) en el área, a través del proyecto Fondecyt 149/92. Además, existen trabajos realizados por empresas particulares de áreas específicas, sin embargo, ella no está disponible por ser información reservada de las empresas. Por lo tanto, se ha considerado que para el estudio hidrológico planteado, la información geológica regional entregada por el estudio del Sernageomin es adecuada.

2.1.2. - Introducción

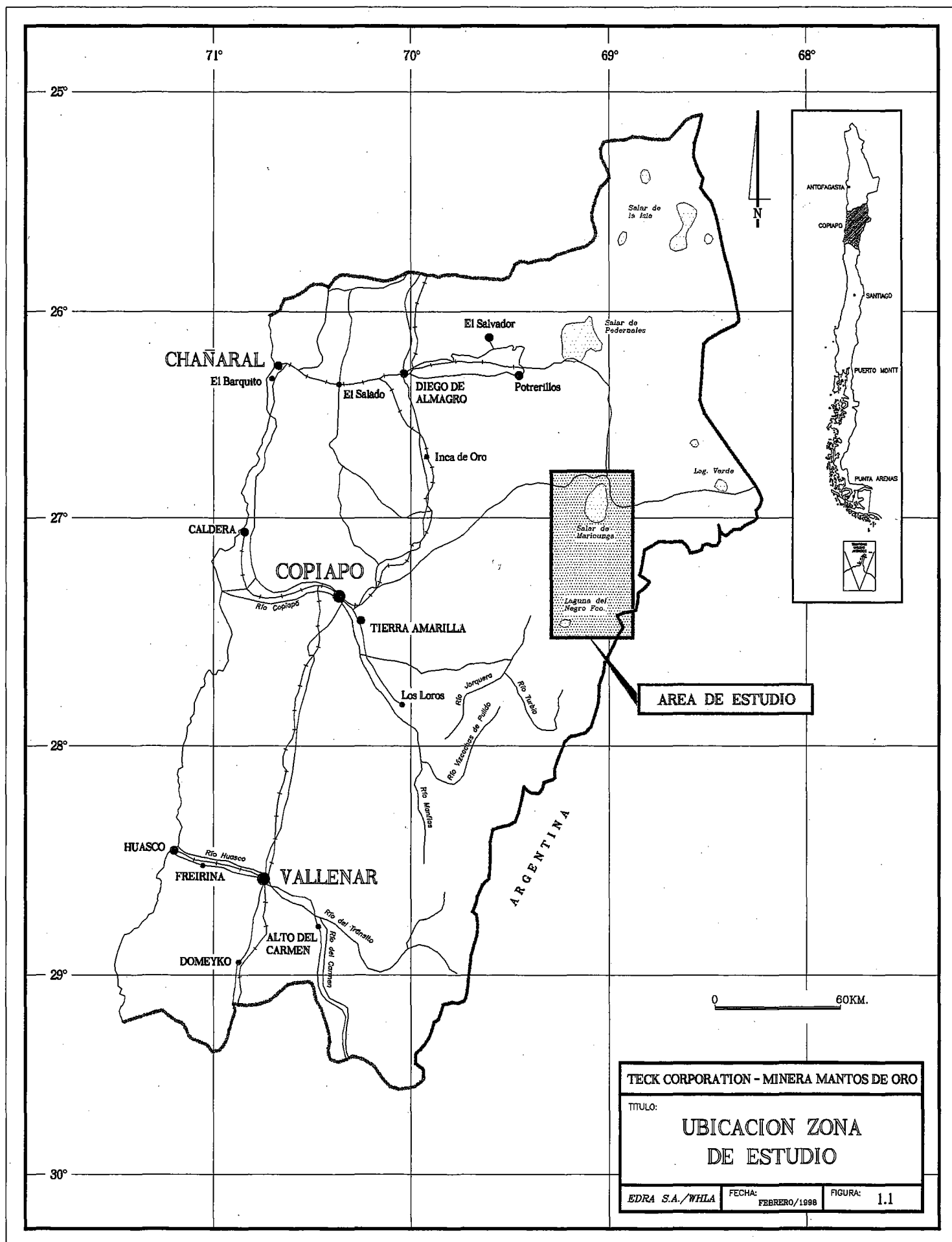
El área de estudio se extiende a lo largo del borde occidental del Altiplano entre los 26°45' y 27°40' S, el cual está formado principalmente por una cadena de edificios volcánicos miocenos inactivos, destacándose en el área de estudio el Complejo Volcánico Copiapó que incluye al Volcán Copiapó de 6.052 metros de altura y a los volcanes San Román, Azufre y Azufre Norte; el Complejo Volcánico Ojos de Maricunga y los volcanes asociados: Santa Rosa, Pastillos, Lagunillas, Pastillitos, y Villalobos; finalmente, en el extremo sur del área, la caldera del volcán La Laguna. Estos edificios volcánicos están construidos en una estrecha franja de 30 km de ancho y 200 km de largo denominada Franja Maricunga, cuyos límites sobrepasan la zona de estudio.

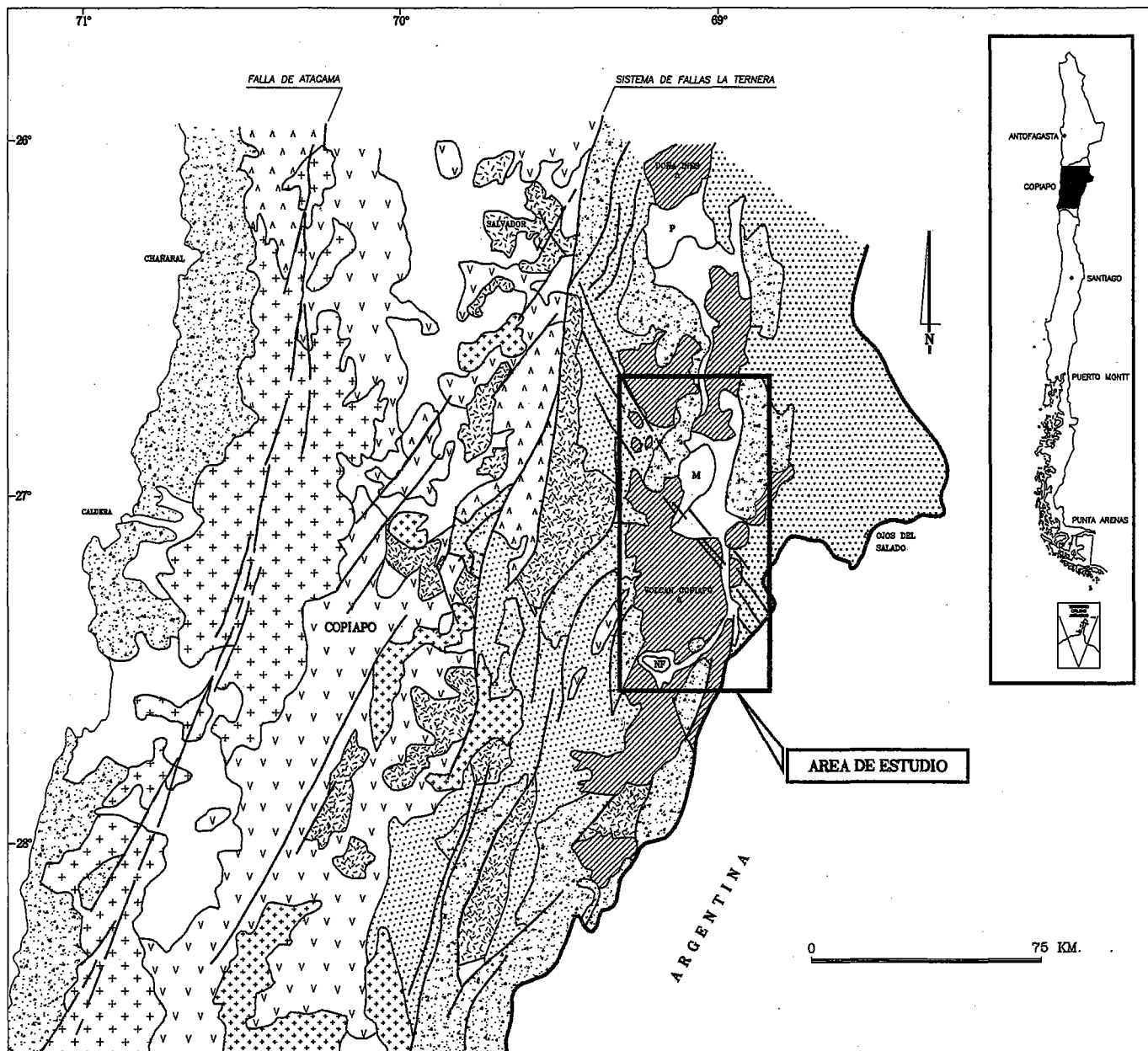
Los centros volcánicos están edificados sobre un basamento que incluye unidades volcánicas e intrusivas del Paleozoico, Mesozoico y Terciario Inferior.

En el centro del área de estudio se desarrollan las cuencas cerradas de los Salares de Maricunga, y Laguna del Negro Francisco los cuales se ubican en un plateau elevado de 3.800 metros de altura. Hacia el este se encuentran la Cordillera Claudio Gay formada por rocas del basamento Paleozoico y secuencias volcano-sedimentarias terciarias, la cual antecede hacia el este al arco volcánico activo, ubicado a 60 km al este de la Franja Maricunga, entre los cuales se destaca el edificio volcánico de mayor altura en el mundo, Ojos del Salado con 6.880 metros de altura (Figura N° 2.1)

2.1.3. - Marco Tectónico Regional

La zona en estudio se ubica inmediatamente al oeste de la cadena volcánica activa de los Andes Centrales (CVZ), (la cual se extiende desde los 14° a 28° latitud sur, y es considerada como una de las 3 mayores zonas volcánicas de subducción de la placa oceánica bajo la placa continental), en la zona de transición entre el segmento norte con subducción inclinada y el segmento central de los Andes Chileno-Argentino (28°-30°S) donde la subducción es horizontal.





LEYENDA

	BASAMENTO PALEOZOICO		SECUENCIAS VOLCANICAS DEL PALEOCENO - EOCENO
	LAVAS JURASICAS		INTRUSIVOS DEL TERCARIO INFERIOR
	BATOLITOS JURASICO - CRETACICOS		COMPLEJOS VOLCANICOS DEL OLIGO - MIOCENO
	ROCAS VOLCANICAS Y SEDIMENTARIAS CRETACICAS		ROCAS VOLCANICAS DEL CENOZOICO SUPERIOR
	ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCANICAS DEL TRIASICO - CRETACICO INFERIOR		SEDIMENTOS CUATERNARIOS
Falla inversa Falla normal de bajo ángulo Falla (indiferenciada)			

MAPA GEOLOGICO SIMPLIFICADO (MPODOZIS Y ALLMENDINGER 1992)
MODIFICADO EN EL PRESENTE TRABAJO DESDE EL SECTOR NORTE
DEL SALAR DE MARICUNGA A QUEBRADA CENAGA REDONDA.

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:

GEOLOGIA REGIONAL

EDRA S.A./WHLA

FECHA:
FEBRERO/1998

FIGURA: 2.1

La división entre ambas zonas de subducción se produjo en forma progresiva entre los 20 y 6 millones de años (en adelante Ma), los cuales están registrados en la Franja Maricunga donde la estratigrafía volcánica, geoquímica y evolución tectónica da cuenta de los cambios ocurridos en el proceso de la progresiva disminución del ángulo de subducción en el Mioceno. Este proceso culminó hacia los 5-6 Ma, al norte de los 28°S, con una migración hacia el este del frente volcánico de los Andes Centrales y al sur, en la región de "flat slab" con la desaparición de toda actividad volcánica (28°-33°S) (Figura N° 2.2).

2.1.4. - Geología Regional

2.1.4.1. - Paleozoico (Pz)

Dentro de las unidades geológicas que conforman el basamento Paleozoico de la Franja Maricunga se reconocen al noroeste de la Laguna del Negro Francisco, secuencias sedimentarias del Devónico-Carbonífero, denominada *Formación Chinchas* (Bell, 1987), está formada por areniscas y lutitas con esporádicas intercalaciones de calizas, afectadas por metamorfismo de bajo grado y cubierta discordantemente por secuencias volcánicas ácidas riódacíticas de edad Permo-Triásica, llamada *Formación Pantanoso* (Mercado, 1982), la que se encuentra intruida por pórfidos riolíticos y granitoides pérmicos. Afloramientos de la Formación Pantanoso se reconocen al occidente del área de estudio.

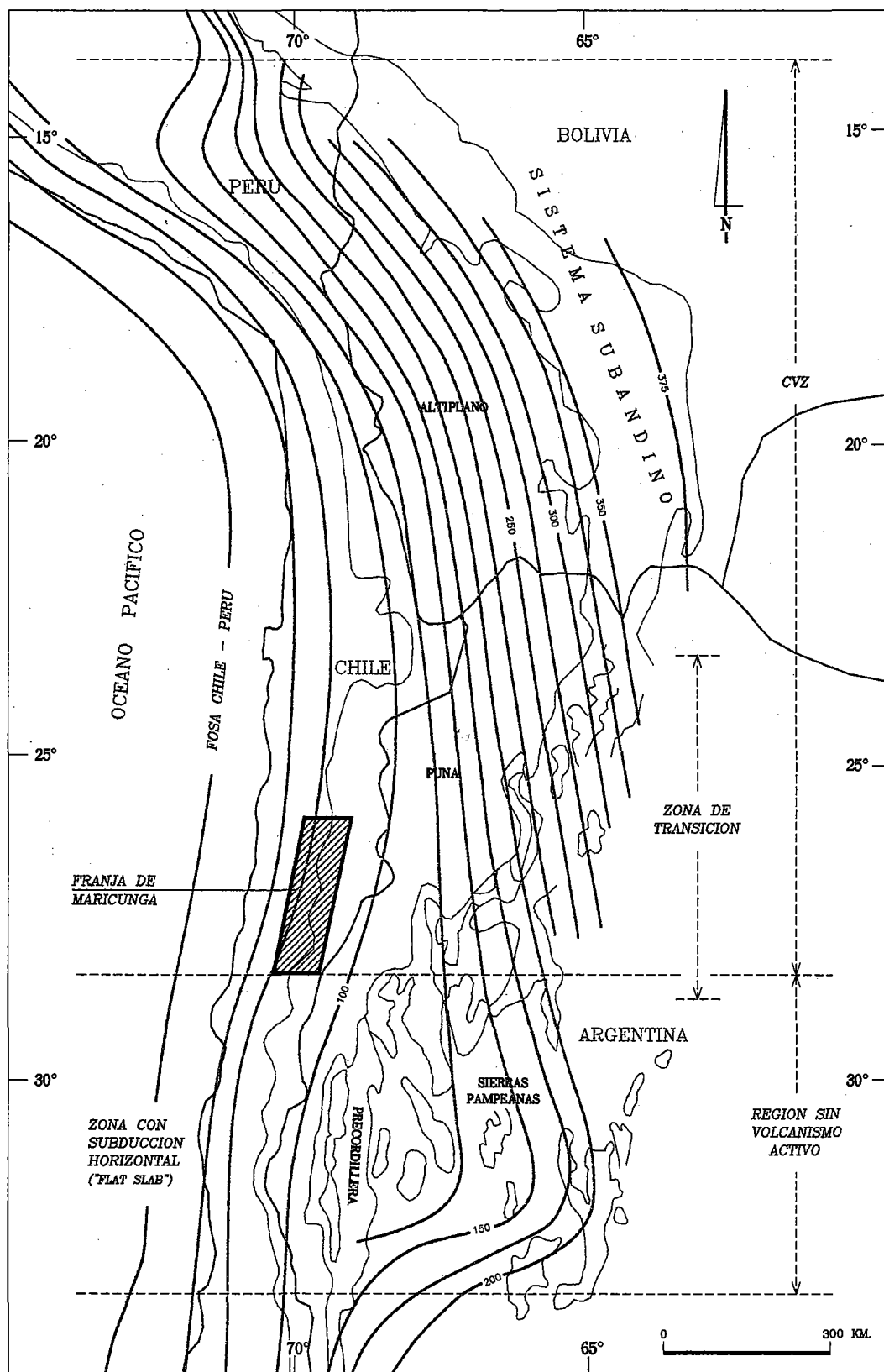
También ocurren afloramientos de rocas paleozoicas en el sector oriental del Salar de Maricunga y de la Laguna del Negro Francisco.

Las Formaciones Chinchas y Pantanoso y sus intrusivos asociados, representan el basamento típico de gran parte de la cordillera Frontal entre los 25° y 34°S y corresponden a la actividad magmática asociada a las últimas etapas de amalgamación de Gondwana dentro de Pangea y los productos volcánicos asociados a fusión cortical a gran escala, al inicio de la dispersión del supercontinente.

2.1.4.2. - Mesozoico (Mz)

Se encuentran afloramientos de edad triásica superior al oeste de Salar de Maricunga, en el cerro homónimo, e inmediatamente al sur del área de estudio formando el basamento de los Complejos volcánicos Jotabeche y Cadillal, correspondientes a la *Formación La Ternera* (Segerstrom, 1968) constituida por una potente serie de lavas basáltico-andesíticas, intercaladas con niveles de tobas e intruida por sills y cuellos basálticos. La Formación La Ternera representa niveles volcánicos asociados a extensión y rift continental durante las etapas iniciales de la dispersión de Gondwana.

En el Jurásico Inferior una transgresión marina cubrió toda la región al oeste de la Franja Maricunga. En la zona de estudio, ésta está representada por la *Formación Lautaro* (Harrington, 1961), se trata de un conjunto de rocas calcáreas y clásticas que se apoyan discordantemente sobre las Formaciones Chinchas y Pantanoso, cuyos afloramientos se reconocen al noroeste y sur este del Salar de Maricunga.



LEYENDA

— ISOBATAS DE LA ZONA DE BENIOFF, EN KM.
DE MPODOZIS ET AL., 1995

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:

MAPA TECTONICO REGIONAL

EDRA S.A./WHLA

FECHA:
FEBRERO/1998

FIGURA: 2.2

La transgresión marina estuvo seguida de la acumulación durante el Cretácico de potentes secuencias de conglomerados y areniscas rojas de ambiente continental semiárido, con estratificación cruzada eólica, intercalaciones de niveles evaporíticos y restos de dinosaurios, representados en la zona de estudio por las *Formaciones Quebrada Monardes y Estratos de Chirigues* (Bell y Suárez, 1989). Afloramientos de estas formaciones se reconocen al este y oeste de la Laguna Negro Francisco respectivamente.

Las secuencias paleozoicas y mesozoicas fueron deformadas en el Cretácico Superior por una fase de compresión generalizada.

Durante el Cretácico Superior - Terciario Inferior, la Precordillera de Copiapó, fue el escenario de un gran episodio volcánico, caracterizado por la erupción de magmas calcoalcalinos potásicos de características bimodales en ambiente extensional. Los productos volcánicos de este período (80 - 52 Ma) forman parte del basamento de la Franja Maricunga. Unidades volcánicas y sedimentarias alteradas, probablemente equivalentes de este grupo, se encuentran al sur y al este del volcán Copiapó (*Pantaniillo, río Astaburuaga*).

2.1.4.3. – Cenozoico (Cz)

Durante el Eoceno, la región ubicada inmediatamente al oeste y noroeste de la Franja Maricunga, sufrió una importante fase de deformación transpresiva asociada a deformación sinistral en el sistema de Fallas Sierra Castillo-Agua Amarga. Un gran número de intrusivos sintectónicos hipabisales eocenos se emplazaron a lo largo del corredor de fallas NW entre los 42 - 37 Ma. En el Oligoceno Inferior, se emplazaron algunos cuerpos de pórfidos dacíticos en Quebrada Pastos Largos, Quebrada Paredones y prospecto Cacique de la Franja Maricunga. Lavas equivalentes a los intrusivos, se encuentran al sureste del volcán Copiapó.

Los productos de la actividad volcánica del Cenozoico Superior se distribuyen ampliamente en la zona de estudio. La Franja Maricunga tiene un registro casi completo del volcanismo Oligo-Mioceno del frente volcánico de la zona sur de los Andes Centrales entre aproximadamente los 26 a 5 Ma. En este período se distinguen 6 pulsos magmáticos discretos, en donde la actividad del frente volcánico varió en estilo e intensidad. Cada uno de estos pulsos tiene asociadas rocas volcánicas que muestran cambios notorios en su geoquímica, cambios que se relacionan a un progresivo engrosamiento cortical, debido a procesos que condujeron a una disminución del ángulo de subducción, acortamiento tectónico, alzamiento del Altiplano y finalmente migración hacia el este del arco volcánico en el Mioceno superior (5 Ma).

- a) 26-21 Ma La actividad volcánica se inició a los 26 Ma con la activación del Complejo Volcánico La Coipa al noroeste de la zona de estudio, formado por un cluster de domos dacíticos del Oligoceno - Mioceno Inferior, y por una serie de complejos de domos múltiples, portadores de mineralización de metales preciosos, asociados a flujos piroclásticos de pequeño volumen (Refugio, La Pepa, Pantaniillo, Santa Cecilia), en general relacionados con sistemas de fallas de rumbo NW a WNW, activadas durante su emplazamiento.

- b) 20-17 Ma En este período la actividad volcánica prácticamente se detuvo en toda la Franja Maricunga; sin embargo, al este y norte de La Coipa se encuentran dos pequeños domos dacíticos Torito y Toro Sal de 18 Ma, y al sureste del volcán Copiapó se disponen coladas de lavas (19.5-18,6 Ma en K/Ar), sobre flujos piroclásticos alterados del Mioceno Inferior-Oligoceno Superior.
- c) 16-11 Ma Se reanuda en este período la actividad volcánica, formándose los complejos volcánicos de los cerros La Laguna, Villalobos, Pastillitos, Santa Rosa, y Ojos de Maricunga. El volcán más joven, dentro del grupo ligado al volcán Ojo de Maricunga corresponde al volcán Pastillos, que incluye flujos de lavas andesíticas y dacíticas (12 Ma), de similar edad a las obtenidas para minerales de alteración en el yacimiento Marte, encajado en el flanco este del volcán. Durante las etapas terminales de este episodio volcánico (13-11 Ma), la franja Maricunga registra un nuevo período de mineralización asociado al emplazamiento de un complejo de Pórfidos auríferos, al cual se asocian las áreas mineralizadas de Marte, Lobo, Escondido y Valy en la zona de estudio, e inmediatamente al sur de ella los pórfidos mineralizados de Aldebarán -Cadillal.
- Sincrónicos con el volcanismo de este período se formaron extensos depósitos de Gravas del Mioceno Medio (*Gravas de Atacama*), que rellenaron el relieve pre-mioceno de la cordillera de Atacama, y que actualmente cubren una gran superficie de la Precordillera de Copiapó al oeste de la Franja de Maricunga. Su origen está relacionado a una importante fase de alzamiento del Altiplano, que puede ser el resultado de la deformación compresiva asociada a las etapas iniciales del proceso de disminución del ángulo de subducción entre los 28° y 33°S.
- d) 11- 7 Ma La actividad volcánica disminuye notablemente su actividad durante este período, y se concentra exclusivamente en el Complejo Volcánico Copiapó, formado por un sistema de domos, estratovolcanes y extensos flujos piroclásticos de composición dacítica, comprendiendo un área de más de 200 km², apoyado sobre un volcanismo que comprende los pulsos volcánicos anteriores.
- e) 7 -5 Ma El foco principal del volcanismo migra inmediatamente al sur del área de estudio, formándose el Complejo Volcánico Nevado de Jotabeche, que consiste en una caldera riodacítica formada en un sistema de fallas conjugadas de rumbo NNE y NNW, asociadas a extensión norte sur, en el extremo meridional del Altiplano.

2.1.4.4. - Cuaternario (Q)

Los depósitos no consolidados se restringen principalmente al centro del área de estudio, en donde se desarrollan las cuencas cerradas de los Salares de Maricunga y Laguna del Negro Francisco. Corresponden principalmente a abanicos aluviales y depósitos evaporíticos,

encontrándose minoritariamente conos de deyección, escombros de faldas y depósitos de remoción en masa.

2.1.4.5. - Geología Estructural del área

Las secuencias mesozoicas fueron deformadas en el Cretácico Superior por una fase de compresión generalizada, que cierra e invierte la cuenca del Cretácico Medio-Superior.

Durante el Cretácico Superior - Terciario Inferior la Precordillera de Copiapó fue el escenario de un gran episodio volcánico, caracterizado por la erupción de magmas calcoalcalinos potásicos de características bimodales, en ambiente extensional, ligadas a la formación de grandes complejos de calderas y estrato volcanes compuestos, posiblemente en ambiente de transtensión dextral. Los productos volcánicos de este período (80 - 52 Ma) forman parte del basamento de la Franja Maricunga.

En el Eoceno (42 - 39 Ma) la región ubicada inmediatamente al oeste y noroeste de la Franja Maricunga sufrió una importante fase de deformación transpresiva asociada a deformación sinistral en el sistema de Fallas Sierra Castillo-Agua Amarga. Durante este evento se formó un sistema estructural que incluye un corredor de fallas sinistral de rumbo NW subverticales entre la región de Potrerillos y La Coipa (Figura N° 2.3, fuera de texto), que probablemente se extendieron hasta la región ubicada al este del volcán Copiapó, en territorio argentino (Valle Ancho), las cuales fueron con posterioridad reactivadas. Estas fallas NW son características de la zona de Marte y Lobo, donde afectan a pórfidos y zonas de alteración. Sin embargo, ninguna traza parece afectar hacia el noroeste a los volcanes Ojos de Maricunga o Santa Rosa, del Mioceno Medio, indicando que si bien el sistema pudo haberse formado en el Eoceno, se reactivó en el Mioceno Superior sólo en la zona ubicada al este del volcán Copiapó.

Durante el Mioceno Medio se verificó una importante fase de alzamiento del Altiplano, que puede ser el resultado de la deformación compresiva asociada a las etapas iniciales del proceso de disminución del ángulo de subducción entre los 28° y 33°S. Esto indicaría que durante el Mioceno Medio, la parte sur del área de estudio, estuvo afectada por una deformación extensional asociada a fracturas frágiles (extensión norte- sur) durante el alzamiento del Altiplano.

Al cesar el volcanismo en el Mioceno Superior, los rasgos mayores del relieve actual ya se encontraban determinados, entre otros, la serie de cuencas endorreicas que caracterizan el Altiplano (Laguna del Negro Francisco, Salar de Maricunga, Salar de Pedernales, etc.). En la cuenca de la Gallina, inmediatamente al sureste del área de estudio, tanto el relleno de la cuenca como la cubierta de coluvio cuaternario, están afectadas por escarpes de fallas muy recientes, que resultan de la reactivación de fallas previas (fallas normales). El análisis cinemático revela que se trata de fallas inversas, cuaternarias, asociadas a acortamiento regional en sentido este-oeste.

2.2 - Hidrología

2.2.1. - Red de Drenaje

- **Cuenca de la Laguna del Negro Francisco:** Corresponde a una cuenca endorreica de 880 km², cuya zona de equilibrio está constituida por la laguna, que se ubica a una cota de 4.170 m. Y su principal afluente es el río Astaburuaga. Los límites de la cuenca son los siguientes: al nornoreste con la cuenca del Salar de Maricunga, al este se encuentra acotada por las más altas cumbres de la Cordillera de Los Andes, al sur limita con la cuenca del Río de la Gallina y por el oeste limita con la cuenca del Río Figueroa.
- **Cuenca del Salar de Maricunga:** La cuenca del Salar de Maricunga corresponde a una cuenca endorreica y corresponde a la cuenca hidrográfica, que incluye todos las quebradas que drenan hacia el Salar. El Salar de Maricunga incluye el salar mismo (que corresponde específicamente a la costra salina) y las superficies planas asociadas a éste. Cabe indicar que en el texto para referirse al Salar de Maricunga, en adelante se señalará como Salar. La cuenca presenta una superficie total de 1965,5 km² y se extiende entre los 3.760 m.s.n.m. y los 6.052 m.s.n.m., siendo ésta última elevación el punto más alto de la cuenca que corresponde a la cumbre del cerro Azufre o Copiapó. El salar mismo presenta una superficie de 152,5 km², con una elevación media de 3.770 m.s.n.m. aproximadamente.

Su principal afluente corresponde a la Quebrada Ciénaga Redonda, cuya subcuenca drena una superficie de aproximadamente 726 km², donde las quebradas afluentes más importantes son las de Barros Negros, Villalobos, Pantanillo, Valle Ancho, Lajitas, Los Patos o Cuesta Colorado y de los Carcanales. La quebrada de Ciénaga Redonda presenta una longitud total de cauce de 47 km, mientras que las quebradas Villalobos y el río Barros Negros alcanzan una longitud total de 90 y 85 km, respectivamente. La pendiente media de la quebrada Ciénaga Redonda, se ha estimado en 0.7 %. Presenta un curso intermitente de dirección sur a norte en gran parte de su recorrido, y en el sector de Vega Ciénaga Redonda toma una dirección norponiente, para llegar finalmente al plano del Salar de Maricunga.

2.2.2. - Datos Existentes

Los principales datos existentes se refieren a los de precipitación y caudales propiamente tal. En la Tabla N° 4.B, incluida en el Anexo B, se entregan las estadísticas pluviométricas anuales consideradas y ampliadas al período 1951 – 1995, y sus promedios anuales se presentan en la Tabla N°1 que se muestra a continuación:

Tabla N°1:
Estadísticas Pluviométricas Ampliadas (mm.)

Año 1951-1995	Copiapó	Los Loros	Embalse Lautaro	Pastos Grandes	Jorquera en la Guardia	Potrerillos
Promedio	13.6	30.8	31.9	27.7	40.8	(14.5)*

- Corresponde a un valor rellenado.

Del mapa de isoyetas de la Dirección General de Aguas, se tomó la información para estimar que a los 3500 m.s.n.m. se tiene una precipitación media de 50 mm/año y a los 4000 m.s.n.m. una precipitación de 100 mm/año. (Figura N° 2.4 Ubicación de Estaciones Meteorológicas – Fluviométricas).

Con relación a las estadísticas de caudales, cabe indicar que sólo se dispone de esta información en los afluentes del extremo sur del Salar y que a su vez son los que presentan los flujos de agua más importantes.

Se efectuó una completa recopilación de los datos disponibles y los promedios anuales se entregan en la Tabla N° 2, que a continuación se entrega:

Tabla N°2:
Caudales Medios Anuales

Estación	Caudales (m³/s)
Barros Negros antes V. Ancho	0.074
Villalobos en Vertedero	0.042
Valle Ancho B. Negros	0.078
Valle Ancho en la Barrera	0.011
Lamas en el Salto	0.233

En las Tablas N° 5-B, 6-B, 7-B, 8-B y 9-B se entregan las estadísticas históricas (m³/s) para las estaciones Barros Negros antes de la junta con Valle Ancho, Villalobos en Vertedero, Valle Ancho antes Barros Negros, Valle Ancho en La Barrera y Río Lamas en El Salto, las cuales se encuentran en el Anexo B.

2.2.3. - Calidad del Agua

En el área de influencia del proyecto, se cuenta con análisis químicos de 9 sondajes perforados por MDO, los que se encuentran distribuidos del siguiente modo: en el sector norte, representados por las muestras MDO-12, 13, 14 y 15, denominación que coincide con el nombre

de cada pozo. En el sector de Quebrada Colorado (Llano de Ciénaga Redonda), representada por las muestras MDO-8 y 10 y en el sector de Llano de Ciénaga Redonda, al sureste del salar, representado por las muestras MDO-9, 23 y 24. (Figura N° 2.5, fuera de texto)

Los resultados de los análisis químicos se presentan en tablas que se incluyen en el Anexo C.

Mediante la representación gráfica de los aniones cloruros, sulfatos y bicarbonatos y de los cationes sodio, calcio y magnesio, se elaboraron los diagramas de Stiff y de Piper que se incluyen en el Anexo C.

Del análisis de los gráficos mencionados se puede diferenciar las aguas de los sectores norte y sur:

a) Sector Norte:

Presentan aguas con altas concentraciones de sales disueltas, lo que las hace no aptas para consumo humano. La composición de las aguas es sódica clorurada y las concentraciones de los cationes Ca y Mg son muy altas, al igual que la concentración de los aniones, en especial la de cloruros.

El pozo MDO-14 localizado más alejado del salar es el que registra las concentraciones más bajas del área. Esto podría asociarse a la existencia de aporte de aguas de mejor calidad desde los flancos del salar.

b) Sector Sur:

La composición química presenta concentraciones de sales disueltas mucho más bajas que en el sector norte, lo cual se refleja en los diagramas de Stiff de la Figura N° C.3 y C.3a, que se incluyen en el Anexo C.

El catión más abundante es el sodio y el anión cloruro supera con creces a los bicarbonatos y sulfatos, situación que se observa claramente en la Figura N° C-3a. Cabe señalar que en los pozos de producción MDO-23 y MDO-24, no se cuenta con análisis de sodio, razón por la cual se observan diferencias en los diagramas de Stiff en relación con los pozos de MDO-8, MDO-10 y MDO-9.

Las aguas subterráneas del salar no presentan limitaciones para ser utilizados en procesos mineros. Sin embargo, para el consumo humano no es apta, ya que varios elementos presentan concentraciones que superan los límites permitidos por la Norma de Agua Potable NCh 409, es así que el cloruro y sodio presentan valores aproximados del orden de 424 mg/l y 427 mg/l, respectivamente, los cuales son superiores a los valores permitidos por la Norma de 250 mg/l y 200 mg/l, respectivamente. La concentración natural de arsénico detectada en los pozos MDO-8 y MDO-9, MDO-10, es mucho mayor que el máximo permitido por la norma.

2.3 - Hidrogeología

El sector en estudio comprendido por las coordenadas N 7.040.000 - 6.950.000 y E 470.000 - 510.000, se ha dividido en dos áreas: Salar de Maricunga y Ciénaga Redonda. Las rocas que constituyen ambos sectores son de edades que van desde el paleozoico hasta Terciario. Estos tipos litológicos han sido descritos en el capítulo de Geología Regional y en este punto han sido agrupados como una sola unidad, impermeable, denominada "Roca Fundamental Indiferenciada". Los depósitos sedimentarios modernos son los de mayor importancia, ya que constituyen la unidad permeable y de interés hidrogeológico.

Por tal razón, con el apoyo de una foto satelital escala 1:100.000 que abarca toda el área y fotografías aéreas escala 1:10.000 aproximadamente que comprenden el sector Vega Ciénaga Redonda, Cerro Pastillos, Quebrada Villalobos, se elaboró un mapa hidrogeológico a escala 1:100.000 (Figuras N° 2.6 y N° 2.7, fuera de texto).

Además, se cuenta con información de estudios geofísicos, sondajes estratigráficos, pruebas de bombeo, puntos que serán tratados en el presente capítulo para complementar la evaluación hidrogeológica, caracterizando así los sectores más favorables para constituir un acuífero.

2.3.1. - Unidades Hidrogeológicas

Los depósitos sedimentarios modernos constituyen las unidades permeables que representan potencial hidrogeológico interesante y están representados por las siguientes unidades:

- **Depósitos Aterrazados (T):** esta unidad está integrada por gravas y areniscas poli y monomíticas, moderadamente consolidadas, en parte cementadas con intercalaciones de ignimbritas terciarias. Existe una gran variedad litológica con predominio de clastos redondeados a subredondeados de volcanitas y rocas graníticas. También han sido definidos como pediplanos, niveles aterrazados terciarios y terrazas aluviales, que son correlacionables con las Gravas de Atacama.

En el sector del Salar de Maricunga están presente estos depósitos aterrazados tanto en el sector norte como en el sector sureste del salar.

En el sector de Ciénaga Redonda, se observa a ambos lados de la quebrada depósitos aterrazados, con mayor desarrollo en la ladera oriente. Hacia el sur, en el sector de la Laguna del Negro Francisco también se observa la presencia de estos depósitos aterrazados, los que han sido definidos como Gravas de Atacama (Documento de Trabajo N° 9; 1995).

- **Depósitos aluviales (Qa):** esta unidad corresponde a un conjunto de sedimentos cuaternarios constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas mal consolidadas, la cual ha sido reconocida por los sondajes previamente perforados por MSR en Marte; Bema Gold en la zona de Pantanillo y MDO y Chevron Minera Corporation, en el Salar de Maricunga y mediante los

sondajes de exploración PO-5, PO-6, PO-7 y PO-8, perforados durante el desarrollo del presente estudio, en el sector de Ciénaga Redonda.

Estos se han depositado en fondos de quebradas y sectores donde el agente principal ha sido el escurrimiento de agua superficial. En el sector al este del Salar de Maricunga se observan extensos depósitos aluviales asociados a la quebrada Guanaca, Colorado, Río Lamas y la parte distal de la quebrada Ciénaga Redonda, conformando estos últimos el Llano Ciénaga Redonda (Figura N° 2.6, fuera de texto). Hacia aguas arriba de este llano, los depósitos aluviales asociados a la quebrada homónima, presentan características más reducidas. Es así como entre la Vega Ciénaga Redonda y la Vega Barros Negros presenta una forma regular con un ancho mínimo de aproximadamente 300 metros hasta 900 metros. Hacia el sur, disminuye el ancho y en los sectores que la roca está próxima, ocurren vegas asociadas.

Más al sur, en el sector de Quebrada Pantanillo, se observa un mayor desarrollo de estos depósitos aluviales, al igual que en el sector sur de la Laguna del Negro Francisco.

- **Depósitos de Conos de Deyección (Qcd):** esta unidad está integrada por depósitos detríticos acumulados por cursos de agua en las zonas de transición entre valles tributarios de alta pendiente y valles principales. Se caracterizan por estar compuestos de material dispuesto en forma caótica, no muy variados, escasa selección, redondeamiento y esfericidad baja. La fracción clástica incluye fragmentos tamaño bloque, gradando a material más fino en su parte distal.
- **Depósitos de Escombros de Falda (Qef):** Se localizan en sectores con pendientes relativamente suaves e intermedias entre el cordón montañoso y las zonas semi-llanas. Se caracterizan por presentarse adosados a los faldeos de los cerros que conforman el valle y se extienden hasta el centro de él, interdigitándose los materiales de ambos flancos. Estos depósitos incluyen fragmentos con tamaño de bloque a gravas y arenas, donde la fracción matricial varía desde arena gruesa a limos, predominando las fracciones tipo limo arcillosas. Su génesis se asocia a procesos de fragmentación superficial de macizos rocosos y la acción gravitatoria que incide en la inestabilidad de éstos ocasionan su movilización y amplia extensión, incluyendo fragmentos poco movilizables. En el área de estudio, presentan escaso desarrollo.
- **Depósitos Evaporíticos (Qe):** corresponden a depósitos moderadamente consolidados de precipitados salinos, mayoritariamente cloruros y sulfatos. Presenta un mejor desarrollo en el sector sur del Salar de Maricunga, en las riberas de las lagunas Santa Rosa y del Negro Francisco.

Este tipo de depósito es de escasa distribución en la cuenca del Salar de Maricunga y está presente en los sectores donde confluyen quebradas importantes hacia el salar, y principalmente en el núcleo del salar. En el sector de Ciénaga Redonda se asocian principalmente a depósitos aterrazados.

Los acuíferos de mayores expectativas en el área, están conformados por depósitos aluviales modernos, los que se encuentran a cotas inferiores en el valle central, recibiendo la recarga desde unidades gravitacionales, además del escurrimiento subterráneo desde aguas arriba.

La capacidad de almacenamiento y transmisividad de los acuíferos, son más elevados en aquellas unidades constituidas por gravas y arenas, que en aquellos con un contenido mayor de fracciones finas.

La unidad de depósitos aterrazados (T) presentan valores de permeabilidad inferior, con respecto a las otras unidades que se desarrollan en el área.

Las unidades de Conos de Deyección (Qcd) y Escombros de Falda (Qef) no constituyen acuíferos importantes por su escasa distribución, pero sí constituyen importantes fuentes de recarga por su alta permeabilidad y posición en cotas altas, con respecto a los depósitos aluviales.

2.3.2. - Geofísica del Area de Estudio

Los antecedentes disponibles corresponden a perfiles gravimétricos realizados por Chevron Minera Corporation en el sector noreste del Salar de Maricunga y por MDO, en el sector sur del salar, en el área de influencia de su campo de pozos. De acuerdo a estos estudios gravimétricos, es posible tener una idea sobre la forma del basamento y el espesor de los sedimentos acumulados en la cuenca del Salar de Maricunga.

En el sector de Ciénaga Redonda, Geoexploraciones desarrolló en 1987, prospecciones geoelectricas para la Compañía Anglo American Chile Ltda., que consistió en la ejecución de sondajes eléctricos verticales que permitieron definir 4 perfiles transversales a la quebrada Ciénaga Redonda, a la altura de Mina Marte, interpretándose espesores de sedimentos de hasta 400 metros, limitados en la base por una unidad arcillosa.

Existe también un estudio geofísico realizado por Agra Earth Environmental (Junio, 1997) donde se efectuaron perfiles sísmicos en el sector quebrada Villalobos – Ciénaga Redonda, con el fin de caracterizar la profundidad del basamento rocoso y espesor del relleno sedimentario en el sector del proyecto Lobo-Marte. De acuerdo a los resultados obtenidos en los seis perfiles sísmicos, se detectó el basamento entre los 80 metros y 100 metros aproximadamente. Cabe señalar, que estos perfiles se ubicaron en un cono de deyección del borde oeste del valle Ciénaga Redonda y en el sector sur de la desembocadura de la quebrada Villalobos, por lo tanto, la profundidad del basamento correspondería a profundidades del borde del valle.

Al finalizar la etapa de revisión y evaluación de antecedentes, se comprendió la necesidad de contar con mayor información respecto a la potencia y extensión del acuífero, para poder tener una mejor evaluación del potencial del mismo y a su vez, tener información básica para desarrollar el modelo hidrogeológico matemático. La necesidad de esta geofísica se hizo más evidente a raíz de los resultados de las primeras calibraciones de los modelos matemáticos, por

lo cual, una vez comenzado el derretimiento de la nieve se iniciaron los trabajos geofísicos de terreno.

En Octubre de 1997, se realizó una campaña de exploración geofísica, la cual corresponde al método geoelectrico denominado Transiente Electromagnético (TEM), que consiste básicamente en energizar un loop de cable aislado, puesto en la superficie del terreno. Esta acción induce en el subsuelo corrientes de conducción de electrones libres, los cuales dependen de la conductividad del medio. La conductividad a su vez, depende de la granulometría, mineralogía y contenido y calidad de fluidos intersticiales.

Esta técnica de prospección puede ser descrita, finalmente, como la función de decaimiento en el tiempo de un campo magnético estable al que se le interrumpe súbitamente la corriente que lo genera. Esta función puede ser interpretada como un modelo de capas de diferentes unidades geoelectricas dentro de las cuales es posible definir los posibles acuíferos.

El estudio geofísico consistió en la medición de 50 sondajes TEM (Figura N° 2.8), distribuidos en una malla irregular entre el sector sureste del Salar de Maricunga y la Vega Barros Negros. La distancia entre cada sondeo varía entre 1 y 2,5 km aproximadamente; posteriormente estos sondajes se agruparon en 10 perfiles geofísicos, en estos perfiles se puede diferenciar unidades geoelectricas y su disposición geométrica en subsuperficie. El estudio fue llevado a cabo por la empresa Geodatos, quienes utilizaron como equipos: receptores, transmisores y controladores de marca Zonge.

Los perfiles L1E y L2E (Figura 2.9, fuera de texto), tienen una longitud aproximada de 14 km cada uno, mientras que los restantes, L3N a L8N y L9E a L10E, tienen longitudes menores que están entre 1 km y 6 km. Los perfiles se disponen en un área rectangular cuyos vértices presentan las siguientes coordenadas:

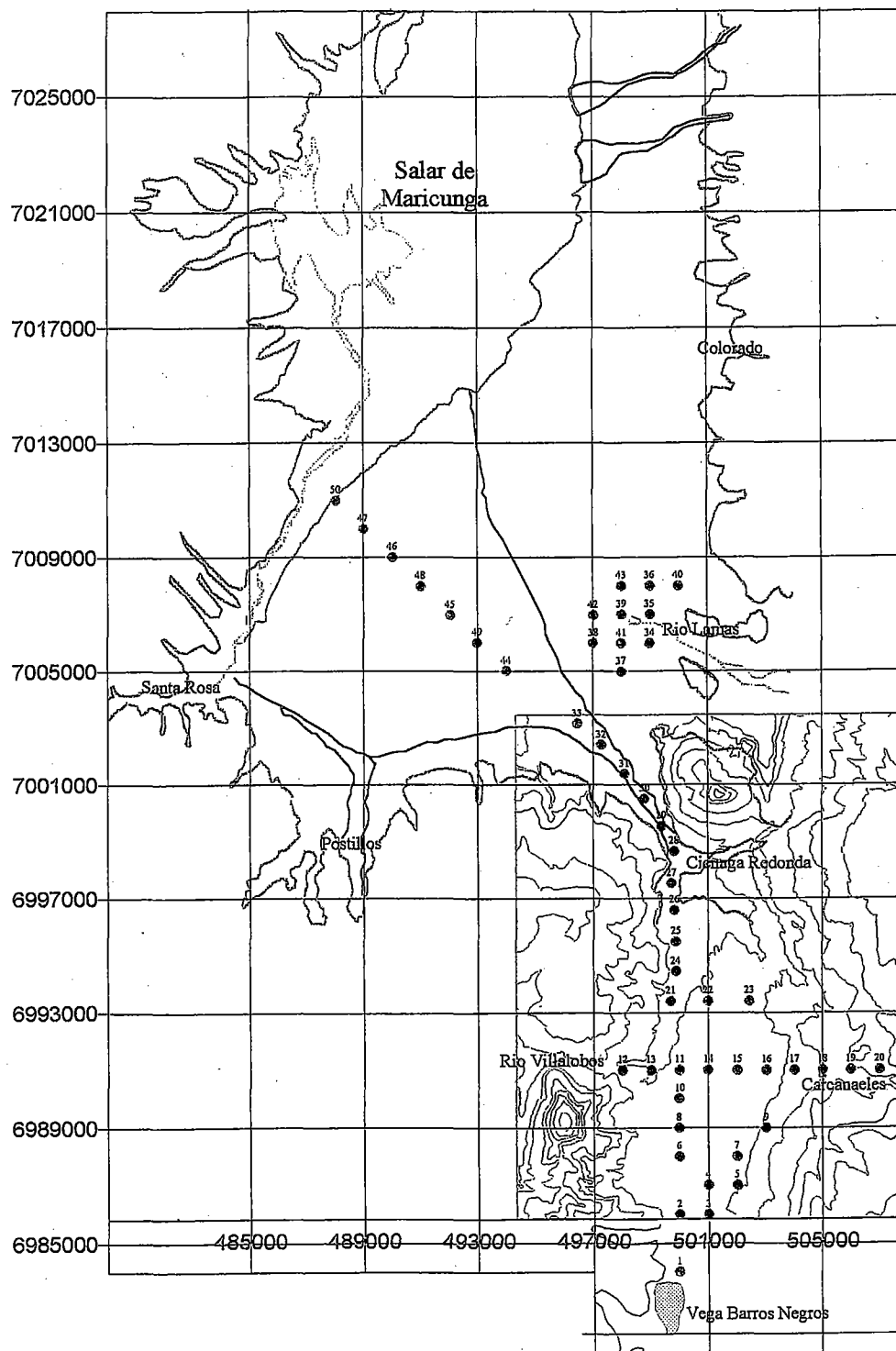
N 7.012.500 – E 487.500
N 6.980.000 – E 487.500

N 7.012.500 – E 510.000
N 6.980.000 – E 510.000

Sobre la base del espectro de resistividades obtenidas en el estudio, se definieron cuatro unidades geoelectricas principales para la caracterización geofísica del área y su posible relación con unidades de interés hidrogeológico. El rango de resistividades y la correspondiente unidad geoelectrica se menciona a continuación:

> 30	ohm-m	Gravas y/o arenas, potenciales acuíferos de agua dulce
10 – 25	ohm-m	Gravas y/o arenas con mayor contenido de sedimentos finos, saturados
2 – 10	ohm-m	Sedimentos finos y/o arcillas, saturadas
< 1,5	ohm-m	Sedimentos finos y/o arcillas, saturados con agua salada (cuña salina)

Las unidades geoelectricas definidas en los perfiles, indican que está presente un estrato de gravas y/o arenas en el sector sureste del Salar de Maricunga y presenta continuidad a través de la Quebrada Ciénaga Redonda, el espesor varía entre 50 metros y 200 metros. En el sector de Vega



LEYENDA :

- 4
● UBICACION DE SONDAJES TEM

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:

**UBICACION
DE SONDAJES GEOFISICOS**

REALIZO:
EDRA S.A.

FECHA:
FEBRERO/1998

FIGURA:
2.8

Ciénaga Redonda, se observa una discontinuidad en la cual las gravas y/o arenas sobrepasan los 200 metros. Esta situación se repite en todo el sector definido por la quebrada Ciénaga Redonda.

Es necesario subdividir en dos sectores las unidades que infrayacen a esta unidad geoelectrica, ya que al sureste del Salar de Maricunga se diferencia una unidad de gravas y/o arenas con mayor cantidad de finos sobre una unidad de sedimentos finos y/o arcillas saturadas (cuña salina). Esta cuña salina presenta mayor espesor hacia el salar. En cambio, hacia el sur, en la Quebrada Ciénaga Redonda la cuña salina no se detectó (al menos en la profundidad que alcanzaron los perfiles) e infrayacen al nivel de gravas un nivel con mayor contenido de finos y un nivel de sedimentos finos y/o arcillas saturadas (Figura N° 2.9, fuera de texto).

La existencia de la cuña salina impide determinar la profundidad del basamento, ya que las capas conductoras como la "salmuera" producen un efecto pantalla, impidiendo a las corrientes ir a mayores profundidades.

2.3.2.1. - Sondajes Estratigráficos

Se cuenta con información estratigráfica de sondajes construidos en el Salar de Maricunga por diferentes empresas, los que indican la presencia de un nivel de sedimentos de poco espesor en el sector norte, constituido por gravas y arenas mayoritariamente, acusando el basamento rocoso a los 63 metros. Los sondajes del sector sur y este del Salar de Maricunga (Pozos MDO y Chevron), indican la existencia, en general, de un mayor espesor de sedimentos, constituidos por gravas y arenas finas a gruesas con intercalaciones de sedimentos finos.

En el sector de Ciénaga Redonda, se cuenta con antecedentes de dos pozos construidos en el sector de Mina Marte, pozos N° 1 y N° 2, (Figura 2.10, fuera de texto), en los cuales se reconoció una secuencia representada por gravas y arenas de origen volcánico, de alrededor de 80 metros, sin alcanzar el basamento rocoso (Anexo A).

En el sector de Pantanillo existen tres pozos denominados RA-1, RA-2 y RA-3, que detectan sedimentos constituidos por grava y arenas con fracciones finas tipo limo-arcillas. La potencia de esta unidad podría superar los 100 metros, ya que no se detectó basamento rocoso.

A lo largo de la quebrada Ciénaga Redonda se distribuyeron cuatro pozos de observación, de poca profundidad; sin embargo, contribuyen a un mejor conocimiento estratigráfico, pudiendo establecerse que la unidad sedimentaria presenta al menos un espesor de 20 metros, ya que ninguno de ellos alcanzó la roca fundamental.

2.3.3. – Caracterización Hidrogeológica

2.3.3.1 - Geometría Acuífera y Tipo de Acuífero

La geometría del acuífero está relacionada con la extensión, forma y profundidad de los estratos de subsuperficie que constituyen acuíferos.

Los antecedentes disponibles en el sector del Salar de Maricunga para la presente evaluación, corresponden a sondeos y perfiles gravimétricos de las campañas de exploración de agua realizadas por las Compañía Exploraciones y Minerales Sierra Morena S.A, MDO y Chevron Minera Corporation, así como los antecedentes entregados por la campaña de geofísica realizada durante el presente estudio y descrita anteriormente (Figura N° 2.10, fuera de texto).

Se han definido dos sectores dentro del área del Salar de Maricunga, que sin ser muy diferentes en el tipo de sedimentos que contienen, presentan distinta posición y extensión areal con respecto al salar.

El sector norte está definido por depósitos del tipo conos aluviales y conos de deyección, dispuestos hacia el salar, los que están acotados por los cerros La Sal y Caballo Muerto. En forma superficial, se observa que los depósitos sedimentarios como borde de cuenca, tienden a desaparecer hacia el norte sugiriendo un cierre, situación que es corroborada por la gravimetría y sondeos realizados.

El espesor de los sedimentos es muy variable, alcanzan valores máximos de 150 m para decrecer rápidamente hacia los flancos poniente y oriente, representados por los cerros Caballo Muerto y La Sal, respectivamente. Hacia el oriente los perfiles gravimétricos acusaron la roca a muy poca profundidad, de modo que el espesor de esta unidad se presenta muy reducido en este sector.

Los rellenos aluviales del sector norte contienen acuíferos freáticos de características permeables bastante pobres, al comparar con su equivalente de la zona sur. Los valores de permeabilidad se ven afectados por la cantidad importante de finos en la matriz.

La continuidad de esta unidad hidrogeológica es relativamente pequeña ya que en profundidad está acotada por flujos cineríticos localizados en el sector poniente y por unidades de roca fundamental hacia el oriente.

En el sector sur, se han reconocido sedimentos aluviales con un sistema acuífero de tipo freático, que presentan permeabilidades muy altas debido a la presencia de granulometría gruesa y la excelente selección que presenta este depósito. En profundidad, este medio permeable está limitado por una unidad de limos y arcillas, de características impermeables.

Es común que hacia el sector de los flancos de la depresión del salar, exista aporte de fracciones de granulometría heterogénea de origen gravitacional, las que hacen disminuir los valores de permeabilidad de la secuencia tipo.

Los abanicos aluviales del río Lamas y Valle Ancho presentan coeficientes de transmisividades de $T = 500$ y $750 \text{ m}^2/\text{día}$, respectivamente definidas por los sondajes de producción que MDO posee en dicho sector.

Si nos imaginamos un perfil desde el río Lamas hasta el salar, el acuífero parte con un espesor cercano a los 250 metros para ir acuniándose hacia el oeste llegando a espesores de 60 metros (Figura N° 2.9, fuera de texto). La disminución de espesor se produce principalmente por el aumento de importancia de la cuña salina asociada a las salmueras del salar.

2.3.3.2. - Profundidad del Agua Subterránea

Existen antecedentes de mediciones de niveles durante el período 1989-1996 en los pozos perforados por MDO, los cuales se entregan en la Tabla N° 3-B, que se encuentra en el Anexo B.

De acuerdo a los antecedentes recopilados, se desprende que en el sector norte del salar, representados por los sondajes MDO-13, 14 y 15, los niveles del agua subterránea tienen profundidades alrededor de los 21 m, los que presentan fluctuaciones centimétricas en el tiempo.

El pozo MDO-12 localizado en el sector norte presenta niveles en torno a los 7 m, y también presenta fluctuaciones centimétricas.

En el sector de aporte de Quebrada Colorado, representadas por los sondajes MDO-8 y 10, se tienen niveles de agua a profundidades de 7 m a 8 m, presentando un registro relativamente estable en el tiempo. El pozo CAN-6, registra antecedentes de un nivel de aguas en torno a los 20 m (Figura N° 2.10, fuera de texto).

El sector sur del salar presenta niveles de agua que fluctúa entre los 37 a 47 m, evidenciado por los pozos MDO-24, 23 y 9, con medidas individuales en torno a 38 m, 42.7 m y 47 m, respectivamente.

En el valle de Ciénaga Redonda, existen antecedentes del nivel de aguas de los pozos N° 1 y 2 de Marte. Durante su etapa de construcción, realizada entre Noviembre de 1987 y Febrero de 1988, arrojaron valores de 19,6 m y 19,27 m, respectivamente. Durante las pruebas de bombeo realizadas en mayo de 1997 por MSR, el pozo N° 1 y 2 presentaban niveles estáticos de agua de 19.23 m y 18.6 m, respectivamente. En el Informe "Monitoreo de la Línea Base de Aguas Superficiales y Subterráneas" realizado por Cega Ingenieros Ltda. (Abril, 1997), en el pozo N° 1 de Marte, se registra un valor de 18.35 m. Los antecedentes de niveles de agua de los pozos de monitoreo construidos en la quebrada de Ciénaga Redonda durante el desarrollo de este estudio, han sido incluidos en el Anexo B, Tabla N° 1-B.

En el sector del río Astaburuaga hacia Pantanillo existe información de 6 pozos de exploración perforados durante la campaña de exploración de recursos subterráneos, realizada para el Proyecto Refugio, cuyos valores han sido incluidos en la Tabla N° 2-B, en el Anexo B.

En los sondeos EA-2 y EA-6 existe afloramiento de aguas subterráneas, que alimentan las vegas del Río Astaburuaga, este afloramiento está asociado a un afloramiento paleozoico en la ribera norte del río Astaburuaga, que sugiere un alzamiento del basamento, que disminuye la sección de escurrimiento, obligando al agua a subir a la superficie (Figura N° 2.11).

En el sector de Pantanillo, el nivel de aguas se localiza entre los 18.6m y 8.3 m, detectado por los pozos RA y EA (Figura 2.12). En la Figura N° 2.12, se puede apreciar que el pozo de observación PO-8, debería presentar, de acuerdo a la extrapolación de los niveles de los pozos del sector, un nivel estático alrededor de los 15 m., pero según las mediciones realizadas, éste se encuentra seco, a pesar de tener 20 metros de profundidad. Las razones para esta anomalía, pueden ser un problema de tipo constructivo, como también deberse a una singularidad de la napa freática.

2.3.3.3. - Movimiento

De acuerdo a los antecedentes con que se cuenta, se puede señalar que en el sector este del Salar de Maricunga, el flujo escurriente lo hace principalmente de este a oeste, a través de depósitos aluviales, con un gradiente del orden del 2%, el cual debe ir teóricamente disminuyendo hacia los bordes del Salar, hasta el sector donde el agua subterránea aflora en la zona de descarga, que está bien diferenciada en este Salar.

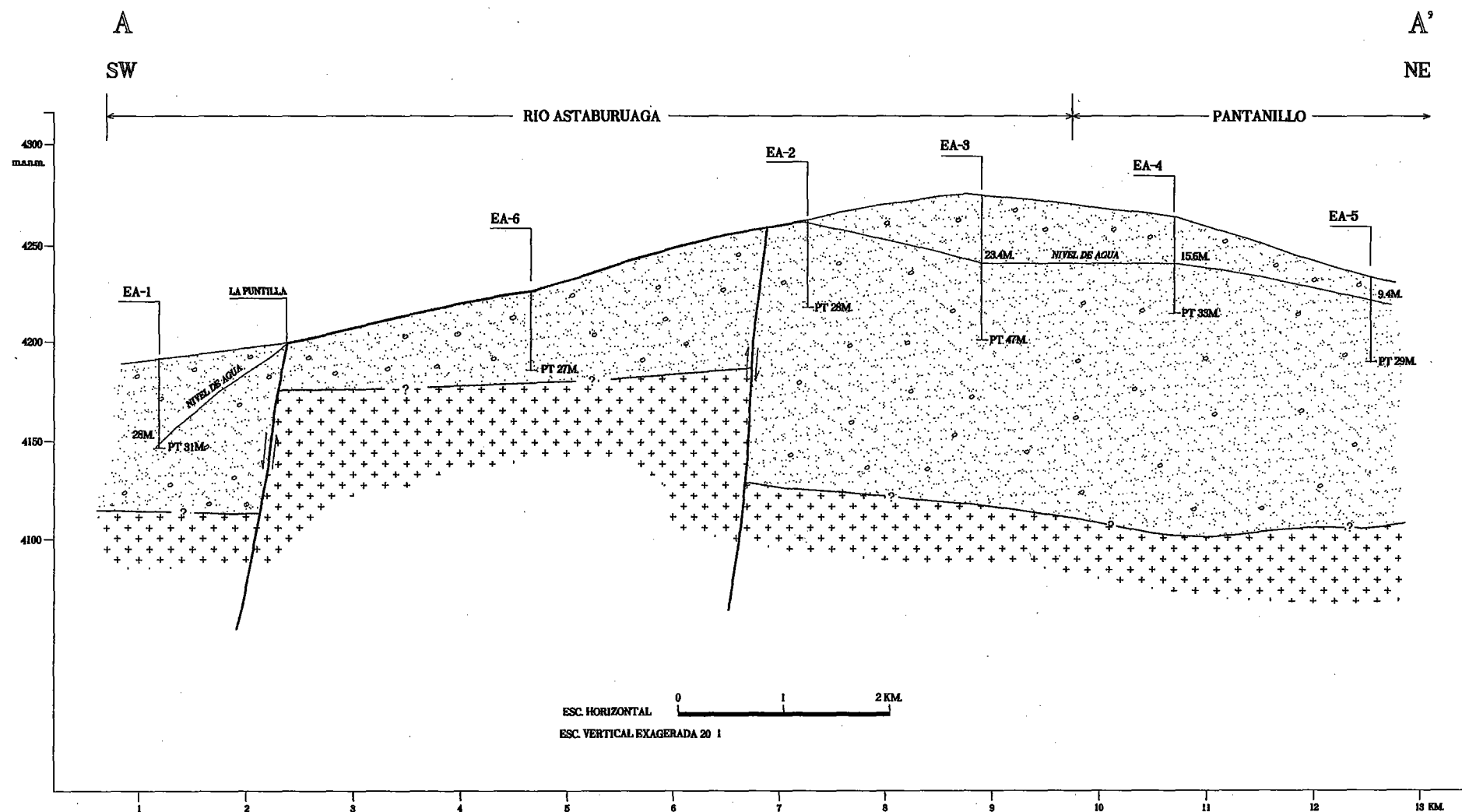
Hacia el sur, en el gran abanico aluvial de los ríos Lamas y Ciénaga Redonda, el escurrimiento tiene dirección oeste a noroeste y su gradiente se estima en 1,2 %

En la Figura N° 2.13 (fuera de texto) se presentan las curvas equipotenciales del sector norte y sur del Salar, tomado de los antecedentes del informe de Geoestudios para el sector norte, y para el sector sur, se ha representado la superficie equipotencial utilizada como situación inicial del modelo hidrogeológico de flujo.

2.3.3.4. - Volumen Embalsado

El volumen embalsado corresponde al total de agua subterránea que se encuentra relleno los espacios intersticiales de los acuíferos. Para las diferentes cuencas hidrogeológicas, el volumen embalsado representa el recurso de agua subterránea existente, que servirá de base para determinar en primera instancia el tamaño o importancia de este recurso.

El cálculo del volumen embalsado en el acuífero, es también importante para conocer el potencial de explotación de un acuífero. Es así, que en zonas donde la recarga es anual e importante en cuantía, el volumen embalsado no es de vital importancia, ya que el equilibrio estará dado por la recarga media anual del acuífero. A diferencia de esta situación, en las zonas áridas, donde los eventos de recarga son espaciados en el tiempo, la explotación intensiva siempre deberá apoyarse en el volumen almacenado que deberá ser capaz de suministrar los recursos en los períodos secos.



DEPOSITOS ALUVIALES



ROCA FUNDAMENTAL INDIFERENCIADA

—?— CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO

— NIVEL AGUA, AGOSTO 1990

EA-1 IDENTIFICACION POZO

PT 31M PROF. TOTAL EN METROS

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:
PERFIL HIDROGEOLOGICO ESQUEMATICO
SECTORES
RIO ASTABURUAGA - PANTANILLO

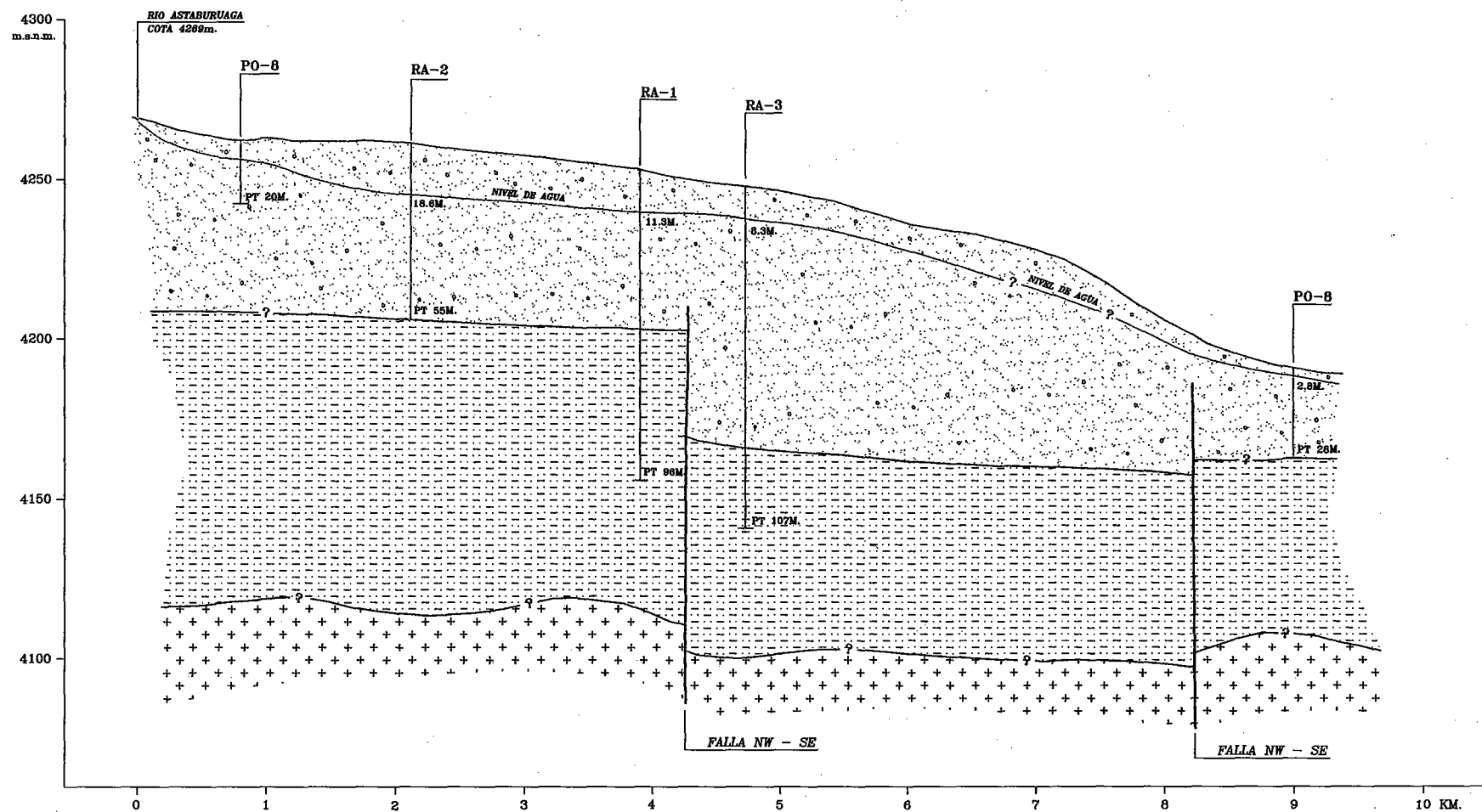
EDRA S.A./WHLA

FECHA:
FEBRERO/1998

FIGURA:
2.11

SW

NE



ESCALA HORIZONTAL 1:50000

ESCALA VERTICAL 1:2.000

- GRAVAS - ARENAS
CON MENOS DE 20% LIMOS - ARCILLAS
 GRAVAS - ARENAS
CON MAS DE 20% LIMOS - ARCILLAS
 ROCA FUNDAMENTAL INDIFERENCIADA

- - - CONTACTO INFERIDO

— NIVEL DE AGUA

EA-1 IDENTIFICACION POZO

PT 20M PROF. TOTAL EN METROS

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:

PERFIL HIDROGEOLOGICO
ESQUEMATICO
SECTOR PANTANILLO

EDRA S.A./WHLA

FECHA:
FEBRERO/1998

FIGURA: 2.12

El volumen embalsado experimenta variaciones a lo largo del tiempo, en función de mayores o menores recargas y/o descargas de aguas subterráneas, las que son medidas por el ascenso o descenso del nivel de aguas en los pozos.

El factor fundamental para el cálculo del volumen almacenado es el coeficiente almacenamiento de largo plazo que se determina mediante la interpretación de las pruebas de bombeo con un pozo de observación y los valores empíricos deducidos del comportamiento de los acuíferos sometidos por largo tiempo a explotación intensa.

Si en el Salar de Maricunga, se considera un área acuífera de 140 km², que correspondería a la zona de mayor interés hidrogeológico, y se toma un espesor promedio de solamente 150 m, se obtiene un volumen acuífero estimado de 21.000 millones de metros cúbicos.

Considerando un coeficiente de almacenamiento a largo plazo de 20%, el cual es un valor representativo de acuíferos freáticos, se obtiene un volumen embalsado estimado de:

$$V_{Emb} = 4,2 \times 10^9 \text{ de m}^3.$$

En evaluaciones de este tipo se estima que la capacidad explotable del acuífero corresponde al caudal de entrada o recarga media más un porcentaje del almacenamiento, que para efectos de otros estudios realizados en la zona norte se ha considerado conservador utilizar valores del 5%. De acuerdo a lo expuesto, se desprende que al valor de la recarga calculado, el que se entrega en el punto 3.6.1. se debe agregar al menos un 5% del volumen embalsado, que corresponde a $2,1 \times 10^8 \text{ m}^3$.

La consideración expuesta es un análisis desde el punto de vista solo de los recursos y no considera los aspectos ambientales, que son importantes, sobre todo, porque la mayor parte del Salar se encuentra al interior del Parque Nacional Tres Cruces. La existencia de un parque indica de inmediato que hay una flora y/o fauna cuya preservación es de interés nacional y por lo cual, la explotación de cualquier recurso, como el recurso agua subterránea, debe ser analizada en un contexto integral.

2.3.4. - Conexión Laguna Negro Francisco – Ciénaga Redonda

Dentro de las actividades a ejecutar y contempladas en la Etapa 4, está el análisis de la posible conexión entre la laguna del Negro Francisco y la cuenca de Ciénaga Redonda, hipótesis que ha sido propuesta en estudios anteriores.

Para resolver esta incógnita, se recopilieron los antecedentes disponibles, geológicos e hidrogeológicos existentes en el sector del Río Astaburuaga y quebrada Ciénaga Redonda. Además de la información geológica regional y los informes hidrogeológicos del área cabe destacar los antecedentes de 6 pozos de monitoreo y tres de bombeo, perforados en el sector de interés durante la Campaña de Exploración de Aguas Subterráneas desarrollada para el Proyecto Refugio. Esta información fue complementada con la información proporcionada por algunos de

los 4 pozos de monitoreo perforados durante el desarrollo de este estudio. Con la información indicada se realizaron los perfiles que se presentan en las Figuras N° 2.11 y N° 2.12

En terreno se puede advertir que en el curso del Río Astaburuaga, en el tramo que escurre hacia el poniente (desde Pantanillo hacia la Laguna del Negro Francisco), existe una zona de vegas que corresponde al sector donde se ubican los pozos EA-2 y EA-6. Con los datos de estos pozos, se verifica que las vegas tienen su origen en el agua subterránea.

De acuerdo a los antecedentes geológicos existentes del área de estudio y expuestos en el capítulo 3 de este informe, se verifica que en el sector del río Astaburuaga, así como también hacia el sector oriental del Salar de Maricunga, existen afloramientos de unidades paleozoicas, con un marcado control estructural (Figura N° 2.3, fuera de texto).

En la Figura N° 2.7 (fuera de texto), se presentan las unidades hidrogeológicas del sector de la laguna del Negro Francisco y quebrada Ciénaga Redonda, aquí se ha resaltado el intrusivo paleozoico que aflora en la ribera norte del río Astaburuaga, unidad de roca impermeable que fue alzado durante el Oligoceno. Este alzamiento del basamento, estaría controlando el afloramiento de aguas observado en el sector donde se ubican los pozos EA-2 y EA-6.

De acuerdo a la evaluación de los antecedentes recopilados, es importante aclarar que existe una comunicación hídrica subterránea entre el río Astaburuaga y la quebrada Ciénaga Redonda (aporte del Astaburuaga por 124 l/s). Ella se produce en el sector denominado Portezuelo Astaburuaga, que corresponde al sector donde este río cambia su curso sur-norte, para dirigirse hacia el poniente en dirección a la Laguna del Negro Francisco. En este punto nace la quebrada conocida como Ciénaga Redonda o Valle Ancho. Existen evidencias geomorfológicas claras que en algunas épocas, el Río Astaburuaga escurrió por el Valle Ancho hacia el norte y el Salar de Maricunga.

Sobre la base de lo expuesto, se verifica que si bien existe una conexión entre el agua subterránea del Astaburuaga y Ciénaga Redonda, el alzamiento del basamento paleozoico, ubicado hacia la Laguna del Negro Francisco por el Río Astaburuaga, representa una barrera hidrogeológica que desconecta el acuífero de Ciénaga Redonda, con el de la Laguna del Negro Francisco. (Figura 2.14, fuera de texto).

3. -BALANCE

3.1. - Metodología

3.1.1. - Balance Hídrico

Para períodos largos de tiempo y en áreas extensas, la ecuación del balance hídrico puede expresarse en forma simplificada mediante la siguiente expresión:

$$P - R = E \pm \delta \quad (1)$$

donde:

- P : Precipitación media del período y del área.
- R : Escorrentía media del período y del área.
- E : Evaporación/evapotranspiración.
- δ : Término de discrepancia ó error de balance.

El planteamiento simplificado de la ecuación de balance supone que las variaciones de almacenamiento en períodos de tiempo largo (30 o más años) no son significativas con relación a los otros términos.

El término R se refiere al flujo neto afluente e incluye tanto el superficial como el subterráneo. Sin embargo, con fines de calibración de las hipótesis de entrada es conveniente remitirse a cuencas cuyas secciones de cierre controlen la escorrentía en forma superficial.

El término E representa el flujo de agua que retorna a la atmósfera y/o es consumida en forma natural, en el caso de la zona en estudio éste puede producirse de la siguiente forma:

- Evaporación desde superficie de agua libre,
- Evaporación desde suelo húmedo, en zonas con un nivel freático próximo a la superficie, y
- Evapotranspiración real desde superficies naturales.

En el caso de cuencas endorreicas la escorrentía es nula por lo que la expresión se reduce a:

$$P - E = 0 \pm \delta \quad (2)$$

Para la aplicación en este tipo de cuenca, es adecuado distinguir en ella dos sectores, uno correspondiente a la depresión y el otro correspondiente a la cuenca afluente a dicha depresión, de este modo el balance general se puede plantear en los siguientes términos:

$$P_a - E_a = R_a \pm \delta \quad (3)$$

$$Ra + Pd - Ed = 0 \pm \delta \quad (4)$$

Donde los subíndices *a* y *d* se refiere a la cuenca afluente a la depresión y al área de la depresión misma respectivamente.

Para resolver estas ecuaciones se debe disponer de información de precipitación y de evapotranspiración y evaporación, pero previamente es necesario comprobar las hipótesis de distribución de estas componentes en subcuencas controladas.

3.1.2. - Evapotranspiración

Para el caso particular de la estimación de evapotranspiración real desde superficies naturales se utilizará la fórmula de Turc, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$ETR = P / \sqrt{(0.9 + (P^2 / L^2))} \quad (5)$$

donde :

ETR : Evapotranspiración media anual en mm/año.

P : Precipitación media anual mm/año.

L : Factor heliotérmico, dado por:

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3 \quad (6)$$

T : Temperatura media anual en °C

3.1.3. - Evaporación

Para la estimación de la evaporación del Salar, se aplicará la metodología desarrollada en el Salar de Atacama (2450 m.s.n.m.) y que se explica más adelante.

3.1.4. - Experiencias de Evaporación en el Salar de Atacama

En el año 1985, Grilli y Aravena analizaron el proceso de evaporación desde salares, concluyendo que el proceso depende principalmente de los siguientes factores:

- Profundidad del nivel freático y flujos de calor en el suelo,
- Propiedades hidráulicas y térmicas de transmisión del medio poroso,
- Estratigrafía
- Condiciones de rugosidad en la superficie del suelo.

Tabla N° 3:
Subdivisión de cuencas – Salar de Maricunga

CUERPO HÍDRICO	N° CUENCA	KM ²
Sector Norte y Oeste – Cuencas Menores	1	284.5
Quebradas Menores – Sector Noreste	3	209.3
Quebradas Colorado	4	31.1
Cuenca Intermedia Colorado – Lamas	5	78.9
Río Lamas	7	133.8
Cuenca Intermedia Lamas – Ciénaga Redonda	6	60.4
Ciénaga Redonda	10 +11 +12	725.9
Laguna Portillos o Qda. Pastillos	9	205.8
Quebrada Sta. Rosa	8	83.3
Salar	2	152.5
Total		1965.5

Tabla N° 4:
Superficie de áreas evaporantes – Salar de Maricunga

UNIDADES	KM ²
Costra dura de Sal	29.0
Zona de Inundación	21.9
Mezcla de sales	59.1
Zona Intermedia	12.7
Agua Libre	14.8
Zona Exterior	15.0

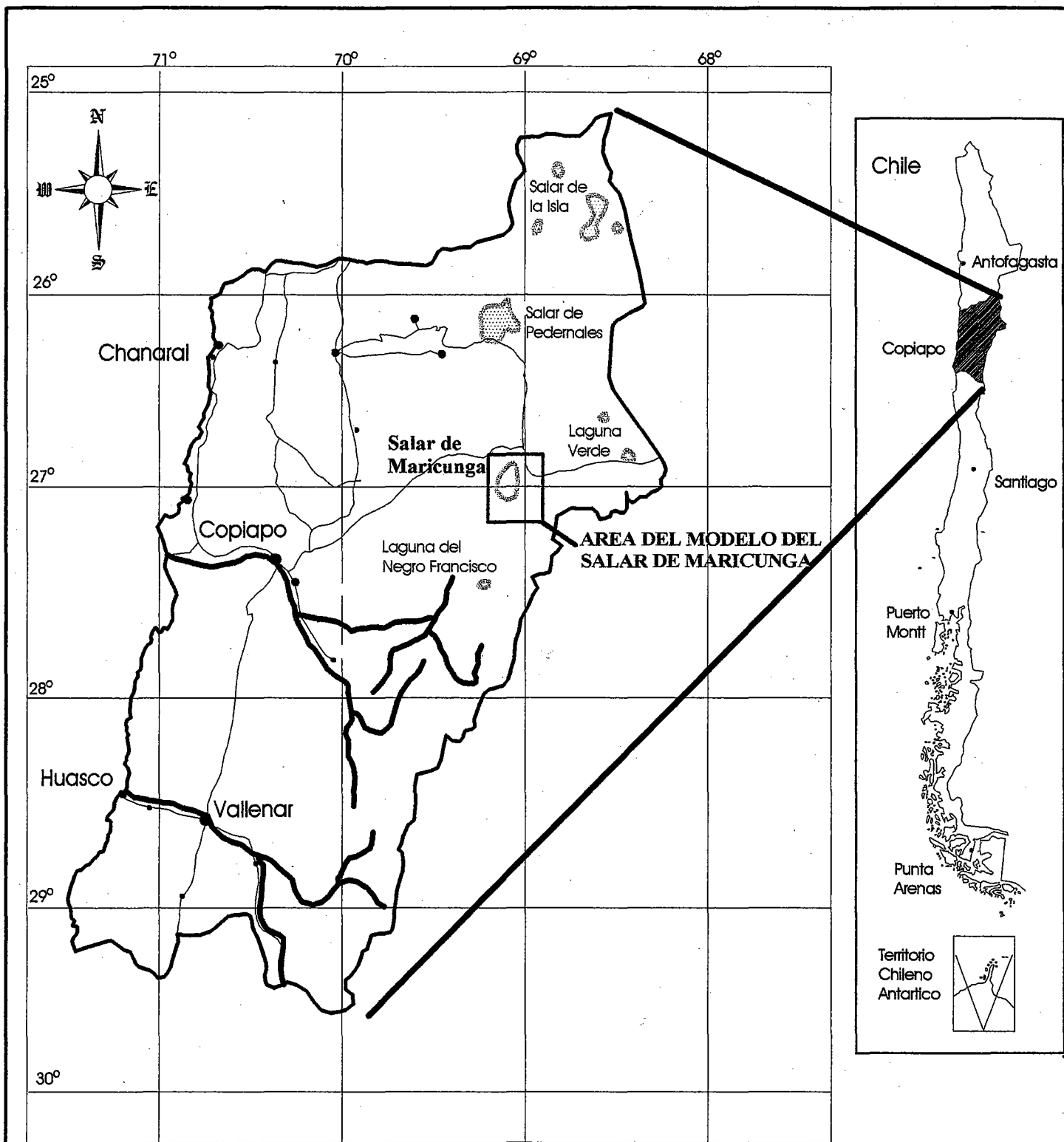
3.2.2. - Perfil de Precipitación

De acuerdo a la información existente, mencionada anteriormente, se estimó que a los 3.500 m.s.n.m. se tiene una precipitación media de 50 mm/año y a los 4000 m.s.n.m. una precipitación de 100 mm/año.

En la Figura N° 3.2, se presenta el perfil de precipitación definido para la zona en estudio, cuya ecuación es válida para elevaciones superiores a los 3500 m.s.n.m. y se presenta a continuación:

$$P = 0,038 \cdot H - 53 \quad (8)$$

Donde:



AREA DEL MODELO

MINERA SANTA ROSA S.C.M. / Mantos de Oro
Salar de Maricunga, Chile



waterloo
hydrogeologic
SOFTWARE • CONSULTING • TRAINING

Figura 4.1

Project No:
CH301-97

conductividad hidráulica de la zona 2, el cambio en los niveles piezométricos fue apreciable en los puntos MDO 9, 23 y 24.

Un cambio en los parámetros de sensibilidad de +100% y un -50% produjeron una variación menor que un 5% en la altura piezométrica normalizada calculada, para toda el área del modelo. La altura normalizada se calcula dividiendo el cambio o variación de la altura por la diferencia de la piezometría total del área del modelo, que en este caso es de 160 m. La excepción a este comportamiento se observó en los puntos de control, sondaje N° 33 y Quebrada Ciénaga Redonda, en los cuales al cambiar la conductividad en la zona 1, se observó una variación entre 12.8 y 23.8% respectivamente.

En general, y dentro del rango ensayado, el análisis de sensibilidad demuestra que la superficie equipotencial calculada no es sensible al ajuste de los parámetros dentro de los rangos probados, que son los valores más probables.

4.5.- Evaluación de la Extracción de Agua Subterránea

El bombeo de los pozos de MDO (MDO-9, MDO-23 y MDO-24), dentro de la cuenca del Salar de Maricunga, y de los pozos de producción de MSR planeados dentro de la Quebrada Ciénaga Redonda (PRP-1, PRP-2 y PRP-3), afectan al sistema natural de flujo de aguas subterráneas. Para evaluar los potenciales impactos asociados a este estrés, una simulación de largo plazo en régimen transiente fue desarrollada. Cinco escenarios se simularon en el modelo del proyecto Lobo-Marte (EDRA, 1997b) para evaluar los potenciales efectos de los pozos de MSR bajo un rango de escenarios de extracción factibles. El promedio de extracción para este proyecto es de 150 l/s.

Los resultados mostraron que el flujo subterráneo saliente del acuífero de la Quebrada Ciénaga Redonda hacia la cuenca del Salar de Maricunga es relativamente insensible a las tasas de bombeo simuladas. Como consecuencia de ello, los resultados obtenidos para el escenario más probable de bombeo fueron utilizados como datos de entrada del presente modelo.

El efecto transiente producido por el bombeo de los pozos de MSR, se introdujo en el modelo del Salar de Maricunga, relacionando los valores de las condiciones de borde de ambos modelos, como ya se explicó anteriormente. De este modo, los flujos salientes calculados por el modelo de Ciénaga Redonda fueron usados como caudales transientes de entrada al Salar de Maricunga. Las alturas de agua calculadas por el modelo de Ciénaga Redonda se utilizaron como puntos de control para calibrar el modelo del Salar de Maricunga, y además, se consideró que el bombeo de MDO no afecta al flujo entrante por la Quebrada Ciénaga Redonda.

Las condiciones consideradas en cada escenario son las siguientes:

- El tiempo de inicio para la simulación coincidió con el inicio del bombeo de los pozos de MDO, seis años atrás.

- El período simulado se extendió 144 años desde el año 1997, lo que resultó en simulaciones de una duración total de 150 años. Este período es mucho más largo que el tiempo esperado de bombeo de los pozos de MSR y MDO.
- Se consideró que el bombeo de los pozos de MDO continuaría por otros 12 años adicionales desde el año 1977.

Las Figuras 4.20 y 4.21 muestran la superficie equipotencial para los próximos 12 y 50 años, respectivamente. De acuerdo a estas figuras, no se aprecia una modificación importante en la superficie equipotencial, lo que sugiere que no se preveen cambios en el sistema de flujo de aguas subterráneas en el largo plazo.

La respuesta al bombeo en el tiempo, se analizó en cuatro puntos claves dentro del área del modelo. Esto incluyó monitorear el descenso del nivel freático en los pozos actuales de producción en Mantos de Oro y en las cercanías del Río Lamas, además de los flujos subterráneos hacia la Laguna Santa Rosa y el Salar de Maricunga.

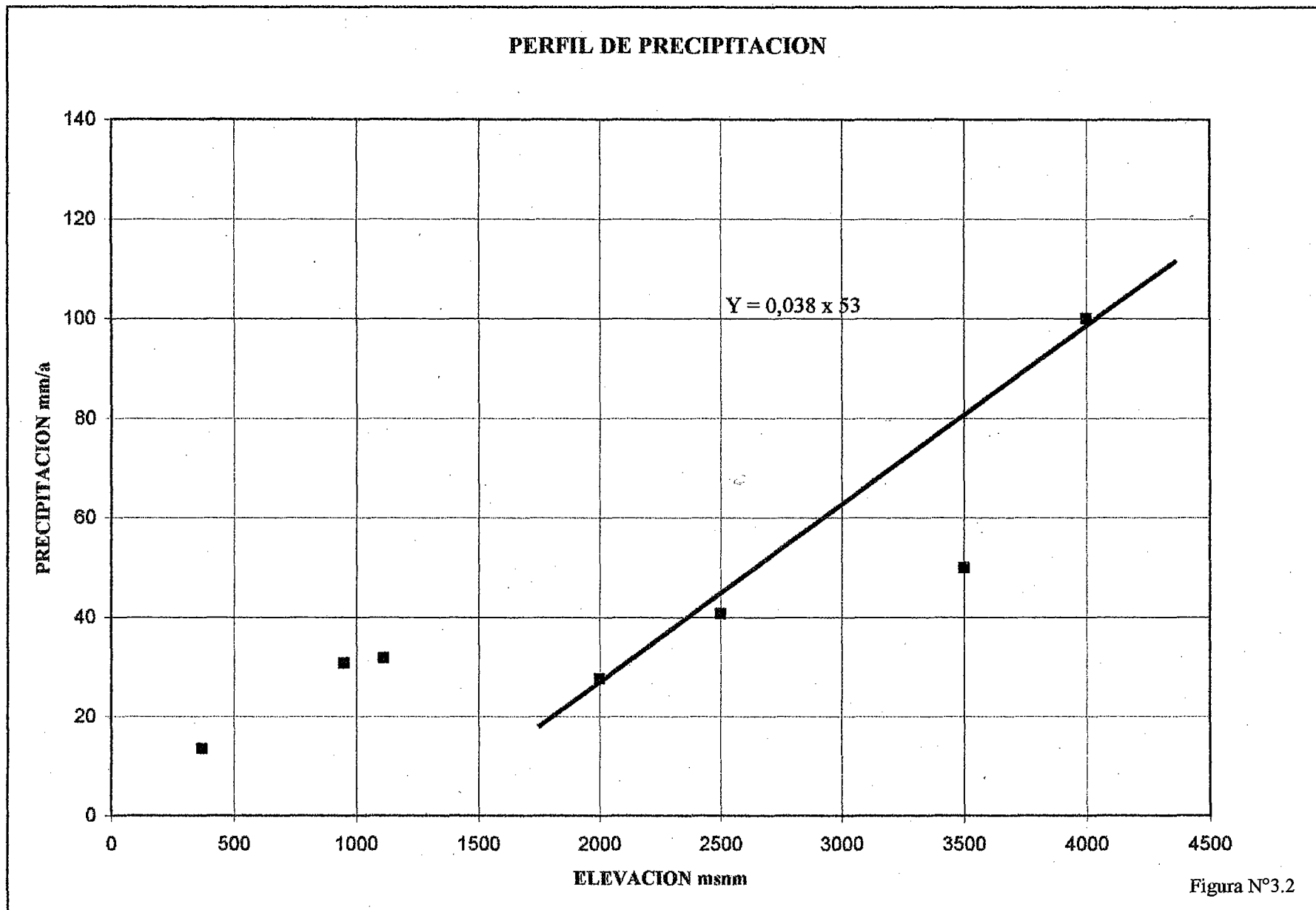
Los niveles piezométricos calculados en los pozos de MDO y cerca a la desembocadura del Río Lamas (cerca al límite aguas arriba del modelo, considerada una zona sensible a cambios en el régimen de flujo) revelan los descensos debido al bombeo. La Laguna Santa Rosa y el Salar de Maricunga son zonas de descarga principales, incluyendo aguas superficiales y vegetación adyacente. Una descripción de la respuesta al bombeo en estas localidades se describe a continuación. Todas las predicciones consideran que las condiciones climatológicas calibradas continúan representativas durante los 150 años simulados.

4.5.1. - Pozos de Producción Existentes de Mantos de Oro

La respuesta al bombeo de los pozos de MDO se monitoreó durante la simulación del escenario más probable. Estas respuestas se presentan en las figuras 4.22a y b, y figura 4.23a, para los pozos MDO-9, MDO-23, y MDO-24, respectivamente. Estas figuras muestran la respuesta temporal del nivel de agua en cada pozo, para el escenario de bombeo más probable. Como se puede observar, la respuesta al bombeo es retardada en el tiempo y el descenso total alcanzaría un valor inferior a 0.9 m.

4.5.2 - Río Lamas

Dentro del acuífero principal, se evaluó la respuesta al bombeo de MDO y MSR, en el sector inmediato al Río Lamas (coordenadas U.T.M. 5.030.00E, 7.005.000N), para las mismas condiciones de simulación anterior. Las alturas de agua simuladas en condiciones transientes se presentan en la Figura 4.23b, donde se advierte un descenso de 0.1 m., que, al igual que en el sitio de los pozos de MDO, se considera insignificante con respecto a las variaciones naturales de los niveles estáticos, más aun si se considera que este sector se ubica en la zona de recarga del acuífero, situación que hace que las fluctuaciones naturales tengan una amplitud mayor que en las zonas más cercanas a la zona de descarga.



P = Precipitación (mm)

H = Elevación sobre el nivel del mar (msnm)

3.2.3. - Perfil de Temperatura

El perfil de temperaturas determinado se incluye en la Figura N° 3.3, donde el gradiente de temperatura, de acuerdo a los datos existentes, se estableció en el valor $-0,63\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ para elevaciones sobre 1000 m.s.n.m..

Este gradiente corresponde a la tasa de disminución de la temperatura para aire con poco contenido de humedad y se ajusta en forma aceptable a los pocos datos disponibles; no obstante, para su determinación se han tenido en cuenta los perfiles utilizados en estudios similares tanto al norte como al sur de la zona en estudio.

La ecuación que representa la variación de la temperatura con la elevación en la zona, la cual es válida para elevaciones superiores a 1000 m.s.n.m. es la siguiente:

$$T = -0,0063 \cdot H + 26,385 \quad (9)$$

donde:

T: temperatura media anual

H: elevación sobre el nivel del mar en metros

Tabla: N°5:

Temperatura Media Anual – III Región

Estación	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Los Loros	19.8
Embalse Lautaro	18.5
Potrerrillos	11.8
Lag. Negro Francisco	-1,8

A continuación se efectúa la aplicación de la metodología indicada considerando las hipótesis fijadas a través del perfil de precipitación, del perfil de temperatura, de la fórmula de Turc y de valores de evaporación que se discutirán mas adelante.

Como se mencionó antes, el cálculo de los balances se efectúa por bandas de elevación para lo cual la hipsometría de cada subcuenca se determinó en bandas de 200 metros cada una.

PERFIL DE TEMPERATURA

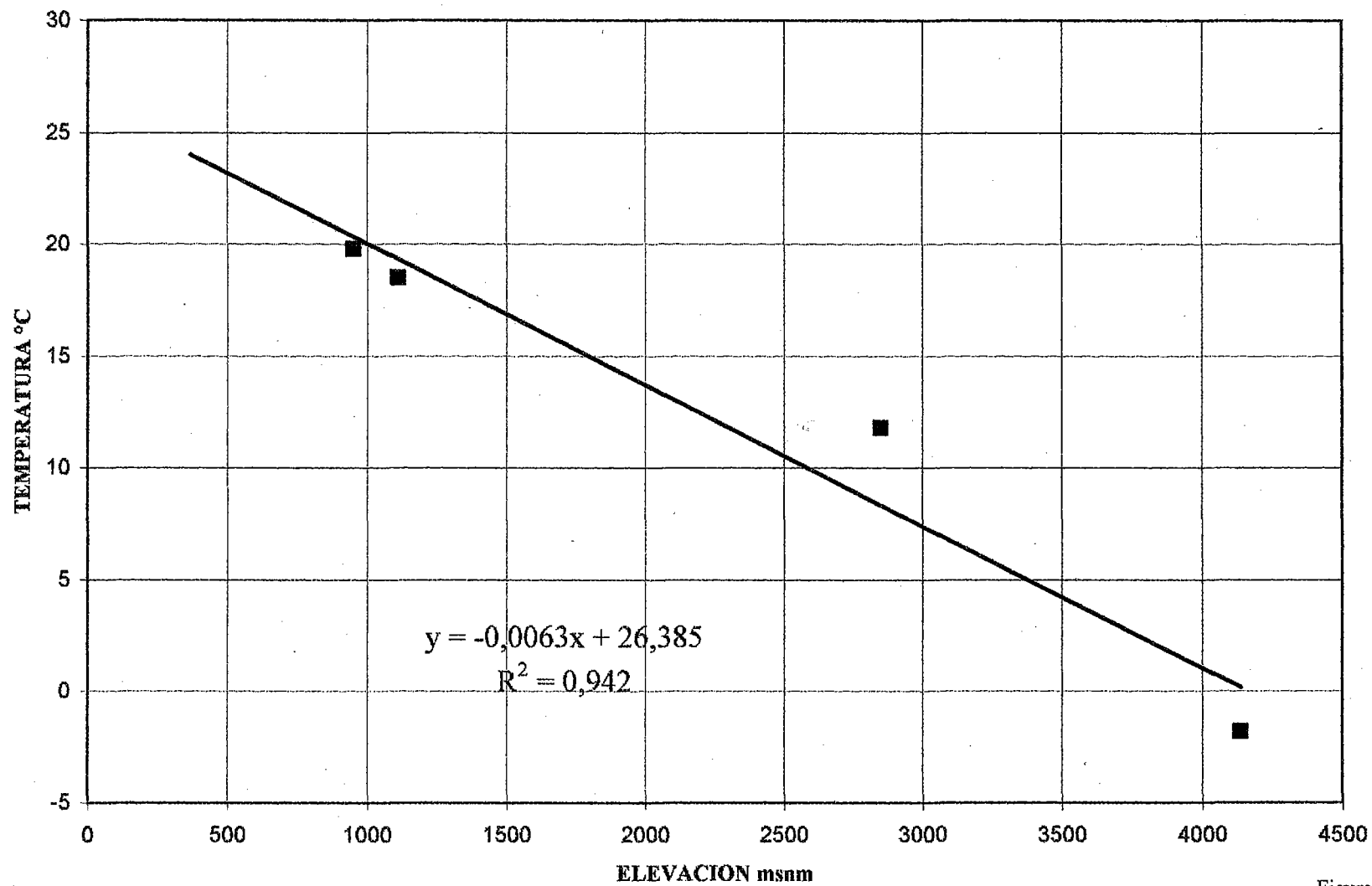


Figura N° 3.3

El cálculo de los balances se realiza subdividiendo la cuenca en:

- Subcuencas controladas por fluviometría
- Subcuencas no controladas
- Salar mismo

3.3. - Subcuencas Controladas

Con el objeto de verificar la bondad de las hipótesis fijadas, se establecen primero los balances de las cuencas controladas (cuencas con estadística de caudales), para lo cual se han seleccionado las siguientes:

- Río Lamas
- Valle Ancho antes Barros Negros,
- Barros Negros antes Valle Ancho
- Villalobos antes Valle Ancho.

Aplicando la ecuación del balance hídrico, en la cual la escorrentía se obtiene por diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración, se obtiene los siguientes resultados, los cuales se incluyen en la Tabla N° 6, que se entrega a continuación:

Tabla N° 6:

Balance Hídricos en Subcuencas Controladas – Salar de Maricunga

SUBCUENCAS	SUPERFICIE Km ²	PRECIPITACION		EVAPOTRANSP.		ESCORRENTIA	
		Mm	m ³ /s	mm	m ³ /s	mm	m ³ /s
Río Lamas	133.8	172.2	0.730	120.8	0.512	51.4	0.218
V. Ancho antes B. Negro	246.4	144.0	1.125	123.4	0.964	20.6	0.161
B. Negro antes V. Ancho	88.5	157.4	0.442	128.6	0.361	28.6	0.081
Villalobos antes V. Ancho	91.5	138.0	0.400	118.7	0.345	19.2	0.056

La comparación entre la escorrentía calculada y la medida es la siguiente, información que se entrega en la Tabla N° 7:

Tabla N° 7:
Discrepancia en los Balances – Salar de Maricunga

SUBCUENCAS	ESCORRENTIA		DISCREPANCIA	
	B. Hídrico M ³ /s	Medida m ³ /s	m ³ /s	%
Río Lamas	0.218	0.233	- 0.015	- 6.4
V. Ancho antes B. Negro	0.161	0.078	+ 0.083	+ 106
B. Negro antes V. Ancho	0.081	0.074	+ 0.007	+ 9.5
Villalobos antes V. Ancho	0.056	0.042	+ 0.014	+ 33

De los cuatro balances establecidos, en dos de ellos (Río Lamas y Barros Negros), se obtienen discrepancias inferiores al 10 %. En el Villalobos, la discrepancia es 33% y por último el balance de Valle Ancho antes de Barros Negros, presenta una discrepancia del 106 %, lo que implica que la componente subterránea es muy importante. Los defectos en el balance respecto a la escorrentía, es debido a que los caudales observados miden sólo el caudal superficial y no consideran el flujo subterráneo.

Se debe recordar que la escorrentía se refiere a todo el flujo, es decir subterráneo y superficial y por esa razón, las comprobaciones son válidas en los casos en el cual el flujo superficial medido corresponde, prácticamente, a todo el flujo de la cuenca en ese punto. En los ríos Barros Negros, Lamas y Villalobos, se considera que aceptablemente se cumple esa condición y es por ello que la discrepancia es pequeña.

En consecuencia, las hipótesis fijadas al comienzo, el perfil pluviométrico, el perfil termométrico y la fórmula de Turc, aparecen, de acuerdo a la información disponible y a la discusión anterior, como razonablemente aceptables y aplicables al resto de las subcuencas de la Cuenca del Salar de Maricunga. Es conveniente agregar también que la escorrentía se produce sobre los 4000 m.s.n.m., en las elevaciones inferiores a dicha cota, la evapotranspiración iguala a la precipitación, por lo cual la escorrentía se considera cero.

Es importante notar que el rendimiento medio o productividad de las cuencas controladas alcanzan valores de 1,63 l/s/km² para el río Lamas, 0,92 l/s/km² para Barros Negros y 0,61 l/s/km² para el Villalobos, ello considerando que el cálculo del balance es correcto. Tomando en cuenta estos valores y tomando en consideración que Ciénaga Redonda posee su área aportante más importante hacia la alta cordillera, podemos considerar que el rendimiento medio de esa cuenca debe ser muy semejante a la de Barros Negros.

Si estimamos que aproximadamente el 25% de la cuenca se desarrolla hacia el poniente y un 75% hacia la alta cordillera, podemos ponderar el rendimiento específico de Villalobos y Barros Negros, con lo que se obtiene un rendimiento para Ciénaga Redonda de 0.85 l/s/km². Esta cifra

de rendimiento de cuenca se utiliza para estimar el caudal que entra subterráneamente desde el sur, al área del modelo de flujo del sector Lobo-Marté.

Finalmente cabe mencionar que las escorrentías obtenidas a través del balance hídrico planteado aquí, están referidas al promedio anual representativo de un período largo, superior a 30 años.

3.4. - Subcuencas No Controladas.

En la Tabla N° 8 se entregan los resultados obtenidos, para todos los sectores afluentes al Salar. En la primera columna aparece el número de cuenca según la identificación referida en la Figura N° 3.1.

Tabla N° 8:
Balances Hídricos por Subcuencas Afluentes – Salar de Maricunga

SUBCUENCAS (N° Cuenca)	SUPERFICIE Km ²	PRECIPITAC.		EVAPOTRANSP.		ESCORRENTIA	
		mm	m ³ /s	mm	m ³ /s	mm	m ³ /s
Cuencas Menores Noreste (3)	209.3	127.4	0.846	115.2	0.765	12.1	0.081
Quebrada Colorado (4)	31.1	122.0	0.120	115.1	0.114	6.9	0.007
Cuenca Intermedia Colorado – Lamas (5)	78.9	106.9	0.267	104.4	0.261	2.5	0.006
Río Lamas (7)	133.8	172.2	0.730	120.8	0.512	51.4	0.218
Cuenca Intermedia Lamas – Ciénaga Redonda (6)	60.4	106.1	0.203	99.9	0.191	6.3	0.012
Ciénaga. Redonda (12)	725.9	145.9	3.359	119.2	2.745	26.7	0.615
Quebrada Pastillos (9)	205.8	125.3	0.818	113.5	0.741	11.9	0.077
Quebrada Sta. Rosa (8)	83.3	116.2	0.307	110.5	0.292	5.7	0.015
Cuencas Menores Noroeste (1)	284.5	111.9	1.010	107.0	0.966	4.9	0.044
TOTAL AFLUENTE AL SALAR	1813.0	133.3	7.663	114.6	6.587	18.7	1.075

Dividiendo el área afluente al salar en dos grandes sectores, en el sector norte se incluyen las siguientes subcuencas:

- Quebradas Menores
- Quebrada Colorado
- Subcuenca Intermedia 1
- Sector Norte y Oeste

Y en el sector sur, se incluyen las siguientes subcuencas:

- Río Lamas
- Subcuencas Intermedia 2
- Ciénaga Redonda

- Quebrada Pastillos
- Laguna Santa Rosa

De acuerdo a esta subdivisión, el sector norte aporta una escorrentía media anual de $0.138 \text{ m}^3/\text{s}$ y el sector sur aporta $0.937 \text{ m}^3/\text{s}$. A su vez las subcuencas de mayor aporte en el sector sur corresponden al Río Lamas con $0.218 \text{ m}^3/\text{s}$ y Ciénaga Redonda con una escorrentía de $0.615 \text{ m}^3/\text{s}$.

Es importante recordar que el valle de Ciénaga Redonda recibe agua subterráneamente desde el río Astaburuaga, por lo cual el caudal afluente al salar debe incrementarse en dicho monto. En el capítulo de hidrogeología se describe el fenómeno de interconexión y se entregan los valores estimados del caudal subterráneo que entra al valle. Este caudal que contribuye a incrementar los recursos que llegan al Salar de Maricunga, no forma parte del balance de la quebrada Ciénaga Redonda, ya que es agua de otra cuenca. Considerando lo señalado respecto al aporte del Río Astaburuaga, el aporte de la Quebrada Ciénaga Redonda al Salar de Maricunga totaliza un caudal de 739 l/s y un aporte total al salar, de todas las cuencas afluentes de 1.199 l/s .

3.5. - Evaporación desde el Salar.

Para establecer la subdivisión de las diferentes unidades evaporantes, se trabajó con información desde fotografías aéreas (1981, escala 1:60.000), desde cartografía escala 1:50.000 y según el conocimiento de visitas a terreno.

Como costra dura de sal se ha considerado la superficie correspondiente al núcleo del salar y constituida fundamentalmente por una costra dura de cloruros y carbonatos, el nivel freático en este tipo de superficie se estima entre 20 y 40 centímetros. La conductividad del agua en este sector fluctúa entre 50.000 y 100.000 micromhos.

Como zona de inundación se ha considerado la superficie cubierta por una capa de cloruro de sodio, formado por una capa de sal como consecuencia de inundaciones en años especialmente húmedos, el nivel freático se ha estimado entre 5 y 10 centímetros.

Como mezcla de sales se ha considerado la superficie cubierta por arena y arcilla con un alto contenido de sales (sulfatos, cloruros y otros), para este tipo de superficie se asocia un nivel freático entre 5 y 15 centímetros. La conductividad del agua en este sector es de aproximadamente 10.000 μmhos , hacia el extremo Sur del Salar la conductividad baja a 3.000 μmhos .

Como zona intermedia se ha considerado la superficie que posiblemente es de transición entre costra dura, zona de inundación y mezcla de sales.

Como zona exterior se ha considerado la superficie entre los conos y el Salar, con un nivel freático entre 15 y 50 centímetros.

Finalmente se ha considerado la superficie cubierta por agua libre, la cual presenta un alto contenido de sales disueltas.

En la ecuación entregada en el punto 3.1.3, el cálculo de la evaporación utiliza como coeficientes los valores de -8.15 y -3.25 para suelos con cloruros y con sulfatos respectivamente. Además para los suelos con conductividades altas se aplicó un coeficiente de reducción adicional; para $80.000 \mu\text{mhos}$ se aplicó 0.5 y para $10.000 \mu\text{mhos}$ se aplicó 0.7

Para la estimación de la tasa de evaporación del suelo con nivel freático igual a cero, E_0 , de la ecuación (7) se han considerado los antecedentes que se entregan a continuación, la cual se ha basado en información generada y analizada en estudios recientes:

- Estimación por métodos indirectos de la evaporación a través del suelo de salares. (A. Grilli y R. Aravena, 1984).
- Evaporación desde salares: Metodología para evaluar los recursos hídricos renovables. Aplicación en las Regiones I y II. (A. Grilli y F. Vidal, 1986).

Antes de entregar los valores para las tasas de evaporación desde las diferentes superficies es conveniente precisar, de acuerdo a las referencias indicadas, que la evaporación desde superficie freáticas poco profundas puede darse de la siguiente forma:

En suelos suficientemente húmedos, la tasa de evaporación está gobernada por condiciones meteorológicas imperantes en el medio.

La evaporación real desde una superficie de agua libre, salada, se ha estimado tradicionalmente, sobre la base de datos de evaporación de tanque reducidos por un coeficiente de embalse, debido al mayor calentamiento del evaporímetro respecto al terreno natural, y por un coeficiente debido al alto contenido de sales en el agua.

Con relación a antecedentes cuantitativos se tiene lo siguiente: las únicas mediciones directas reportadas en la zona corresponden a las mediciones de evaporación de tanque realizadas en la Laguna del Negro Francisco entre los años 1943 y 1945 por Corfo. Estas mediciones entregan un promedio anual de $2,74 \text{ mm/día}$.

Otra referencia son las estimaciones realizadas en algunos salares de la II Región, de las cuales se puede resumir lo siguiente:

- Mediciones directas de evaporación de tanque en el Salar de Ascotán entregan un promedio de 5.43 mm/día (4/1992 a 1/1995).
- La evaporación de tanque en el Salar de Atacama se ha estimado en 9.03 mm/día .

- Para la estimación de la evaporación desde una superficie libre, en el Salar de Atacama, se aplicó un coeficiente de corrección de 0.49 que incluye el efecto de salinidad y el factor de embalse.
- En el Salar de Ascotán se aplicó el mismo coeficiente más una reducción del 20% por efecto de la temperatura.

Tabla N°9: Evaporación desde Superficies de Agua Libre

	Evaporación Tanque (mm/día)	Eo (mm/día)
Salar de Atacama (2.450 m.s.n.m.)	9.03	4.27
Salar de Ascotán (3.700 m.s.n.m.)	5.43	2.82

Además de estos datos, se tienen las estimaciones efectuadas para Lobo-Marte, en el estudio de variables climáticas realizado por Senes Consultant Limited (Mayo, 1997), donde se efectúa una estimación basada en mediciones realizadas en el Salar de Punta Negra. De acuerdo a este estudio se propone una tasa de evaporación de agua libre de 3.97 mm/día y una tasa de evaporación desde suelos saturados de 3.34 mm/día.

Para efectos de estudio, se considerarán estas últimas tasas de evaporación, teniendo en cuenta que son concordantes con el rango de las estimaciones realizadas para los salares de la II Región.

En la Tabla N° 10, se muestran los resultados de evaporación obtenidos, donde la primera columna entrega las respectivas superficies de cada zona característica del salar; en la segunda columna se entrega el nivel freático medio estimado para cada zona; en la tercera columna se entrega la conductividad eléctrica del agua para los casos más representativos en que se contó con esta información; en la cuarta columna se entrega la evaporación inicial (Eo). Para la zona de costra dura de sal se consideró el valor de 1,67 mm./día que corresponde a la tasa de evaporación desde suelos saturados afectada por el coeficiente 0.5 por el alto contenido de sales.

En la zona de inundación, zona intermedia y zona exterior, se consideró directamente la tasa de evaporación de suelos saturados; en la zona de mezcla se consideró una Eo de 2.34 mm/d, correspondiente a la tasa de evaporación de suelos saturados afectada por el coeficiente 0.7 por la menor cantidad de sales en esta zona. En la sexta y séptima columnas, se entrega la tasa de evaporación calculada según la ecuación (7) y según sea un predominio de cloruros o sulfatos contenido en el agua; en la octava columna se entrega la tasa de evaporación final considerada para la zona de mezcla de sales, la zona intermedia, y en la zona exterior se consideró el promedio; en la última columna se entrega la evaporación total expresada en términos de caudal.

Para el estudio de evaporación del salar de Maricunga, se estableció una subdivisión de cinco unidades, las que se encuentran en relación directa con la profundidad del agua y la evaporación y son las siguientes:

- **Sal o Zona de Inundación (S):** corresponde a la superficie del núcleo del salar, que está constituida fundamentalmente por una costra dura de cloruros y carbonatos. El nivel freático se estima entre los 20 a 40 cm.
- **Costra Dura (C):** se ha identificado al área que superficialmente es más resistente producto de una mayor profundidad en el nivel del agua. Presenta tonos más oscuros y está generalmente cubierta por una delgada capa de material clástico fino incorporado por acción del aire o del agua.
- **Mezcla de Sales (M):** se incluye la superficie cubierta por una capa compuesta por arena y arcilla con un alto contenido de sales (sulfatos, cloruros y otros). El nivel freático se estima entre los 5 a 15 cm.
- **Zona Intermedia (Z.I):** corresponde al área definida entre las unidades de sal, costra dura y mezcla de sales y podría representar una zona de transición.
- **Agua (A):** se ha destacado la presencia de agua como una unidad que es una variable estacional.

Tabla N° 10:
Evaporación desde el Salar de Maricunga

	Area Nivel F.		Conduct μmhos	Eo (mm/d)	E (Cl) (mm/d)	E(SO ₄) (mm/d)	E. Total (mm/d)	Total (m ³ /s)
	Km ²	(m)						
Costra Dura De Sal	29.0	0.50	80000	1.67	0.0283	---	0.0283	0.010
Zona De Inundación	21.9	0.10		3.34	1.48	---	1.48	0.375
Mezcla de Sales	59.1	0.30	10000	2.34	0.20	0.88	0.54	0.369
Zona Intermedia	12.7	0.50		3.34	0.06	0.66	0.36	0.053
Agua Libre	14.8	0.00	3000	3.97	---	---	3.97	0.680
Zona Exterior	15.0	0.70		3.34	0.01	0.34	0.18	0.031
Total	152.5							1.518

Con estos antecedentes se tiene entonces, una descarga promedio desde la superficie del salar de 1,518 m³/s (Ver Figura N° 3.4).

3.6. - Balance de Agua del Salar

De acuerdo a lo propuesto para la **Etapa 4**, se estableció un balance preliminar del Salar de Maricunga, considerando valores para la recarga tanto natural como artificial, descarga, caudales pasantes y el volumen embalsado.

3.6.1. - Entradas o Recargas

El sector de estudio corresponde a una cuenca de tipo endorreico, a la que confluyen numerosas quebradas, con cuencas de diversa extensión, en que algunas presentan cursos de agua de régimen permanente y otras presentan régimen semi permanente. También confluyen a ésta, algunos ríos y esteros menores, los que presentan cursos de agua de carácter permanente, especialmente los que se localizan hacia el sector sur. Todos los cursos de agua, al llegar al plano del salar, se infiltran y pasan a formar parte de la recarga del agua subterránea del salar.

Lo que se entiende por entradas al salar son, fundamentalmente, la precipitación y el aporte de las quebradas afluentes y subcuencas intermedias.

Sobre la base de los antecedentes hidrológicos obtenidos, se tiene que las subcuencas que se ubican al este del salar, es decir, en las quebradas Menores (Sector Norte/Este y Sector Norte/Oeste), Colorado y cuenca intermedia Colorado-Lamas, ocupan una superficie de 603.8 km². Las precipitaciones son del orden de 120 mm y la evapotranspiración es del orden de 115 mm. , con una escorrentía media anual o recarga al sistema de:

$$Q = 138 \text{ l/s}$$

El sector ubicado al sur del salar, que esta constituido por las subcuencas: Río Lamas, cuenca intermedia Río Lamas- Ciénaga Redonda, Ciénaga Redonda, Quebrada Pastillos y Quebrada Santa Rosa, ocupan una superficie de 1.209.2 km². De acuerdo al balance hídrico, la precipitación del sector sur es del orden de 131 mm, de las cuales, las que reciben mayor aporte son los ríos Lamas, Ciénaga Redonda y Quebrada Pastillos, y la evapotranspiración de este sector es del orden de 112 mm, dando origen a una escorrentía media anual de:

$$Q = 937 \text{ l/s}$$

La recarga real del salar, de acuerdo a lo expuesto en forma precedente, debe incluir también el valor corregido de los aportes de Ciénaga Redonda. Para explicar este valor, es necesario aclarar que el sector debe entenderse como una cuenca mayor a la cual confluyen otras cuencas, y por lo tanto tiene su propio balance.

En consecuencia se puede establecer un balance menor o sub-balance para Ciénaga Redonda, que se define de la siguiente forma:

$$Q_{CR} = Q_{SR} + Q_A - Q_{EVV}$$

donde:

Q_{SR} = Caudal subterráneo calculado por rendimiento de cuenca

Q_A = Aporte subterráneo del Río Astaburuaga

Q_{EVV} = Descarga por evapotranspiración desde las vegas

El caudal subterráneo calculado alcanza el valor de 615 l/s, (614,49 l/s calculado), el cual se obtiene de la multiplicación del cálculo estimado del rendimiento de Ciénaga Redonda (0,8465 l/s/km²) por el área total de la cuenca (725.9 km²). Como se dijo antes, en el balance hidrológico, el rendimiento es el resultado de la ponderación de los rendimientos específicos de las cuencas que se encuentran en el sector este, las que aportan el 75%, más las cuencas del sector oeste que aportan el 25%.

El flujo subterráneo del Río Astaburuaga aporta, hacia la Quebrada de Ciénaga Redonda, un caudal del orden de 124 l/s, los cuales deben sumarse a la escorrentía calculada para Ciénaga Redonda. Con esto se tiene que:

$$Q_{CR} = 615 + 124 = 739 \text{ l/s}$$

donde:

Q_{CR} = Caudal Subterráneo Ciénaga Redonda

A este último valor se le debe considerar una nueva corrección, que es inducido por el proceso de evapotranspiración de las vegas que existen en el valle de Ciénaga Redonda. Estas vegas se generan en los estrechamientos del valle, donde el agua subterránea se ve obligada a subir a la superficie, debido a la disminución de la sección de escurrimiento del flujo subterráneo, formándose así estas zonas húmedas. La evaporación de estas zonas, se debe considerar como pérdida del flujo subterráneo, la cual según el cálculo de SENES, es de 1.220 mm/año.

Si se considera que el área total aproximada de vegas es de 0,6 km² para la Vega Barros Negros y Ciénaga Redonda y de 1,4 km² para la Vega Ciénaga Redonda frente a Valle Ancho, entonces se tiene que:

$$2,6 \times 10^6 \times 1.220 = 3.172.000 \text{ m}^3/\text{año}$$

El cual en términos de flujo equivale a un caudal de evapotranspiración de vegas de:

$$Q_{EVV} = 100 \text{ l/s}$$

En consecuencia, se tendrá que el caudal total afluente de Ciénaga Redonda al salar es:

$$Q_{CRA} = 739 - 100 = 639 \text{ l/s}$$

Finalmente según lo analizado en el capítulo de Hidrología, la recarga o escorrentía afluente total en el salar mismo, considerando el valor corregido de Ciénaga Redonda, ha sido estimada en:

$$Q_A = 1.099 \text{ l/s}$$

Por otro lado, se ha estimado que la precipitación total para las cuencas afluentes al salar, es de 7.663 l/s (ver Tabla N°8). Para la totalidad de la cuenca, es decir, las subcuencas y el salar mismo, se estimaron valores de 8.012 l/s, con lo cual se infiere que la precipitación que cae sólo sobre el salar es de 349 l/s.

Entonces si se considera la precipitación directa al salar (Q_P), como;

$$Q_P = 349 \text{ l/s}$$

se llega a la conclusión de que la recarga total al salar (Q_{TOTAL}) es de:

$$Q_{TOTAL} = 1.448 \text{ l/s}$$

Con estos antecedentes podemos completar el cuadro de recarga o balance de agua del Salar de Maricunga, el cual se presenta en la Figura N° 3.4.

3.6.2. - Salidas o Descarga:

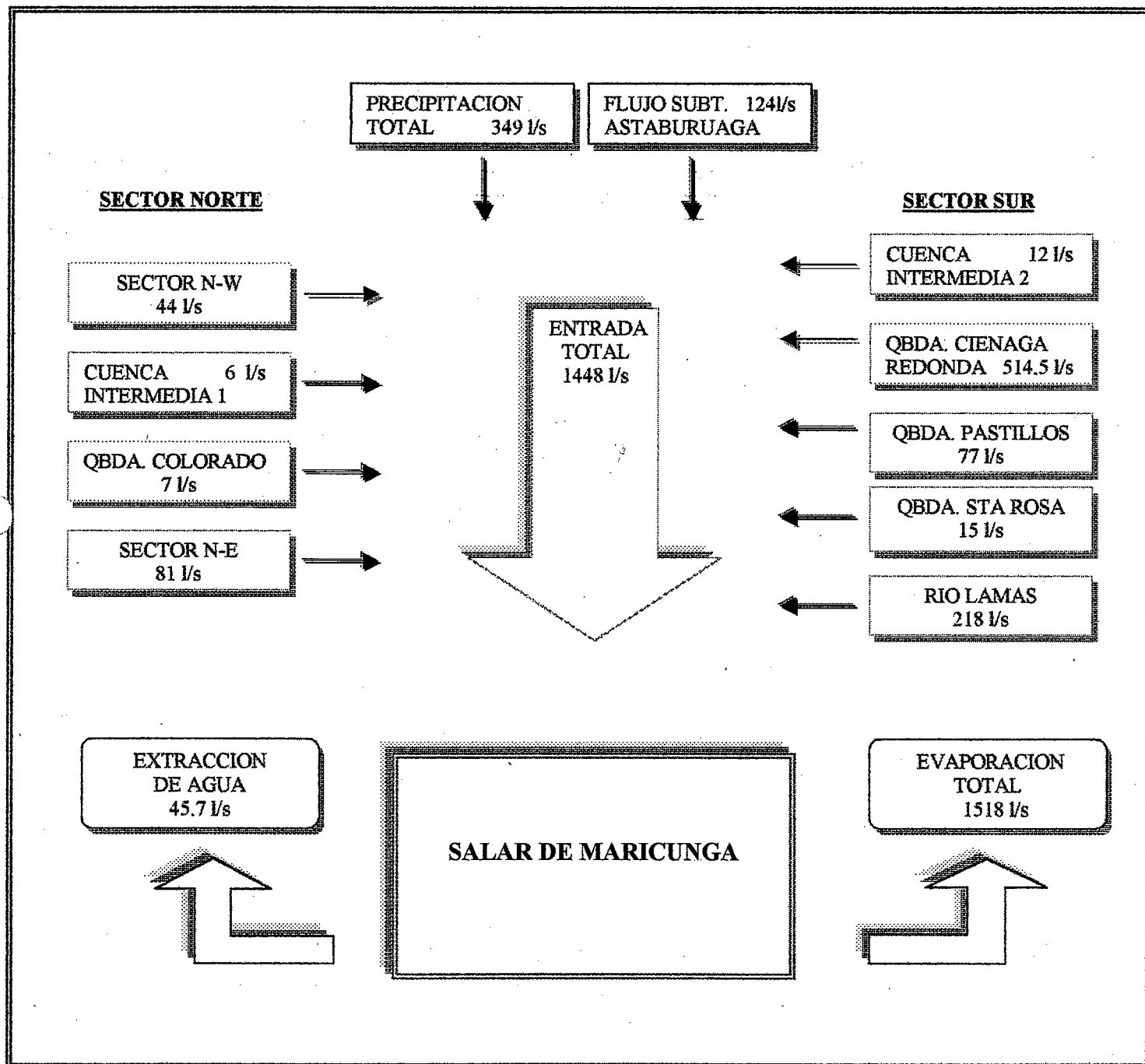
El flujo de entrada producto de la escorrentía de las distintas quebradas, esteros y ríos que confluyen al salar, representa la recarga de la cuenca y por ser una cuenca cerrada, el mecanismo de salida está dado por la evaporación y/o evapotranspiración que representa la descarga del sistema.

Como todo proceso natural, el equilibrio del sistema es dinámico y habrán años en los cuales uno u otro componente, será mayor o menor que el otro. Sin embargo, en el largo plazo, conceptualmente tanto la entrada como la salida, tienden a un equilibrio que hace que el salar se mantenga.

La variación de este equilibrio puede visualizarse sobre las áreas evaporantes contenidas en el salar, como las lagunas y vegas, que varían su tamaño dependiendo de la recarga recibida. Como el salar tiene un sector a la cual le corresponde la tasa de evaporación más alta, su variación en tamaño influye fuertemente en la determinación de la evaporación total.

Por otro lado, la descarga artificial se puede dividir en una descarga teórica y una descarga real. La descarga teórica está basada en los derechos de agua existentes sobre el acuífero y aguas de los ríos y esteros afluentes, en cambio la descarga real se refiere al uso real del agua en la cuenca.

ESQUEMA DEL BALANCE DE AGUAS DEL SALAR DE MARICUNGA



La situación teórica puede deducirse de la Figura N° 1.2, donde aparecen los derechos existentes en el área de estudio, y se verifica que la cantidad de derechos (descarga potencial) es mucho mayor que la descarga real actual.

A pesar de existir varias compañías que poseen derechos de aprovechamiento de agua en el salar, la única empresa que explota sus recursos es MDO, que tiene tres pozos de explotación en el sector sur, identificados en la figura señalada anteriormente, los cuales explota en forma alternada.

Los antecedentes de explotación real del agua subterránea del salar indican que la explotación media del agua subterránea, por parte de MDO es de 45,7 l/s (Tabla N° 11-B- Anexo B). Esta situación no afecta significativamente al sistema de balance natural del Salar de Maricunga, ya que la cantidad extraída es muy pequeña frente a la capacidad de almacenamiento del acuífero que es el principal restaurador del equilibrio.

En consecuencia, de acuerdo al sistema de balance del Salar de Maricunga, el principal proceso de salida es la descarga natural, correspondiente al proceso de evaporación, el cual se produce desde las zonas de aguas libres y suelos con niveles de agua a poca profundidad.

Con relación a estas subdivisiones, referidas en el capítulo sobre evaporación del salar, mostradas anteriormente en la Tabla N° 8, la descarga del sistema representada en forma natural por los procesos de evaporación, ha sido estimada en:

$$Q_E = 1.518 \text{ l/s.}$$

De acuerdo al balance hídrico establecido y de acuerdo al valor corregido para Ciénaga Redonda, es posible observar que existe una diferencia entre el flujo que entra y el que sale del sistema, que es de 70 l/s. Esto genera una discrepancia del 4,8% de acuerdo al flujo de entrada al salar y 4,6% para la salida. En consecuencia, la descarga total del salar, dada por Q_E , tiene un error de balance menor al 5%, lo cual se considera como aceptable en el largo plazo.

Sobre la base de estos últimos datos, se puede resumir el balance corregido del Salar de Maricunga (Figura 3.4), según las principales entradas y salidas, en la siguiente tabla:

Tabla N° 11:
Balance de Aguas Según Entradas y Salidas – Salar de Maricunga

ENTRADAS		SALIDAS	DISCREPANCIA
Escorrentía Afluente (m ³ /s)	Precipitación (m ³ /s)	Evaporación (m ³ /s)	m ³ /s
1,099	0,349	1,518	0,070

4. - MODELO HIDROGEOLOGICO DEL SALAR DE MARICUNGA

En el presente estudio se utilizó la modelación numérica para evaluar los potenciales efectos a corto y largo plazo causado por el bombeo de los pozos de MDO y MSR. Se desarrolló, calibró y utilizó un modelo de flujo de agua subterránea para poder simular condiciones futuras de bombeo y recuperación. El sistema de modelación requirió además, de un conocimiento adecuado de la hidrogeología regional, de los principales componentes del sistema de flujo de agua subterránea, y de la interrelación entre ellos.

En conjunto con el modelo del área del Salar de Maricunga, se desarrolló otro modelo para la Quebrada Ciénaga Redonda, una de las quebradas tributarias de mayor importancia, en la que se simuló el régimen hidrogeológico en esta subcuenca. A pesar de que ambas cuencas están fuertemente conectadas, éstas se estudiaron en forma separada, para poder evaluar mejor los efectos locales. El modelo del área del Salar de Maricunga evaluó los efectos de los pozos de MDO y MSR en las cercanías del Salar, mientras que el modelo de la Quebrada Ciénaga Redonda (EDRA, 1997b) evaluó solamente los efectos de los pozos de MSR. Los efectos de los pozos de MDO alcanzan hasta el área del modelo de la Quebrada Ciénaga Redonda. Dicho modelo se extiende desde el sur de la Vega Barros Negros hasta el norte de la Vega Ciénaga Redonda, e incluye los caudales afluentes de las Quebradas Villalobos y Carcanales, y de aguas superficiales y subterráneas desde la Vega Barros Negros. El modelo del presente proyecto se conecta al modelo de la Quebrada Ciénaga Redonda y se extiende hacia el área de descarga natural de ambas cuencas modeladas.

En esta parte del informe, se describen conceptualmente las principales características hidrogeológicas del área del Salar de Maricunga, y se indica cómo estas fueron incorporadas en el modelo. Se describe también, la calibración del modelo y se hace una descripción general del sistema de flujo. Posteriormente, se presenta un análisis de sensibilidad, con el fin de mostrar el grado de incertidumbre inherente en las predicciones del modelo y finalmente, las distintas respuestas que los flujos de agua subterránea presentan debidas al bombeo de los pozos ubicados en los puntos de interés del acuífero.

4.1. - Modelo Hidrogeológico Conceptual

Un modelo numérico no puede representar en términos prácticos, todas las características de detalle que un sistema de flujo de agua subterránea tiene, es por ello, que es necesario obtener una visión física conceptual representativa del sistema de flujo, de manera de asegurar que las características generales y más relevantes del área de estudio, estén adecuadamente representadas dentro del modelo.

En nuestro caso, después de una definición del área de estudio, se describe cómo las características conceptuales más importantes fueron consideradas y representadas dentro del modelo.

4.1.1. - Area de Estudio

El área de este modelo fue elegida para incorporar en el sistema de flujo en las cercanías de los pozos de MDO, extendiéndose desde las áreas en donde se producen las recargas laterales al acuífero, hasta el área de descarga de dichas aguas. Como puede observarse en la Figura 4.1, el área del modelo se extiende desde el punto medio del Salar de Maricunga, hacia el sur, abarcando las desembocaduras de las quebradas que proveen la recarga al acuífero principal del Salar de Maricunga (llamado acuífero principal en este informe).

El área del modelo fue escogida considerando los siguientes criterios: incluir los principales caudales afluentes, seguir las barreras naturales de flujos y/o líneas de flujo y los límites naturales del acuífero principal, así como también la ubicación del campo de pozos de MDO. Cabe mencionar, que el área del modelo se prolongó más allá de la zona de influencia de los pozos de MDO, para asegurar que las condiciones de borde del modelo no influyeran en la capacidad que éste tiene para predecir los impactos asociados al bombeo.

El área de estudio no se extiende más allá del punto medio del Salar de Maricunga, porque no se espera que las aguas descargadas al Salar, desde el área del modelo, fluyan más allá de este punto. Dicho punto recibe aguas desde todas las direcciones, y también se le considera como un divisor de aguas superficiales y subterráneas. Por lo tanto, presenta una condición de borde natural en el sistema físico de flujo.

A pesar de que el nivel de agua subterránea en la Laguna Santa Rosa, es una preocupación del proyecto, ésta no fue integrada en el área del modelo, puesto que está ubicada en una zona que coincide con el límite de dos cuencas, por lo cual, el agua subterránea hacia la laguna fluye del este y oeste. En el modelo sólo se consideraron flujos de agua provenientes del este, ya que el flujo desde el oeste no tiene relación con el bombeo de MDO ni con la explotación planeada por MSR.

En un perfil vertical, el modelo incluye el acuífero principal del Salar de Maricunga, la unidad de arcilla/limo, y los primeros 50 m de roca fundamental. El acuífero principal es homogéneo, anisotrópico, no confinado y de considerable espesor. A pesar de que todo el espesor del acuífero se incluyó en la preparación del modelo, el MODFLOW (A Modular Three – Dimensional Finite – Difference Ground Water Flow Model – USGS 83 –875) usado, sólo simula la porción saturada del acuífero, es decir, se empieza la simulación sobre la base del espesor completo y luego, durante la simulación misma utiliza solamente el espesor saturado.

4.1.2. - Entradas de Flujos de Agua Subterránea

En general, la mayor parte del flujo de agua subterránea que entra al acuífero proviene de lugares que están fuera del área de estudio en las zonas más altas y, en el caso de la Quebrada Río Lamas, gran parte del agua proviene del derretimiento de glaciares. Los caudales subterráneos afluentes al acuífero principal provienen de flujos de agua desde las siguientes fuentes:

- Quebrada Pastillos.
- Quebrada Ciénaga Redonda.
- Río Lamas.
- Quebrada Colorado.
- Zonas intermedias.

En general, las entradas al acuífero principal provienen de aguas superficiales que se infiltran al llegar al llano del Salar o que ingresan en forma subterránea desde las quebradas afluentes. Adicionalmente se incorporan aguas de las precipitaciones que se generan sobre el llano del Salar.

Quebrada Pastillos

La cuenca de la Quebrada Pastillos es la que se localiza al sur y más hacia el oeste respecto del acuífero. Las precipitaciones producidas en sus partes superiores (en alturas de 6.000 m.s.n.m.), se canalizan a lo largo de tres cursos angostos de agua, hacia los depósitos aterrazados aluviales ubicados aproximadamente a 3.800 y 3.900 m.s.n.m. Sobre éstos, existen vegas y el flujo de agua superficial que se infiltra al acuífero principal.

Dada la elevación de estas terrazas, en la desembocadura de la Quebrada Pastillos, y del nivel freático pronosticado, se prevé que las infiltraciones ocurren a través de la zona no-saturada (ver Figura 4.2).

Quebrada Ciénaga Redonda

La Quebrada Ciénaga Redonda es la cuenca que provee el mayor flujo de entrada al acuífero del Salar de Maricunga. Esta se extiende más de 30 km hacia el sur.

El flujo desde la quebrada hacia el acuífero del Salar de Maricunga, es principalmente subterráneo, pese a que existe un curso de agua superficial en la Vega Ciénaga Redonda. Este flujo vuelve a introducirse al sistema subterráneo, a medida que el curso entra al llano del Salar y se aleja del estrechamiento que existe frente a la Vega Ciénaga Redonda.

Cabe mencionar que el flujo subterráneo del Valle Ciénaga Redonda es parte de otro estudio de modelación numérica (EDRA, 1997b).

Río Lamas

Las aguas del Río Lamas provienen, principalmente, de los glaciares y de la precipitación de las partes altas de su cuenca. Los glaciares generan un flujo constante de aguas superficiales, que recorren aproximadamente 4 km luego de su desembocadura en el llano del salar antes de infiltrarse.

El curso de agua se ubica a unos 4.000 m.s.n.m., lo que corresponde a una elevación mayor al nivel freático previsto para el área del modelo (aproximadamente 3.900 m.s.n.m.). Esto sugiere que el agua que se infiltra al sistema subterráneo, atraviesa un espesor considerable de material no-saturado.

Quebrada Colorado

Antes de infiltrarse al sistema subterráneo, los flujos afluentes desde la Quebrada Colorado son superficiales. Ellos provienen de las precipitaciones que se producen en las partes altas de la cuenca y que generan los flujos observados a nivel de su desembocadura. En este punto, la elevación de las aguas se encuentra por encima del nivel freático previsto para el acuífero principal del Salar, por lo cual, al igual que el caso anterior, las aguas de esta quebrada se infiltran al sistema subterráneo a través de la zona no-saturada.

Zonas Intermedias

Las zonas intermedias, entre las desembocaduras de las quebradas principales, también recargan el acuífero principal en forma de escurrimientos superficiales, que se infiltran a través de la zona no saturada. Este proceso se considera que ocurre en el punto de contacto entre el acuífero y las montañas, normalmente como eventos discretos, pero que en el modelo fue considerado como un flujo permanente. La tasa utilizada refleja la recarga total anual.

Quebrada Santa Rosa

Los flujos hacia la Laguna Santa Rosa ocurren tanto del este (Quebrada Santa Rosa), como del oeste (acuífero principal de Maricunga). Los aportes de agua desde la quebrada se presentan como flujos superficiales que se descargan directamente al sector poniente de la Laguna Santa Rosa. Como resultado de esto, los flujos de la Quebrada Santa Rosa no ingresan al acuífero. Los flujos de agua subterránea provenientes del este se descargan al sector oriental de la laguna, actuando como un divisor local de aguas subterráneas y superficiales.

Recarga Directa

Una cantidad considerable de precipitación, en forma de lluvia o nieve, puede caer directamente sobre la superficie del acuífero principal. Por lo general, la mayor parte de esta precipitación se evapora rápidamente, dejando poca agua que pueda infiltrarse y recargar el acuífero subyacente. No obstante, el estudio del perfil geofísico realizado durante el transcurso del presente proyecto y al comienzo del derretimiento de la nieve caída durante el invierno de 1997, reveló que los espacios intersticiales en la zona no-saturada estaban cercanos al punto de saturación, lo que sugiere que eventos importantes (1 metro o más) de recarga directa pueden ocurrir. Sin embargo, este evento no es considerado representativo de las condiciones a largo plazo en el proceso hidrológico de esta zona altiplánica. Posiblemente este evento esté asociado al fenómeno del Niño. La recarga directa promedio es estimada entre 2,5 y 26,7 mm/año (Sección 3.4).

4.1.3. - Descarga de Flujos de Agua Subterránea

Existen dos mecanismos importantes de descarga de agua subterránea dentro del área del modelo: evapotranspiración y flujos de agua subterránea hacia el centro del Salar.

El primer proceso ocurre cuando el nivel freático se aproxima a la superficie. Las zonas evaporantes pueden observarse fácilmente en las imágenes satelitales, lo que permite tener una perspectiva de las condiciones naturales de descarga que están ocurriendo en el área.

El segundo mecanismo se refiere al flujo horizontal de agua subterránea que escurre hacia el centro del Salar, donde se evapora. Se debe tener presente que hay un incremento en la salinidad al aproximarse el agua subterránea al centro del Salar, lo cual provoca un aumento en la densidad del agua. Este aumento de densidad no se consideró en el presente estudio, por estar fuera del ámbito del estudio.

4.2. - Metodología de la Modelación

En este estudio, se utilizaron métodos numéricos para simular el sistema de flujo subterráneo, básicamente el método de diferencias finitas utilizadas en el modelo MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988) del United States Geological Survey. Este modelo simula la continuidad del sistema acuífero mediante matrices de celdas discretas, pero de propiedades uniformes.

Una simulación numérica es un instrumento valioso de análisis y evaluación, ya que es capaz de integrar los procesos y las características hidrogeológicas principales y aquellos procesos que controlan el flujo del agua subterránea. Las características incluidas en el modelo son:

- Recarga superficial.
- Evaporación desde la superficie del salar y transpiración de plantas (evapotranspiración).
- Cuerpos de agua superficiales (dentro y fuera del área de estudio)
- Interacción entre agua subterránea y superficial.
- Pozos de bombeo/inyección y su geometría.
- Conductividad hidráulica del acuífero/acuitardo.
- Almacenamiento y compresibilidad del acuífero/acuitardo.
- Porosidad del acuífero/acuitardo.
- Geometría (lateral y vertical) del acuífero/acuitardo.

El uso y desarrollo de los modelos de simulación, otorgan un mejor entendimiento sobre los sistemas de flujo al sintetizar todos los procesos señalados anteriormente. Además, facilita la simulación de cambios dentro del acuífero y sus impactos potenciales.

Para construir un modelo capaz de representar el sistema acuífero del Salar de Maricunga, se ingresó un gran número de datos que incluyó, el siguiente tipo de información:

- Imágenes satelitales.
- Mapas topográficos (escalas 1:2.000 y 1:50.000).
- Estudios geofísicos (información gravimétrica existente y resistividades realizadas para el estudio).
- Información sobre estratigrafía (Ingeniería y Geología Ltda., Mantos de Oro, Minera Santa Rosa).
- Información sobre pruebas de bombeo (Ingeniería y Geología Ltda., Mantos de Oro, Minera Santa Rosa).
- Pruebas de bombeo y niveles freáticos (Mantos de Oro).
- Análisis geoquímicos (Mantos de Oro).
- Información sobre las condiciones climáticas (Minera Santa Rosa).

Las condiciones de borde se establecieron para reflejar el conocimiento actual del sistema de flujo de agua subterránea. El modelo se calibró sobre la base del bombeo existente, antes de simularse bajo condición transiente, para simular los efectos del bombeo de los pozos de MDO y MSR. El período de las simulaciones se extendió más allá del período de bombeo, para evaluar la recuperación del flujo subterráneo.

4.2.1. - Hipótesis del Modelo

Existen varias supuestos o hipótesis inherentes al uso de modelos de flujos de agua subterránea, entre estas se incluyen las siguientes:

- Conservación de masas.
- Flujo laminar (no turbulento).
- Flujo de una fase.
- Gravedad constante.
- Flujo independiente de efectos de densidad.
- Propiedades uniformes dentro de cada celda.
- Solamente flujo saturado (el flujo en la zona no saturada es despreciable).
- No hay disolución de materiales en el sistema

Los supuestos asociados específicamente a esta implementación del modelo MODFLOW son:

- El acuífero principal es homogéneo en toda su profundidad.
- La unidad arcilla/limo es homogénea para todo el área del modelo.
- La unidad de roca fundamental es homogénea para todo el área del modelo.
- Todos los flujos afluentes al acuífero principal corresponden a las quebradas contiguas; no se anticipan afluentes ascendentes desde la roca fundamental o la unidad de arcilla/limo.

- Se asume que las tasas de recarga son constantes; no se simulan eventos de recargas discretas.
- Los efectos potenciales de aguas superficiales extraídas durante los años 80 y comienzo de los 90 del proyecto Marte no se consideraron, ya que no se contó con dicha información.
- La operación de pozos de bombeo de Refugio (cerca de Pantanillos, a unos 30 km a sur del área de estudio), no fue considerada. Esto se debe a los efectos no detectables y distantes estimados para los pozos de MSR (EDRA, 1997b), lo que permite considerar que los efectos de esta operación son despreciables.
- Los flujos afluentes hacia/desde cada celda se producen considerando todo el volumen de la celda (es decir, el bombeo y/o inyección desde una celda con pozo, incluye la celda completa y no sólo del área anular del pozo).
- Los puntos de observación y control corresponden a los centroides de cada celda y su nivel equivale al nivel freático calculado.
- En cada celda, la recarga se aplica como un flujo disperso, que se agrega como un flujo volumétrico total en el centro de la celda.
- Condiciones de borde de altura constante, se aplican en aquellos sectores donde la elevación del agua subterránea es independiente de las tensiones o esfuerzos en el sistema de flujo. Por ello, este borde puede comportarse como fuente infinita de agua subterránea (es decir, el flujo de agua hacia/desde la celda es ilimitado).

4.2.2. - Procedimiento de la Modelación

Para manejar el volumen de información que se requiere para desarrollar y operar el modelo, se utilizó el pre y post-procesador gráfico Visual MODFLOW (WHI, 1996). Además, el software denominado SURFER (Golden Software, 1995) se usó en conjunto con el Visual MODFLOW, para generar interpolaciones y obtener una representación de las superficies topográficas, de las superficies de las unidades de arcilla/limo y de la roca fundamental.

Al introducir las unidades hidrogeológicas al modelo, se establecieron las condiciones de borde para representar:

- Los flujos de las quebradas vecinas.
- La recarga directa al Salar.
- Las descargas anteriormente descritas (evapotranspiración y flujo horizontal hacia el centro del Salar).

Para reflejar las condiciones reales u observadas en terreno, el modelo se calibró modificando los parámetros hidráulicos y su distribución. Una vez realizada una calibración adecuada, se simuló las condiciones de bombeo durante la vida útil de las minas MDO y MSR y el período posterior de recuperación.

Además, se realizó un análisis de sensibilidad para identificar aquellos parámetros más sensibles, lo cual es muy importante para comprender cómo la incertidumbre de algunos parámetros hidráulicos podrían afectar las predicciones del modelo.

4.3. - Implementación del Modelo de Agua Subterránea

El modelo se desarrolló sobre la base de la información disponible y aquella observada durante el transcurso del estudio.

La preparación del modelo incluye la realización de varias etapas, las que se describen a continuación:

- Representación de unidades estratigráficas (espesor y características hidráulicas).
- Definición de condiciones de borde.
- Definición de pozos de bombeo y/o de inyección.
- Selección de puntos y valores de calibración.
- Determinación de zonas donde efectuar el balance de agua.

4.3.1. - Area del Modelo

El área del modelo se seleccionó de forma de integrar el sistema de flujo de interés. Por ello, se extiende desde el borde del Salar (la zona natural de descarga), hacia las áreas en donde se ubican los caudales afluentes más importantes y de acuerdo a los límites naturales del acuífero principal. Cabe mencionar que, además, el área de interés se extendió fuera del radio de influencia de los pozos de MDO, para que las condiciones de borde no afectaran la habilidad que tiene el modelo para predecir los impactos provocados por su bombeo.

En el presente análisis no se justificó establecer un límite hacia la porción norte del Salar, ya que la Quebrada Colorado coincide con una línea de flujo. La Figura 4.3 muestra la ubicación del área del modelo respecto a las cuencas de la zona (observar el borde norte a lo largo de la Quebrada Colorado). El área o dominio del modelo se refiere al área activa en donde se hacen los cálculos, dentro del área de estudio.

El área del modelo se extiende verticalmente desde la superficie hasta los primeros 50 m de la roca fundamental, abarcando el acuífero principal y la unidad de arcilla/limo subyacente. Para incluir todas estas unidades, se interpolaron superficies topográficas continuas del techo de la unidad arcilla/limo y de la roca fundamental. Todos los antecedentes disponibles fueron utilizados para delimitar estas superficies, incluyendo además la siguiente información:

- 8 perfiles geofísicos gravimétricos (Cia. Nacional Minera, 1988)
- Los resultados de estudios adicionales de sondeos de resistividad dentro del Salar (19 puntos de muestreo, insertos en la sección 2).

- Curvas de nivel de los mapas topográficos.
- Antecedentes estratigráficos de la perforación de los pozos MDO-8, MDO-9, MDO-10, MDO-23, MDO-24 y CAN-6 (Cia. Nacional Minera, 1988, e Ingeniería y Geología Ltda. Minera, 1990).

La discretización o malla del modelo varió entre 40 m, en la zona de pozos de MDO, hasta celdas base de 230 m. La Figura 4.4 presenta el área de interés y la variación del tamaño y distribución de las celdas diseñadas para el modelo. Verticalmente, se usó una capa de celdas para representar cada unidad hidrogeológica.

La Figura 4.5 presenta las curvas de nivel de la superficie interpolada del suelo que forman la parte superior del área del modelo. El espesor interpolado de la unidad acuífera, es de 100 y 150 m y va reduciéndose en tamaño hacia la desembocadura de la Quebrada Pastillos, esto se presenta en la Figura 4.6. Asimismo, la Figura 4.7 presenta la superficie interpolada del techo de la unidad de arcilla/limo. El espesor interpolado de la unidad de arcilla/limo fluctúa de <20 m, alrededor del Salar, hasta >100 m, en la zona central del área del modelo.

Dada la salinidad del agua intersticial en el sector del Salar, la unidad de arcilla/limo no se detectó durante los estudios geofísicos. Por ello, esta unidad probablemente, más que ser una unidad de arcilla/limo, pudiera corresponder a la zona que delimita la cuña de agua salada o salmuera del Salar. Los primeros 50 m de la parte superior de la roca basal, se incluyeron en el modelo para poder considerar los posible flujos dentro de esta unidad.

Las Figuras 4.8 y 4.9 presentan los perfiles longitudinal y transversal, respectivamente, utilizados en el modelo, donde es posible visualizar el espesor del acuífero principal, y el de las unidades de arcilla/sedimento y el de la roca basal.

El área del modelo incluye el espesor total del acuífero principal, mientras que el flujo de agua subterránea solamente se produce dentro de la zona saturada.

El acuífero principal se simuló considerando solo una capa, ya que, supuestamente, es relativamente homogéneo y se comporta como una unidad. Además, se estimó que la componente horizontal de la gradiente presenta una dirección preferencial.

4.3.2. - Condiciones de Borde

Las condiciones de borde se fijaron a lo largo del límite del área del modelo considerando la interacción del sistema de flujos internos con el sistema y procesos hidrogeológicos externos, donde las condiciones de borde no se especifican. La condición de barrera o borde impermeable sí se especifica, lo que indica una ausencia de interacción con el sistema externo al área del modelo.

Condiciones de Borde Laterales

Con la excepción del borde del Salar y del flujo proveniente desde la Quebrada Ciénaga Redonda, los contornos se consideraron como bordes impermeables. La condición de borde para el límite del Salar se especificó como nodos de altura constante, para permitir que el flujo de agua subterránea salga hacia el centro del Salar. En la confluencia de la Quebrada Ciénaga Redonda, se simularon pozos de inyección, para poder reproducir de mejor manera el flujo transiente proveniente de ese sector.

El flujo transiente corresponde a los resultados del modelo Lobo-Marte, aguas abajo de la Vega Ciénaga Redonda, los que indican un flujo de agua subterránea fluctuante con el tiempo a través del estrechamiento del acuífero. De esta manera, los dos modelos se han integrado para introducir los efectos del bombeo del proyecto Lobo-Marte, en el modelo del Salar de Maricunga.

Condiciones de Borde del Estrato Inferior

El estrato inferior se consideró sin flujo ya que se asume que no existen flujos verticales o contribución de agua desde las capas inferiores.

Pozos de Bombeo

Los pozos de bombeo se diseñaron para reproducir la extracción de agua desde los pozos MDO-9, MDO-23 y MDO-24. La duración del bombeo para estos pozos fue de 18 años (6 años anteriores y 12 posteriores), los cuáles cubren el período esperado. La tasa de bombeo para los años anteriores fue asignada igual a la media del período, obtenida mediante las estadísticas de consumo de agua de La Coipa de Mantos de Oro. El caudal promedio obtenido equivale a 43.4 l/s, para el período 1994-1997. Para los 12 años posteriores, un caudal de 45 l/s fue utilizado, de acuerdo a la información entregada por MDO (Tabla 11-B, Anexo B). En el modelo, estos pozos fueron ubicados en el acuífero y el caudal dividido igualmente entre los tres pozos.

La Figura 4.11 presenta un resumen de las condiciones de borde utilizadas en el modelo.

4.3.3. - Distribución de la Conductividad Hidráulica y del Almacenamiento del Acuífero

El análisis de los antecedentes disponibles indican que la conductividad hidráulica, en todo el acuífero, es relativamente uniforme. Los resultados de un estudio de pruebas de bombeo del pozo CAN-6 (Ingeniería y Geología Ltda., 1990), ubicado al este del Salar y al norte del área de estudio (Figura 4.3), indican que la conductividad en ese sector del acuífero es de 1×10^{-4} m/s. Asimismo, estudios de pruebas de bombeo de los pozos de Marte (1 y 2), sugieren que el valor de este parámetro es entre 3×10^{-4} y 5×10^{-4} m/s. Estudios anteriores realizados por Pozos Profundos C. P. A. (1988) en estos pozos arrojaron un rango amplio de valores de conductividad: 1.5×10^{-4} a 8.5×10^{-4} m/s.

Para el coeficiente de almacenamiento se aplicó un valor de 0,28, que corresponde al valor de un acuífero no confinado y que fue asignada a toda el área del modelo. Este valor se calculó sobre la base de los resultados de las pruebas de bombeos que se realizaron en los pozos de MSR (EDRA, 1997b).

4.3.4. - Balance de Masas

Al modelo se le incorporaron diferentes zonas de balance de masas, para seguir las entradas de agua claves para el funcionamiento del modelo. Por eso, las zonas independientes del balance abarcan cada uno de los principales afluentes, los pozos de MDO y las zonas de recarga intermedias. El separar estas zonas, permite establecer los flujos afluentes de cada región y asegurar que ellos están en concordancia con los cálculos del balance hidrológico de agua. Esto último permite además identificar los posibles impactos potenciales generados por el bombeo de los pozos.

4.4. - Calibración del Modelo de Flujo de Agua Subterránea

Inicialmente, el modelo se usó para simular las condiciones de bombeo observadas, para así calibrar la distribución de conductividad hidráulica dentro del área del modelo. El parámetro ideal para calibrar el modelo es la conductividad y su distribución, ya que la recarga al Salar y descargas totales están bien establecidas.

4.4.1. - Calibración de Parámetros y Puntos de Control

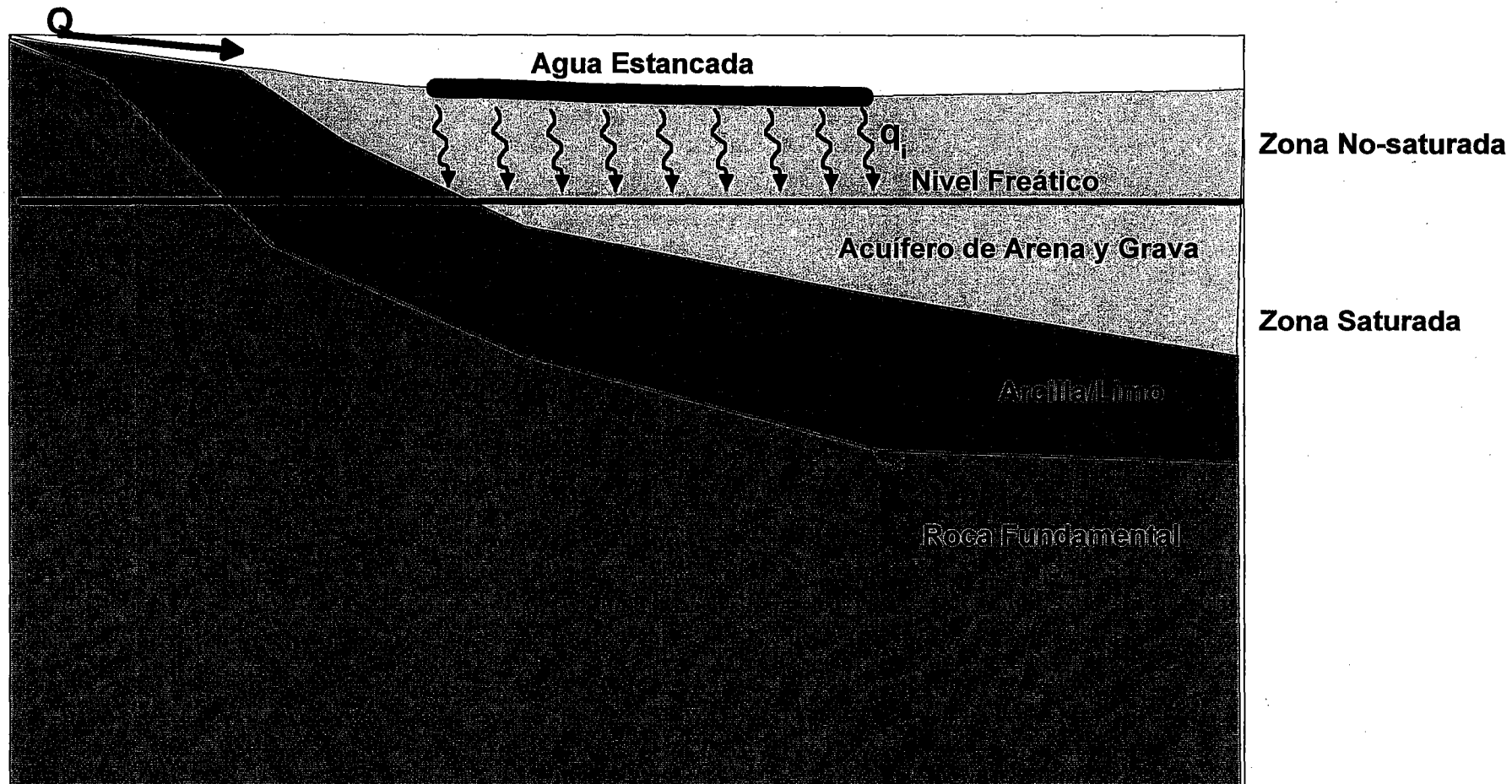
Las pruebas de bombeo en los pozos de Marte y CAN-6 entregaron valores entre 1×10^{-4} y 8×10^{-4} m/s para la conductividad hidráulica, lo que sugiere que el acuífero cuenta con propiedades hidráulicas relativamente uniformes. Por ello, la distribución inicial de la conductividad fue uniforme para toda el área del modelo, considerando el último valor para la zona donde se localizan los pozos de MDO.

En este modelo, los principales puntos de calibración lo constituyeron los caudales afluentes desde las quebradas contiguas, determinados mediante el balance hidrológico de agua (Capítulo 3) y los niveles de agua obtenidos en mediciones realizadas en los pozos de MDO, y el sondeo 33. Este último, tiene una muy buena y conveniente ubicación, ya que está cerca de la desembocadura de la Quebrada Ciénaga Redonda. Además de estos niveles medidos, los niveles freáticos del borde norte del modelo Lobo-Marte se incluyeron en el modelo del Salar de Maricunga, para asegurar que las condiciones hidráulicas en esta localidad fueran idénticas en ambos modelos.

Dentro del área considerada en el modelo, los afluentes de cada quebrada fueron reducidos para representar una recarga directa sobre el acuífero principal. La Figura 4.10 entrega un resumen del balance de agua en esta área. Como ya se indicó anteriormente, los flujos de la Quebrada Ciénaga Redonda usados en este modelo, corresponden a aquellos pronosticados por otro modelo específico en esta área, para así mantener la consistencia entre éste y el presente modelo. Como

Este

Oeste



$$Q = \text{SUMA } (q_i)$$

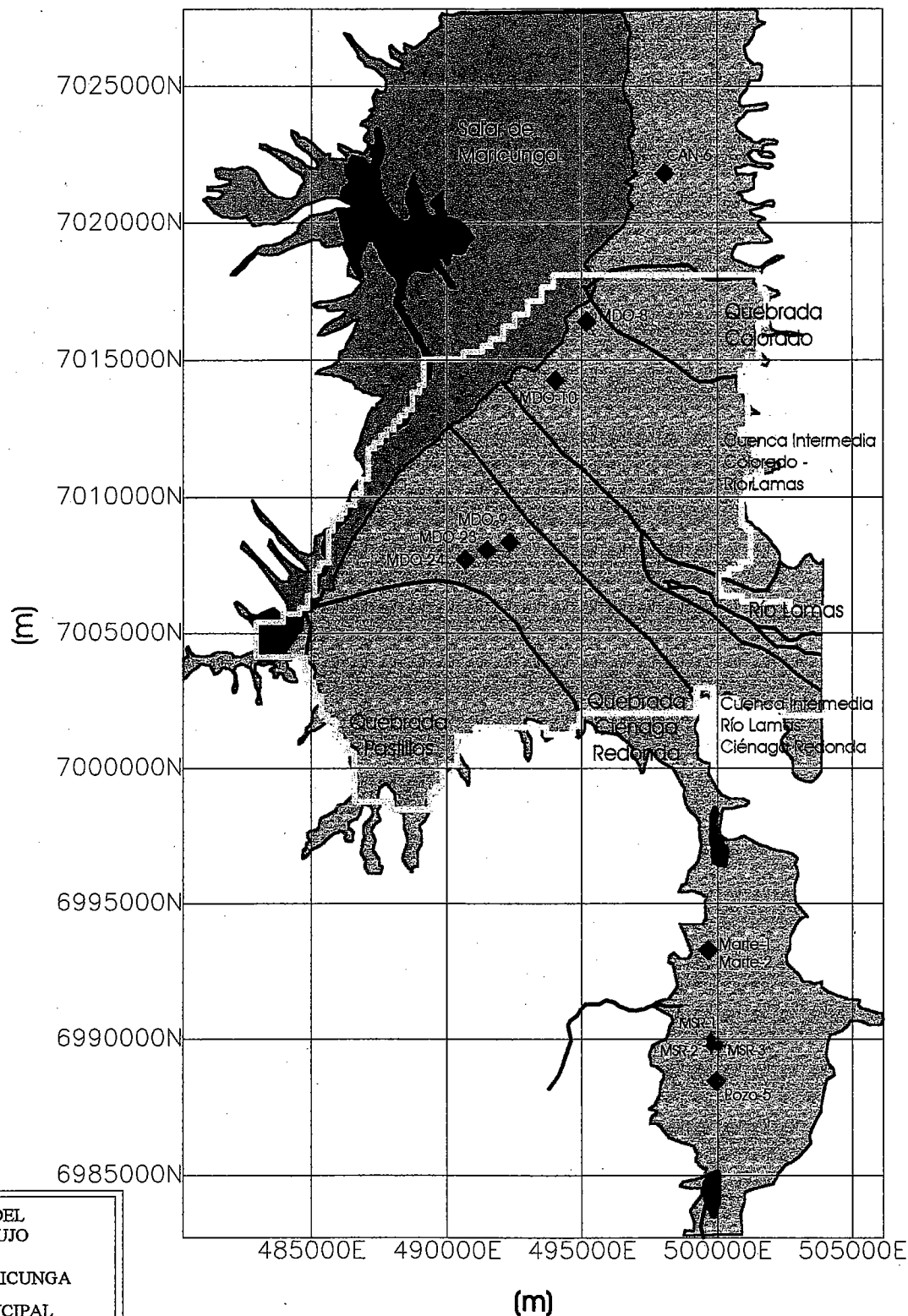
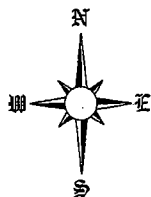
MODELO CONCEPTUAL SOBRE LOS FLUJOS DE ENTRADA
DESDE QUEBRADAS ADYACENTES

MINERA SANTA ROSA S.C.M. / MANTOS DE ORO
Salar de Maricunga, Chile



Figura 4.2

Project No:
CH301-97



LEYENDA

	AREA ACTIVA DEL MODELO DE FLUJO
	SALAR DE MARICUNGA
	ACUIFERO PRINCIPAL
	VEGA
	LIMITES DE CUENCAS PRINCIPALES
	AGUAS SUPERFICIALES
	POZOS EXISTENTES
	POZOS DE EXTRACCION PROPUESTOS

AREA DEL MODELO RESPECTO A QUEBRADAS PRINCIPALES

MINERA SANTA ROSA S.C.M. / MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile

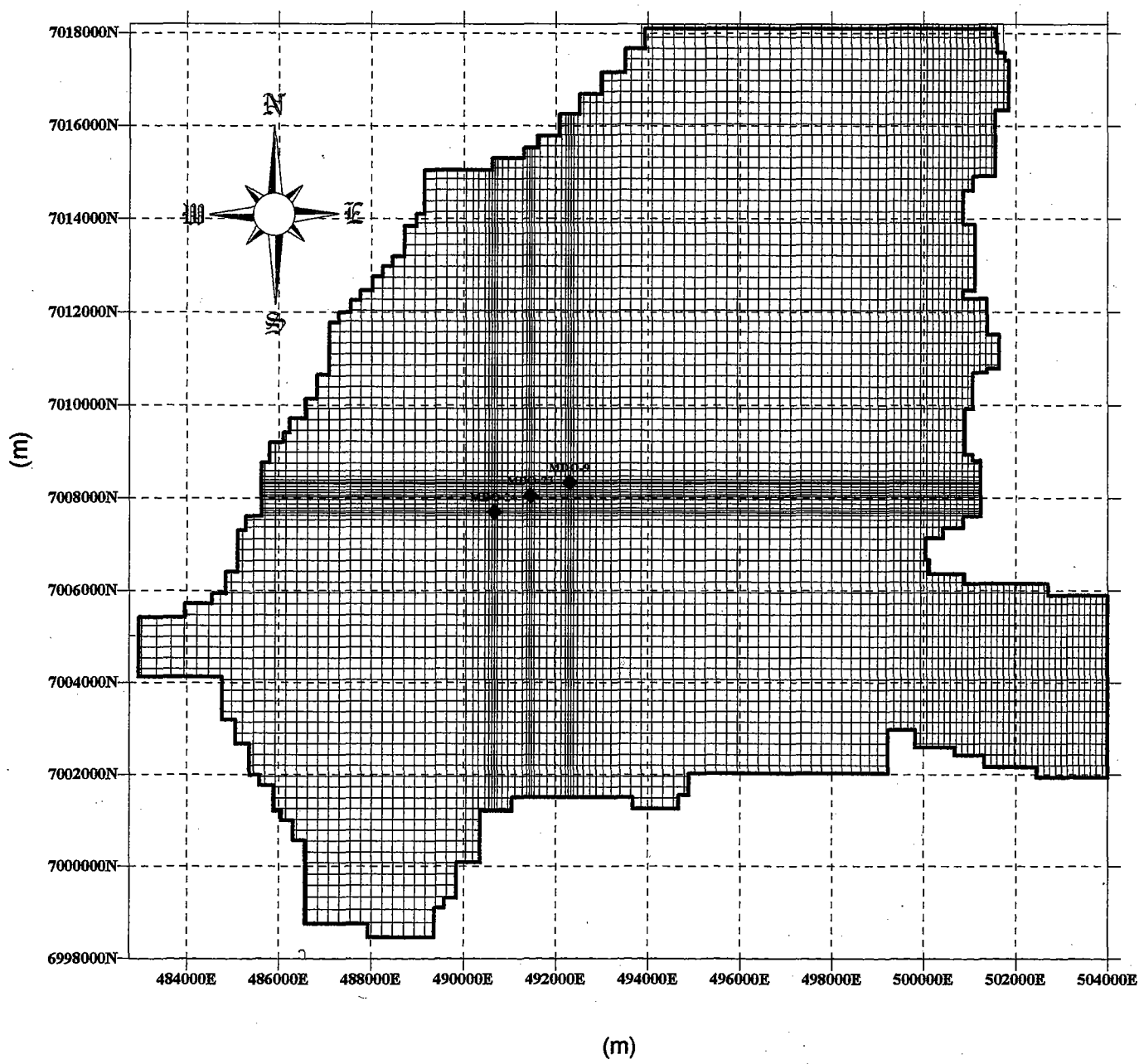


Figura 4.3

Project No:
CH301-97

WHLA & EDRA

032590 D:\proyectos\PROYECTOS CHILE\SALAR DE MARICUNGA\figura4.3.mxd



LEYENDA

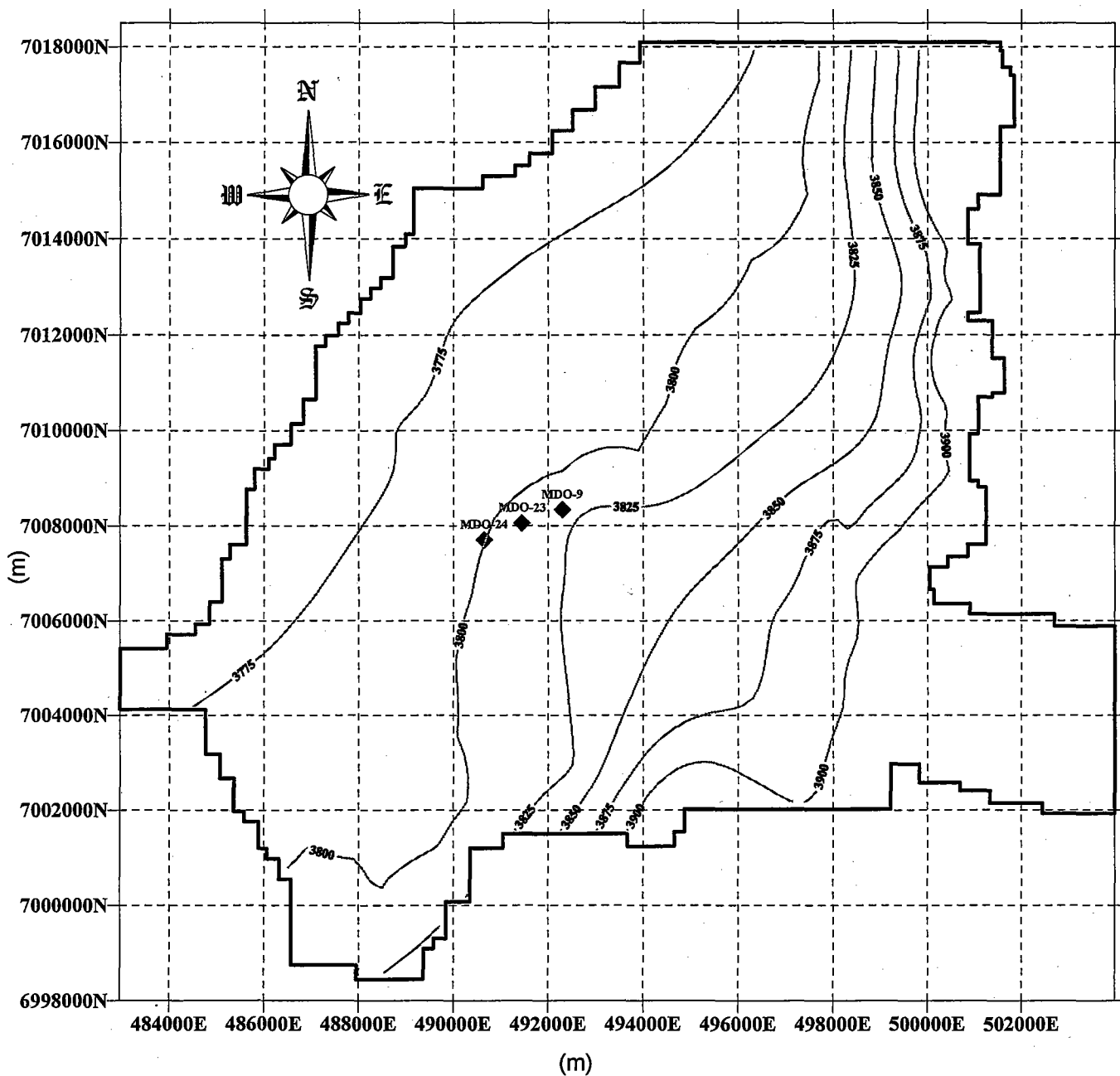
-  AREA DEL MODELO
-  POZOS EXISTENTES

AREA, ORIENTACION, EXTENSION Y
DISCRETIZACION DEL MODELO

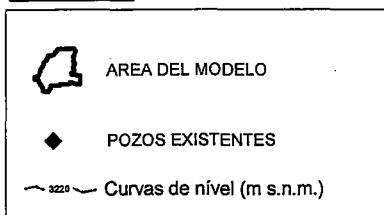
MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



Figura 4.4
Project No:
CH301-97



LEYENDA



SUPERFICIE TOPOGRAFICA
INTERPRETADA (m s.n.m.)

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile

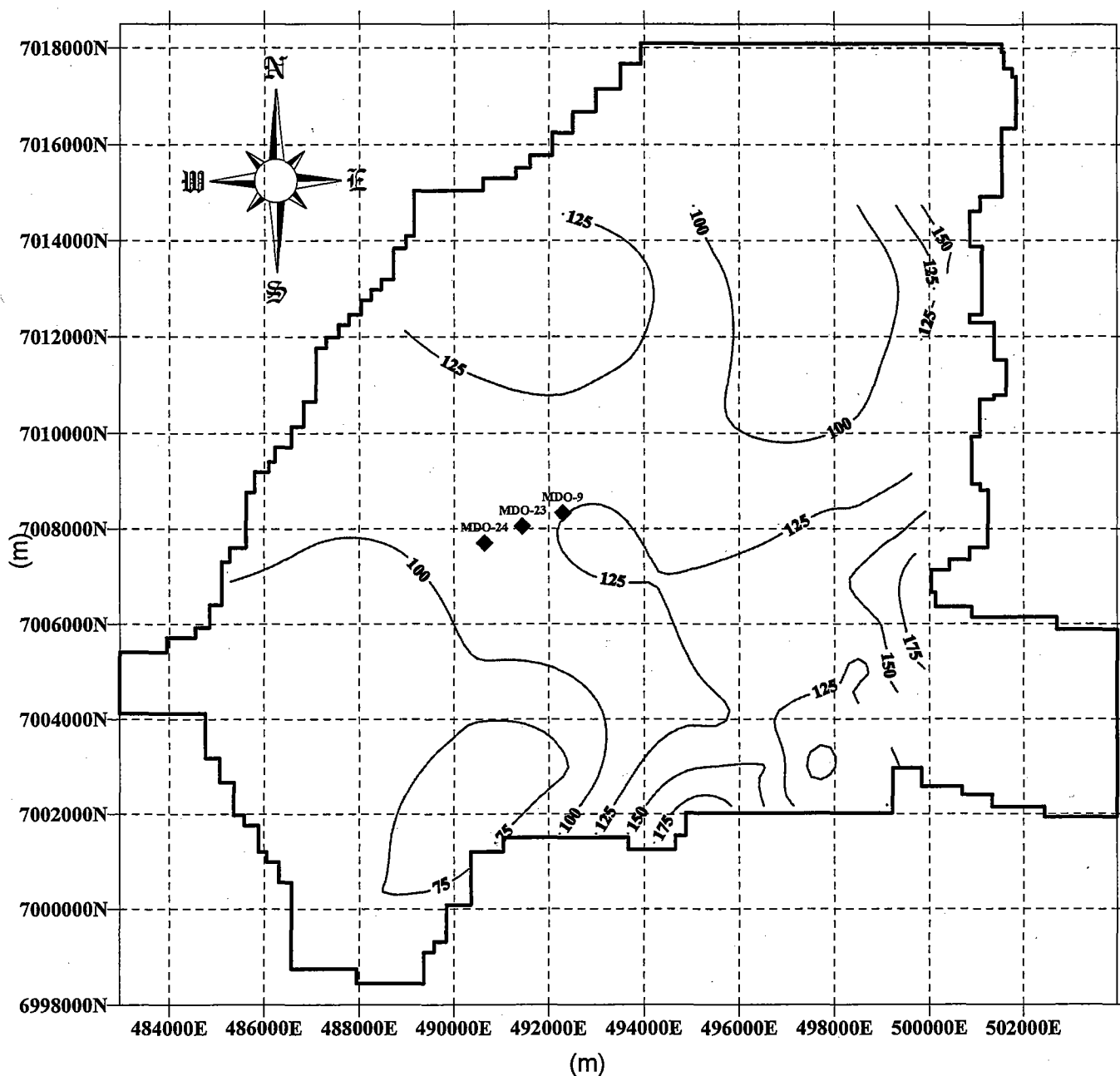


Figura 4.5

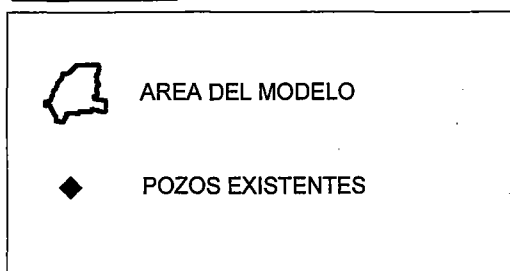
Project No:
CH301-97

WHLA & EDRA

C:\2559 D:\project\PROJECTS CHILE\SALAR DE MARICUNGA\garcia\fig4.5.tif



LEYENDA



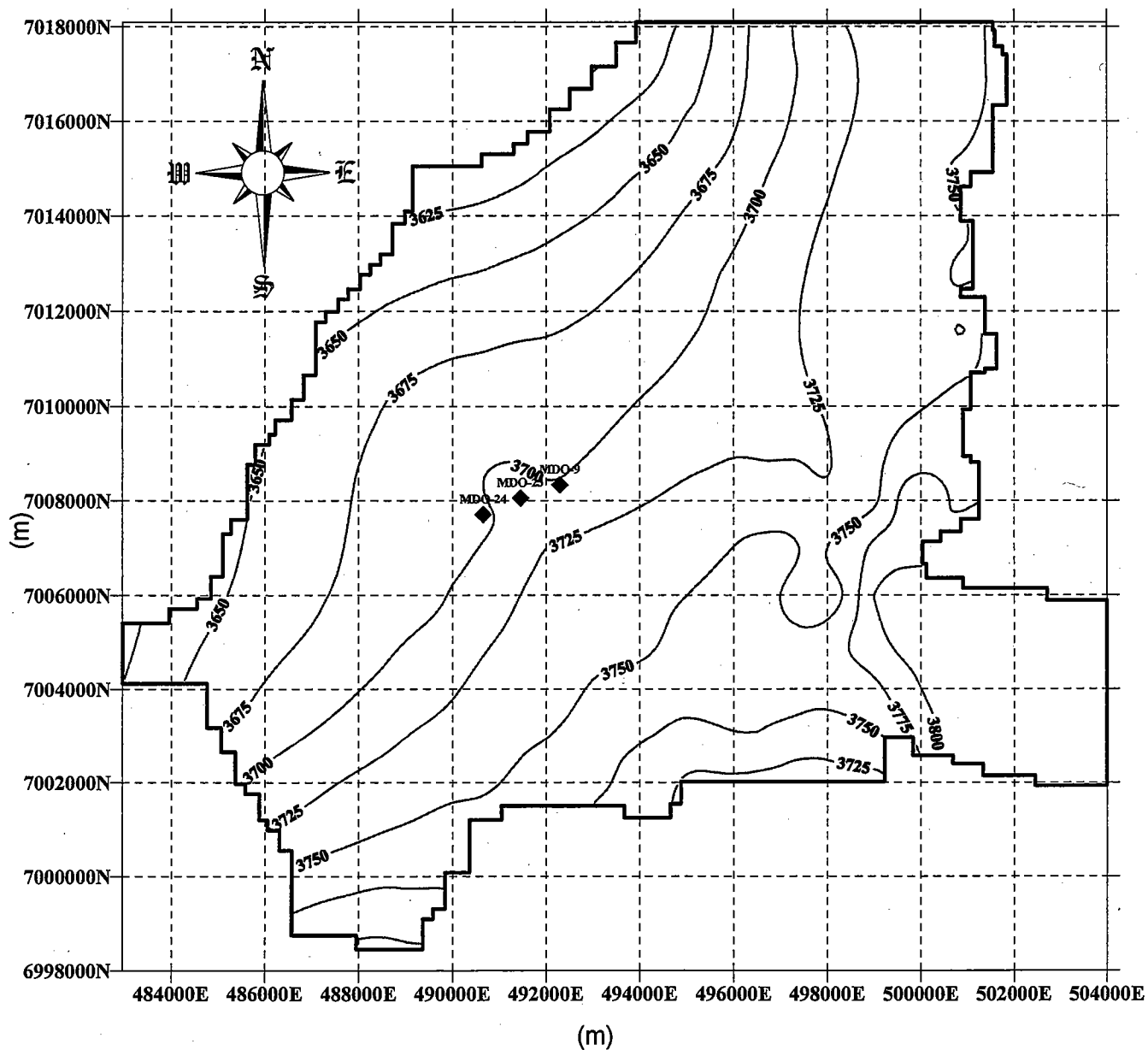
ESPESOR INTERPRETADO DEL
ACUIFERO PRINCIPAL (m)

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile

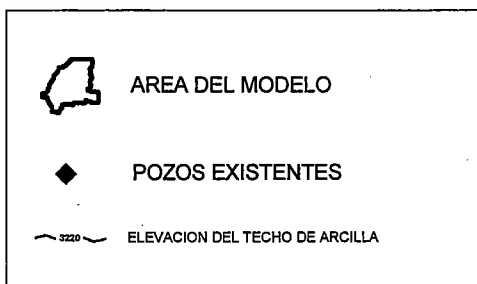


Figura 4.6

Project No:
CH301-97



LEYENDA



INTERPRETACION DE ELEVACIONES
DEL TECHO DE LA UNIDAD DE ARCILLA (m s.n.m.)

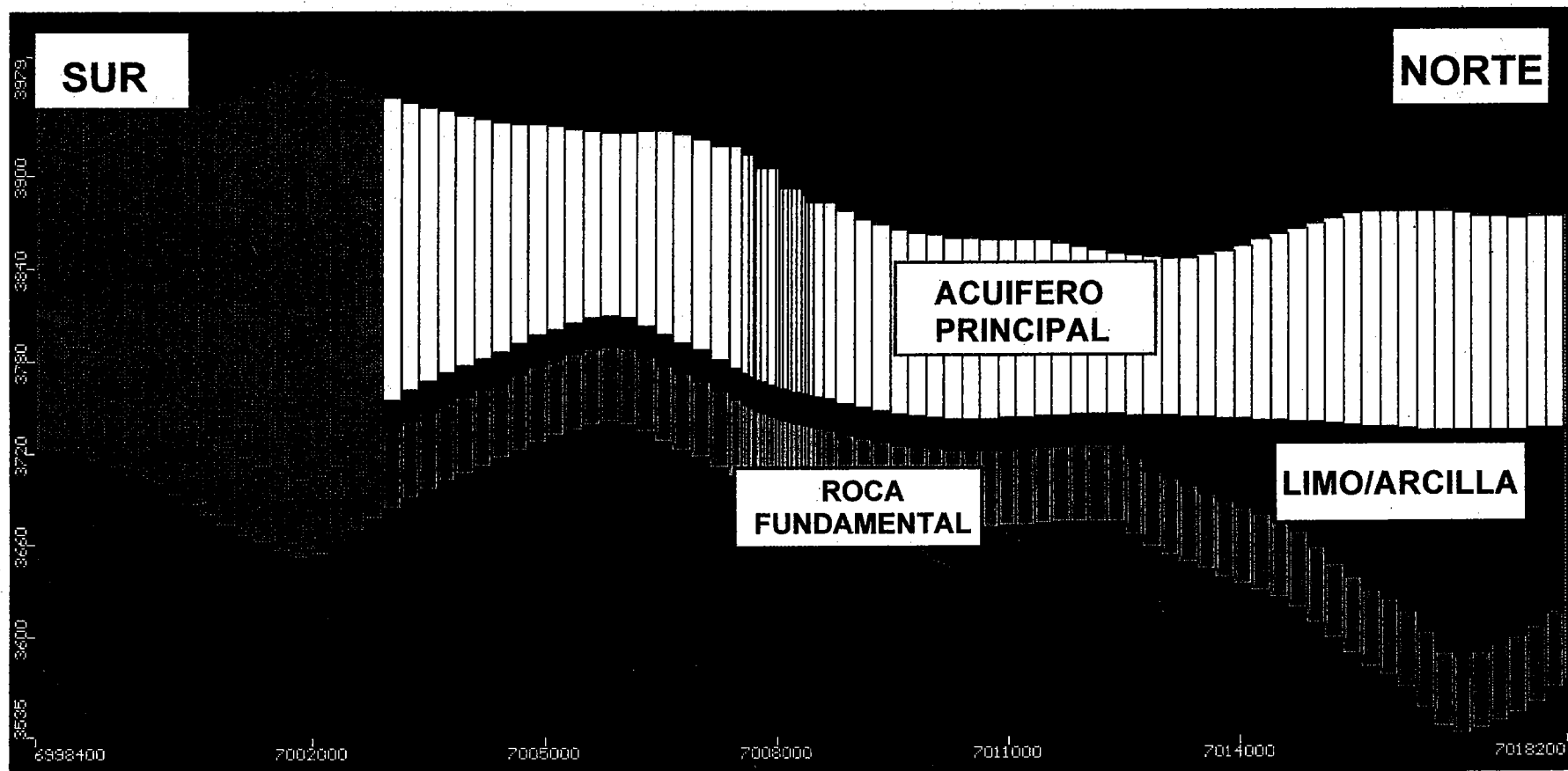
MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



WHLA
SOFTWARE • CONSULTORIA • ENTRENAMIENTO

Figura 4.7

Project No:
CH301-97



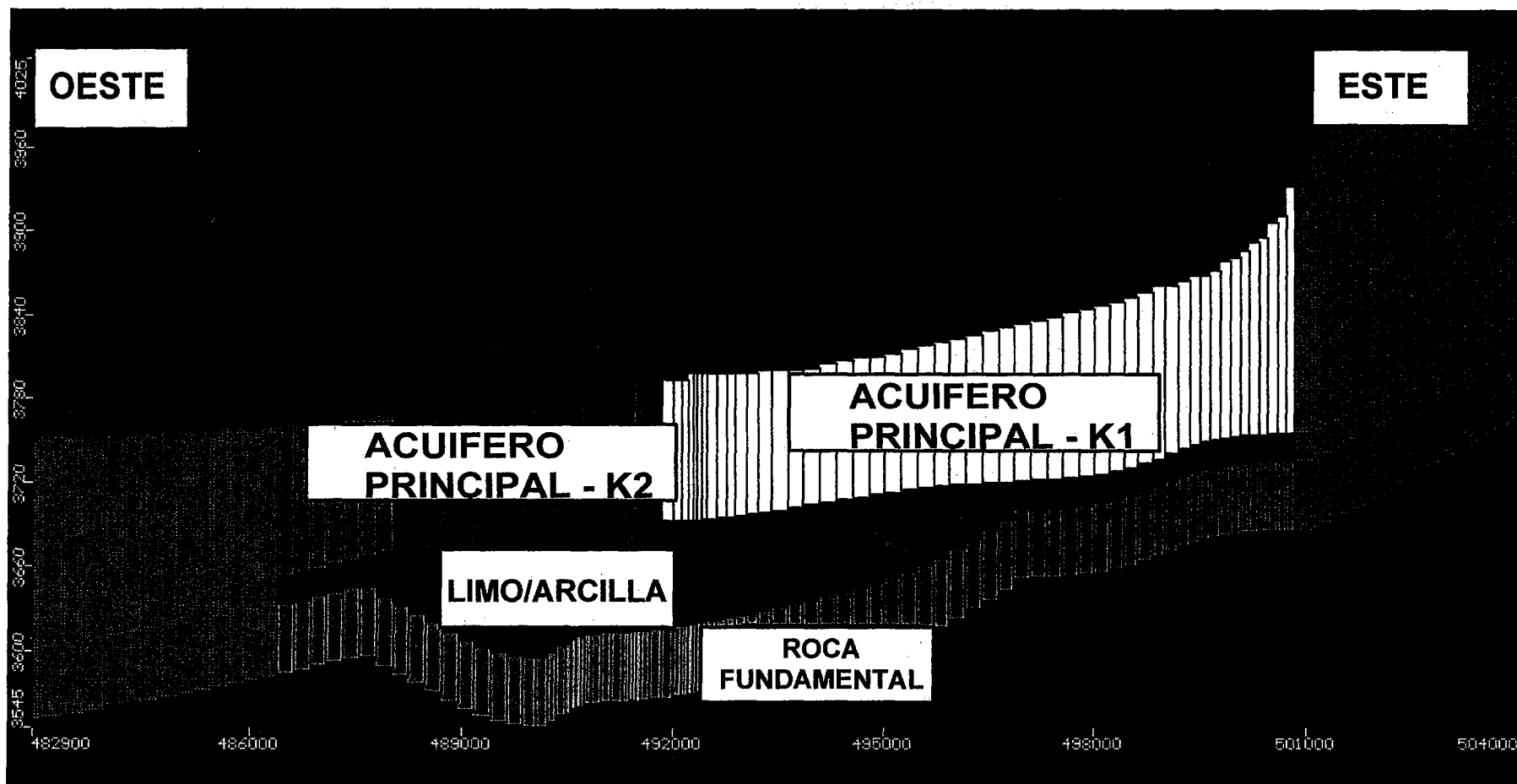
CORTE LONGITUDINAL SUR-NORTE

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



Figura 4.8

Project No:
CH301-97



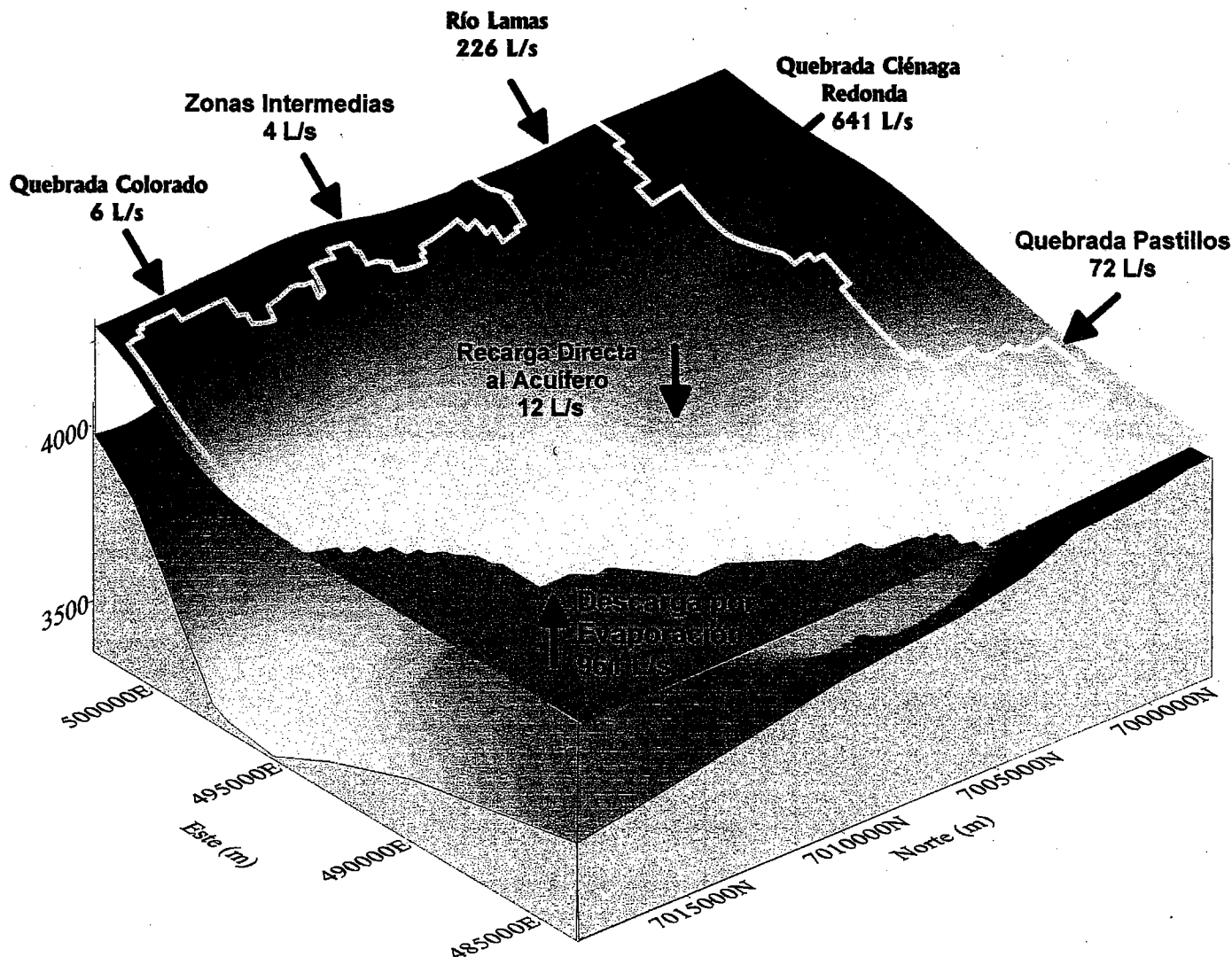
CORTE TRANSVERSAL ESTE - OESTE

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



Figura 4.9

Project No:
CH301-97



LEYENDA

AREA DEL MODELO



Componente de descarga



Componentes de Recarga

Notas:

- Valores del balance de aguas corresponden a las áreas de recarga del modelo
- Valores del balance de aguas presentados en el capítulo 3 incorporan los caudales desde las Quebradas, mas la recarga directa correspondiente para cada cuenca de aguas superficiales
- Este balance de aguas es válido solamente para el area activa del modelo. El caudal total al Salar de Maricunga incluye los flujos del norte, noreste y noroeste.

BALANCE DE AGUA EN EL MODELO DE SALAR DE MARICUNGA

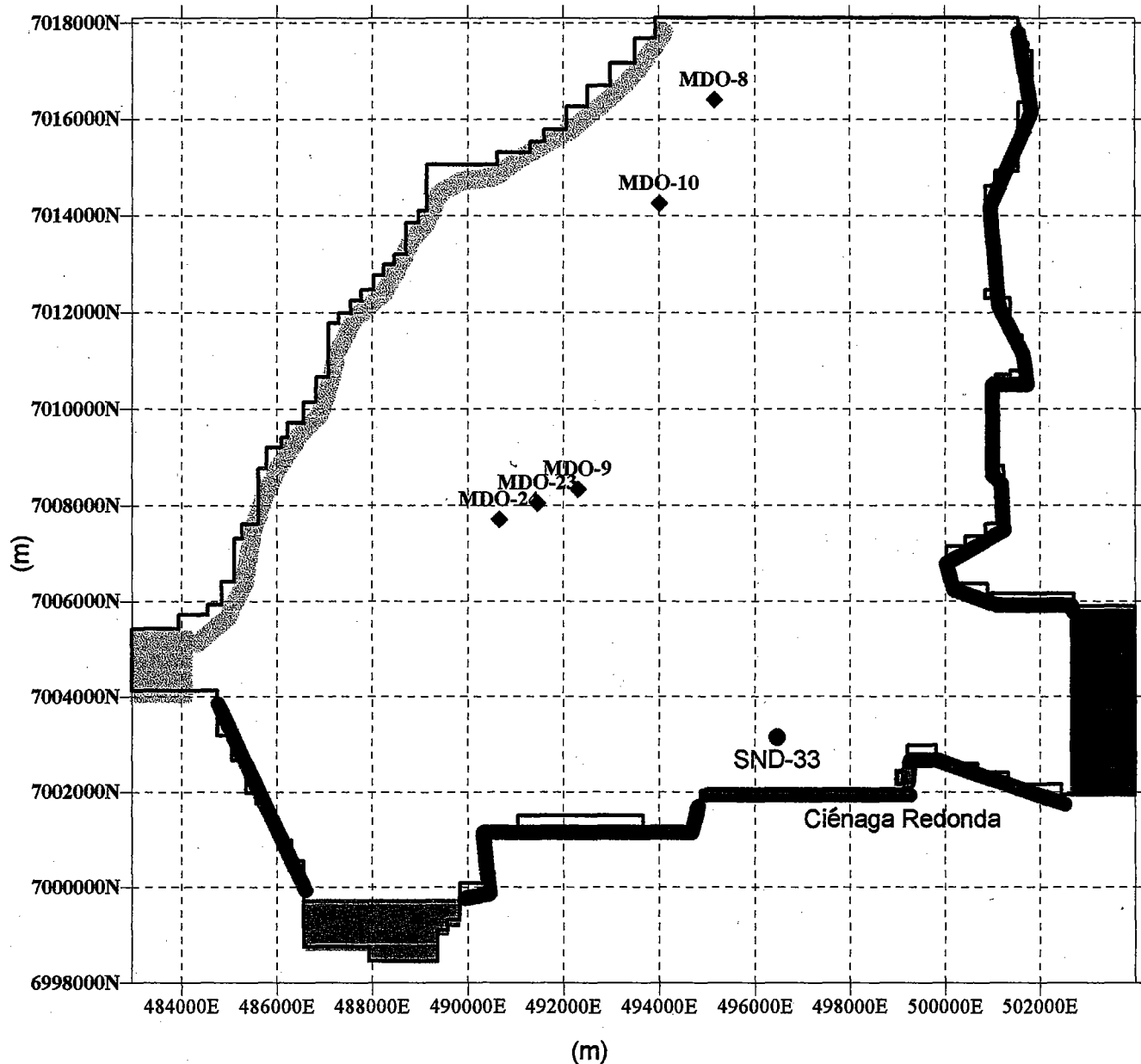
MINERA SANTA ROSA S.C.M. / MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



WHLA
SOFTWARE • CONSULTORÍA • ENTRENAMIENTO

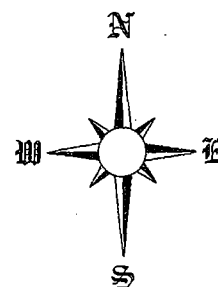
Figura 4.10

Project No:
CH301-97



LEYENDA

	Area Activa del Modelo		Borde de Flujo Variable
	Borde de Altura (Carga) Constante Salar de Maricunga		Pozo de Extracción/ Observación
	Borde de Flujo de Recarga - Pastillos		Sondajes TDEM
	Borde de Flujo de Recarga - Rio Lamas		Puntos de Control para Calibración
	Borde de Flujo de Recarga de Montañas		



CONDICIONES DE BORDE DEL MODELO
MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



Figura 4.11

Project No:

CH301-97

los flujos de la Quebrada Ciénaga Redonda están bien definidos como condición de borde, éste no fue utilizado como punto de calibración.

Para este proyecto, el agua superficial utilizada por el proyecto Marte (25l/s) a fines de los años 80 y comienzo de los 90 no fue considerado porque el modelo se centra en el Salar de Maricunga.

Los puntos de calibración para el modelo se presentan en la Tabla 13 y sus respectivas ubicaciones se muestran en la Figura 4.12.

Tabla 13 Puntos de Calibración: Modelo Salar de Maricunga

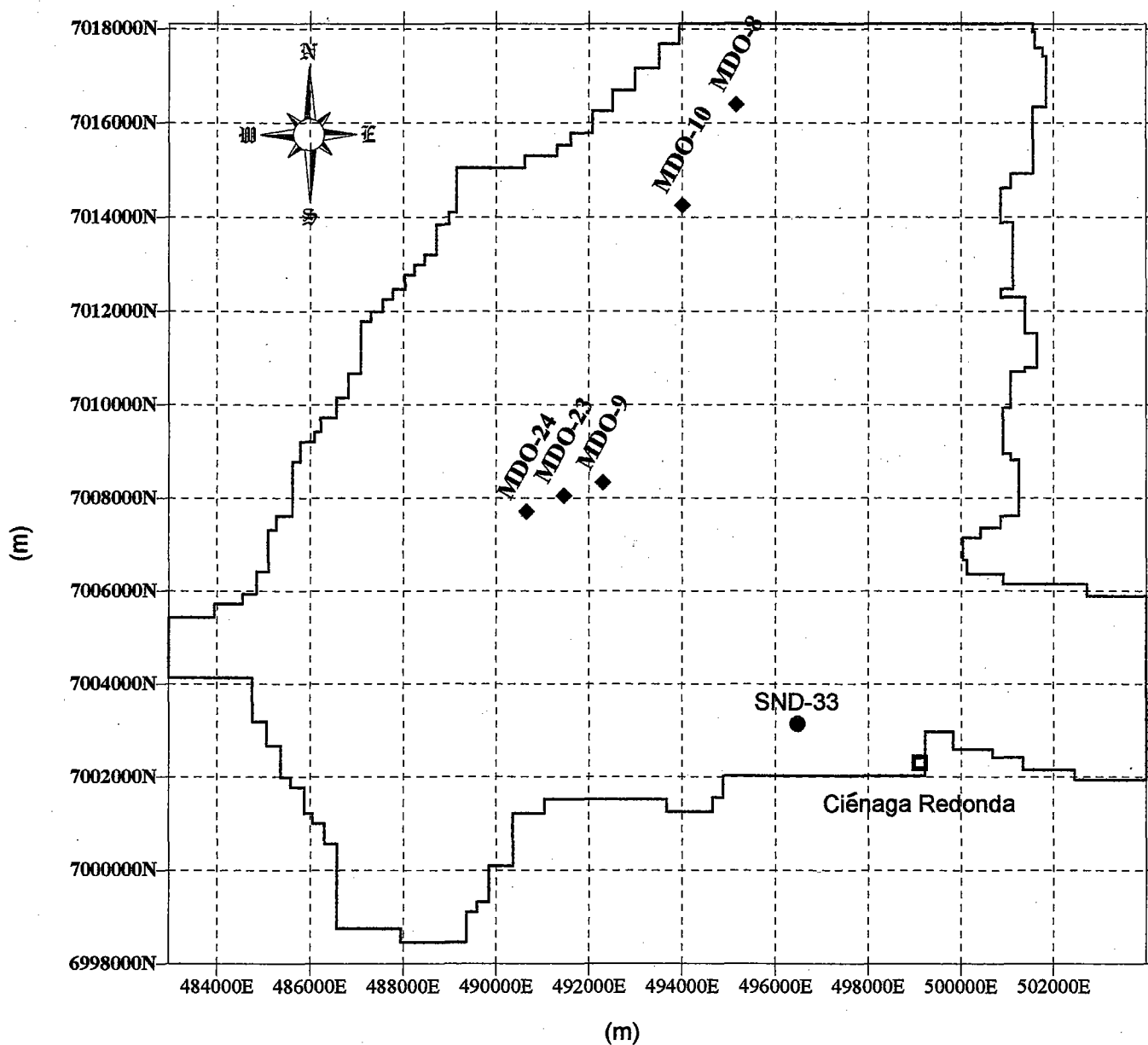
Punto de Calibración	Magnitud
Afluente desde la Quebrada Pastillos	72 l/s
Afluente desde el Río Lamas	226 l/s
Afluente desde la Quebrada Colorado	6 l/s
Afluentes desde zonas intermedias	4 l/s
Nivel freático MDO-8 (SR1)	3767 msnm
Nivel freático MDO-9 (SR2)	3762 msnm
Nivel freático MDO-10 (SP1)	3771 msnm
Nivel freático MDO-23 (SP3)	3767 msnm
Nivel freático MDO-24 (SP4)	3767 msnm
Nivel freático del sondeo TEM N° 33	3866 msnm
Nivel freático a lo largo del borde en el modelo Lobo-Marte	3880 msnm

4.4.2. - Resultados de la Calibración

El modelo fue primero calibrado para obtener las condiciones de flujo observadas en el área de estudio. Durante el proceso de la calibración, las condiciones de borde se ajustaron para asegurar que los flujos de cada fuente de agua reflejaran las condiciones observadas y calculadas en el balance general de agua (Capítulo 3). El valor obtenido para la recarga directa sobre el acuífero fue de 9 mm/año, por lo tanto está dentro del rango estimado en el Capítulo 3.4.

Una vez alcanzada una calibración adecuada de los flujos, la atención de la calibración se centró en los niveles observados. Las simulaciones preliminares superestimaron los niveles de agua en los pozos MDO, lo que indica que el gradiente entre estos pozos y el Salar era mucho menor que el gradiente regional entre el Salar y la entrada desde Ciénaga Redonda.

El gradiente hidráulico observado entre los pozos de MDO y el Salar es de aproximadamente 0,2% (10m/6000m), mientras que el gradiente entre la salida de Ciénaga Redonda y el Salar, es de aproximadamente 0,6%. Por ello, se creó una zona adicional de conductividad, para poder ajustar los niveles del modelo a los observados en los pozos de MDO, considerando el flujo



LEYENDA

-  AREA DEL MODELO
-  POZOS EXISTENTES
-  Sondaje TDEM
-  Puntos de Control para Calibración

PUNTOS DE CALIBRACION

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



WHLA
SOFTWARE • CONSULTORÍA • ENTRENAMIENTO

Figura 4.12

Project No:

CH301-97

desde Ciénaga Redonda. La Figura 4.13 muestra estas dos zonas señaladas. La conductividad hidráulica calibrada para la zona de mayor extensión, fue de 9×10^{-5} m/s, mientras que para la zona donde se ubican los pozos de MDO, fue de 8×10^{-4} m/s. Para ambas zonas se consideró un factor de anisotropía de 10, entre la conductividad horizontal y la vertical.

La Tabla 14 presenta la comparación entre los flujos y conductividad hidráulicas calculadas y observadas de cada sector estudiado.

Tabla 14: Resultados de la Calibración- Modelo Salar de Maricunga

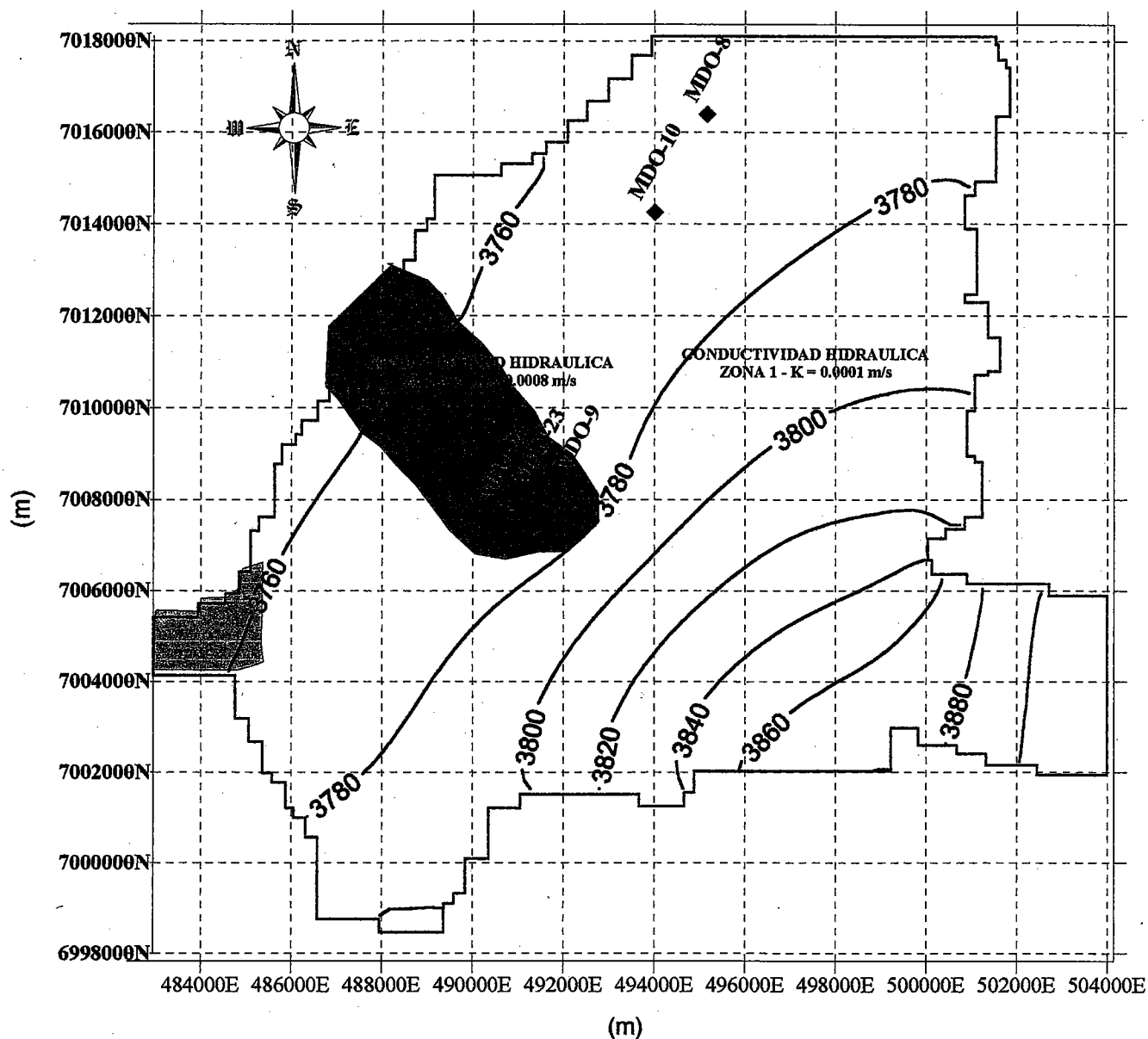
Puntos de Calibración	Valor Observado	Valor Calculado
Afluente desde la Quebrada Pastillos	72 l/s	62 l/s
Afluente desde el Río Lamas	226 l/s	226 l/s
Afluente desde las Zonas Intermedias y Quebrada Colorado	10 l/s	7.5 l/s
Nivel freático MDO-8 (SR1)	3767 msnm	3767 msnm
Nivel freático MDO-9 (SR2)	3762 msnm	3771 msnm
Nivel freático MDO-10 (SP1)	3771 msnm	3768 msnm
Nivel freático MDO-23 (SP3)	3767 msnm	3770 msnm
Nivel freático MDO-24 (SP4)	3767 msnm	3769 msnm
Nivel freático del sondeo TEM N° 33	3866 msnm	3857 msnm
Nivel freático del borde norte del modelo Lobo-Marte	3880 msnm	3879 msnm

La Figura 4.13 presenta además la superficie equipotencial calibrada para el acuífero principal. Como lo indica la figura, el flujo principal es desde el sur-este (Quebrada Ciénaga Redonda y Río Lamas), hacia el Salar en la parte noroeste del área del modelo. En esta figura, la leve inflexión en la curva equipotencial 3.780 m.s.n.m., indica la variación de conductividad de las dos zonas en esa localidad.

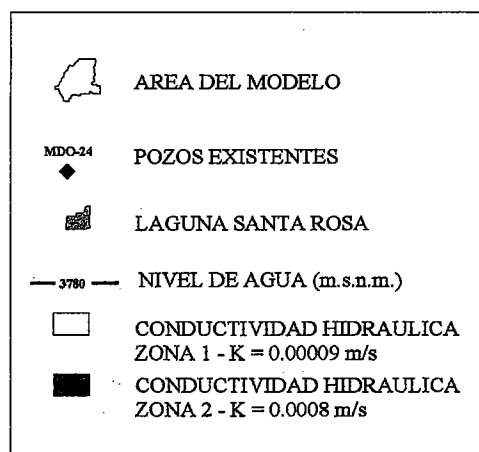
En la Figura 4.14 se comparan las elevaciones del nivel freático observadas y modeladas para los puntos de calibración. Los resultados demuestran la capacidad del modelo para simular las condiciones observadas en terreno.

4.4.3. - Análisis de Sensibilidad del Modelo

Como parte del análisis de sensibilidad, seis simulaciones se realizaron para comprobar la influencia de los tres parámetros de entrada más importantes, al hacerlos variar dentro del rango esperado. Los parámetros usados en el análisis de sensibilidad fueron las dos zonas de conductividad hidráulica definidas para el acuífero del Salar de Maricunga (denominados como K1 y K2 en la Figura 4.13), y la recarga por la precipitación directa sobre el acuífero. La



LEYENDA



SUPERFICIE FREATICA CALIBRADA Y DISTRIBUCION DE CONDUCTIVIDADES HIDRAULICAS

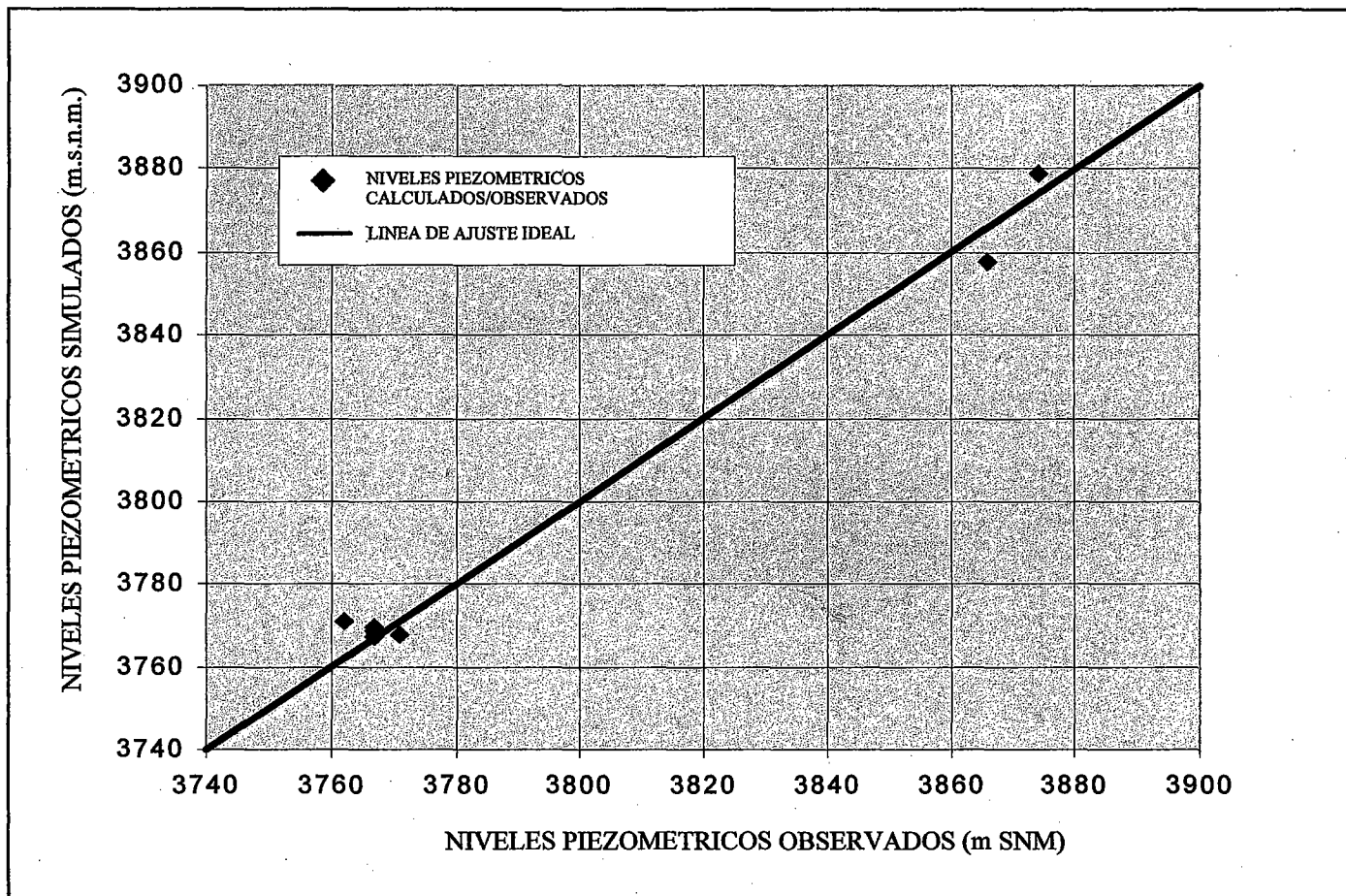
MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



WHLA
SOFTWARE • CONSULTORIA • ENTRENAMIENTO

Figura 4.13

Project No:
CH301-97



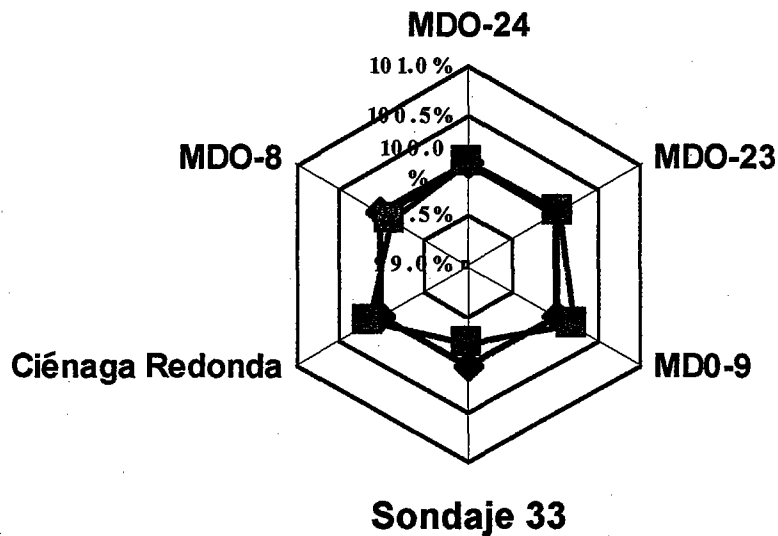
NIVELES SIMULADOS V/S OBSERVADOS

MINERA SANTA ROSA S.C.M. / MANTOS DE ORO
Salar de Maricunga, Chile



Figura 4.14

Project No:
CH301-97



Nota:

La forma hexagonal a 100 % significa que los datos calculados son iguales a los observados en el terreno, o sea, una calibración perfecta

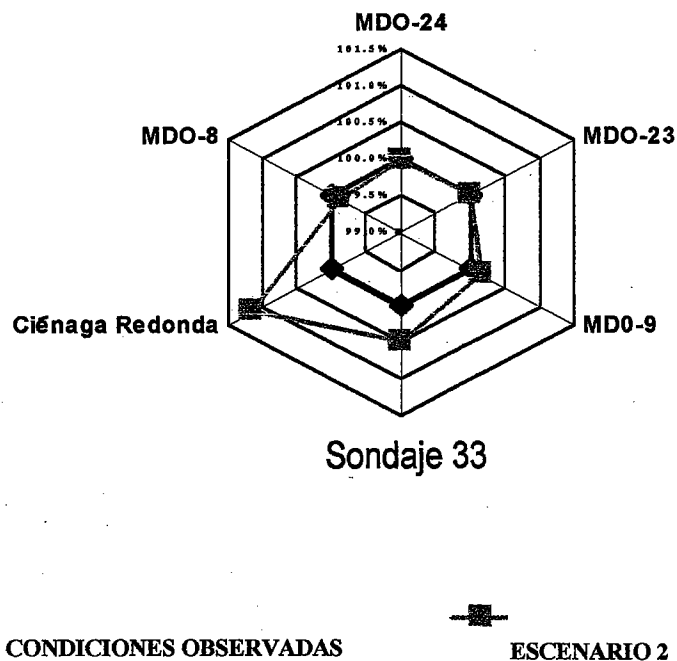
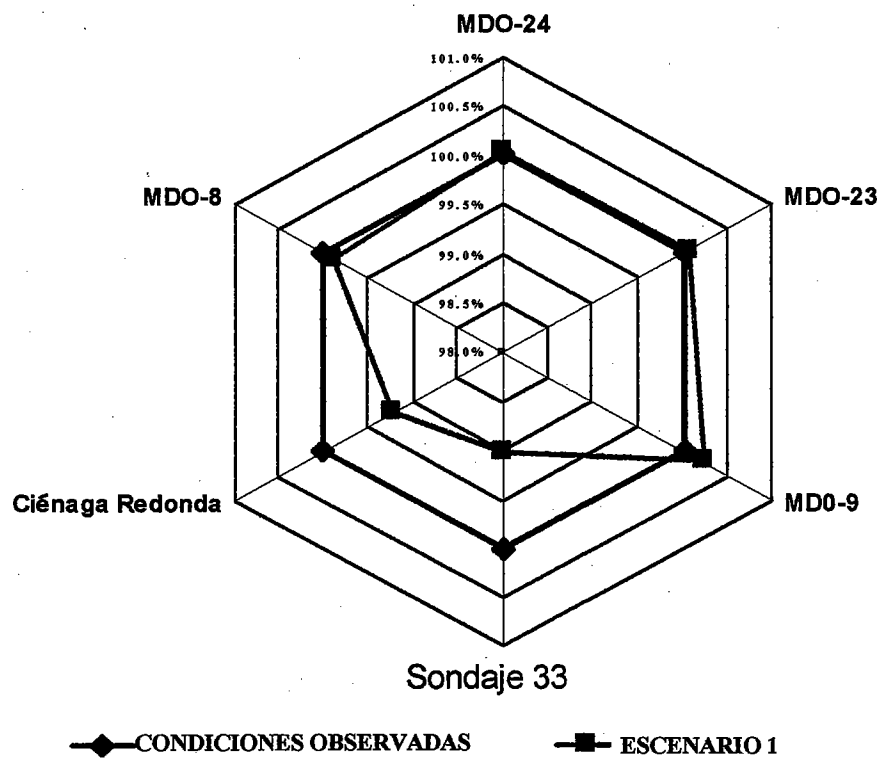
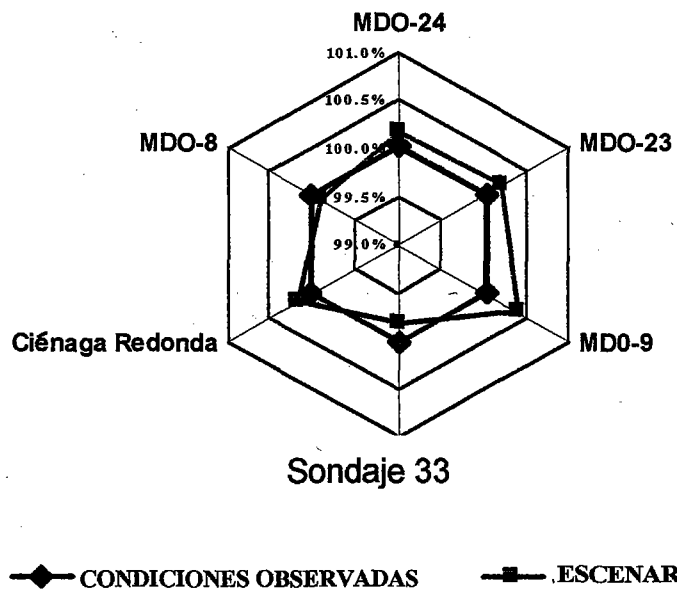
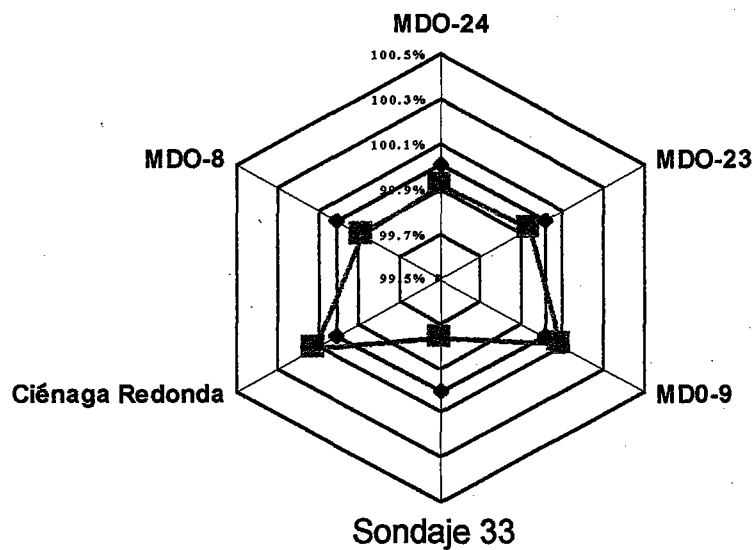


DIAGRAMA RADIAL ESCENARIOS DE SENSIBILIDAD 1 Y 2	
MINERA SANTA ROSA S.C.M. / Mantos de Oro <i>Salar de Maricunga, Chile</i>	
Figura 4.16	
Project No: CH301-97	



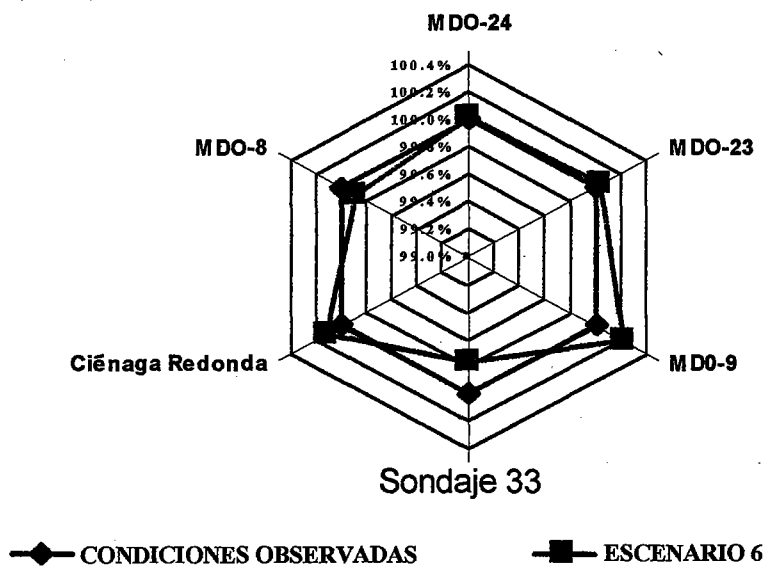
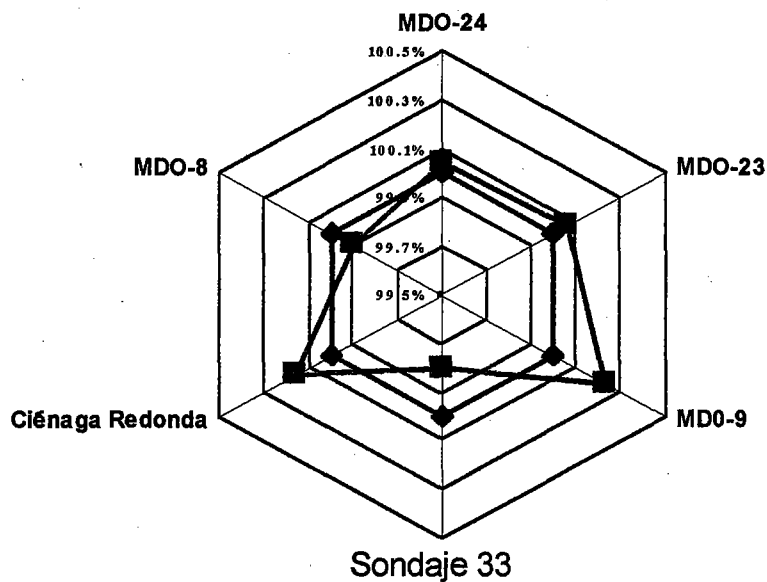
ESCENARIOS DE SENSIBILIDAD 3 Y 4

MINERA SANTA ROSA S.C.M. / Mantos de Oro
Salor de Maricunga, Chile



Figura 4.17

Project No:
 CH301-97



**DIAGRAMA RADIAL
ESCENARIO DE SENSIBILIDAD 5 Y 6**

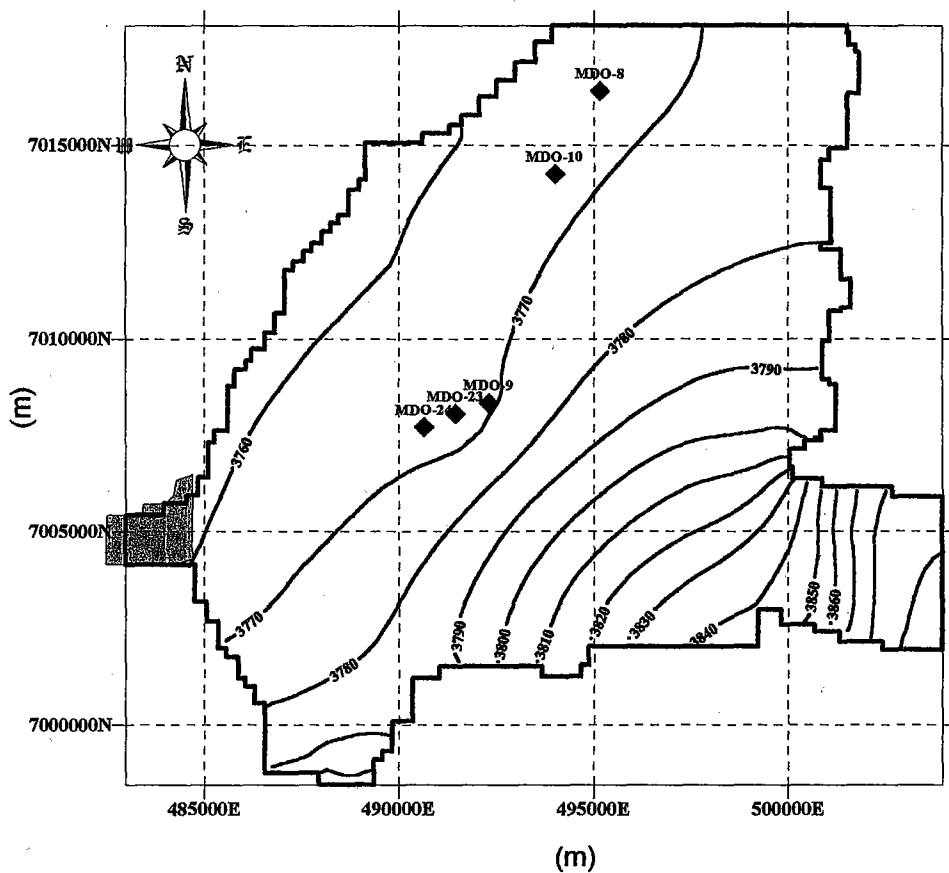
MINERA SANTA ROSA S.C.M. / Mantos de Oro
Salar de Maricunga, Chile



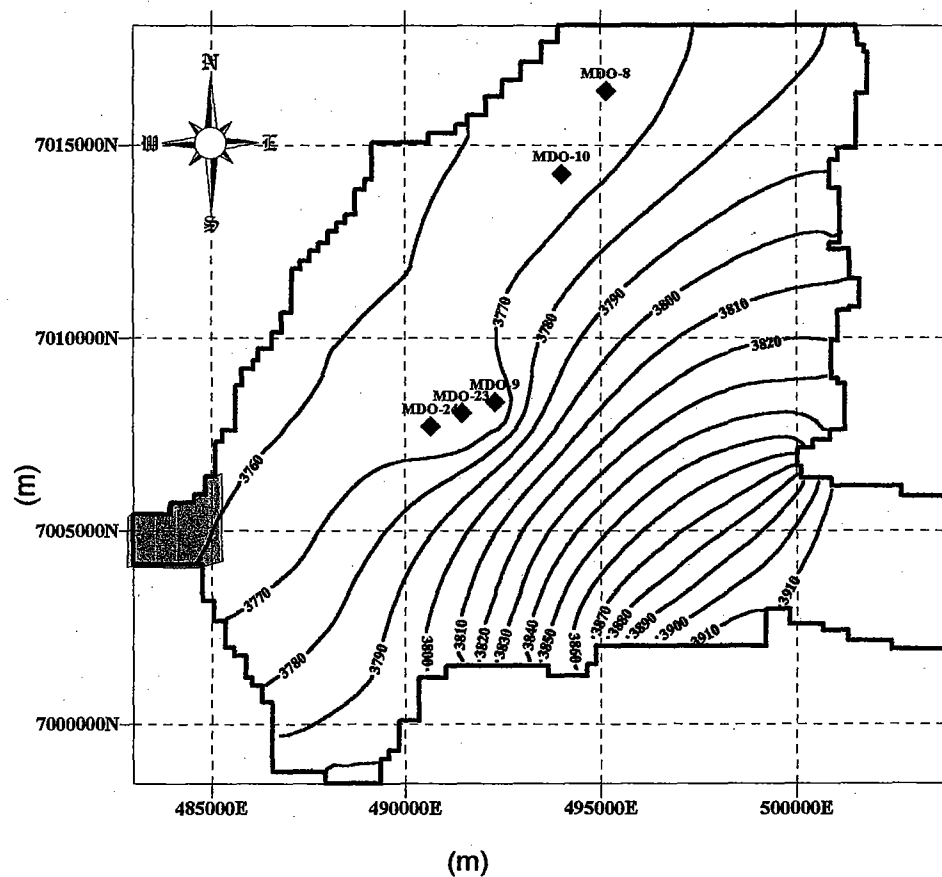
Figura 4.18

Project No:
CH301-97

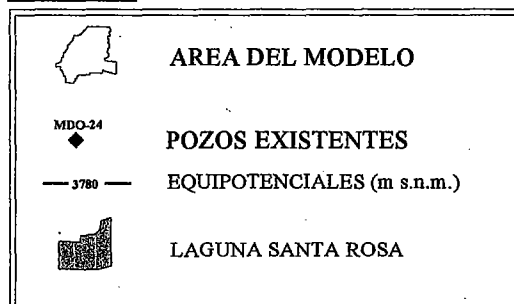
Caso 1
Conductividad Hidráulica de la Zona 1 X 2



Caso 2
Conductividad Hidráulica de la Zona 1 X 0.5



LEYENDA



Mapa Potenciométrico del Nivel Freático Análisis de Sensibilidad (Casos 1 y 2)

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile

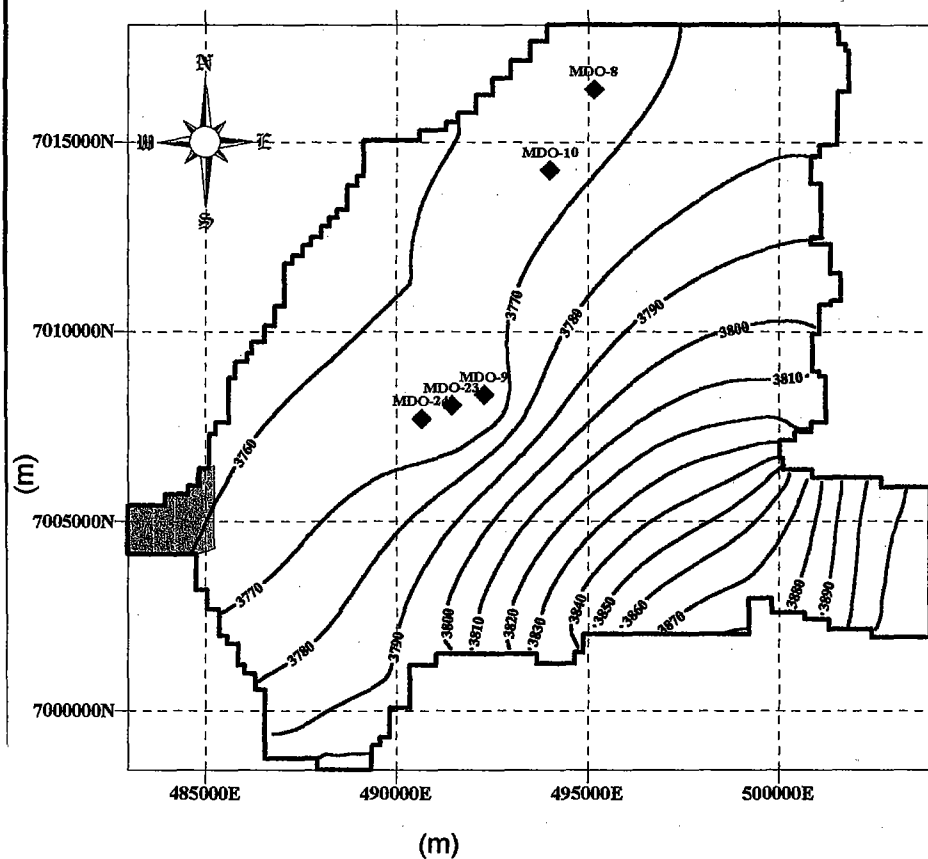


Figura 4.19a

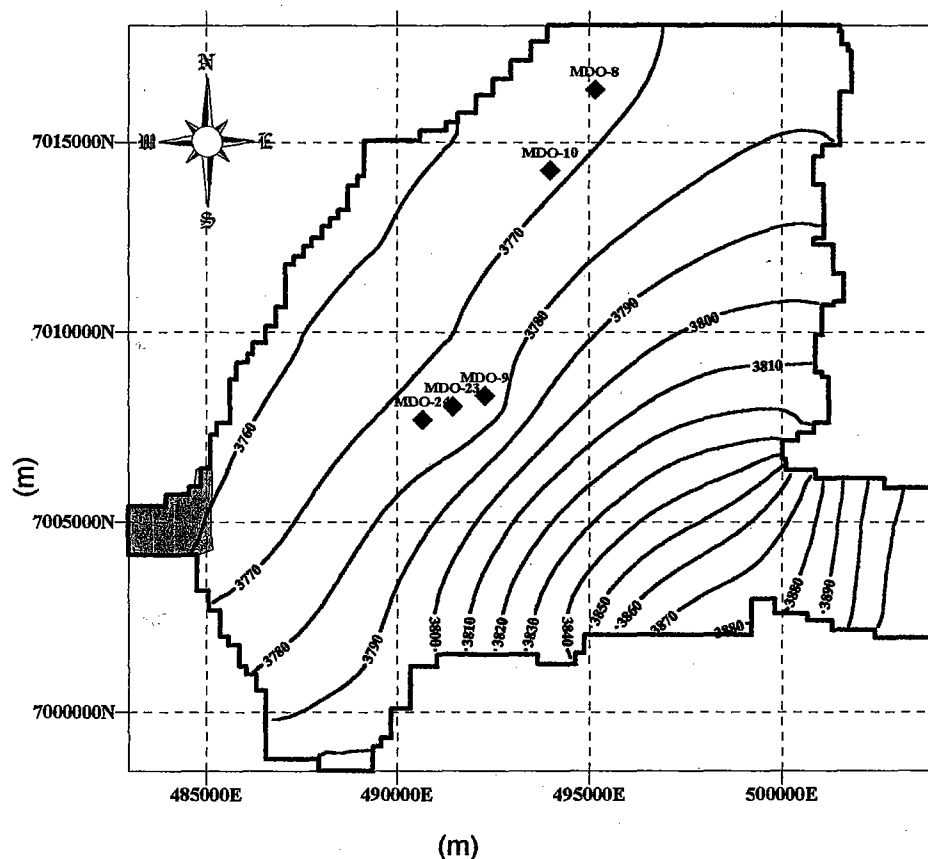
Project No:

CH301-97

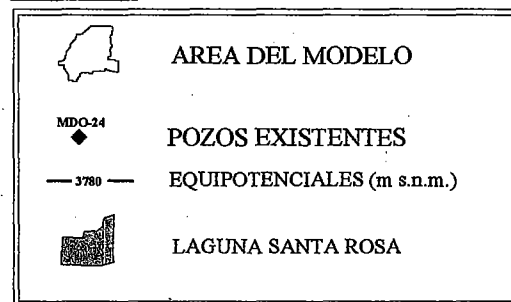
Caso 3
Conductividad Hidraulica de la Zona 2 X 2



Caso 4
Conductividad Hidraulica de la Zona 2 X 0.5



LEYENDA



Mapa Potenciométrico del Nivel Freático: Análisis de Sensibilidad (Casos 3 y 4)

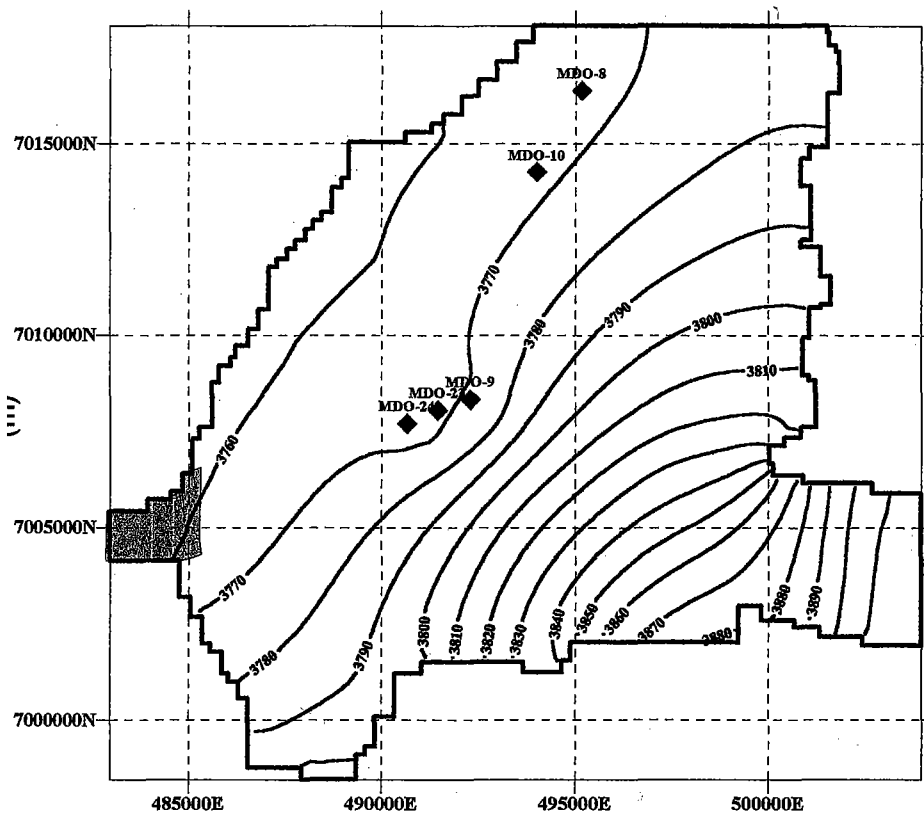
MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



Figura 4.19b

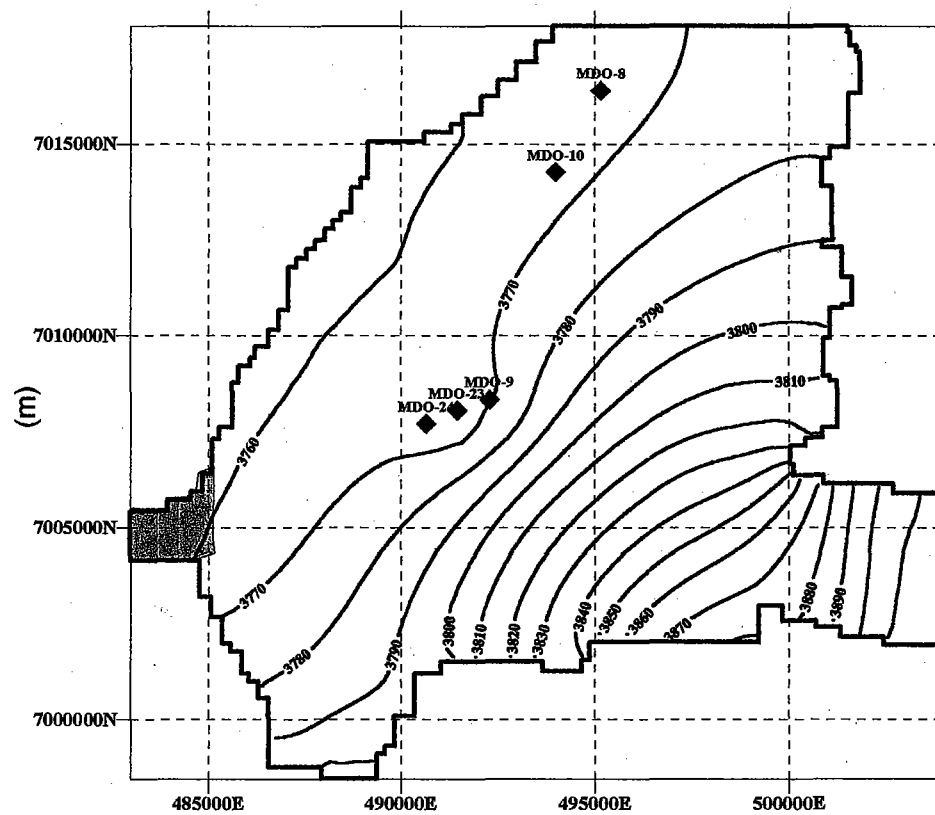
Project No:
CH301-97

**Caso 5
Recarga X2**



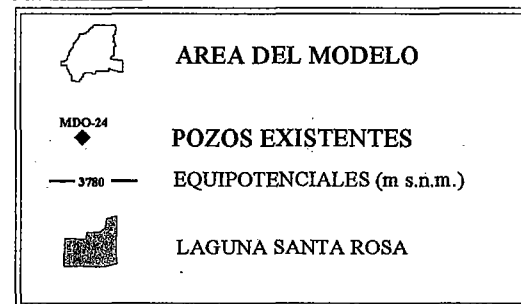
(m)

**Caso 6
Recarga X 0.5**



(m)

LEYENDA



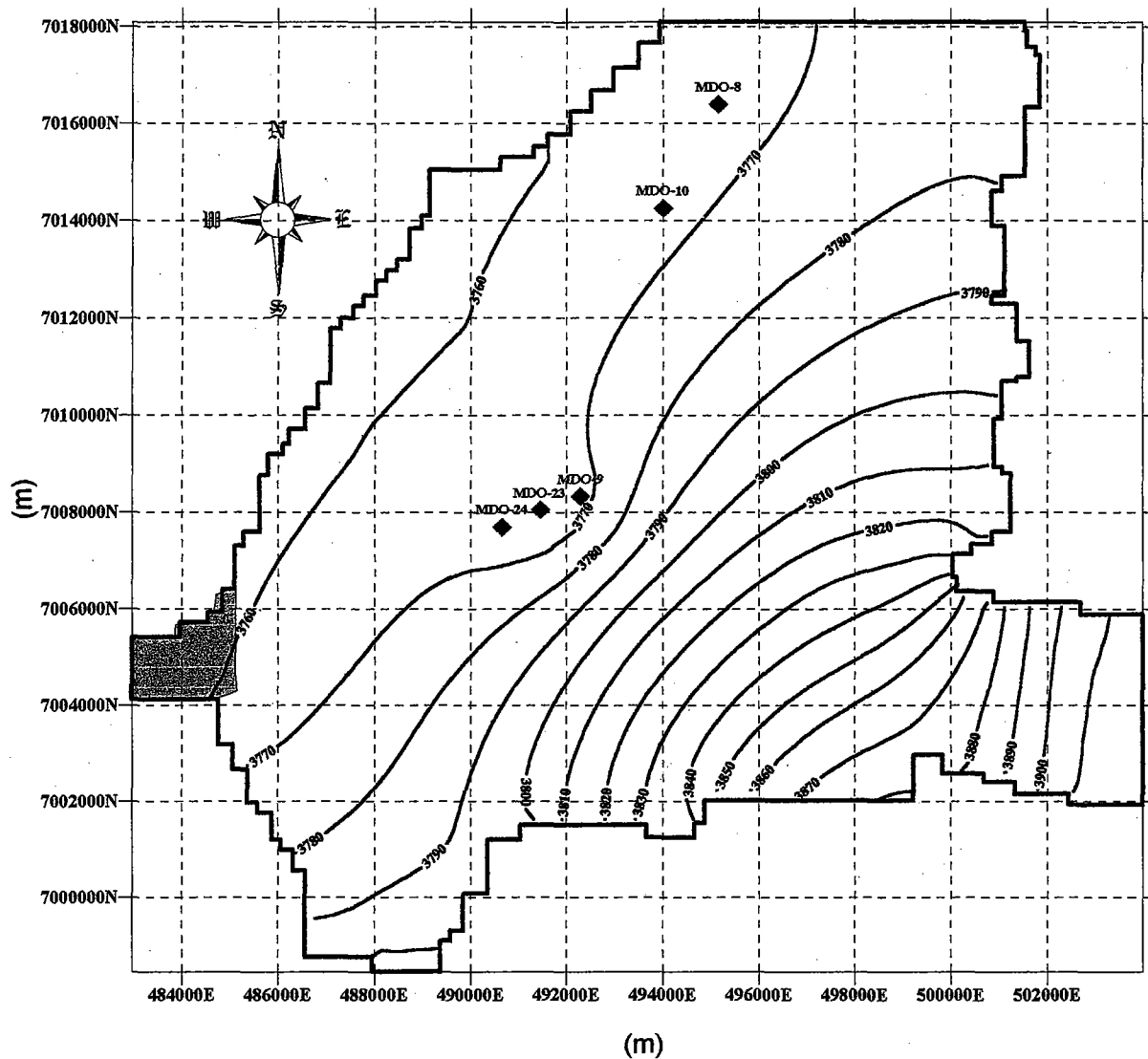
Mapa Potenciométrico del Nivel Freático: Análisis de Sensibilidad (Caso 5 y 6)

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile

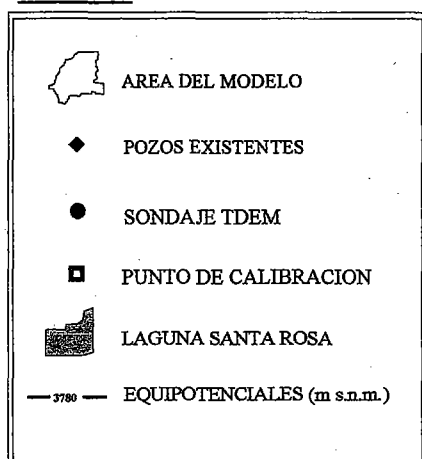


Figura 4.19c

Project No:
CH301-97



LEYENDA



SUPERFICIE DE LA NAPA FREATICA:
RESULTADOS DEL MODELO DESPUES DE 12 AÑOS

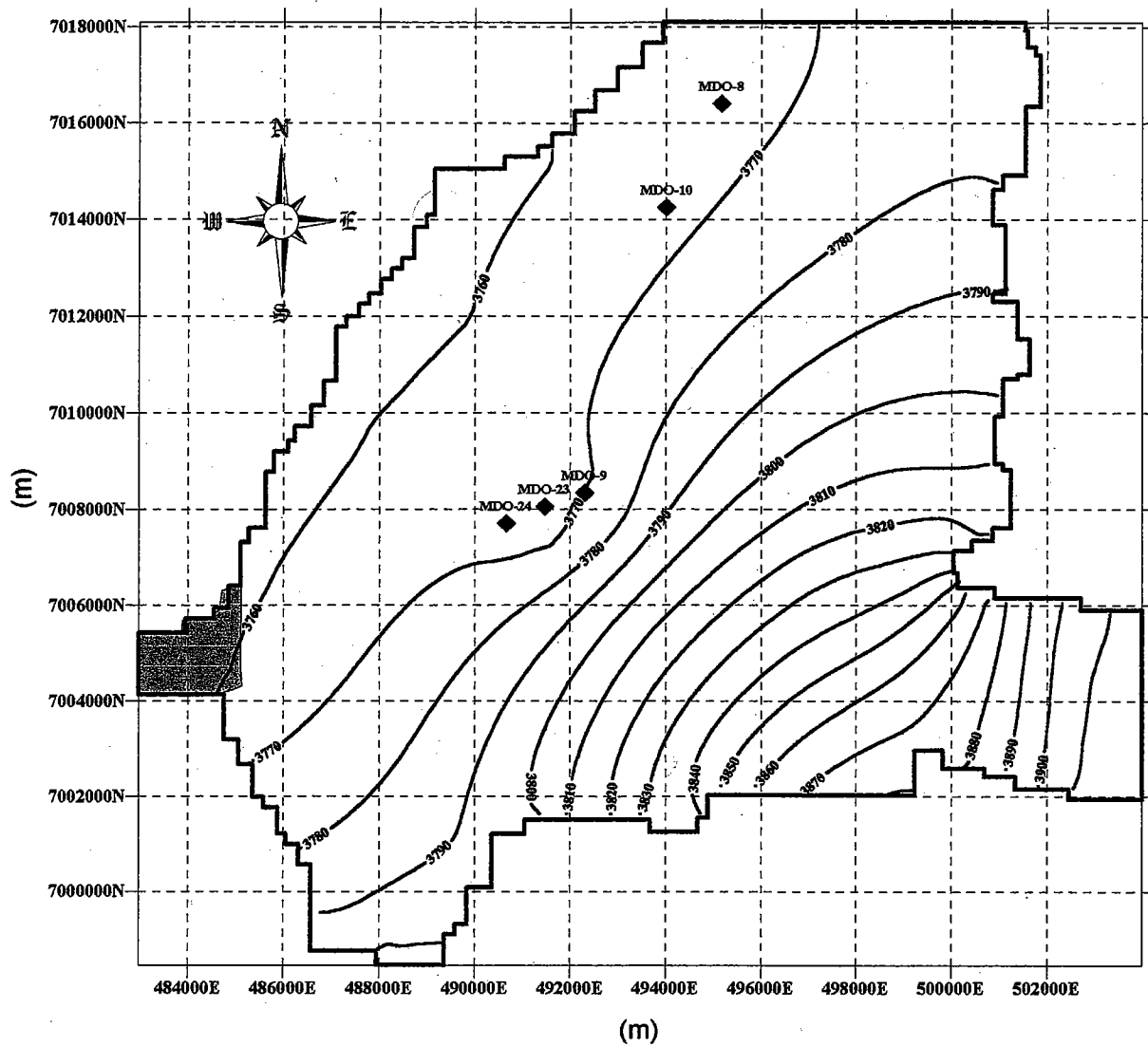
MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA Chile



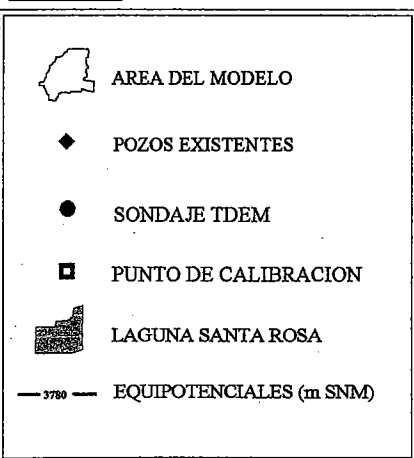
WHLA
SOFTWARE • CONSULTORIA • ENTRENAMIENTO

Figura 4.20

Project No:
CH301-97



LEYENDA



SUPERFICIE DE LA NAPA FREÁTICA:
RESULTADOS DEL MODELO DESPUES DE 50 AÑOS

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



WHLA
SOFTWARE • CONSULTORÍA • ENTRENAMIENTO

Figura 4.21

Project No:

CH301-97

Condiciones de Borde para la Superficie del Estrato Superior

Dos condiciones de borde se especificaron para la superficie superior del modelo: la recarga y la evapotranspiración. Se definieron diferentes zonas de recarga, de modo que se reflejara el balance hídrico del sector modelado. La Figura 4.10 presenta las principales zonas de recarga y sus respectivos aportes de agua. Estas zonas de recargas corresponden a cinco sectores distintos, tal como se indica en la Tabla 12, que se expone a continuación:

Tabla 12: Zonas de Recarga del Modelo del Salar de Maricunga

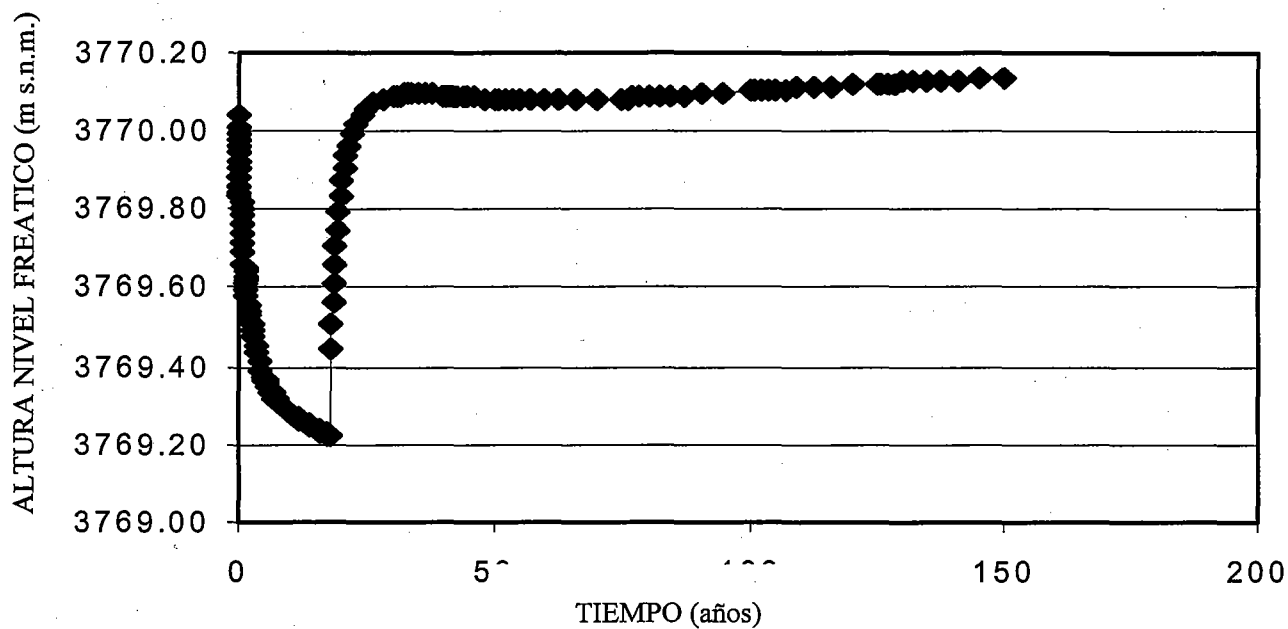
Zonas	Características/Proceso
Zona 1	Recarga por precipitación directa sobre el acuífero principal
Zona 2	Flujo desde la Quebrada Pastillos a través de la zona no saturada
Zona 3	Flujo desde el Río Lamas a través de la zona no saturada
Zona 4	Flujo desde la Quebrada Colorado a través de la zona no saturada
Zona 5	Flujo producto de crecidas desde las zonas intermedias y montañas circundantes

MODFLOW no contiene las subrutinas que simulan los procesos que ocurren en la zona no saturada, como es la recarga de los afluentes en las desembocaduras de las quebradas y/o vegas de las Quebradas Pastillos, Colorado, Río Lamas y Ciénaga Redonda (Figura 4.2). Como el modelo no puede simular, explícitamente, estos flujos en la zona no-saturada, se aplicaron los valores representativos de los caudales afluentes, directamente a cada sector del acuífero principal.

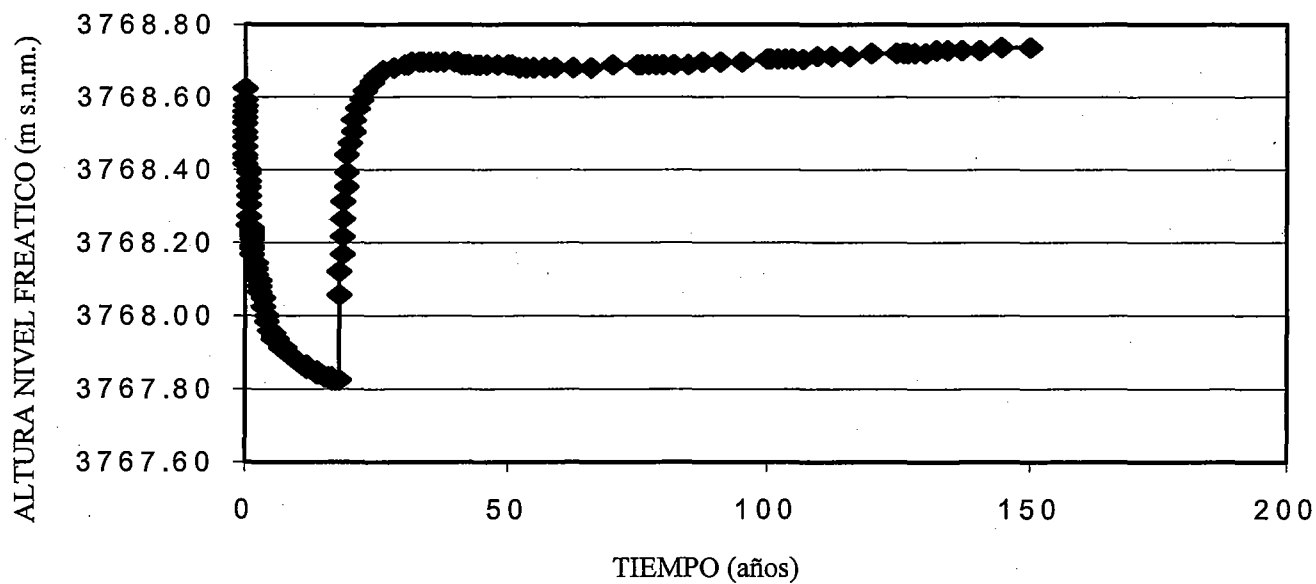
También se especificaron valores de evapotranspiración para la superficie de toda el área del modelo. La evapotranspiración se aplicó a toda la superficie, sin embargo, este proceso ocurre únicamente cuando el nivel freático se ubica a una cierta distancia de la superficie. En otras palabras, la evapotranspiración es función de la profundidad del agua. Se denomina profundidad de extinción a la profundidad a partir de la cual la evapotranspiración es cero.

Aun cuando se han reportado casos donde el proceso de evapotranspiración puede extraer agua desde 15 m bajo la superficie, no se prevee que la vegetación alrededor del Salar y del acuífero principal sea capaz de extraerla a estas profundidades. Dada la escasa vegetación de la zona, se ha considerado que el proceso de evaporación dominante es aquel que ocurre en los primeros 2 m desde la superficie.

a) M D O -9



b) M D O -23



RESPUESTA HIDRAULICA EN LOS
POZOS MDO-9 Y MDO-23

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



WHLA

SOFTWARE • CONSULTORIA • ENTRENAMIENTO

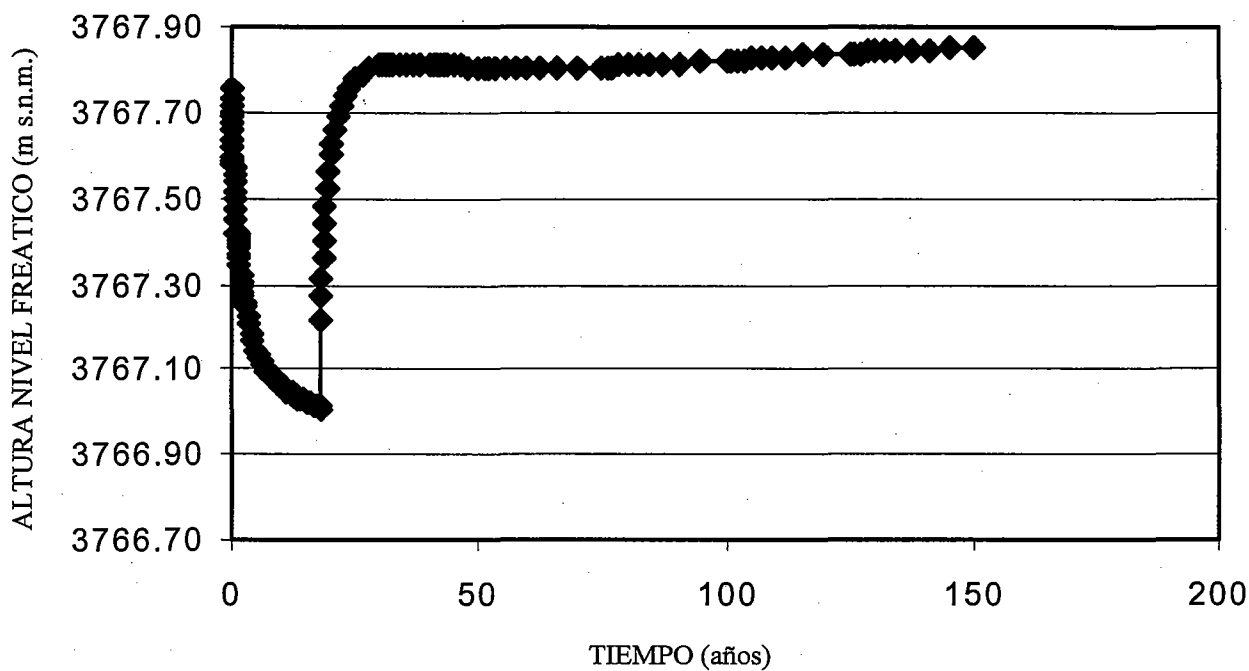
Figura 4.22

Project No:
CH301-97

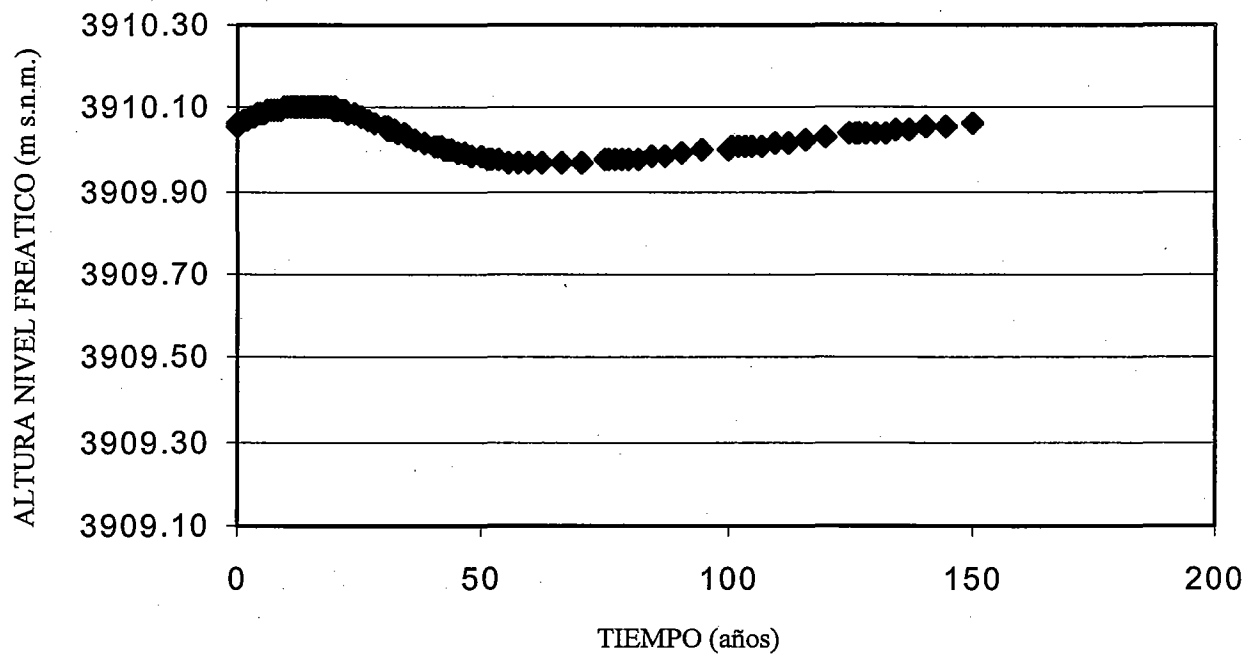
WHLA & EDRA

0072598 D:\project\PROJECTS CHILE\SALAR DE MARICUNGA\agua\fig422.sh

a) MDO-24



b) Rio Lamas



RESPUESTA HIDRAULICA EN
POZOS MDO-24 Y RIO LAMAS

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



Figura 4.23

Project No:
CH301-97

WHLA & EDRA

sensibilidad del modelo a estos parámetros se cuantificó comparando las alturas de agua calculadas con aquellas observadas en los puntos de control.

Las seis simulaciones referidas y los valores correspondientes a los parámetros de interés se presentan en la Tabla 15, que a continuación se adjunta:

Tabla 15: Simulaciones de Análisis de Sensibilidad – Modelo Salar de Maricunga

Simulación de Sensibilidad	Parámetro de Sensibilidad	Valor Base	Valor Extremo
Caso 1	K1	$9.0 \text{ e}^{-5} \text{ m/s}$	$1.8 \text{ e}^{-4} \text{ m/s}$
Caso 2	K1	$9.0 \text{ e}^{-5} \text{ m/s}$	$4.5 \text{ e}^{-4} \text{ m/s}$
Caso 3	K2	$8.0 \text{ e}^{-4} \text{ m/s}$	$1.6 \text{ e}^{-3} \text{ m/s}$
Caso 4	K2	$8.0 \text{ e}^{-4} \text{ m/s}$	$4.0 \text{ e}^{-4} \text{ m/s}$
Caso 5	Recarga por precipitaciones	9.0 mm/año.	18.0 mm/año.
Caso 6	Recarga por precipitaciones	9.0 mm/año.	4.5 mm/año.

Los valores calibrados corresponden a los valores base, mientras que los valores extremos corresponden a valores obtenidos de la literatura para la secuencia acuífera definida.

Los valores de la conductividad corresponden a valores de conductividad horizontal. Al igual que para la calibración, se utilizó una relación entre conductividad horizontal y vertical de 10.

La Figura 4.15 presenta la los valores de alturas piezométricas calculadas y observadas en cada punto de control y para cada caso. Asimismo, las Figuras 4.16, 4.17 y 4.18 presentan los valores observados y calculados en los ensayos de sensibilidad 1 y 2, 3 y 4, y 5 y 6, respectivamente. Estas indican que la altura piezométrica es más sensible a cambios en la conductividad hidráulica que en la recarga, ya que esta última contribuye poco al balance global de agua.

Las Figuras 4.19 a, b y c presentan la superficie equipotencial para todos los casos considerados en el análisis de sensibilidad. Estas figuras muestran que los cambios en el nivel freático, como resultado de las simulaciones de sensibilidad, son muy pequeños.

Tal como se esperaba, la altura piezométrica calculada es más sensible en los puntos de observación ubicados dentro de la zona de conductividad modificada. Al ajustar los valores de conductividad en la zona 1 (casos 1 y 2 en los estudios de sensibilidad), las alturas piezométricas en los puntos de control; sondaje N° 33, y Quebrada Ciénaga Redonda N°10 cambiaron significativamente. Para estos dos casos de análisis de sensibilidad, el cambio en los puntos de control MDO-8, 9, 10, 23 y 24 fue insignificante. Para los casos 3 y 4, en los que se ajustó la



TECK – MDO

CATASTRO DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTOS EN TRAMITE

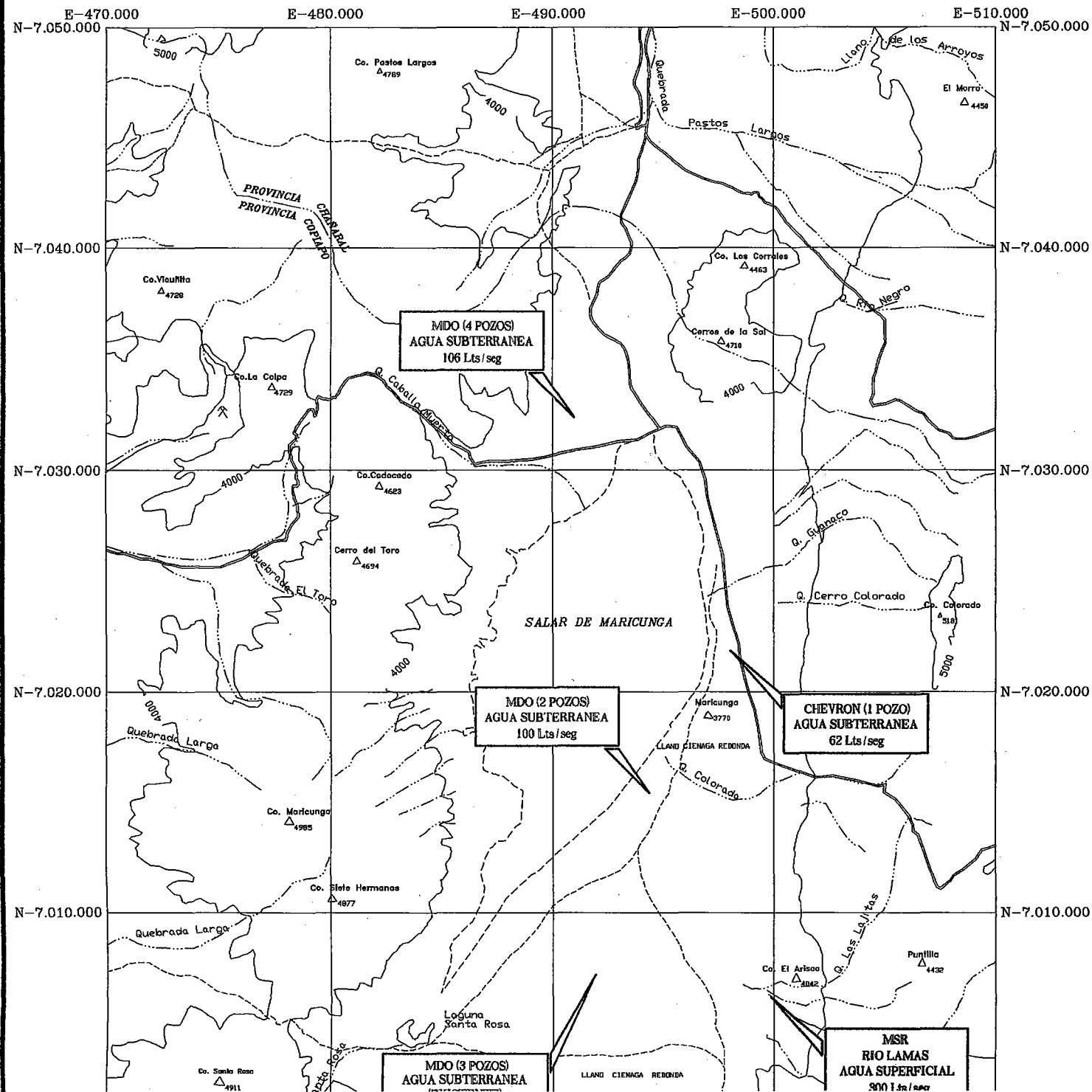
SALAR DE MARICUNGA, CIENAGA REDONDA Y LAGUNA NEGRO FRANCISCO



CATASTRO DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO EN TRAMITE PROYECTO LOBO - MARTE

EXPEDIENTE N°	TITULAR	TIPO	CAUDAL Lts/seg	ALVEO	UBICACION MAPA	SITUACION
ND-0302-02	MRA. ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.	Superficial	100	Laguna Negro Francisco	a	En Trámite (*) (Stgo.)
ND-0302-175	ISIDORO ANDIA LUZA	Superficial	200	Qda. Villalobos	b	En Trámite (*) (Stgo.)
ND-0302-176	ISIDORO ANDIA LUZA	Superficial	300	Qda. Ciénaga Redonda	c	En Trámite(*) (Stgo.)

(*) Se está resolviendo Recurso de Reconsideración



N-7.000.000

N-7.000.000

N-6.990.000

N-6.990.000

N-6.980.000

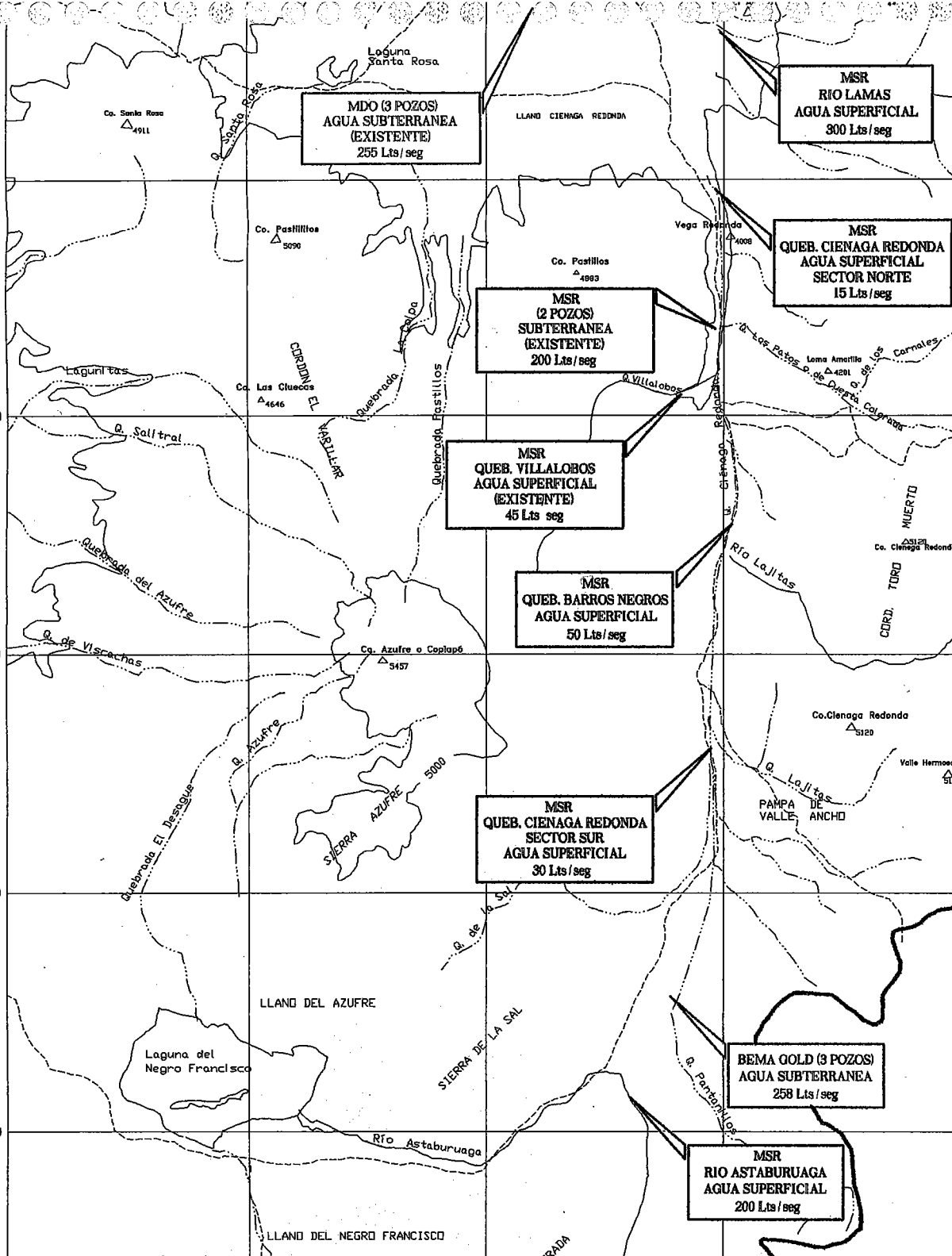
N-6.980.000

N-6.970.000

N-6.970.000

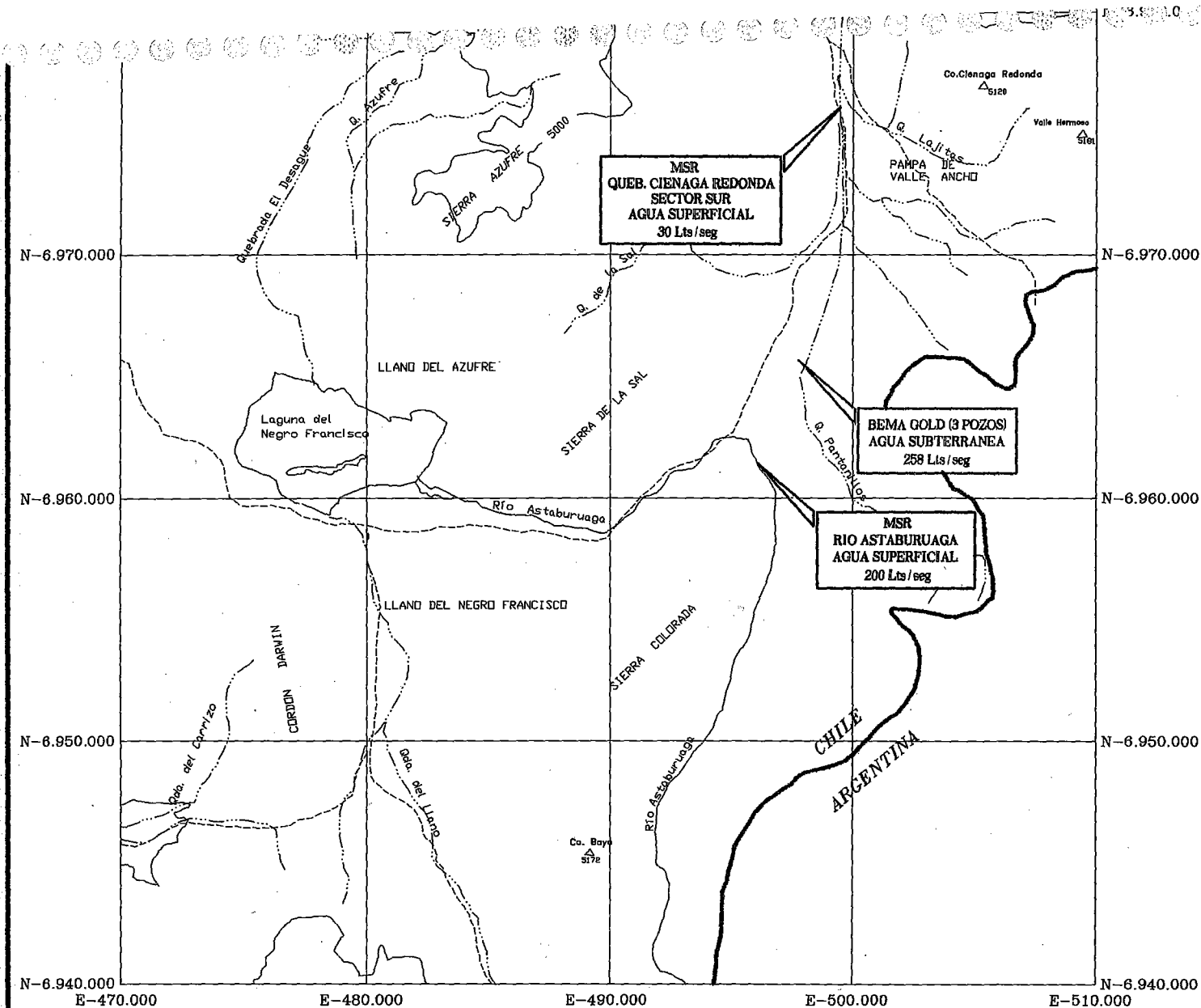
N-6.960.000

N-6.960.000



0 10KM.

ESCALA 1:250.000



0 10KM.

ESCALA 1:250.000

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

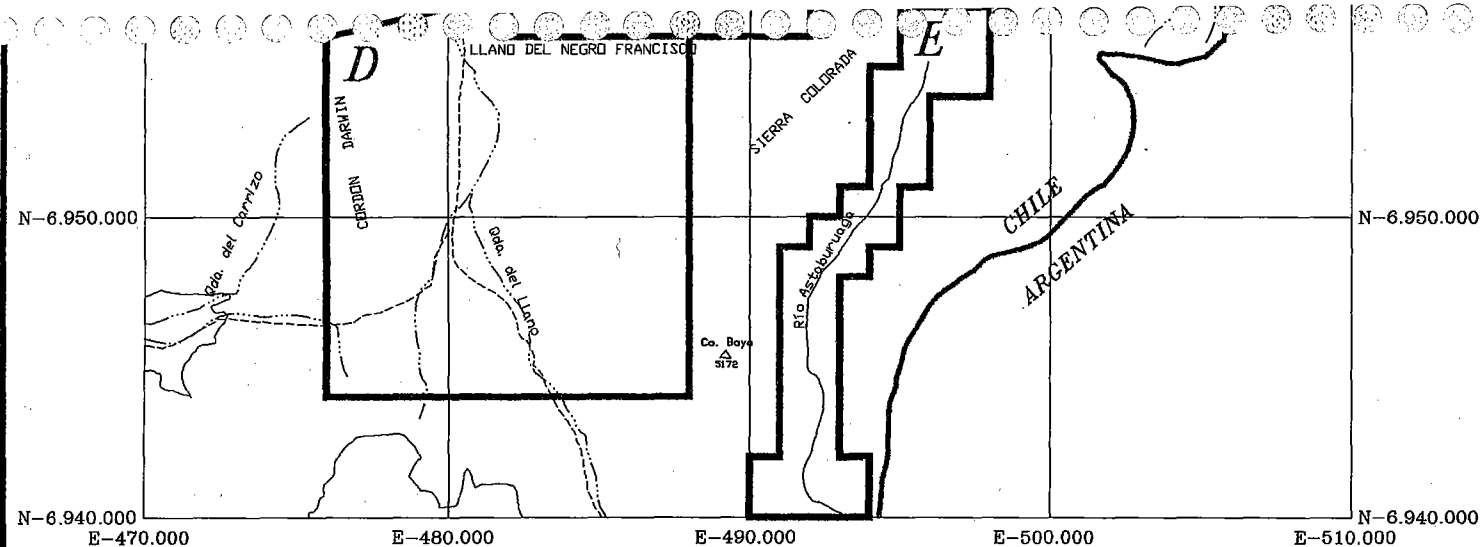
TITULO:

DERECHOS DE AGUA
EXISTENTES

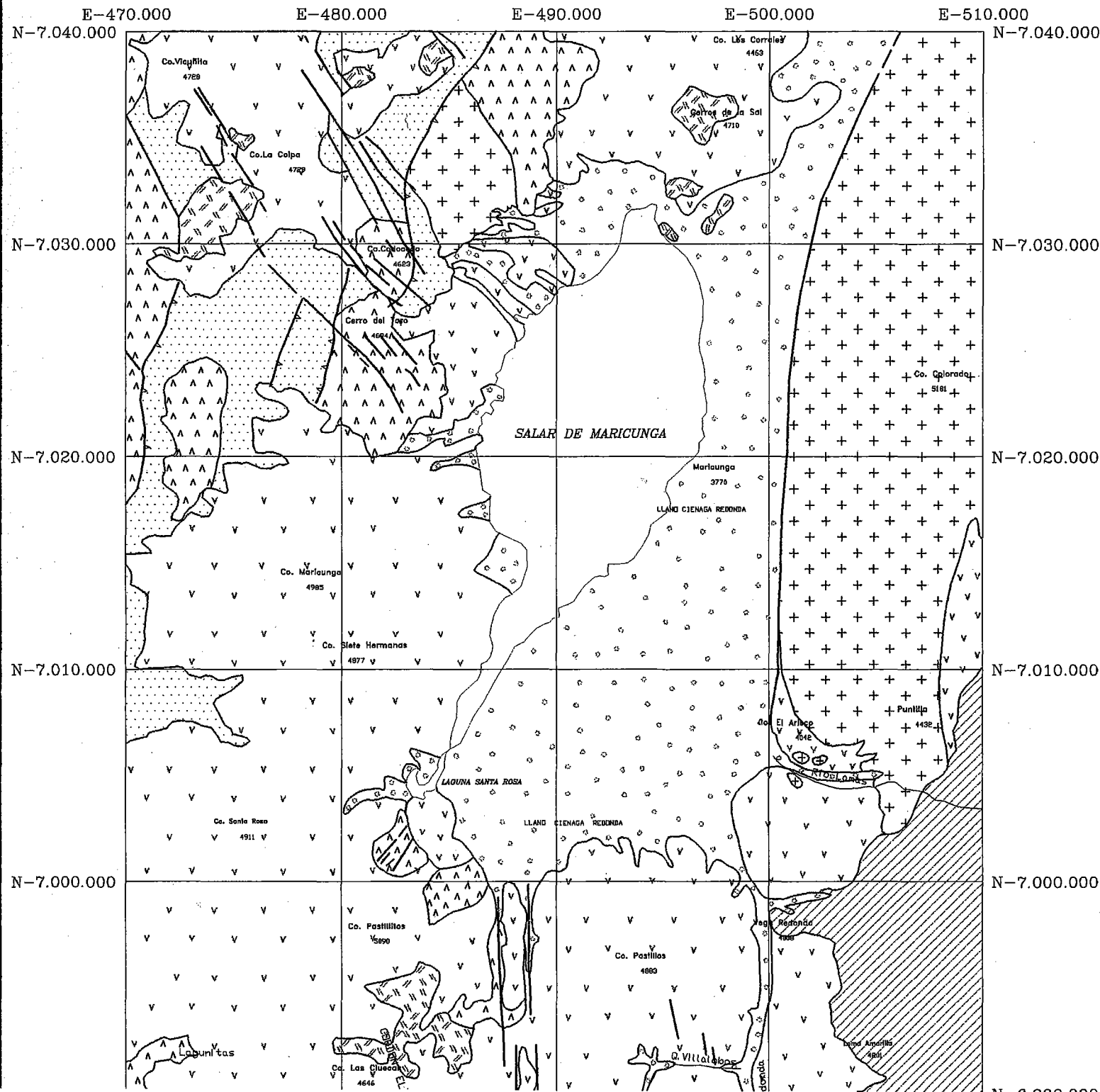
EDRA S.A./WHLA

FECHA: FEBRERO/1998

FIGURA: 1.2



TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO		
TITULO:		
CATASTRO DERECHOS DE AGUA		
SALAR DE MARICUNGA, CIENAGA		
REDONDA Y LAGUNA NEGRO FRANCISCO		
EDRA S.A./WHLA	FECHA: FEBRERO/1998	FIGURA: 13



LEYEND

PALEOZOICO



- FM. CHI
- FM. PAN

MESOZOICO



- FM. LA 1
- FM. LAU
- FM. QDA
- FM. ESTI



CRETACICO SUI

- ROCAS V
- SEDIMEN
- FM. AST.

CENOZOICO



OLIGOCENO



MIOCENO

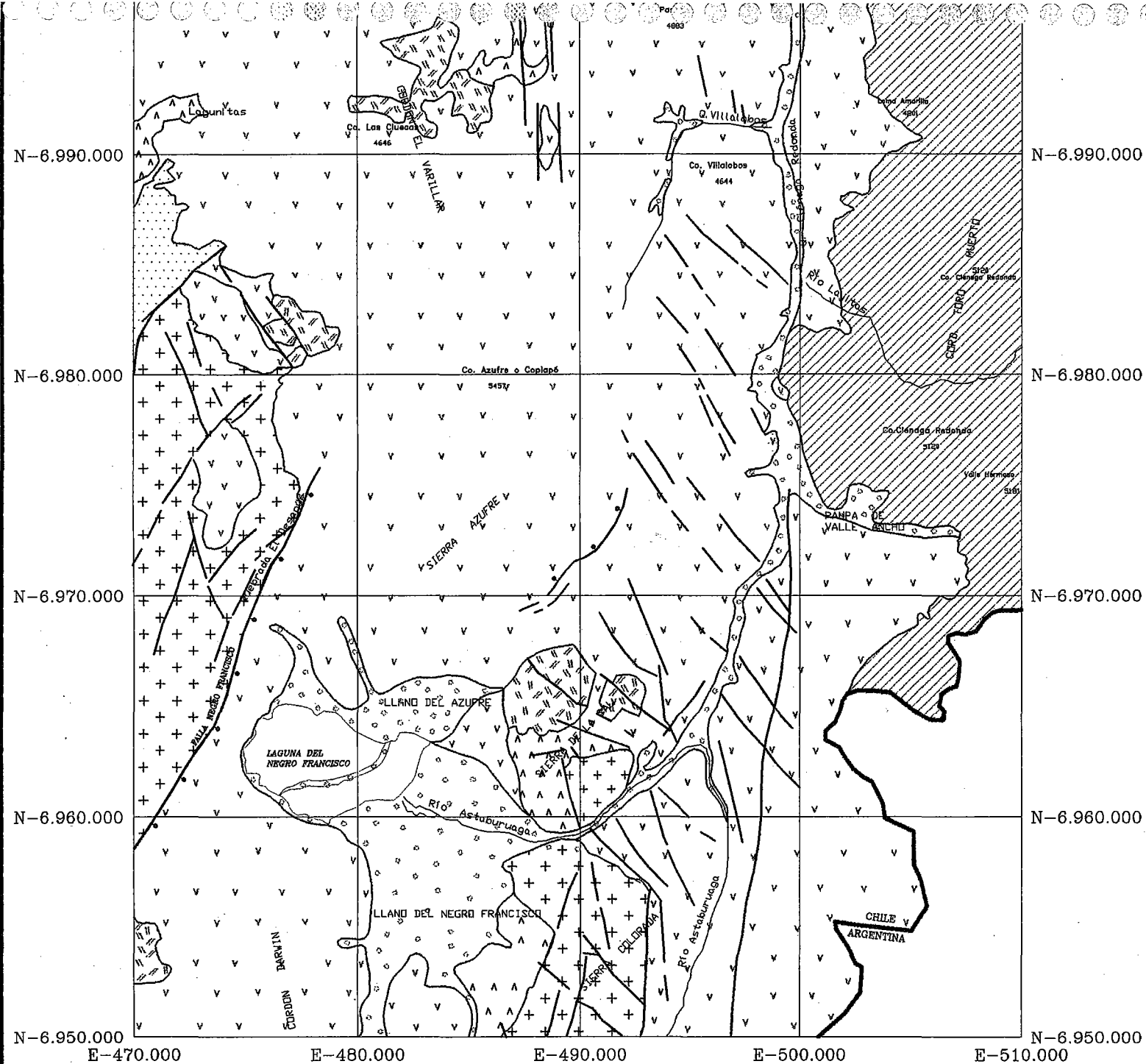


CENOZOICO SUPEI

CUATERNARIO



- DEPOSIT



CENOZOICO SUP.

CUATERNARIO - DEPOS.

ESTRUCTURAS

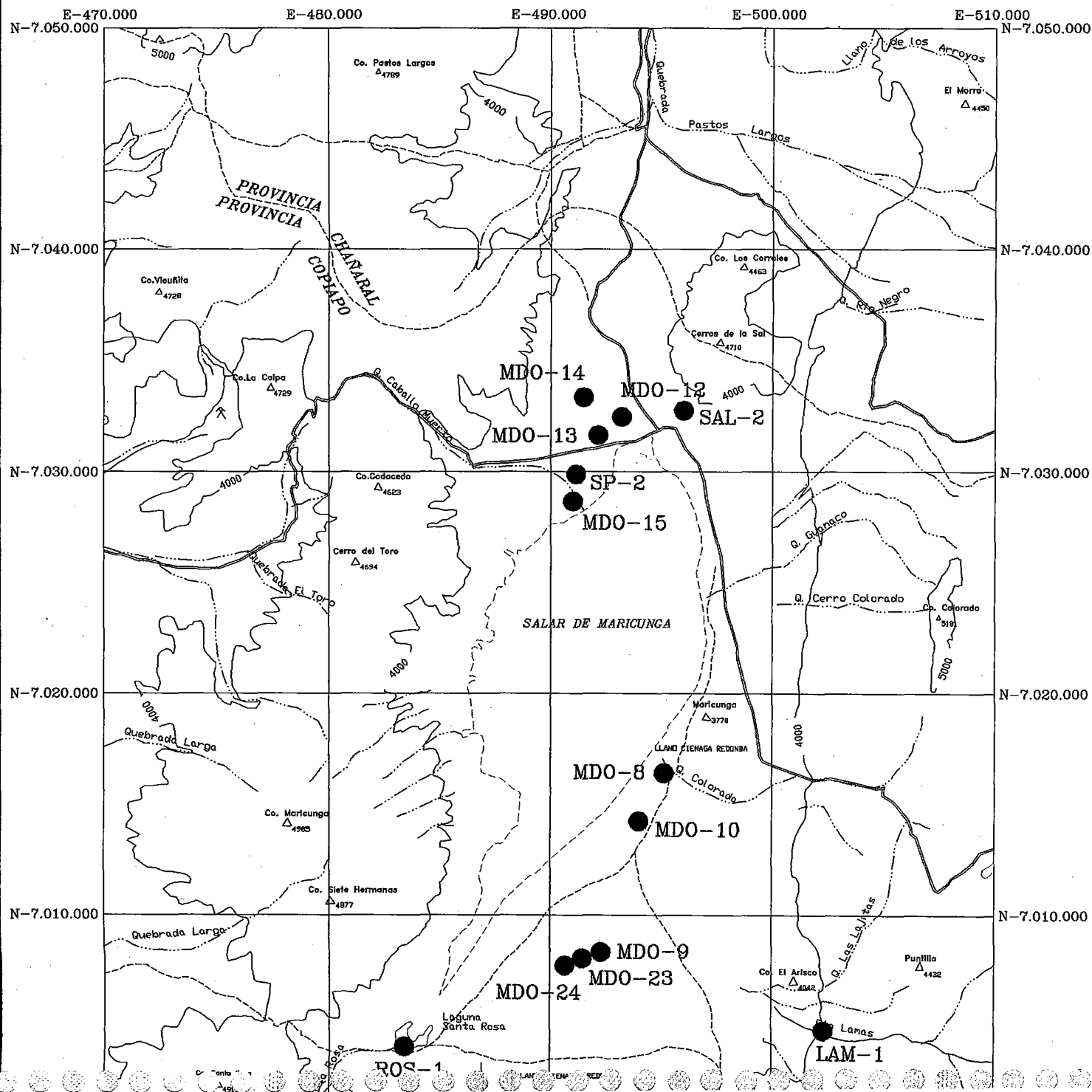
FALLAS INVER
FALLAS NORM
FALLAS

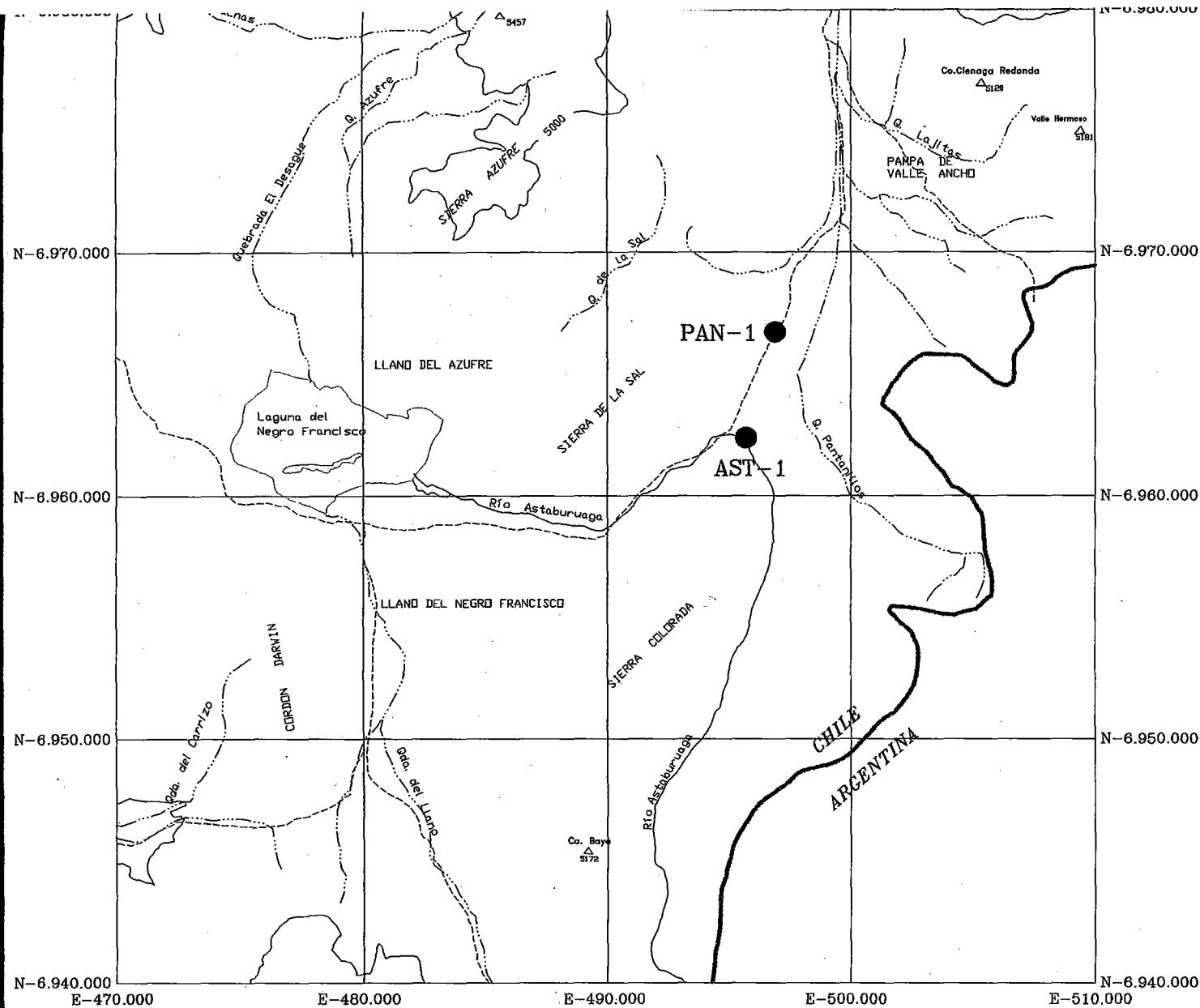
0
ESCALA 1:250.0

TECK CORPORATION - MINER

TITULO:
MARCO GEOL
SALAR DE MAR
CIENAGA REI

EDRA S.A./WHLA FECHA: FEBRERO/1





0 10KM.

ESCALA 1:250.000

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:

UBICACION PUNTOS
MUESTREO
CALIDAD DE AGUAS

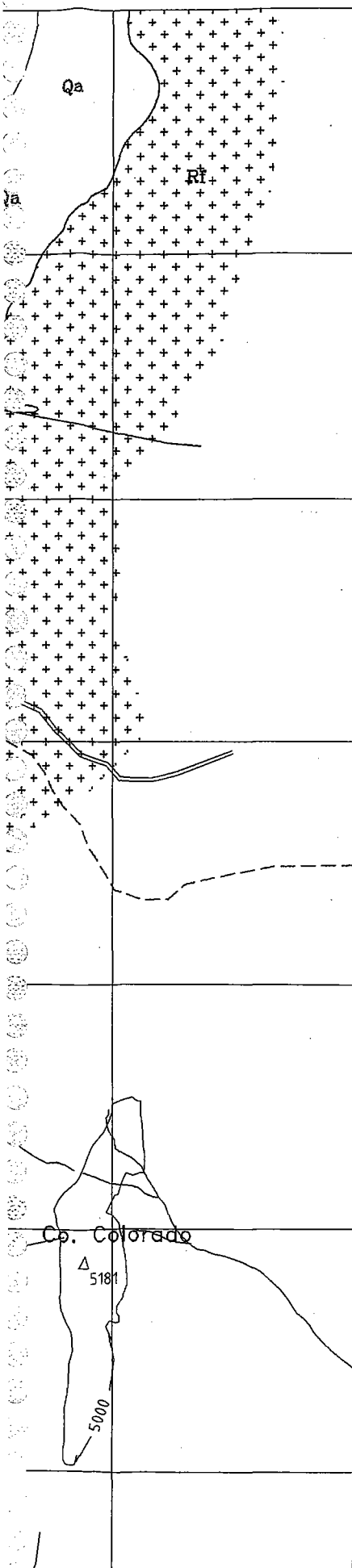
EDRA S.A./WHLA

FECHA:
FEBRERO/1988

FIGURA: 2.5

E-508.000

N-7.044.000



N-7.036.000

N-7.028.000

LEYENDA



ROCA FUNDAMENTAL INDIFERENCIADA



DEPOSITOS ATERRAZADOS



DEPOSITOS EVAPORITICOS



DEPOSITOS DE ESCOMBROS DE FALDA



DEPOSITOS DE CONOS DE DEYECCION



DEPOSITOS ALUVIALES



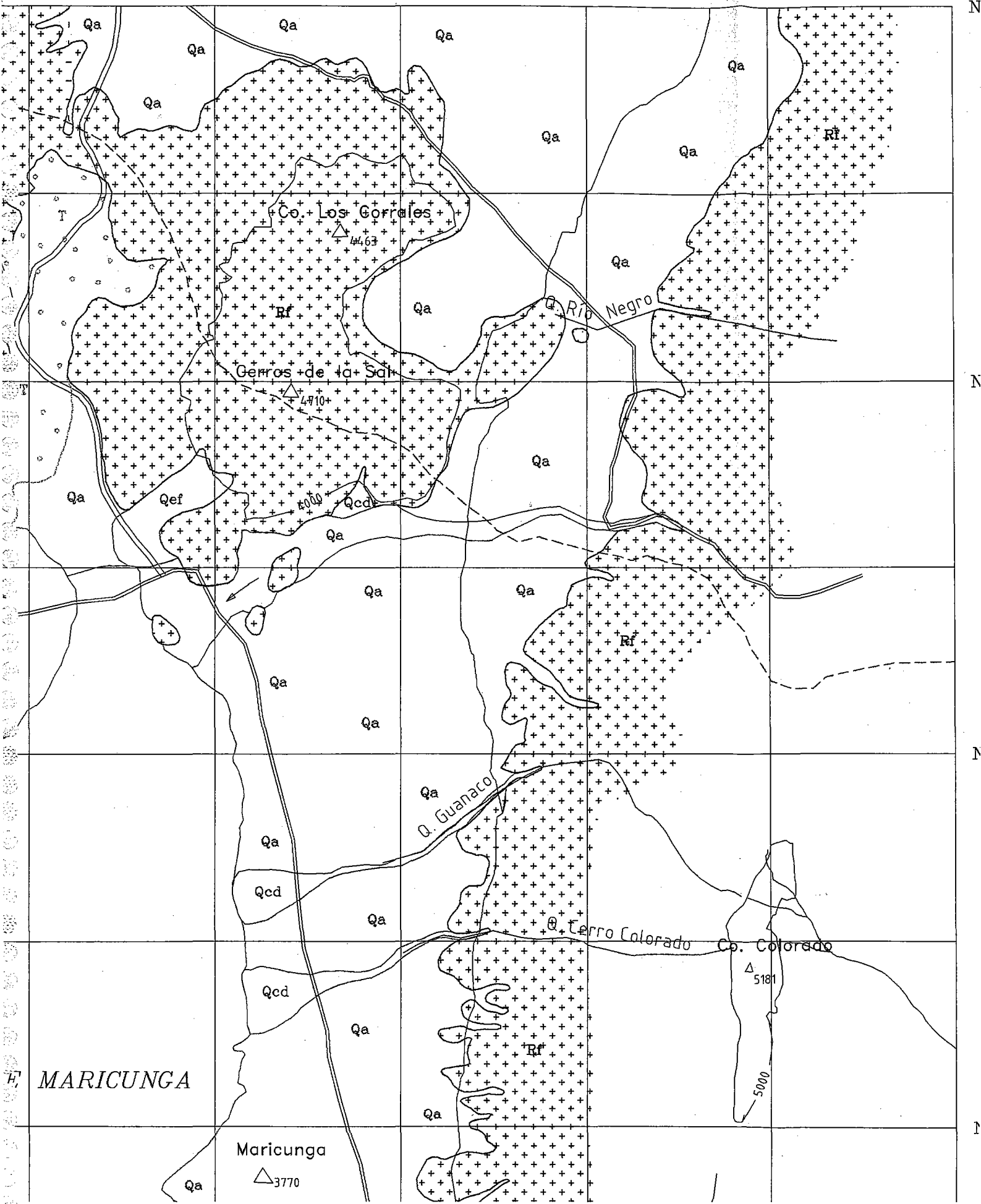
DIRECCION DE ARRASTRE

N-7.020.000

-492.000

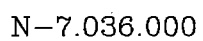
E-500.000

E-508.000



N-7.044.000

E-4



$\triangle_{4729}$

N-7.028.000

$\triangle_{4623}$

$\triangle_{4694}$

Quebrada El Toro

N-7.020.000

SALAR DE

N-7.020.000

N-7.012.000

N-7.004.000

N-6.996.000

E-476.000

E-484.000

E-492.000

Co. Maricunga

△
4985

Co. Siete Hermanas

△
4877

Co. Pastillitos

△
5090Laguna
Santa Rosa

LLANO CIENAGA REDONDA

Q. Santa Rosa

Rf

Qcd

Qef

Qcd

Qa

Qe

Qa

Qa

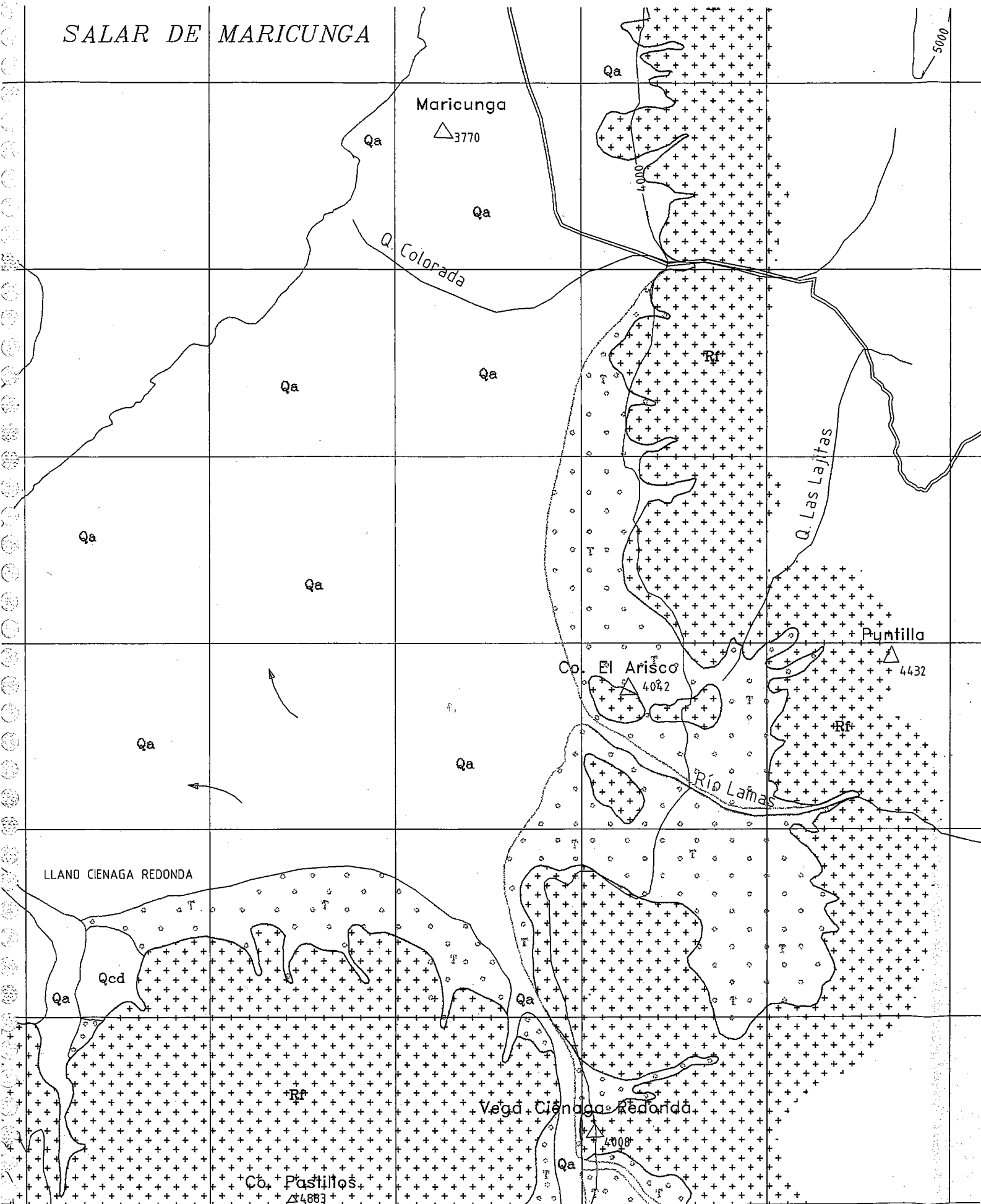
Qcd

Qa

Qcd

Rf

SALAR DE MARICUNGA



E-492.000

E-500.000

E-508.000

DEPOSITOS ALUVIALES

DIRECCION DE ARRASTRE

N-7.020.000

N-7.012.000

N-7.004.000

N-6.996.000



ESCALA 1:100.000

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:

HIDROGEOLOGIA
SECTOR SALAR DE MARICUNGA

EDRA S.A./WHLA

FECHA:
FEBRERO/98

FIGURA: 2.6

N-508.000

E-510.000

N-7.010.000

N-7.000.000

N-6.990.000



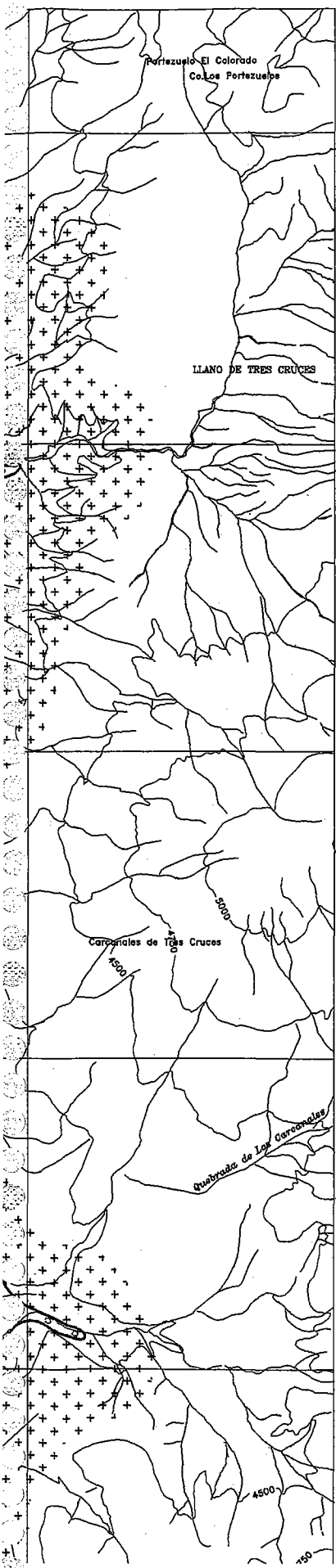
LEYENDA

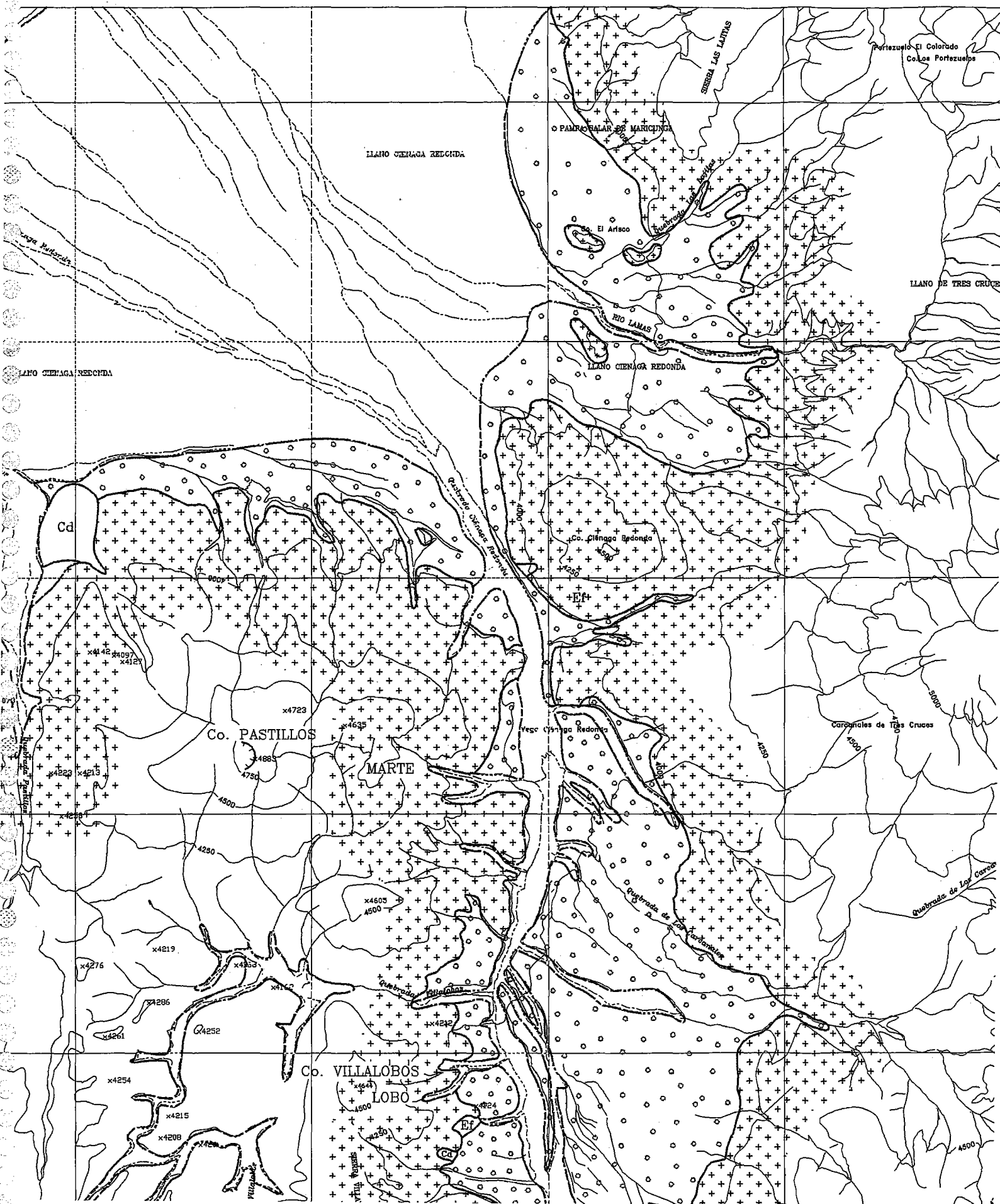


ROCA FUNDAMENTAL INDIFERENCIADA



DEPOSITOS ATERRAZADOS





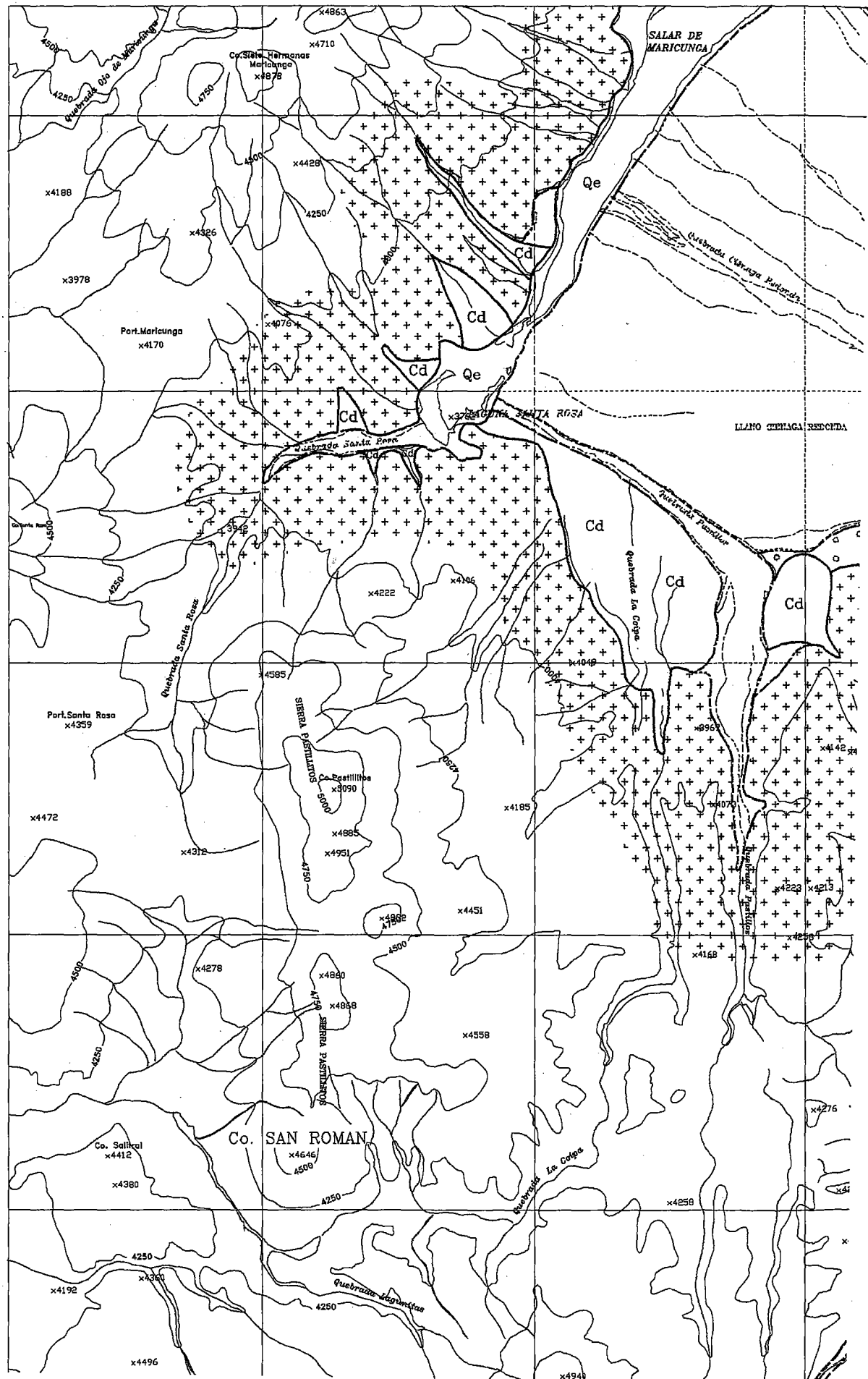
E-480.000

E-490.000

N-7.010.000

N-7.000.000

N-6.990.000



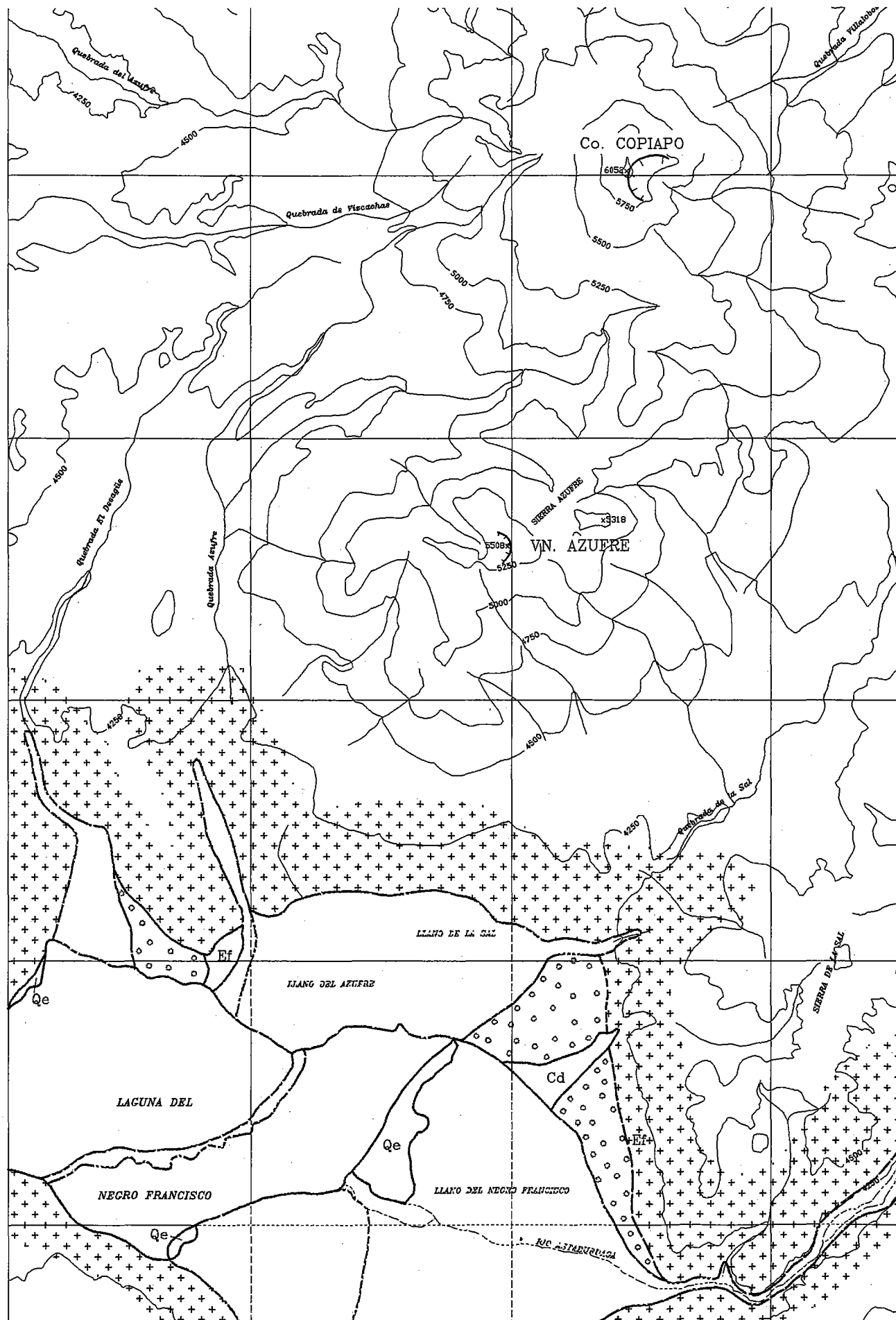
N-6.980.000

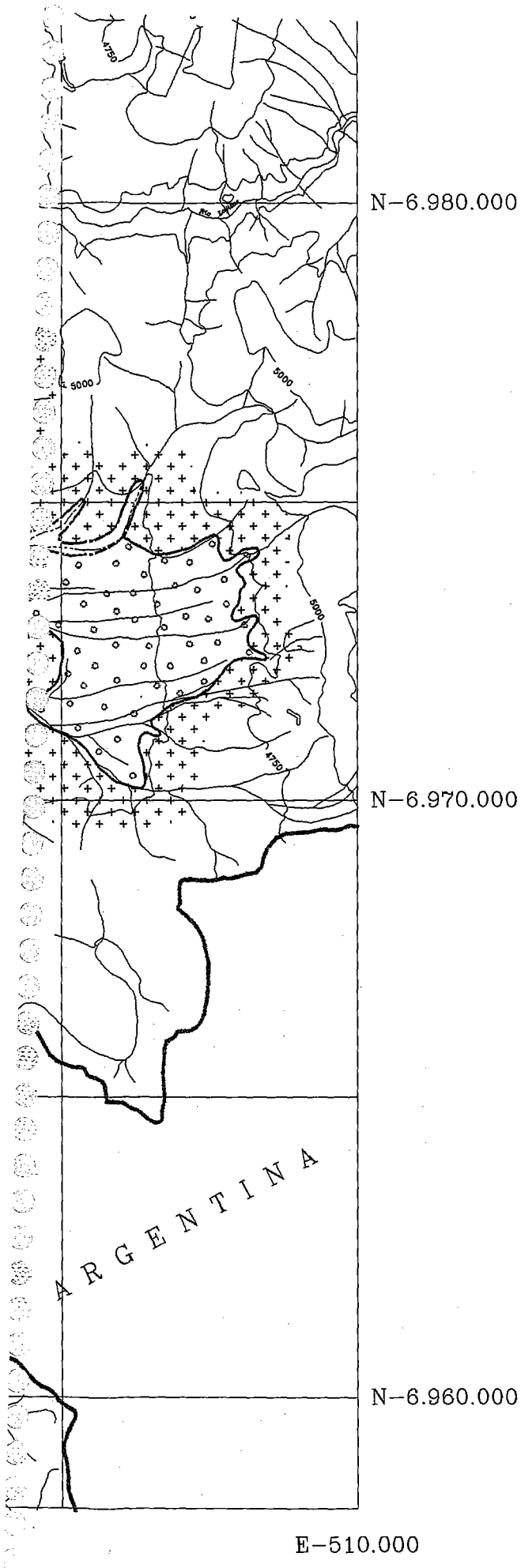
N-6.970.000

N-6.960.000

E-480.000

E-490.000

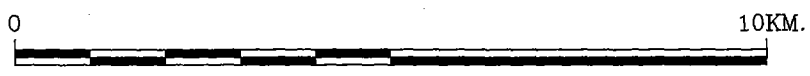




ALUVIO CUATERNARIO

ESCARPE DE ESTRUCTURA DE COLAPSO

VEGAS



ESCALA 1:100.000

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

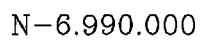
TITULO:

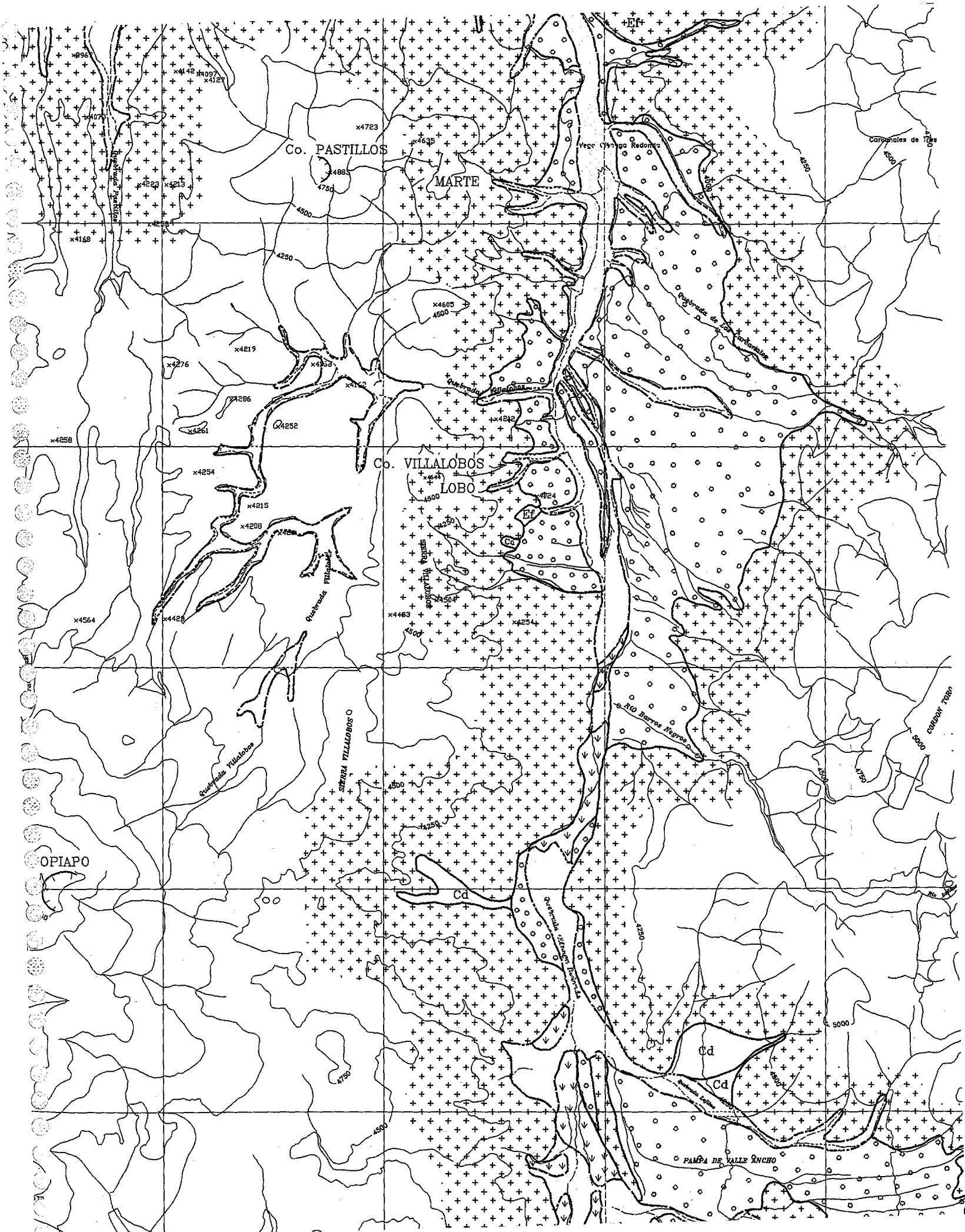
HIDROGEOLOGIA
SECTOR CIENAGA REDONDA

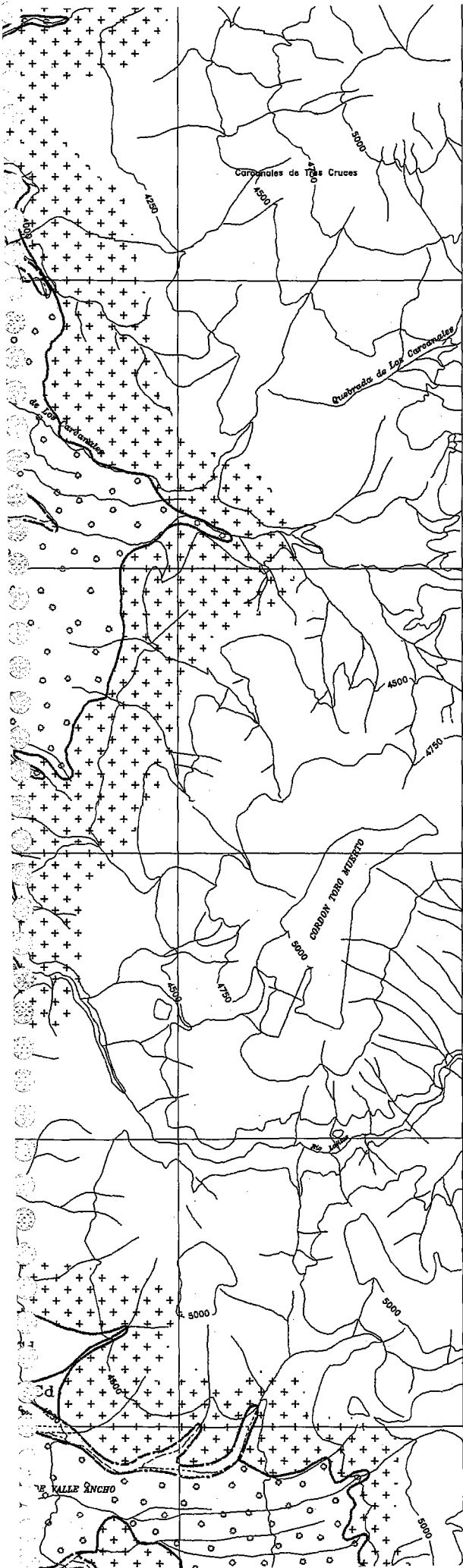
EDRA S.A./WHLA

FECHA:
FEBRERO/1998

FIGURA: 2.7







LEYENDA

N-6.990.000



ROCA FUNDAMENTAL INDIFERENCIADA



DEPOSITOS ATERRAZADOS



DEPOSITOS EVAPORITICOS



ESCOMBROS DE FALDA



CONOS DE DEYECCION



ALUVIO CUATERNARIO



ESCARPE DE ESTRUCTURA DE COLAPS



VEGAS

N-6.980.000

500000E

502500E

505000E

507500E

Vega Lajitas

Portezuelo El Colorado

7010000N

PERFIL I-10

PAMPA SALAR DE MARICUNGA

40 PERFIL L-8

3900

3800

3700

36 PERFIL L-7

3800

3700

3600

34 PERFIL L-6

3800

3700

3600

3500

x40+2

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

34

Quebrada Las Lajitas

Puntilla

7007500N

RIO LAMAS

7005000N

LLANO CIENAGA REDONDA

Co. Ciénaga Redonda

4500

4250

donde

29

7002500N

7000000N

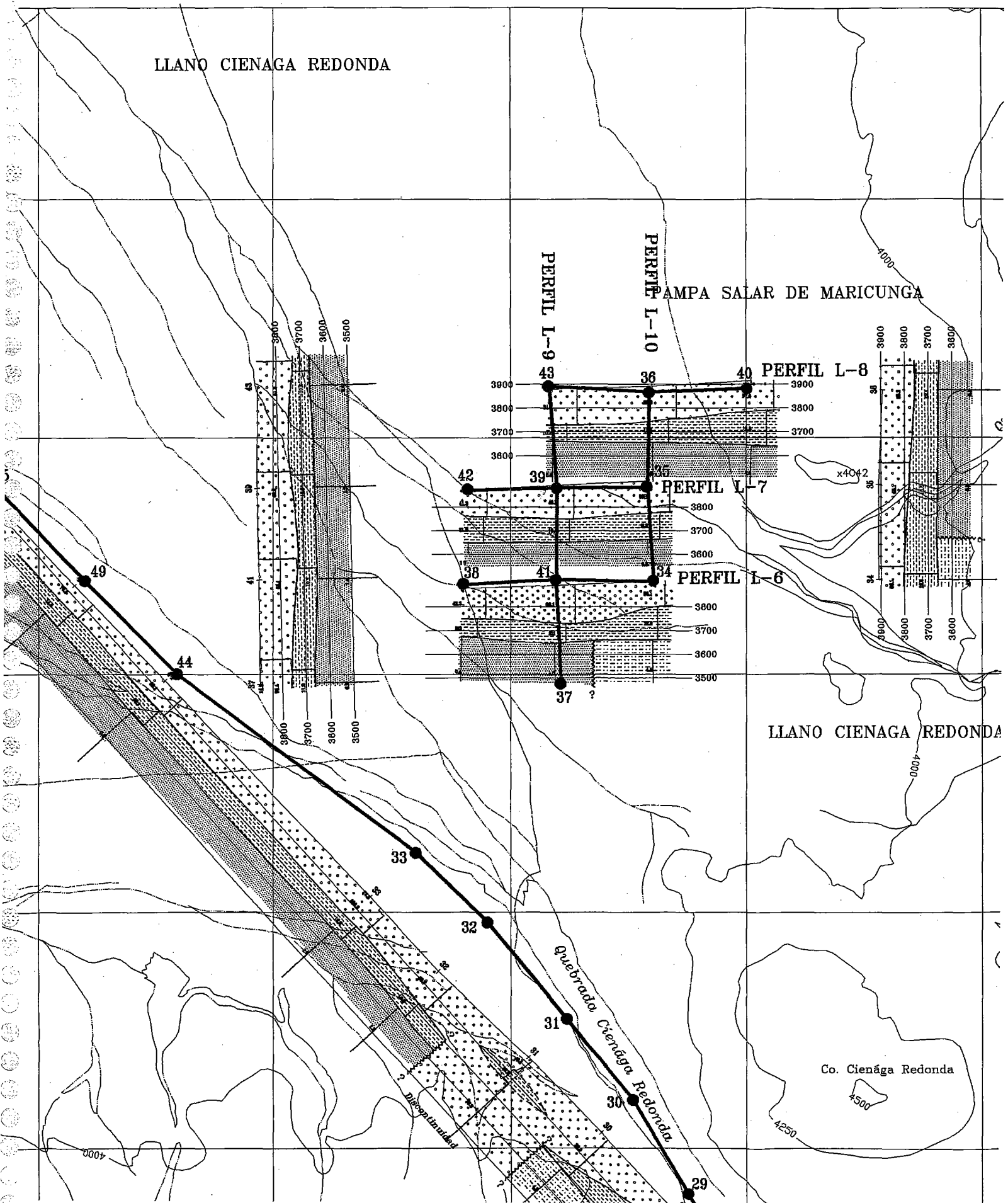
192500E 495000E 497500E 500000E 502500

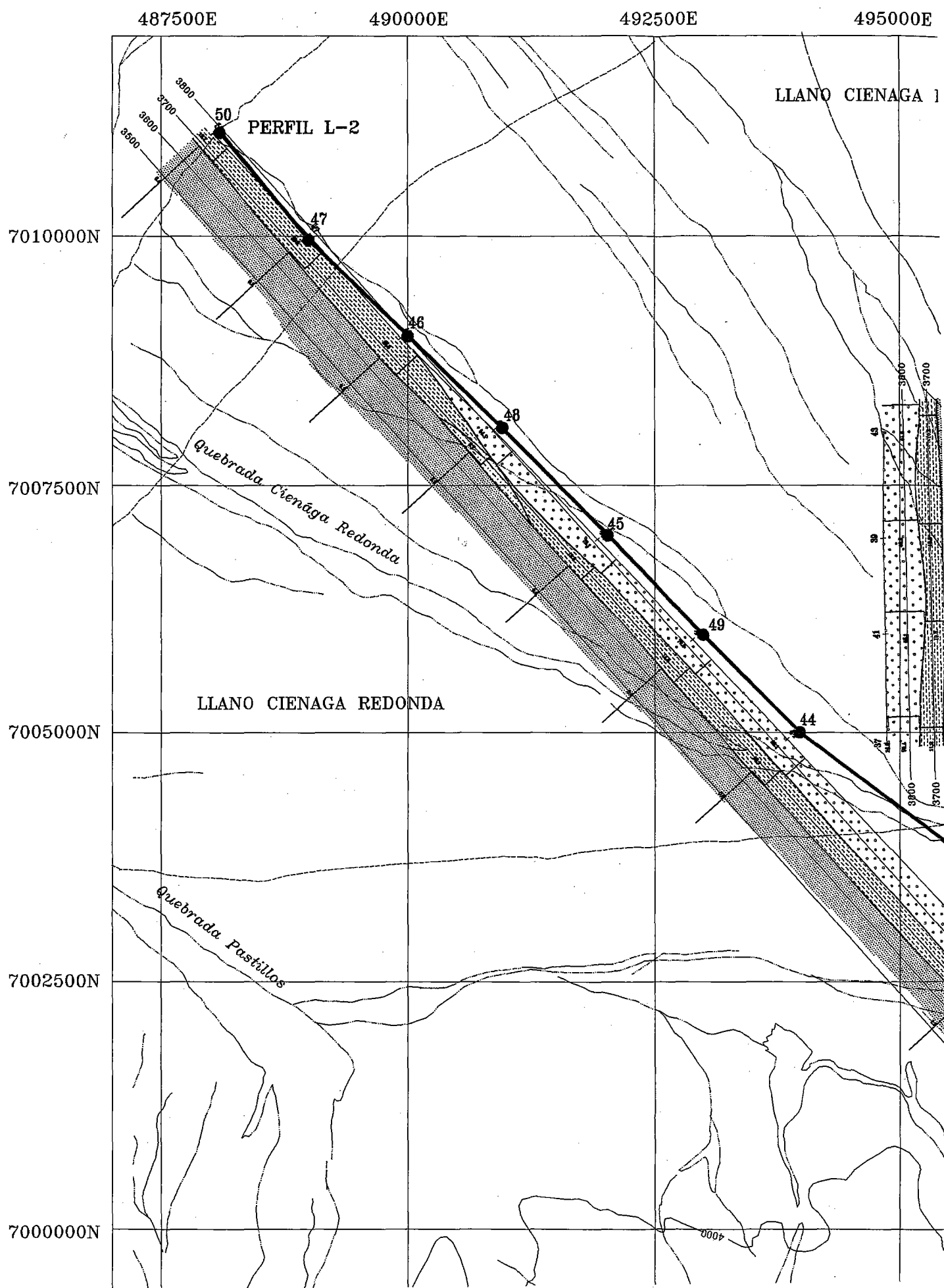
LLANO CIENAGA REDONDA

AMPA SALAR DE MARICUNGA

LLANO CIENAGA REDONDA

Co. Ciénaga Redonda





7002500N

7000000N

6997500N

6995000N

6992500N

6990000N

Quebrada Pastillos

Quebrada La Coipa

Quebrada Pastillos

x3969

x4142

x4097
x4127

x4073

x4723

x4702

Co. Pastillos
x4883

x4223

x4213

4750

4500

x4253

x4168

4250

x4219

x4276

x4168

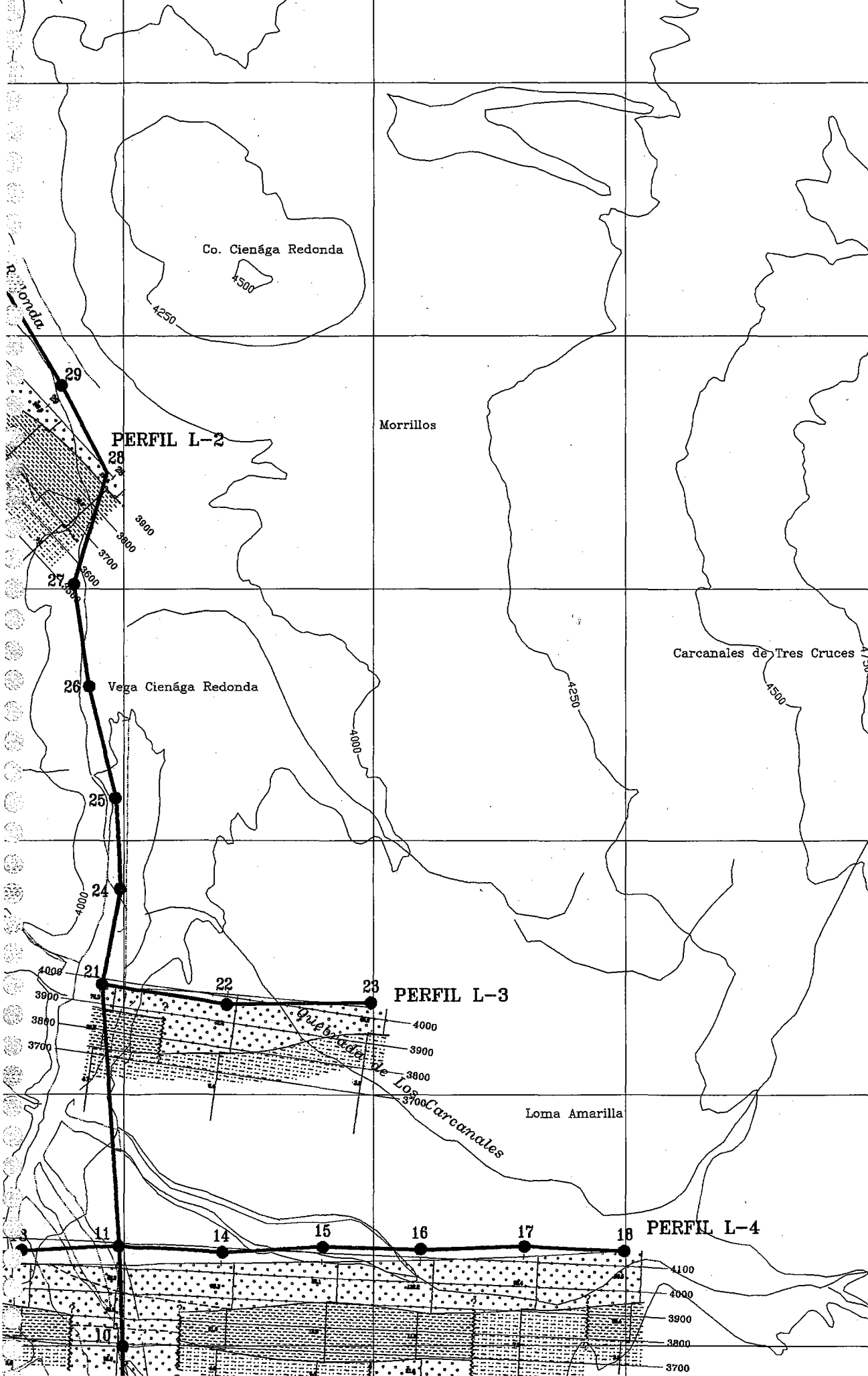
x4162

x4286

x4281

x4252

x4258



7002500N

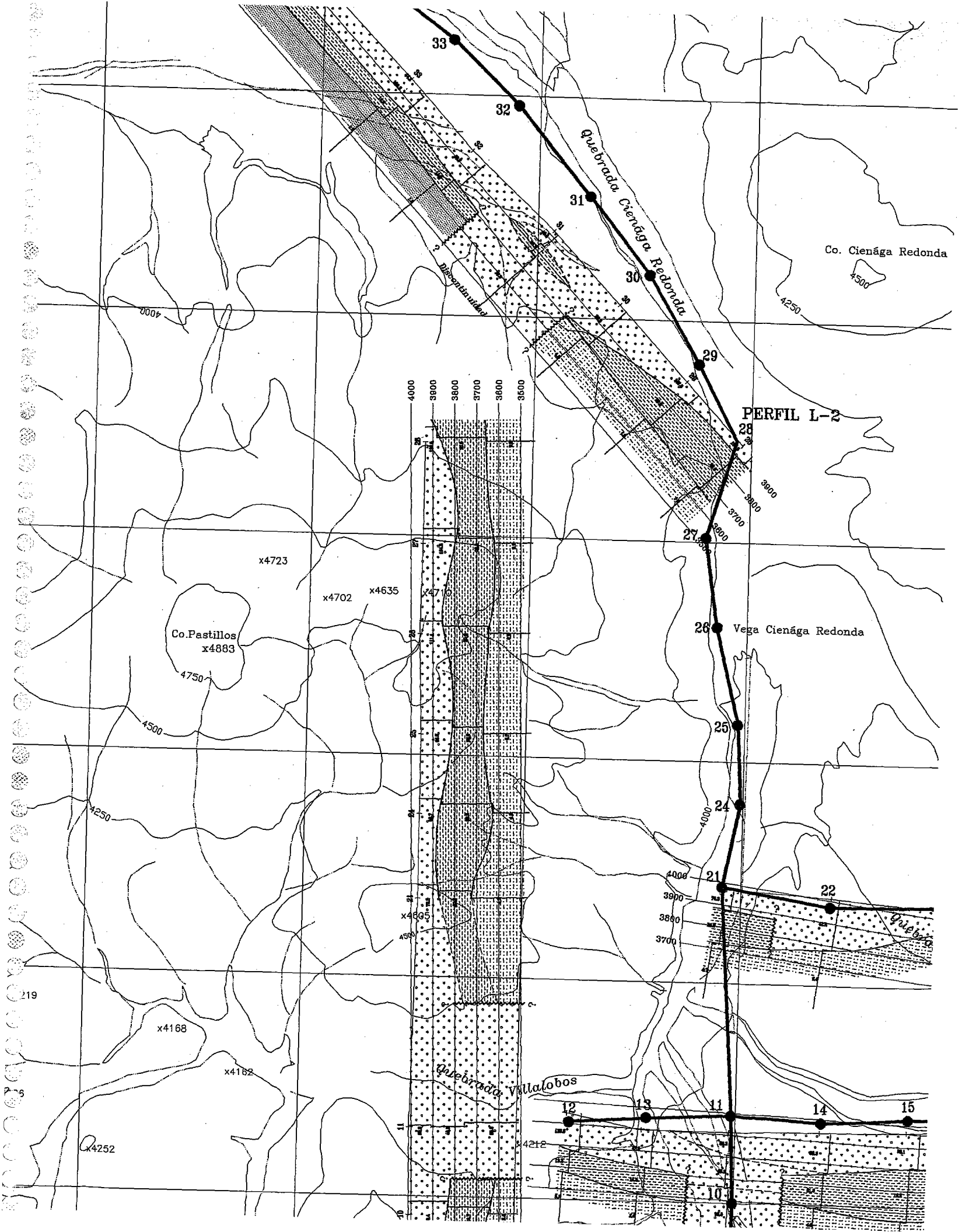
7000000N

6997500N

6995000N

6992500N

6990000N



6990000N

x4258

x4254

x4215

x4208

x4201

6987500N

x4564

x4423

x4483

6985000N

4500

6982500N

Quebrada Villalobos

SIERRA VILLALOBOS

4500

487500E

490000E

492500E

495000E

L E Y E N D A

RESISTIVIDAD
[ohm-m]

DESCRIPCION DE UNIDADES GEOELECTRICAS



> 30

Gravas y/o arenas, potencial acuífero de agua fresca



10-25

Gravas y/o arenas, con mayor contenido de finos, saturadas de agua



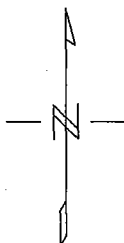
2-10

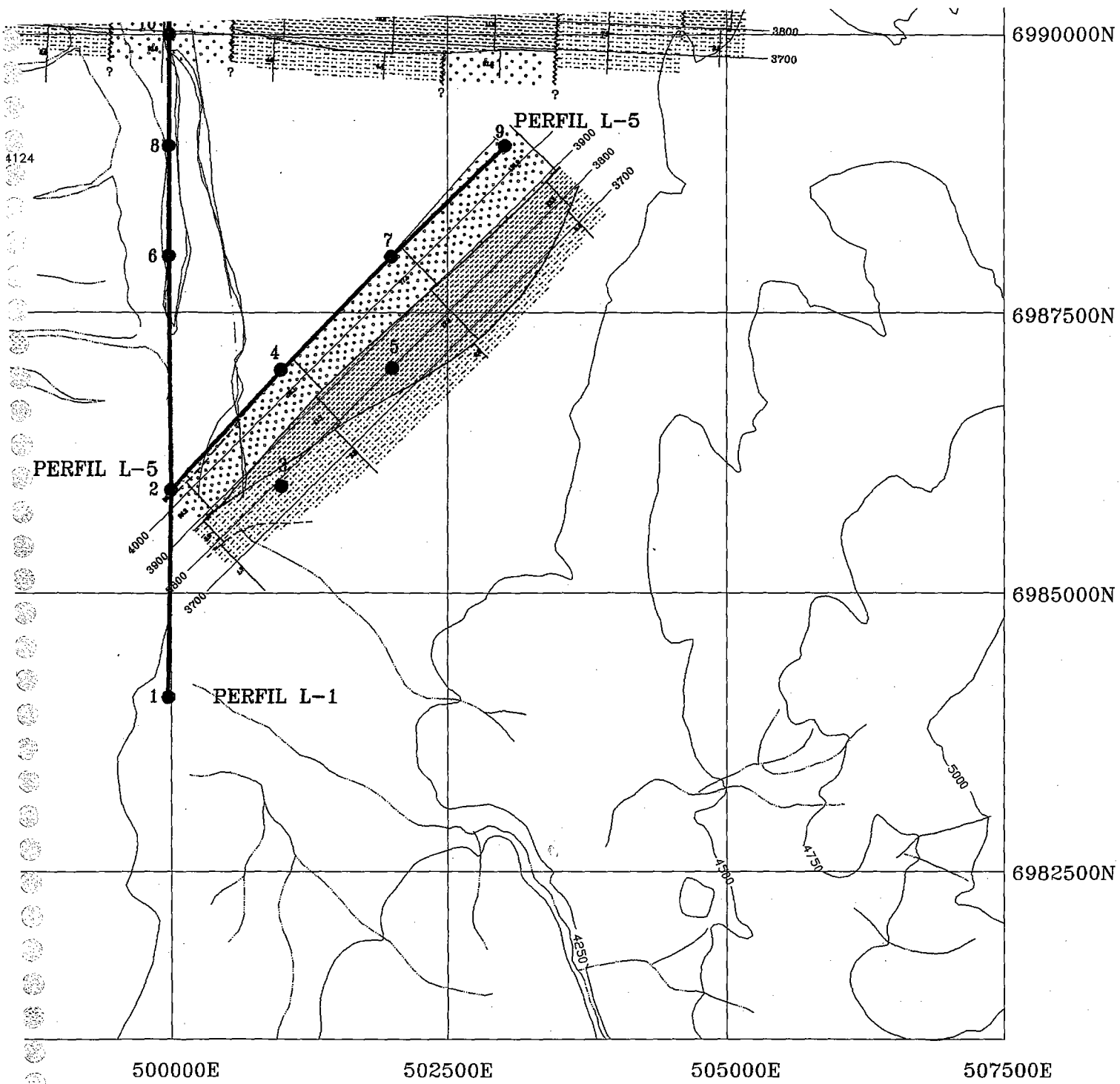
Sedimentos finos y/o arcillas saturadas



< 1.5

Sedimentos finos y/o arcillas saturadas con agua salada (cuna salina)

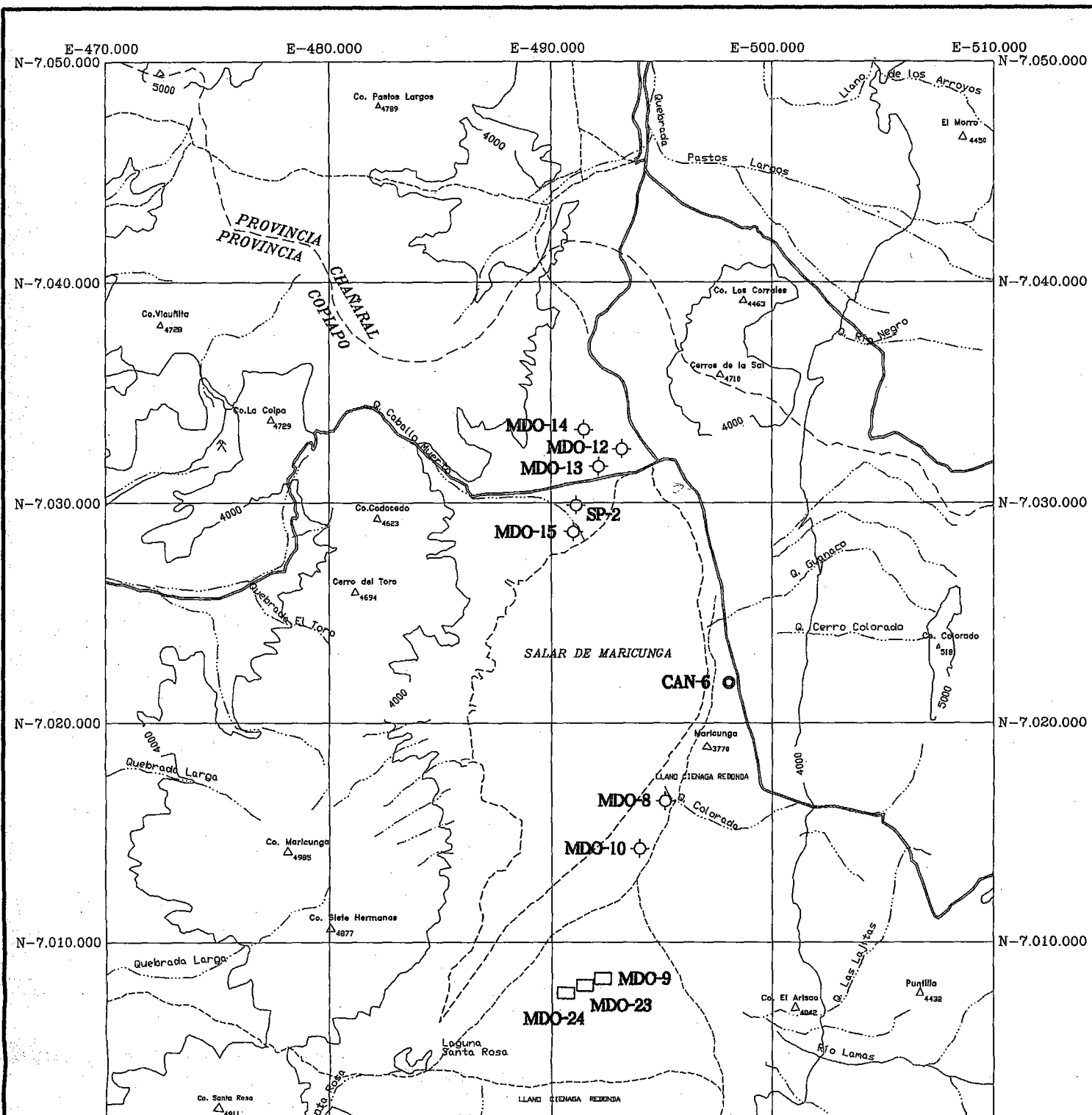




Scale 1:50000
1000 2000 3000
(metres)

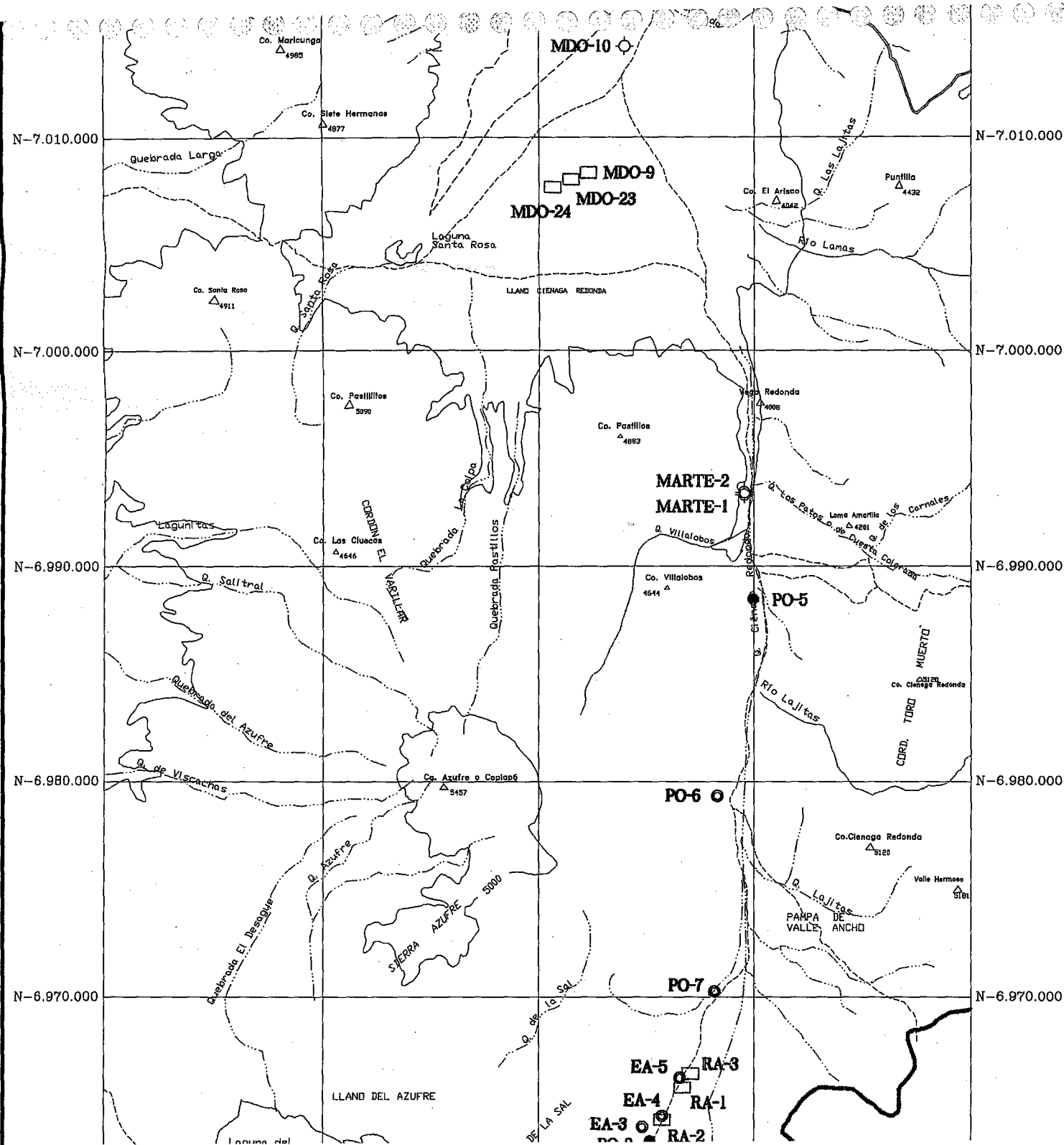
23 PERFIL GEOFISICO TEM

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO		
TITULO:		
PERFILES GEOFISICOS INTERPRETADOS		
GEODATOS SAIC	FECHA: FEBRERO/1998	FIGURA: 2.9



LEYENDA

○ POZOS DE OBSERVACION EXISTENTES

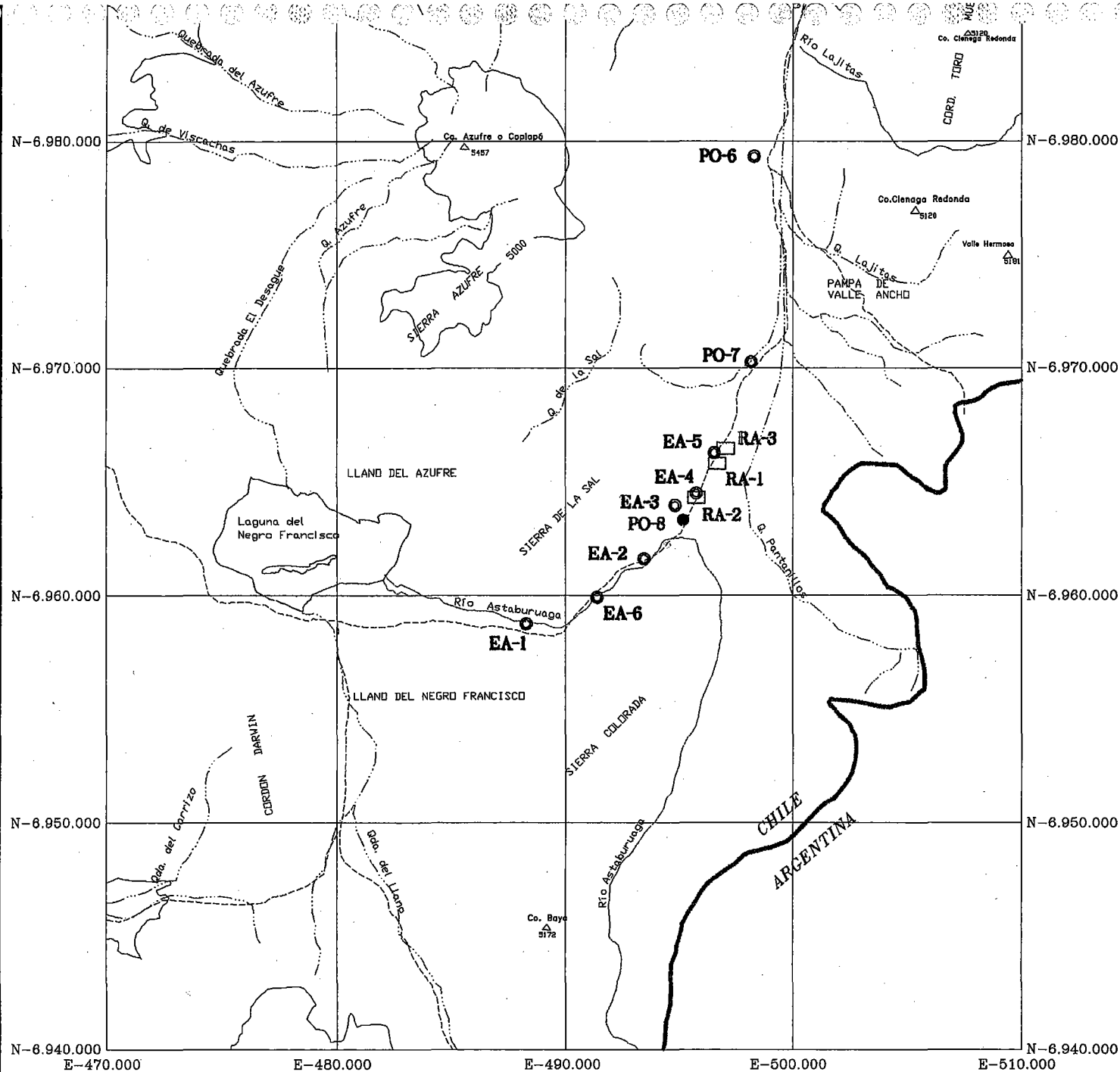


LEYENDA

- POZOS DE OBSERVACION EXISTENTES
- ⊙ POZOS PERFORADOS (CON AGUA)
- ESTACIONES DE BOMBEO
- POZOS PERFORADOS (SECOS)

- | | |
|-------|---|
| MDO | MINERA MANTOS DE ORO |
| MSR | MINERA SANTA ROSA |
| CAN | MINERA CHEVRON |
| EA | BEMA GOLD |
| RA | BEMA GOLD |
| PO | MINERA MANTOS DE ORO -
MINERA SANTA ROSA |
| MARTE | MINERA SANTA ROSA |





EA BEMA GOLD
 RA BEMA GOLD
 PO MINERA MANTOS DE ORO -
 MINERA SANTA ROSA
 MARTE MINERA SANTA ROSA

0 10 KM.
 ESCALA 1:250.000

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

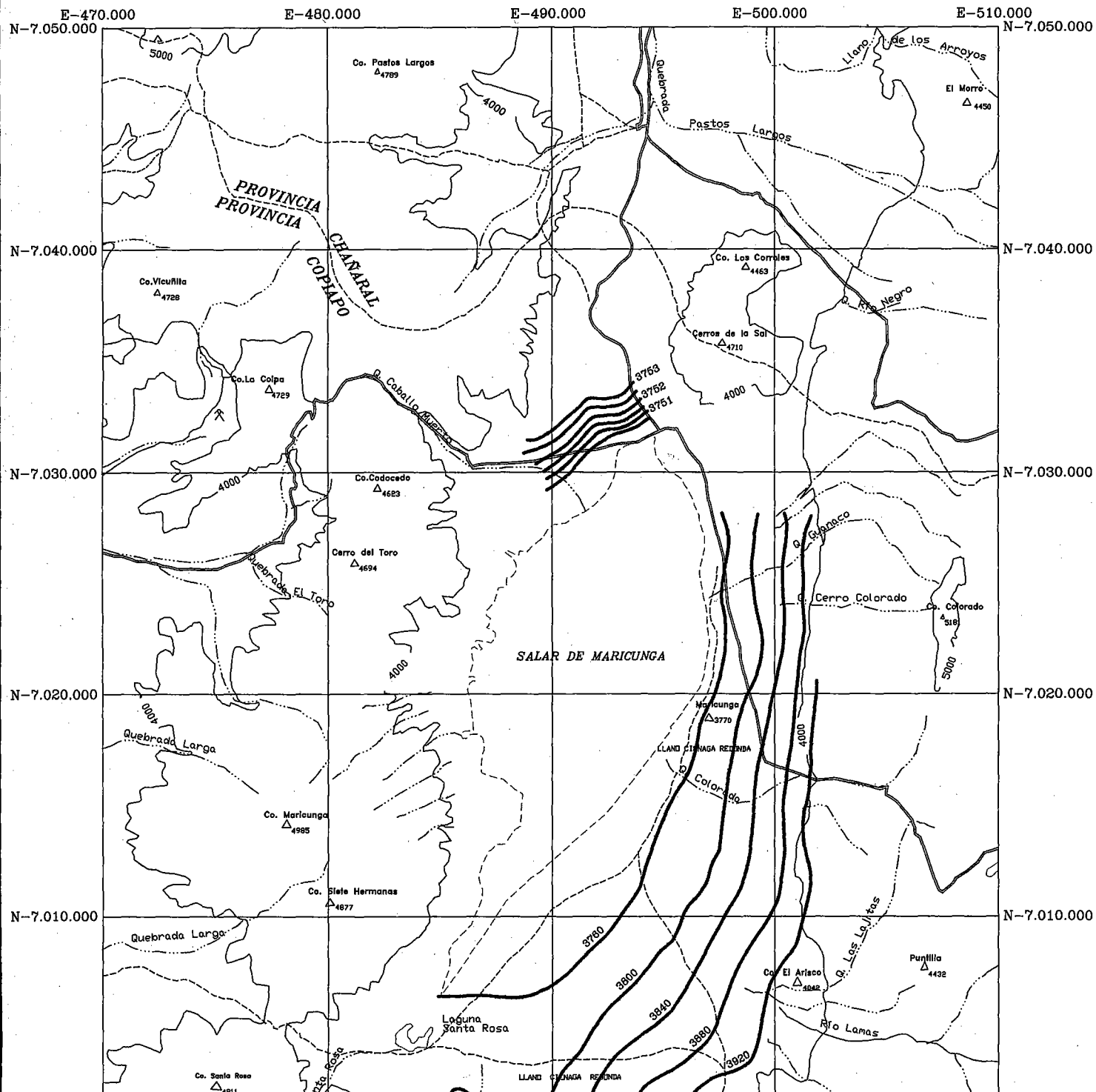
TITULO:

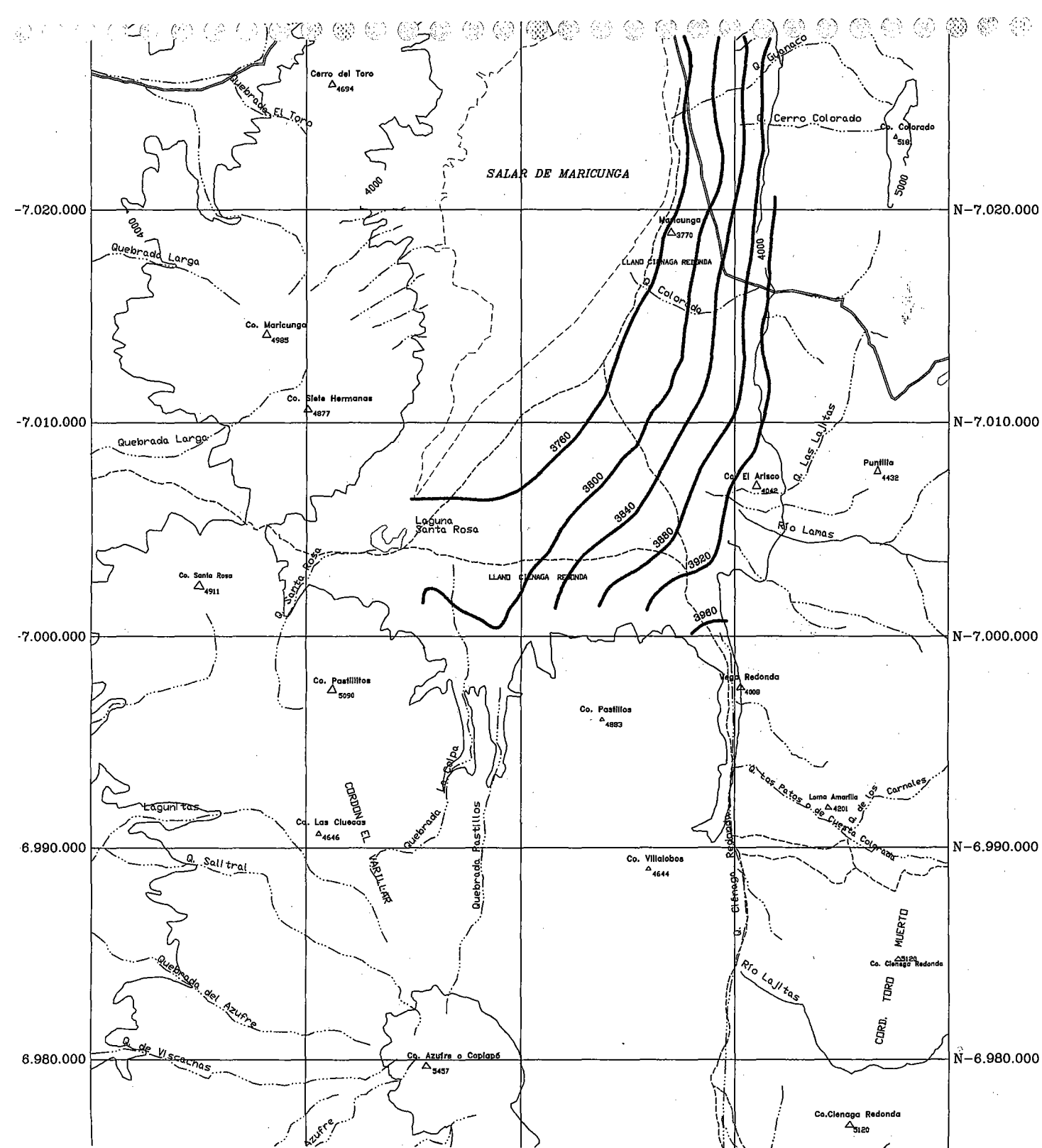
UBICACION DE POZOS

EDRA S.A./WHLA

FECHA: FEBRERO/1996

FIGURA: 2.10





E-505.000

E-510.000

N-6.980.000

N-6.975.000

N-6.970.000

N-6.965.000

N-6.960.000

E-505.000

E-510.000



LEYENDA



ROCA FUNDAMENTAL INDIFERENCIADA



ROCA FUNDAMENTAL - PALEOZOICA



DEPOSITOS ATERRAZADOS



DEPOSITOS EVAPORITICOS



ESCOMBRO DE FALDA



CONOS DE DEYECCION



ALUVIO CUATERNARIO



POZOS DE EXPLORACION



ESCARPE DE ESTRUCTURA DE COLAPSO



FALLA INVERSA



FALLA

0 5 KM.

ESCALA 1:100.000

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:

DESCONEXION
HIDROGEOLOGICA

EDRA S.A./WHLA

FECHA: FEBRERO/1998

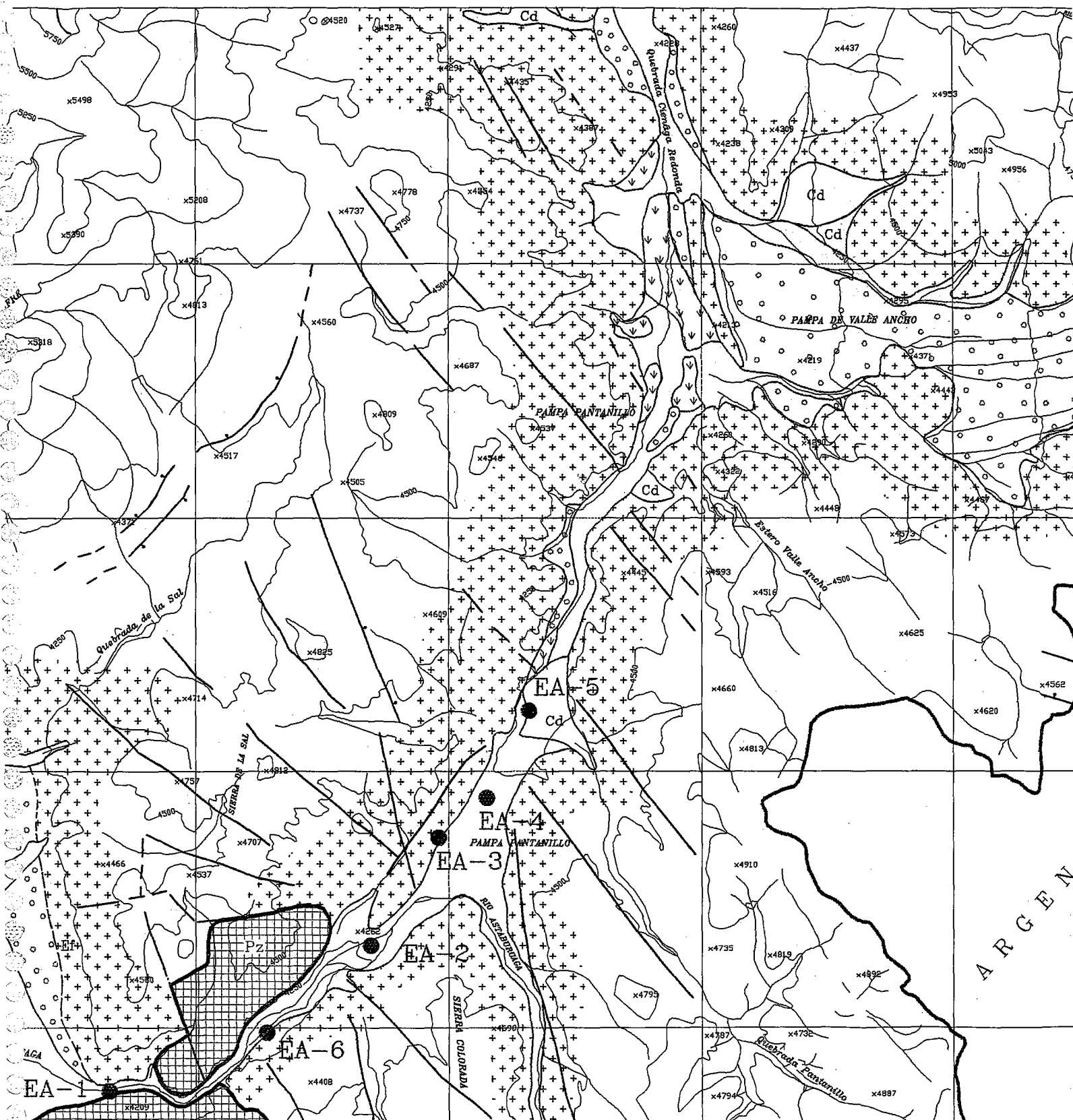
FIGURA: 2.14

E-490.000

E-495.000

E-500.000

E-505.000

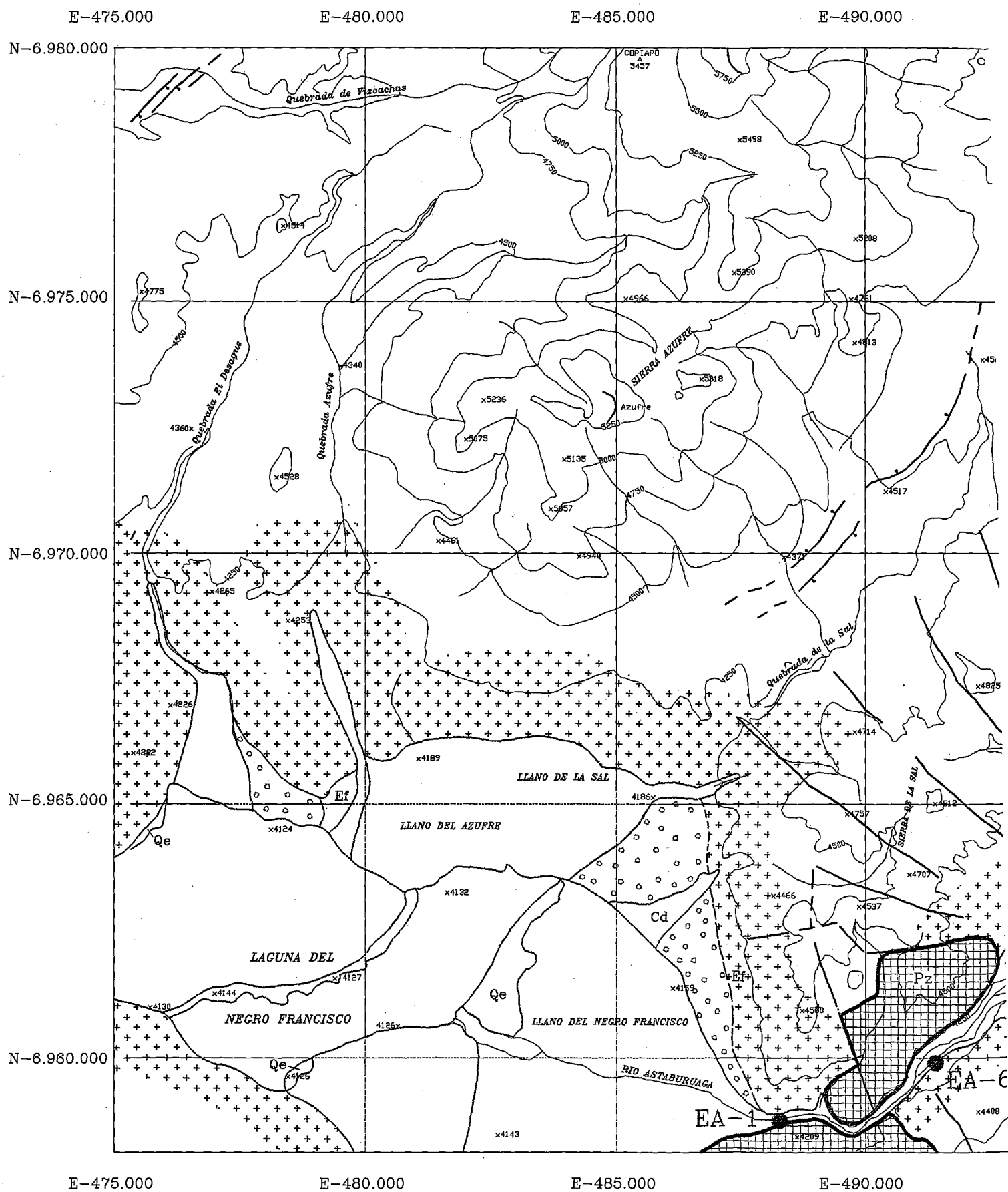


E-490.000

E-495.000

E-500.000

E-505.000



E-510.000

E-520.000

N-7.040.000

N-7.030.000

N-7.020.000

N-7.010.000

N-7.000.000

N-6.990.000

N-6.980.000

Q. Monastiales

ado

4

R. Lamas

7

12

NEGROS

11



LEYENDA

- 1 Cuencas menores Sector Noroeste
- 2 Salar de Maricunga
- 3 Cuencas menores Sector Noreste
- 4 Quebrada Colorado
- 5 Cuenca intermedia Colorado-Lamas
- 6 Cuenca intermedia Cienaga Redonda-Lamas
- 7 Río Lamas
- 8 Quebrada Santa Rosa
- 9 Quebrada Pastillos
- 10 Quebrada Villalobos
- 11 Río Barros Negros

E-470.000 E-480.000 E-490.000 E-500.000 E-510.000
N-7.040.000

N-7.030.000

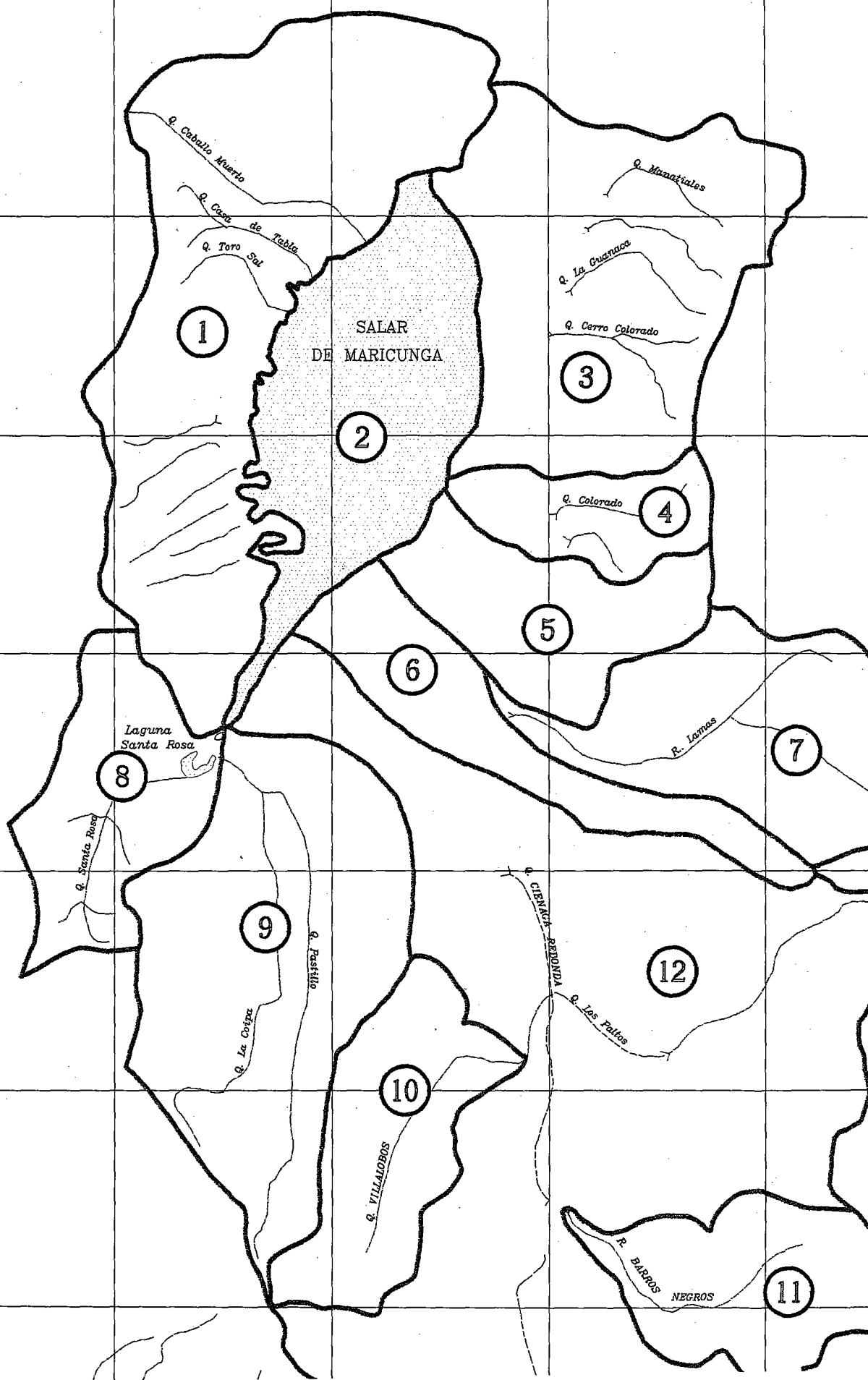
N-7.020.000

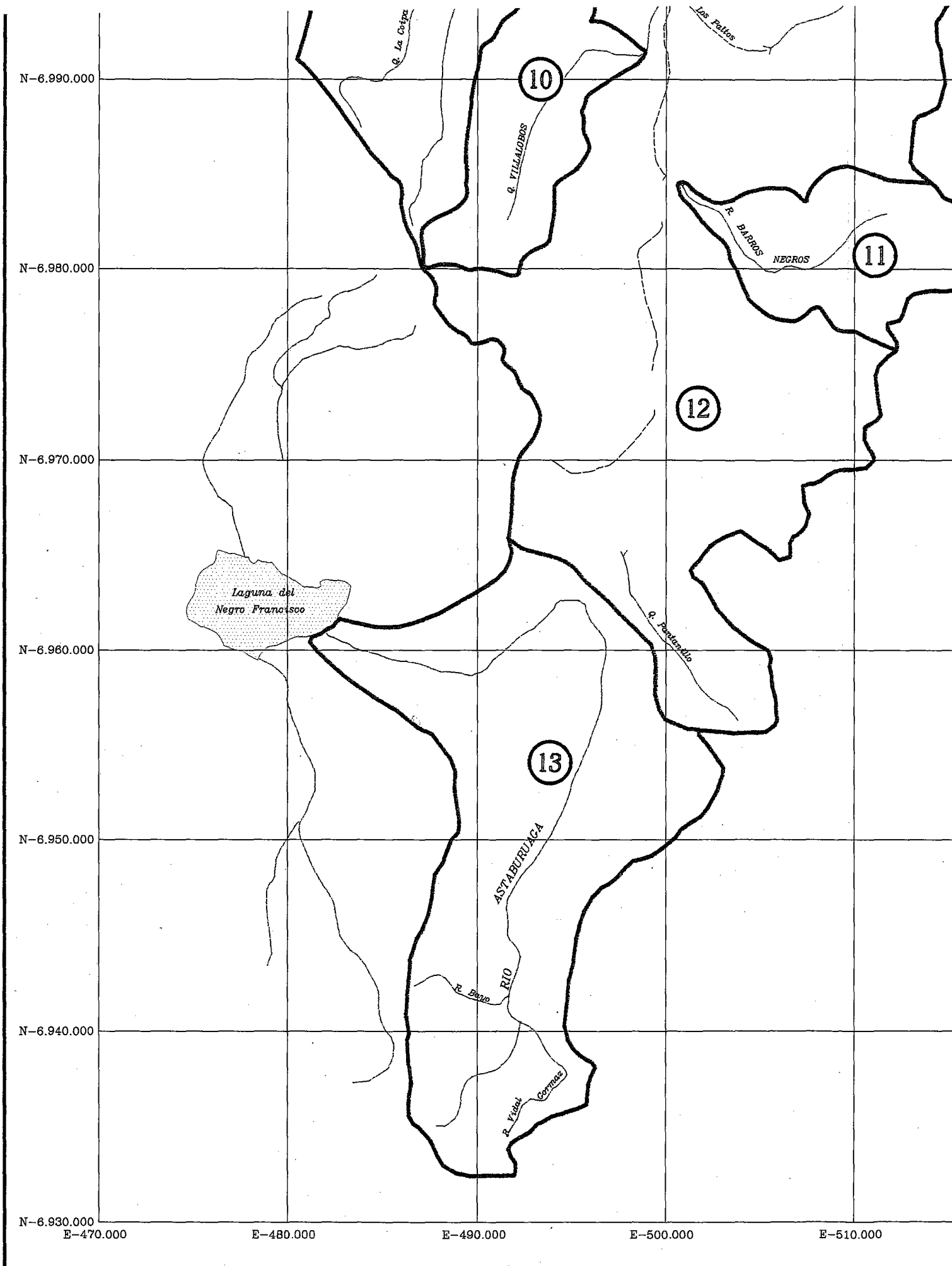
N-7.010.000

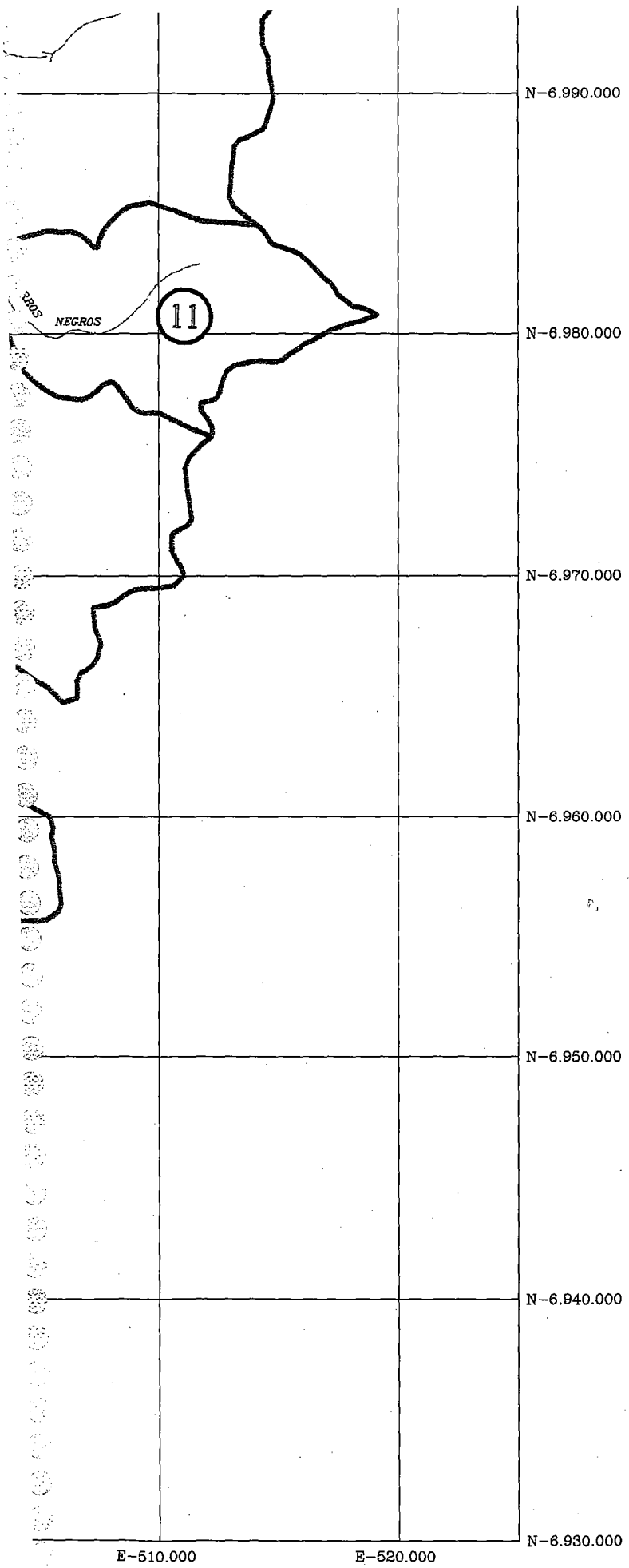
N-7.000.000

N-6.990.000

N-6.980.000







- 1 Cuencas menores Sector Noroeste
- 2 Salar de Maricunga
- 3 Cuencas menores Sector Noreste
- 4 Quebrada Colorado
- 5 Cuenca intermedia Colorado-Lamas
- 6 Cuenca intermedia Cienaga Redonda-Lamas
- 7 Río Lamas
- 8 Quebrada Santa Rosa
- 9 Quebrada Pastillos
- 10 Quebrada Villalobos
- 11 Río Barros Negros
- 12 Valle Ancho o Cienaga Redonda
- 13 Río Astaburuaga

0 10KM.
ESCALA 1:250.000

TECK CORPORATION - MINERA MANTOS DE ORO

TITULO:

CUENCAS HIDROLOGICAS
SECTOR SALAR DE MARICUNGA
CIENAGA REDONDA

EDRA S.A./WHLA

FECHA:
FEBRERO/1998

FIGURA: 3.1



TECK – MDO

CATASTRO DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTOS CONSTITUIDOS

SALAR DE MARICUNGA, CIENAGA REDONDA Y LAGUNA NEGRO FRANCISCO

CATASTRO DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO CONSTITUIDOS PROYECTO LOBO - MARTE

EXPEDIENTE N°	TITULAR	TIPO	CAUDAL Lts/seg	N° RESOL.	FECHA RESOL.	COORDENADAS		NOMBRE POZO(S)	IDENTIF. MAPA
						NORTE	ESTE		
ND-0302-206	CHEVRON MINERA CORPORATION OF CHILE Salar de Maricunga	Subte.	62	244	04-07-1991	7,021,792	498,052	CAN - 6	I
M-III-125	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO Salar de Maricunga	Subte.	20	176	06-03-1990	7,028,650	491,000		II
ND-0302-89	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO Sector Norte Salar de Maricunga	Subte.	25	542	21-08-1990	7,032,428,096	493,204,298	SR-3	III
			30			7,031,614,605	492,144,440	SR-4	
			1			7,033,304,871	491,489,871	SR-6	
			30			7,029,861,413	491,131,032	SP-2	
ND-0302-60	CIA. MINERA ANGLO COMINCO LTDA. (2) Ciénaga Redonda	Subte.	200	163	27-04-1989	6,993,299,8	499,559,4		IV
						6,993,274	499,658,4		
ND-III-193	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO Llano de Ciénaga Redonda	Subte.	50	658	23-11-1990	7,014,252	494,000	SP-1; MDO-10	V
			50			7,016,398	495,151	SR-1; MDO-8	
ND-III-194	COMPAÑIA MINERA MANTOS DE ORO Llano de Ciénaga Redonda	Subte.	100	659	23-11-1990	7,007,701	490,652	SP-4; MDO-24	VI
			100			7,008,050	491,451	SP-3; MDO-23	
			55			7,008,332	492,295	SR-2; MDO-9	
M-3-259	CIA. MINERA ANGLO COMINCO LTDA. Río Lamas	Super.		225	13-07-1983				VII
			300						VIII
			50			6,976,700	500,300		IX
			45			6,990,900	499,840		X
			15			7,013,800	500,800		XI
			30			6,976,200	499,500		XII
M-III-10	CIA MINERA ANACONDA LTDA Río Astaburuaga(1)	Super.	200	278	04-08-1983	6,958,200	491,000		XIII
						6,961,000	493,000		

(1) En el caso de aguas subterráneas

(2) Es un derecho eventual y continuo

**CATASTRO DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO CONSTITUIDOS
PROYECTO LOBO - MARTE**

EXPEDIENTE N°	TITULAR	TIPO	CAUDAL Lts/seg	N° RESOLUCION	FECHA RESOLUCION	COORDENADAS		NOMBRE POZO(S)	IDENTIF. MAPA
						NORTE	ESTE		
M-III-126	EXPLORACIONES SIERRA MORENA	Super.	2	471	29-12-1988	7,033,000	474,600		XIV
	Qda. La Coipa	Super.	7			7,033,400	483,100		XV
ND-0302-216	COMPANÍA MINERA MANTOS DE ORO Qda. La Coipa	Subte.	1	588	07-12-1994	7,031,665	472,486	S/N	XVI
M-III-209	COMPANÍA MINERA MANTOS DE ORO Qda. Los Terneros	Super.	3	585	25-09-1990	7,035,850	474,200		XVII
M-2-35	MINERA ANDES COOPER COMPANY S.A. Vega La Troya- Qda. Pastos Largos	Subte.	27,13	2235	25-10-1960	7,044,460	485,200		XVIII
ND-III-265	BEMA GOLD (CHILE) S.A Vega Pantanillo	Subte.	45	282	24-07-1992	6.966.473	497,025	RA -3	XIX
ND-III-262	BEMA GOLD (CHILE) S.A Rio Astaburuaga	Subte.	105	283	24-07-1992	6.964.275	495,703	RA -2	XX
ND-III-249	BEMA GOLD (CHILE) S.A Vega Pantanillo	Subte.	108	284	24-07-1992	6.965.817	496,661	RA- 1	XXI
M-III-040	EXPLORACIONES Y MINERALES SIERRA MORENA S.A Qda. Azufre	Super.	7	12	08-01-1987	6.984,8	473,200		XXII
ND-III-120	CHEVRON MRA. CORPORATION OF CHILE Qda. Codocedo (*)	Subte.	5	29	23-01-1991	7.028.828	463,884		
ND-0302-90	CIA. MINERA MANTOS DE ORO La Coipa(*)	Subte.	10	453	21-11-1989	7.029.130,11	462.808,1		



TECK – MDO

CATASTRO DE SOLICITUDES DE EXPLORACION EN TRAMITE

SALAR DE MARICUNGA, CIENAGA REDONDA

Y LAGUNA NEGRO FRANCISCO

**CATASTRO SOLICITUDES DE EXPLORACION EN TRAMITE
PROYECTO LOBO - MARTE**

EXPEDIENTE N°	TITULAR	FECHA INGRESO	SUPERF. HAS.	VERTICES	COORDENADAS UTM		UBICACION MAPA
					NORTE	ESTE	
NE-0302-266	INVERSIONES EL SAUCE S.A Llano Ciénaga Redonda	09-12-96	47,300	1	7,010,000	493,000	A
				2	7,010,000	505,000	
				3	6,970,000	505,000	
				4	6,970,000	500,000	
				5	6,980,000	500,000	
				6	6,980,000	493,000	
				7	6,995,000	493,000	
				8	6,995,000	484,000	
				9	7,002,000	484,000	
				10	7,002,000	493,000	
NE-0302-267	SERGIO PEÑA BARRERA Portezuelo Sta. Rosa (al W de LLano Ciénaga Redonda)	09-12-96	19,680	1	7,002,000	472,000	B
				2	7,002,000	480,000	
				3	6,977,400	480,000	
				4	6,977,400	472,000	
NE-0302-222	CIA MINERA CAMECO LTDA Llano del Negro Francisco	22-05-95	7,900	L-1	6,967.000	493,000	C
				L-2	6,966.000	493,000	
				L-3	6,966.000	493,000	
				L-4	6,960.000	488,000	
				L-5	6,960.000	492,000	
				L-6	6,956.000	492,000	
				L-7	6,956.000	482,000	
				L-8	6,960.000	482,000	
				L-9	6,960.000	484,000	
				L-10	6,964.000	484,000	
				L-11	6,964.000	482,000	
				L-12	6,967.000	482,000	
NE-0302-222	CIA MINERA CAMECO LTDA Llano del Negro Francisco	22-05-95	15,090	L-1	6,957.500	482,000	D
				L-2	6,956.000	482,000	
				L-3	6,956.000	488,000	
				L-4	6,944.000	488,000	
				L-5	6,944.000	476,000	
				L-6	6,956.000	476,000	

**CATASTRO SOLICITUDES DE EXPLORACION EN TRAMITE
PROYECTO LOBO - MARTE**

EXPEDIENTE N°	TITULAR	FECHA INGRESO	SUPERF. HAS.	VERTICES	COORDENADAS UTM		UBICACION MAPA
					NORTE	ESTE	
NE-0302-251	COMPAÑIA MINERA ALDEBARAN Río Astaburuaga	27-09-96	4,400	A	6.957.000	495,000	E
				B	6.957.000	498,000	
				C	6.954.000	498,000	
				D	6.954.000	496,000	
				E	6.951.000	496,000	
				F	6.951.000	495,000	
				G	6.949.000	495,000	
				H	6.949.000	494,000	
				I	6.948.000	494,000	
				J	6.948.000	493,000	
				K	6.942.000	493,000	
				L	6.942.000	494,000	
				M	6.940.000	494,000	
				N	6.940.000	490,000	
				Ñ	6.942.000	490,000	
				O	6.942.000	491,000	
				P	6.949.000	491,000	
				Q	6.949.000	492,000	
				R	6.950.000	492,000	
				S	6.950.000	493,000	
				T	6.951.000	493,000	
				U	6.951.000	494,000	
				V	6.955.000	494,000	
				W	6.955.000	495,000	



ANEXO B

TABLAS DE NIVELES DE AGUA, CAUDALES MEDIOS Y COORDENADAS

Tabla N° 1-B:
**Niveles de Aguas Pozos - Quebrada Ciénaga Redonda
1997**

Pozos	Junio	Nivel de Agua (m)	Julio	Nivel de Agua (m)	Septiembre	Nivel de Agua (m)	Octubre	Nivel de Agua (m)
PO-5	06	28.0	06	41.1	04	Seco	06	47,2
					08	Seco		
					15	Seco		
					24	Seco		
PO-6	06	11.0	07	7.8	03	8.18	06	7,8
					08	8.18		
					15	7.90		
					24	7.80		
PO-7	06	7.0	07	2.8	03	3.05	06	2.85
					08	2.90		
					15	2.90		
					24	2.90		
PO-8	06	5.0	07	Seco	03	Seco	06	19.2
					08	Seco		
					15	Seco		
					24	Seco		

Tabla N° 2-B:
**NIVEL DE AGUAS POZOS DE EXPLORACION
SECTOR ASTABURUAGA- PANTANILLO**

POZO DE MONITOREO	PROFUNDIDAD (m.)	NIVEL FREATICO (m.)
EA-1	31	28.0
EA-2	28	En superficie
EA-3	47	23.4
EA-4	33	15.6
EA-5	29	9.4
EA-6	27	En superficie



Tabla Nº 3-B:

NIVELES ESTATICOS															
SONDAJE	Jun-89	Ago-89	Oct-89	Nov-89	Dic-89	7-8/FEB/90	6-7/MAR/90	3-4/JUL/90	2-3/AGO/90	4-5/SEP/90	2-3/OCT/90	4-5/DIC/90	2-3/ENE/91	Nov-95	Sep-96
SR-1/MDO-8	8.14	7.78	7.65	7.62	7.67	7.73	7.73	7.55	7.48	7.55	7.48	7.63	7.51	6.5	7.62
SR-2/MDO-9	47.09	49.17	47.10	47.40	47.08	47.09	47.06	46.90	46.85	46.89	46.90	46.48	46.91		
SP-1/MDO-10	8.45	8.23	8.36	8.40	8.35	8.37	8.41	8.21	8.13	8.21	8.20	8.24	8.20	7	8.35
SP-3/MDO-23	42.86	43.00	42.91	42.98	42.89	42.90	42.88	42.71	42.66	42.67	42.70	42.93	42.73		
SP-4/MDO-24	38.44	37.61	38.17	38.14	38.19	38.18	38.16	37.93	37.90	37.99	37.95	38.11	38.04		
SR-3/MDO-12	7.88	7.92	7.76	7.97	7.58	7.74	7.80	7.63	7.61	7.35	7.65	7.53	7.64	6.5	7.75
SR-4/MDO-13	21.38	22.13	21.22	21.08	21.24	21.32	21.28	21.06	21.10	21.17	21.07	21.09	21.13	21	21.1
SR-6/MDO-14	23.29	23.61	23.43	23.43	23.57	23.43	23.46	23.28	23.36	23.27	23.31	23.27	13.31	22.15	23.3
SP-2/MDO-15	23.95	24.37	23.95	23.97	23.96	23.97	23.97	23.87	23.82	23.82	23.90	23.92	23.87	22.7	23.8

Tabla N°4-B: Estadísticas Pluviométricas Ampliadas (mm.)

Año	Copiapó	Los Loros	Embalse Lautaro	Pastos Grandes	Jorquera en la Guardia	Potrerillos
1951	0.2	1.0	0.6	0.5	0.8	8.8
1952	27.8	82.0	64.5	53.6	82.4	24.7
1953	21.2	76.5	76.5	63.6	97.8	192.8
1954	17.0	19.0	19.0	15.8	24.3	40.3
1955	7.1	6.0	3.5	2.9	4.5	9.0
1956	4.0	11.0	0.5	0.4	0.6	0.0
1957	4.7	9.0	17.0	14.1	21.7	2.7
1958	10.9	36.5	29.5	24.5	37.5	3.1
1959	1.4	25.0	24.2	20.1	30.9	2.0
1960	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1961	12.0	22.0	22.0	18.3	28.1	35.0
1962	29.4	49.0	58.0	48.2	74.1	14.3
1963	13.6	30.0	56.0	46.5	71.6	3.7
1964	2.0	10.0	7.5	6.2	9.6	0.0
1965	20.4	24.5	62.0	51.5	79.2	0.0
1966	4.0	5.9	7.5	6.2	9.6	0.0
1967	14.1	32.1	3.0	2.5	3.8	4.8
1968	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969	19.4	31.0	21.2	17.6	27.1	4.7
1970	0.0	30.2	0.5	0.4	0.6	5.5
1971	5.5	24.5	34.5	28.7	44.1	4.5
1972	12.5	56.0	61.5	39.0	74.0	0.0
1973	8.5	18.0	17.5	13.0	18.5	0.0
1974	2.6	6.8	8.0	54.0	19.5	10.0
1975	6.0	14.0	39.0	39.0	50.0	4.0
1976	8.3	29.0	21.5	20.5	54.0	2.0
1977	12.3	14.0	27.5	12.0	20.0	0.0
1978	0.0	0.0	0.0	18.0	12.0	0.0
1979	0.5	3.9	4.5	29.0	14.0	33.8
1980	36.5	81.0	62.0	97.5	114.5	27.9
1981	0.0	19.0	20.0	48.5	18.0	--
1982	2.1	9.8	6.5	19.0	34.5	--
1983	45.0	115.0	127.5	75.0	159.8	--
1984	32.7	93.6	89.0	35.0	109.0	--
1985	6.2	12.5	8.5	0.0	12.1	--
1986	10.4	14.5	28.0	22.0	61.2	--
1987	61.1	114.3	127.0	149.5	149.3	--
1988	2.5	8.0	5.5	0.0	13.4	--
1989	11.4	35.2	43.5	5.0	47.4	--
1990	0.0	5.0	10.5	8.5	18.5	--
1991	67.7	102.2	98.0	56.5	68.8	--
1992	42.0	104.5	89.5	43.8	56.2	--
1993	0.5	3.5	29.0	20.0	21.8	--
1994		1.0	3.5	2.4	6.5	--
1995		0.5	1.0	19.5	34.1	--
Prom	13.6	30.8	31.9	27.7	40.8	(14.5)

Tabla N° 5-B:
Estación Barros Negros antes junta Valle Ancho
Caudales medios mensuales (m³/s)

AÑOS	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1979/80	0.056	0.115					0.023	0.013			0.029	0.031	
1980/81	0.055	0.024					0.076	0.125	0.101	0.034	0.019	0.031	
1981/82	0.067				0.228			0.038	0.035	0.028	0.032	0.047	
1982/83	0.062	0.069						0.051	0.064	0.056	0.040	0.036	
1983/84	0.058	0.065		0.087	0.105			0.123	0.088	0.070	0.072	0.080	
1984/85	0.073	0.158					0.193	0.094	0.067	0.051	0.053	0.057	
1985/86	0.090	0.175				0.081	0.060	0.053	0.041	0.037	0.037	0.039	
1986/87	0.044	0.049				0.075	0.070	0.055	0.044	0.039	0.047	0.050	
1987/88	0.042	0.129							0.560	0.314	0.153	0.102	
1988/89	0.133						0.066	0.063	0.041	0.044	0.053	0.050	
1989/90	0.092						0.141	0.087	0.056	0.045	0.044	0.038	
1990/91	0.035						0.064	0.083	0.062	0.039	0.002	0.050	
1991/92	0.063	0.060	0.034		0.008	0.001	0.014	0.063	0.053	0.039	0.043	0.044	
1992/93	0.089	0.157					0.104	0.089	0.096	0.069	0.062	0.066	
1993/94	0.086	0.137					0.080	0.058	0.044	0.036	0.036	0.036	
1994/95	0.053	0.081	0.125			0.048	0.048	0.046	0.038	0.033	0.030	0.028	
1995/96	0.047	0.063				0.025	0.029						
Q.med	0.067	0.099	0.080	0.087	0.114	0.046	0.074	0.069	0.093	0.062	0.047	0.049	0.074

Tabla N° 6-B:
Villalobos en Vertedero
Caudales Medios Mensuales (m³/s)

AÑOS	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1979/80			0.072				0.058	0.051	0.043	0.030	0.028	0.022	
1980/81	0.031	0.033					0.036	0.028	0.021	0.021	0.022	0.017	
1981/82	0.024	0.034	0.035					0.039	0.038	0.033	0.032	0.033	
1982/83	0.029	0.026	0.042					0.016	0.019	0.024	0.037	0.023	
1983/84	0.031	0.036						0.055	0.038	0.031	0.023	0.050	
1984/85	0.046	0.043	0.033	0.024			0.069	0.055	0.056	0.057	0.058	0.062	
1985/86	0.062	0.071	0.090	0.083	0.078	0.061	0.060	0.051	0.051	0.047	0.048	0.051	
1986/87	0.054	0.060	0.059	0.059			0.061	0.057	0.050	0.051	0.051	0.061	
1987/88	0.052	0.064	0.066	0.065	0.062	0.067	0.059		0.205	0.154	0.132	0.123	
1988/89	0.118	0.111			0.068	0.057	0.036	0.084	0.041	0.059	0.044	0.030	
1989/90	0.045	0.037	0.027	0.045	0.054	0.038	0.042		0.016	0.011	0.021	0.025	
1990/91	0.023	0.021			0.004	0.025	0.038	0.038	0.015	0.015	0.014	0.012	
1991/92	0.017	0.024	0.022	0.045	0.040	0.033	0.031	0.017	0.018	0.009	0.004	0.004	
1992/93	0.013	0.013					0.021	0.021	0.021	0.018	0.016	0.021	
1993/94	0.026	0.033	0.035			0.040	0.037	0.026	0.015	0.017	0.016	0.015	
1994/95	0.018	0.020	0.021	0.029	0.033	0.024	0.022						
Qmed	0.039	0.042	0.046	0.050	0.048	0.043	0.044	0.041	0.043	0.038	0.036	0.037	0.042

Tabla N° 7-B:
Valle Ancho antes Barros Negros
Caudales Medios Mensuales (m³/s)

AÑOS	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1979/80	0.054	0.053					0.055	0.047	0.035		0.022	0.025	
1980/81	0.044	0.037					0.042	0.022	0.022	0.020	0.035	0.029	
1981/82	0.043							0.032	0.023	0.022	0.020	0.028	
1982/83	0.031	0.034						0.025	0.025	0.022	0.026	0.028	
1983/84	0.054	0.042		0.058	0.043			0.036	0.030	0.031	0.028	0.041	
1984/85	0.038	0.064					0.054	0.038	0.034	0.036	0.039	0.047	
1985/86	0.051	0.051				0.183	0.069	0.035	0.029	0.027	0.034	0.038	
1986/87	0.047	0.050					0.049	0.033	0.024	0.019	0.035	0.042	
1987/88	0.043	0.041				0.355	0.791		0.185	0.155	0.178	0.202	
1988/89	0.197	0.135					0.138	0.106	0.098	0.087	0.094	0.098	
1989/90	0.116	0.083					0.121	0.097	0.085	0.078	0.093	0.090	
1990/91	0.105	0.080					0.136	0.109	0.065	0.057	0.060	0.061	
1991/92	0.068	0.090	0.145			0.111	0.079	0.062	0.052	0.045	0.050	0.052	
1992/93	0.082	0.079					0.224	0.117	0.046	0.037	0.039	0.050	
1993/94	0.069	0.063					0.062	0.044	0.035	0.028	0.038	0.045	
1994/95	0.055	0.060	0.063			0.078	0.050						
Qmed	0.069	0.064	0.104	0.058	0.043	0.182	0.144	0.057	0.053	0.047	0.053	0.058	0.078

Tabla N° 8-B:
Valle Ancho en La Barrera
Caudales Medios Mensuales (m³/s)

AÑOS	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1979/80	0.030	0.040					0.031	0.027	0.020	0.015	0.014	0.011	
1980/81	0.019	0.026					0.022	0.016	0.014	0.010	0.010	0.008	
1981/82	0.010	0.017			0.018			0.007	0.005	0.002	0.002	0.004	
1982/83	0.007	0.013			0.008			0.005	0.005	0.004	0.003	0.004	
1983/84	0.012							0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	
1984/85	0.001	0.006					0.011	0.005	0.003	0.001	0.001	0.001	
1985/86	0.011	0.010				0.021	0.011	0.006	0.004	0.001	0.001	0.002	
1986/87	0.005	0.011				0.018				0.000	0.000	0.001	
1987/88	0.001	0.004											
1992/93	0.026	0.037						0.022	0.015	0.013	0.015	0.017	
1993/94	0.022	0.030					0.012	0.013	0.008	0.006	0.008	0.010	
1994/95	0.014	0.021				0.006	0.015						
Qmed	0.013	0.020			0.013	0.015	0.017	0.011	0.008	0.005	0.006	0.006	0.011

Tabla N° 9-B:
Lamas en El Salto
Caudales Medios Mensuales (m³/s)

AÑOS	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1980/81	0.025	0.016	0.011	0.001	0.000	0.000				0.289	0.261	0.120	
1981/82	0.075	0.272	0.352	0.275	0.080	0.095			0.206	0.072	0.052	0.224	
1982/83	0.192	0.231	0.272	0.246	0.290	0.245			0.276	0.290	0.293	0.286	
1983/84	0.257	0.249	0.254	0.234	0.218	0.203		0.271	0.223	0.212	0.271	0.248	
1984/85	0.251	0.287	0.377	0.387	0.427	0.452	0.235	0.233	0.262	0.248	0.274	0.353	
1985/86	0.318	0.297	0.293	0.288	0.290	0.309	0.275	0.248	0.259	0.291	0.219	0.208	
1986/87	0.226	0.211	0.207	0.238	0.245	0.241	0.261	0.240	0.246	0.252	0.223	0.216	
1987/88	0.213	0.218	0.207	0.203	0.200	0.205	0.199		0.219	0.200	0.202	0.239	
1988/89	0.244	0.260	0.222	0.176	0.190	0.174	0.174	0.213	0.238	0.209	0.197	0.221	
1989/90	0.232	0.233	0.262	0.225	0.318	0.299	0.472		0.549	0.527	0.531	0.362	
1990/91	0.233	0.232	0.236	0.235	0.234	0.233	0.238	0.292	0.276	0.229	0.248	0.213	
1991/92	0.208	0.210	0.227	0.235	0.216	0.201	0.185	0.198	0.197	0.191	0.199	0.203	
1992/93	0.201	0.185	0.164	0.178	0.201	0.209	0.215	0.222	0.221	0.220	0.249	0.281	
1993/94	0.253	0.211	0.219	0.219	0.236	0.290	0.251	0.209	0.173	0.189	0.209	0.224	
1994/95	0.228	0.216	0.194	0.190	0.188	0.189	0.166						
Qmed	0.210	0.222	0.233	0.222	0.222	0.223	0.243	0.236	0.257	0.244	0.245	0.243	0.233

TABLA 10-B
UBICACION DE LOS POZOS DE SONDAJES- PROPUESTA N° 1.

Estación TEM	Este	Norte
1	499983	6984010
2	499983	6985990
3	501001	6985990
4	501001	6987010
5	501999	6987010
6	499983	6988000
7	501999	6988000
8	499983	6988990
9	503017	6988990
10	499983	6990010
11	499983	6991000
12	498002	6991000
13	498992	6991000
14	501001	6991000
15	501999	6991000
16	503017	6991000
17	504007	6991000
18	504998	6991000
19	505988	6991000
20	507007	6991000
21	499681	6993400
22	501001	6993400
23	502434	6993400
24	499877	6994440
25	499877	6995480
26	499821	6996580
27	499709	6997520
28	499821	6998650
29	499379	6999530
30	498803	7000500
31	498086	7001370
32	497286	7002390
33	496457	7003140
34	498992	7005970
35	498992	7006990
36	498992	7008000
37	498002	7004980
38	497012	7005970
39	498002	7006990
40	499983	7008000
41	498002	7005970
42	497012	7006960
43	498002	7008000
44	494005	7005010
45	492025	7006960
46	490016	7009000
47	488997	7009990
48	491006	7007980
49	492987	7008000
50	488035	7010980

Tabla N°11-B
CONSUMO DE AGUA EN LA COIPA

AÑO	MES	CONSUMO DE AGUA		TONELADAS	Q.MENSUAL (L/S)
		(m3)	(m3/tms)		
1990		100385		401542	
1991		434893		1739572	
1992		1238546		4954186	
1993		1419459		5677838	
				5424689	
1994	Enero	115306.7	0.23		44.4856096
	Febrero	100209.2	0.25		38.6609568
	Marzo	103905.5	0.24		40.0869985
	Abril	86484.1	0.23		33.3657793
	Mayo	94148.3	0.23		36.3226466
	Junio	98770.9	0.23		38.1060571
	Julio	96810.4	0.23		37.3496914
	Agosto	6579.2	0.21		2.5382716
	Septiembre	111817.2	0.23		43.1393519
	Octubre	115882.3	0.23		44.7076775
	Noviembre	106410.5	0.24		41.0534336
	Diciembre	117742.8	0.23		45.425463
1995	Enero	101790.5	0.23	5740589	39.2710262
	Febrero	106005.5	0.24		40.8971836
	Marzo	102647.5	0.22		39.601659
	Abril	108076.6	0.23		41.6962191
	Mayo	106666.2	0.24		41.1520833
	Junio	114499.3	0.23		44.1741127
	Julio	125792.9	0.24		48.5312114
	Agosto	113198.1	0.24		43.6721065
	Septiembre	115984.3	0.25		44.7470293
	Octubre	114617.9	0.25		44.2198688
	Noviembre	113851.2	0.24		43.9240741
	Diciembre	126977.6	0.24		48.9882716
1996	Enero	129145.9	0.25	5613081	49.8248071
	Febrero	104429.9	0.25		40.2893133
	Marzo	123119.8	0.24		47.4999228
	Abril	114684.5	0.24		44.2455633
	Mayo	116245.4	0.24		44.8477623
	Junio	107061.4	0.26		41.3045525
	Julio	130120.9	0.27		50.2009645
	Agosto	123899.6	0.27		47.8007716
	Septiembre	120761.2	0.27		46.5899691
	Octubre	132744.4	0.26		51.2131173
	Noviembre	114876.7	0.26		44.3197145
	Diciembre	120844.9	0.27		46.6222608
1997	Enero	123289.8	0.26	4229232	47.5655093
	Febrero	110250.2	0.25		42.5347994
	Marzo	127294.4	0.25		49.1104938
	Abril	125367.6	0.27		48.3671296
	Mayo	120536.7	0.26		46.5033565
	Junio	119144.1	0.27		45.966088
	Julio	122794.8	0.26		47.374537
	Agosto	126307.4	0.27		48.7297068
	Septiembre	143963.6	0.29		55.5415123
PROMEDIO	1994-1997	112467.9533	0.24644444		43.3904141
	1995-1997				45.6765666



POZO MDO-8 SALAR DE MARICUNGA							
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREOS						
(mg/l)	14/07/88	1/04/94	1/07/94	23/02/95	9/08/95	29/11/95	24/09/96
Acidez total	78.00	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad total	213.00	-	-	-	-	-	-
Aluminio	-	-	-	-	-	-	-
Arsénico	1.8	1.90	1.23	1.95	1.85	1.52	-
Cadmio	<0.01	-	-	-	-	-	-
Calcio	206.00	160.00	203.00	148.00	138.00	126.00	-
Cl	2,017.00	142.00	2,070.00	1,604.00	2,387.00	1,992.00	1,984.00
Cobre	<0.05	-	-	-	-	-	-
Conductividad(umhos/cm)	6,859.00	7,550.00	8,316.00	7,340.00	6,460.00	7,000.00	6,760.00
Cromo	<0.05	-	-	-	-	-	-
Dureza total	810.00	-	-	-	-	-	-
Fierro	0.14	-	-	-	-	-	0.36
Fluoruros	0.4	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	<3.2	-	-	-	-	-	-
HCO3	259.00	278.00	277.60	281.00	282.00	298.00	-
Magnesio	72.00	59.10	70.00	58.90	50.90	50.10	-
Manganeso	0.18	-	-	-	-	-	0.03
Mercurio	<0.001	0.00	0.00	<0.001	0.00	0.00	-
Niquel	<0.1	-	-	-	-	-	-
N-NO2	0.038	-	-	-	-	-	-
N-NO3	1.4	-	-	-	-	-	1.49
pH	7.3	7.12	7.31	7.20	7.22	7.12	7.24
Plata	<0.05	-	-	-	-	-	-
Plomo	<0.05	-	-	-	-	-	-
Potasio	85.00	-	-	-	-	-	-
Residuo total	4,434.00	-	-	-	-	-	-
Sílice	-	-	-	69.70	60.00	54.90	-
Sodio	1,012.00	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	160.00	2,166.00	152.00	162.00	200.00	144.00	201.00
T.S.S.	<20 *	4,726.00	4,690.00	4,978.00	4,100.00	4,108.00	4,384.00
Turbidez	0.6	-	-	-	-	-	-
Zinc	<0.02	-	-	-	-	-	0.03

*=Total solidos suspension

POZO MDO-9 SALAR DE MARICUNGA				
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO			
(mg/l)	26-06-1988	06-06-1990	05-09-1990	05-12-1990
Fierro	0.28	29	8.7	14
Calcio	138	138	140	138
Plomo	<0.05	<0.050	<0.05	<0.05
Manganeso	<0.05	0.130	<0.05	0.11
Aluminio	N.D.	<1	<1	<1
Zinc	0.03	0.03	<0.02	0,1
Cobre	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05
Cadmio	<0.01	<0.01	<0.01	<0,01
Mercurio	<0.001	-	-	-
Cromo	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05
Níquel	<0.1	<0.1	<0.1	<0,1
Plata	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05
HCO3	220	217	223	214
Sulfatos	181	188	195	143
N-NO3	1	0.8	0.7	0,9
N-NO2	0.047	<0.004	<0.004	0,021
Fluoruros	0.4	0.5	0.4	0,5
Fosfatos	<3.2	<3.2	<3.2	13
T.S.S *	<20	<20	32	78
Residuo total	2248	2310	2408	2280
Dureza total	414	-	-	-
Alcalinidad total	180	178	183	175
Acidez total	24.2	5	28	<10
Turbidez	0.6	3	16	10
Conductividad(umhos/cm)	38.92	3959	3919	3781
pH	7.58	6.7	7,27	7,2
Arsénico	0.71	<0.03	<2	1,8
Cloro	979	-	-	-
Magnesio	16,3	-	-	-
Sodio	550	-	-	-
Potasio	51	-	-	-

*T.S.S. Total de Solidos



POZO AST-1 (M-9) RIO ASTABURUAGA EN PORTEZUELO	
PARAMETROS	FECHA DE MUESTREO
(mg/l)	31-08-1994
pH	7,36
Conductividad(umhos/cm)	320
Plata	<0,01
Aluminio	1,39
Arsénico	0,01
Boro	0,08
Bario	0,296
Berilio	<0,01
Calcio	20
Cadmio	<0,001
Cloro	18,9
Cobalto	<0,01
Carbonato	0
Cromo	<0,01
Cobre	0,01
Hierro	0,07
Bicarbonato	39,1
Mercurio	<0,001
Potasio	4
Litio	<0,01
Magnesio	2,1
Manganeso	0,01
Molibdeno	<0,1
Sodio	17
Níquel	<0,01
Plomo	<0,01
Selenio	<0,01
Sílice	89
Sulfato	14,2
Estroncio	0,16
T.S.D.(ppm)	223
Vanadio	0,02
Zinc	<0,001
Nitrato	38,3
Fluor	0,29
Oro	<0,01

POZO PAN-1(M-8) VEGA PANTANILLO	
PARAMETROS	FECHA DE MUESTREO
(mg/l)	31-08-1994
pH	7,25
Conductividad(umhos/cm)	260
Aluminio	<0,01
Arsénico	<0,01
Cobalto	<0,01
Boro	0,09
Bario	0,005
Cobre	<0,01
Calcio	21
Cadmio	<0,001
Cloro	7,9
Berilio	<0,01
Litio	<0,01
Oro	<0,01
Fierro	1,24
Bicarbonatos	31,1
Mercurio	<0,001
Potasio	2,7
Cianuro	<0,01
Magnesio	2,1
Manganeso	1,54
Molibdeno	<0,1
Sodio	3,3
Níquel	0,01
Plata	<0,01
Plomo	<0,01
Sílice	89
Sulfatos	34
Estroncio	0,114
T.D.S.(ppm)	178
Selenio	<0,01
Zinc	0,018
Nitratos	2,8
Fluor	0,19
Vanadio	<0,01



POZO MDO-10 SALAR DE MARICUNCA							
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREOS						
(mg/l)	05/09/88	01/04/94	01/07/94	23/02/95	09/08/95	29/11/95	01/09/96
Acidez total	9.8	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad total	222	-	-	-	-	-	-
Aluminio	-	-	-	-	-	-	-
Arsénico	1.3	1.05	1.23	-	-	-	-
Bicarbonato	-	-	-	246	223	289	-
Cadmio	<0.01	-	-	-	-	-	-
Calcio	168	146	203	121	137	117	-
Cl	1110	496	2070	1011	871	1127	-
Cobre	<0.05	-	-	-	-	-	-
Conductividad(mmhos/cm)	3990	3940	4422	3940	4170	4120	3970
Cromo	<0.05	-	-	-	-	-	-
Dureza total	526	-	-	-	-	-	-
Hierro	0.1	-	-	-	-	-	-
Fluoruros	0.4	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	<3.2	-	-	-	-	-	-
HCO3	271	247.1	277.6	246	223	289	-
Magnesio	26	26	70	25.5	24.2	27	-
Manganeso	<0.05	-	-	-	-	-	-
Mercurio	<0.001	0.001	0.001	0.0005	0.002	0.0005	0.02
Níquel	<0.1	-	-	-	-	-	-
N-NO2	0.029	-	-	-	-	-	1.45
N-NO3	1.4	-	-	-	-	-	0.01
pH	7.5	7.5	7.8	-	-	-	7.32
Plata	<0.05	-	-	-	-	-	-
Plomo	<0.05	-	-	-	-	-	-
Potasio	58	-	-	-	-	-	-
Residuo total	2590	2328	4690	2428	2500	2424	2468
Sílice	-	-	-	73.1	59.9	56.1	-
Sodio	600	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	164	159	152	135	198	134	108
T.S.S.	<20	-	-	-	-	-	-
Turbidez	0.3	-	-	2.1	1	0.55	-
Zinc	<0.02	-	-	-	-	-	0.03

*T.S.S. Total Solidos

POZO MDO-12 SALAR DE MARICUNGA								
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO							
(mg / l)	26/06/88	01/04/94	01/07/94	01/11/94	23/02/95	09/08/95	29/11/95	24/09/96
Acidez total	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad total	85	-	-	-	-	-	-	-
Amoníaco	-	-	-	-	-	-	-	5.65
Arsénico	0.28	0.002	0.011	0.005	0.002	0.013	0.002	-
Cadmio	0.01	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	4.800	1275	1218	953	1081	1200	119	-
Cianuro total	-	-	-	-	-	-	-	0.025
Cloruros	143.000	17450	31028	29600	22500	17070	31990	35.000
Cobre	0.58	-	-	-	-	-	-	-
Conductividad(umhos/cm)	195*	88200	100000	94800	100000	96900	100000	110500
Cromo	<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Dureza total	23.000	-	-	-	-	-	-	-
Hierro	0.14	-	-	-	-	-	-	189
Fluoruros	<0,2	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	<3,2	-	-	-	-	-	-	-
HCO3	104	-	-	-	-	-	-	-
Magnesio	2550	666	694	671	656	610	633	-
Manganeso	0.1	-	-	-	-	-	-	8.86
Mercurio	0.002	-	0.001	-	0.002	0.002	0.0005	-
Niquel	<0,1	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno total	-	-	-	-	-	-	-	9.08
N-NO2	0.018	-	-	-	-	-	-	2.97
N-NO3	23	-	-	-	-	-	-	-
pH	6.76	7.8	9.6	7.25	3.9	3.91	3.97	4.27
Plata	<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Plomo	<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Potasio	3100	-	-	-	-	-	-	-
Residuo total	265.000	-	58343	52572	59754	-	-	-
Sílice	-	-	-	-	9.16	-	13	-
Sodio	79.000	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	1132	226	222	242	242	272	12.3	237
Total sólidos	<20	108	-	-	-	5700	55824	68
Turbidez	<0,3	-	-	-	3	60	10	-
Zinc	0.36	-	-	-	-	-	-	0.24
Bicarbonato	104	-	-	-	-	-	-	-

*=Disuelto

POZO MDO-13 SALAR DE MARICUNGA								
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO							
(mg / l)	29/08/88	01/04/94	01/07/94	01/11/94	01/02/95	09/08/95	29/11/95	24/09/96
Acidez total	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad total	90	-	-	-	-	-	-	-
Aluminio	-	-	-	-	-	-	-	-
Amoniaco	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsénico	0.41	0.002	0.002	0.003	0.002	0.01	-	-
Cadmio	<0,01	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	5.800	1933	1943	1922	1870	2132	2000	-
Cianuro	-	-	-	-	-	-	-	0.025
Cl	129.000	6950	41195	40500	21250	27680	43249	96.5
Cobre	<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Conductividad(umhos/cm)	195	100000	100000	100000	100000	100000	100000	261000
Cromo	<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Dureza total	26	-	-	-	-	-	-	-
Fierro	0.8	-	-	-	-	-	-	9,33 *
Fluoruros	<0,2	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	<3,2	-	-	-	-	-	-	-
HCO3	110	-	-	-	-	-	-	-
Magnesio	2800	952	946	917	943	841	850	-
Manganeso	0.14	-	-	-	-	-	-	0,91 *
Mercurio	0.003	0.001	0.001	-	<0,001	0.002	0.0005	-
Niquel	<0,1	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno total	N.D.	-	-	-	-	-	-	32
N-NO2	0.22	-	-	-	-	-	-	0.03
N-NO3	28	-	-	-	-	-	-	29.6
pH	6.88	6.9	7.2	6.74	3.8	3.96	4.14	7.18
Plata	<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Plomo	<0,05	-	-	-	-	-	-	-
Potasio	3100	-	-	-	-	-	-	-
Residuo total	23.100	-	75178	71772	76920	-	100000	-
Sílice	-	-	-	-	11.2	-	26.1	-
Sodio	68.000	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	873	296	294	347	316	335	177	1099
T.S.S	<20	145	-	-	-	7700	-	188
Turbidez	2.8	-	-	-	5.5	60	30	-
Zinc	0.32	-	-	-	-	-	-	0,51 *

*=Disuelto



POZO MDO-14 SALAR DE MARICUNGA										
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO									
(mg/l)	20-08-1988	27-12-1991	19-03-1992	01-04-94	01-07-94	01-11-94	23-02-1995	09-08-1995	29-11-1995	24-09-1996
Alcalinidad total	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluminio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amoníaco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1
Arsénico	0,04	<0,01	<0,01	0,001	0,002	0,002	0,002	0,007	0,003	-
Cadmio	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	3	111	55	89,7	80,2	86	89,1	74,7	60,2	-
Cianuro	-	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	0,025
Cl	-	3100	2938	2776	3302	2920	1130	3030	3105	33,9
Cobre	1,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conductividad(mmhos/cm)	127	7,66	9,52	9340	10406	12880	9500	9370	9880	151000
Cromo	<0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza total	14,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hierro	24,6	19,2	4,01	-	-	-	-	-	-	5,47 *
Fluoruros	<0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	<3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bicarbonato	85,4	60,1	155,4	58,2	55,7	-	58,6	70,1	63,4	-
Magnesio	-	-	-	47	45,3	52,2	52,3	40,6	46,9	-
Manganeso	0,66	0,37	0,38	-	-	-	-	-	-	0,46 *
Mercurio	0,008	<0,001	<0,001	0,001	0,001	-	-	0,001	0,0005	-
Níquel	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,5
N-NO2	0,065	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02
N-NO3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	20,3
pH	6,97	7,13	7,79	8,6	8,4	8,73	8,4	8,41	8,2	7,32
Plata	<0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plomo	<0,05	0,06	0,65	-	-	-	-	-	-	-
Potasio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuo total	121	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silice	-	-	-	-	-	-	5,5	-	8,16	-
Sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	535	107	144	85,2	96,9	118	110	119	84,6	400
Total sólidos	422	-	-	5400	5376	6380	5792	5900	5532	70
Turbidez	115	-	-	-	-	-	6	2,5	4	-
Zinc	1,22	<0,05	0,05	-	-	-	-	-	-	0,24 *

*=Disuelto

POZO MDO-15 SALAR DE MARICUNGA											
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO										
(mg/l)	20-08-1988	27-12-1991	19-03-1992	10-06-92	01-04-94	01-07-94	01-11-94	23-02-1995	09-08-1995	29-11-1995	24-09-1995
Acidez total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad total	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluminio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amoniaco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,42
Arsénico	<0,03	<0,01	<0,01	<0,01	-	0,001	0,001	0,001	0,003	-	-
Cadmio	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	4,5	734	836	801	902	835	654	-	-	-	-
Cianuro	-	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-	-	-	-	0,025
Cl	-	6650	14118	-	31600	14462	14100	5692	5660	16750	138
Cobre	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Conductividad(mmhos/cm)	161	43,5	39,1	41,9	47400	56870	47700	48651	50700	53100	412000
Cromo	<0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza total	8,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fierro	0,68	455	407,5	0	-	-	-	-	-	-	86,2 *
Fluoruros	<0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	<3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HCO3	91,5	-	-	10,2	-	-	-	-	-	-	-
Magnesio	-	-	-	-	337	359	330	-	-	-	-
Manganeso	0,1	6,3	9,23	11,3	-	-	-	-	-	-	8,08 *
Mercurio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	0,002	-	-	-	-	-
Niquel	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37,5
N-NO2	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06
N-NO3	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,1
pH	6,82	3,49	2,05	4,9	6,5	6,9	6,3	3,9	4,05	4,23	6,23
Plata	<0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plomo	<0,05	0,16	0,81	0,73	-	-	-	-	-	-	-
Potasio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuo total	178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sílice	-	-	-	-	-	-	-	16,5	-	20,1	-
Sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	588	126	151	66	58,2	69,5	66	76	131	84	1202
Total sólidos	<20	-	-	-	51706	26720	25672	29562	28000	28022	288
Turbidez	4,8	-	-	-	-	-	-	45	60	25	-
Zinc	0,62	<0,05	0,16	0,06	-	-	-	-	-	-	-

* =Disuelto



POZO MDO-23 SALAR DE MARICUNGA									
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO								
(mg/l)	08-09-1989	06-12-1989	01-03-1990	06-06-1990	05-09-1990	01-12-1990	23-02-1995	09-08-1995	29-11-1995
Fierro	7,3	22	<0,1	5,5	4	0,91	-	-	-
Calcio	171	152	175	161	165	195	147	177	162
Plomo	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
Manganeso	0,14	0,36	0,73	0,46	0,34	0,24	-	-	-
Aluminio	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	-	-
Zinc	0,52	0,1	<0,05	0,09	0,08	0,49	-	-	-
Cobre	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
Cadmio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-
Cromo	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
Níquel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-
Plata	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-
HCO3	177	98	127	272	183	116	166,1	168	182
Sulfatos	202	190	193	204	212	245	177,5	226	171
N-NO3	1,6	<0,2	0,2	0,2	0,2	1	-	-	-
N-NO2	0,11	0,006	0,57	0,017	0,006	0,017	-	-	-
Fluoruros	0,3	0,3	0,4	1,5	0,4	0,5	-	-	-
Fosfatos	<3,2	<3,2	<3,2	<3,2	<3,2	5	-	-	-
Total sólidos	23	36	25	<20	<20	<20	3439	3400	3382
Residuo total	3096	3168	3600	3524	3608	4424	-	-	-
Alcalinidad total	145	80	105	233	150	95	-	-	-
Acidez total	7,4	9,8	7,2	<5	9,4	<10	-	-	-
Turbidez	23	12,1	25	30	12	5,3	1,5	0,35	0,5
Conductividad(umhos/cm)	4601	5092	5226	5846	5794	7339	5390	5740	5770
pH	7,38	7,68	3,31	7,33	7,35	8,06	7,2	7,33	7,24
Arsénico	0,24	1,54	0,35	0,16	0,16	0,23	0,75	0,5	0,67
Cianuro	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-
Cloruro	-	-	-	-	-	-	2139	1323	1623
Magnesio	-	-	-	-	-	-	38,2	35,1	34,8
Silice	-	-	-	-	-	-	57,7	56,7	63,6

POZO MDO-24 SALAR DE MARICUNGA											
PARAMETROS (mg/l)	FECHAS DE MUESTREOS										
	8/09/89	6/12/89	1/03/90	6/06/90	5/09/90	27/12/91	19/03/92	10/06/92	23/02/95	29/11/95	24/09/96
Acidez total	<5	<5	9,6	<5	<5	-	-	-	-	-	-
Alcalinidad total	150	135	63	125	148	-	-	-	-	-	-
Aluminio	<1	<1	<1	<1	<1	-	-	-	-	-	-
Amoníaco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Arsénico	0,08	0,72	0,06	<0,03	0,38	0,05	0,065	0,02	0,42	0,45	-
Cadmio	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	-	-	-	-	-
Calcio	162	166	173	145	150	194	157	172	-	-	-
Cianuro	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	0,025
Cl	-	-	-	-	-	2140	1961	1821	-	-	824
Cobre	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-	-	-	-
Conductividad(mmhos/cm)	3578	3489	3578	4080	3806	7,02	6,7	6,73	3370	3550	3400
Cromo	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-	-	-	-
Dureza total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hierro	10,2	37	22	5,7	6,3	0,07	0,82	<0,01	-	-	0,03
Fluoruros	0,2	<0,2	<0,2	0,5	<0,2	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	<3,2	<3,2	<3,2	<3,2	<3,2	-	-	-	-	-	-
HCO ₃	183	165	131	140	180	195	364,8	175,3	-	-	-
Magnesio	-	-	-	-	-	-	-	-	19,3	19,6	-
Manganeso	0,21	0,25	0,76	0,47	0,3	0,02	0,07	0,026	-	-	0,01
Mercurio	-	-	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-
Níquel	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-
N-NO ₂	0,055	0,007	0,034	<0,004	0,006	-	-	-	-	-	-
N-NO ₃	0,9	0,9	0,2	0,2	0,6	-	-	-	-	-	2,42
pH	7,42	7,65	7,17	7,57	7,54	7,07	7,05	7,2	7,2	7,19	7,45
Plata	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	-	-	-	-	-
Plomo	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,01	0,09	-	-	-
Potasio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuo total	2388	2274	2420	2411	2332	-	-	-	-	-	-
Silica	-	-	-	-	-	-	-	-	26,9	-	-
Sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	222	188	208	214	222	244	216	203	210	161	171
Total sólidos	34	92	37	<20	<20	-	-	-	2149	2272	2160
Turbidez	15	2,6	42	6	6	-	-	1	1	0,9	-
Zinc	0,1	0,16	0,06	0,06	0,1	<0,05	0,06	0,02	-	-	0,04

M-6	
PARAMETROS	
mg/l	
Acidez total	19
Alcalinidad total	190
Aluminio	
Arsénico	0.27
Cadmio	<0.01
Calcio	145
Cl	<0.1
Cobre	<0.05
Conductividad(umhos/cm)	2123
Cromo	<0.05
Dureza total	586
Fierro	0.3
Fluoruros	0.3
Fosfatos	
HCO3	232
Magnesio	59
Manganeso	
Mercurio	<0.001
Niquel	<0.1
N-NO2	0.024
N-NO3	1.3
pH	7.72
Plata	<0.05
Plomo	<0.05
Potasio	12
Residuo total	1480
Silice	
Sodio	210
Sulfatos	487
T.S.S.	84
Turbidez	0.6
Zinc	0.09

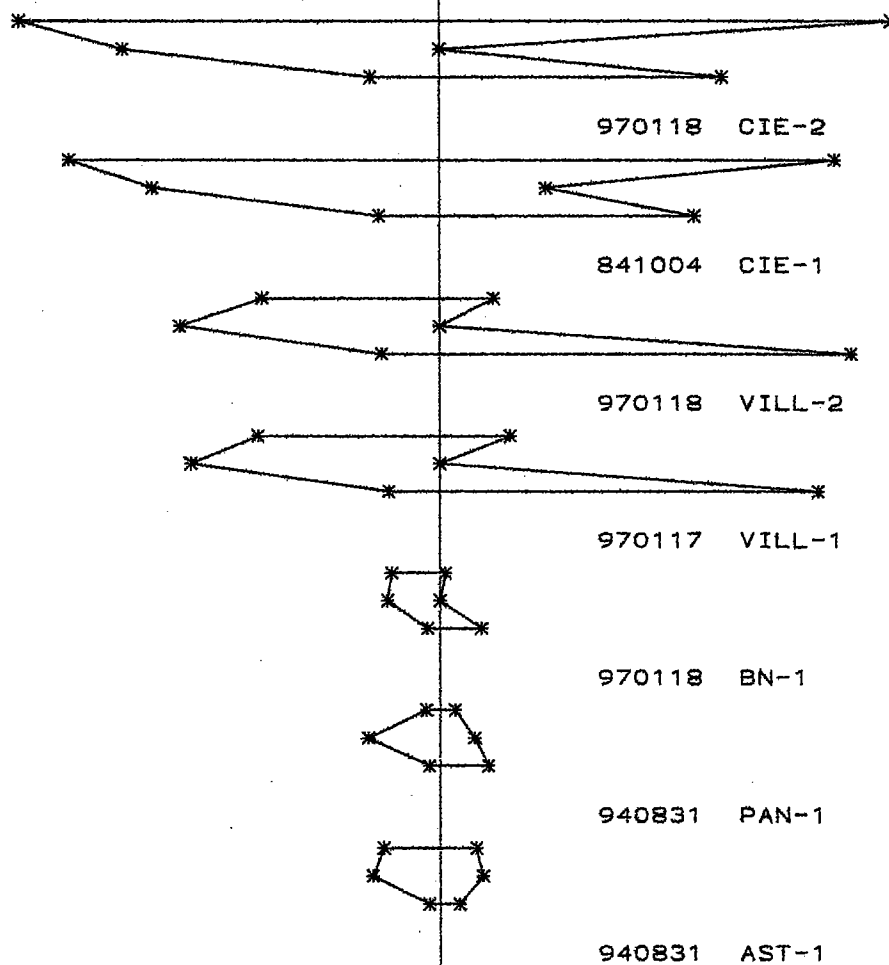
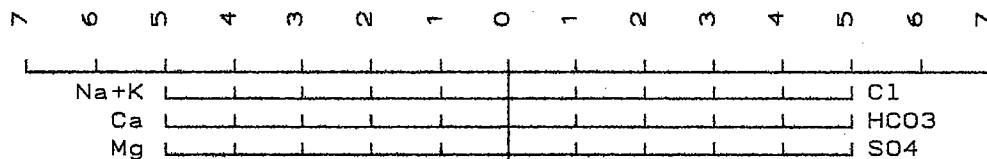
POZO LAM-1(SAL 1) RIO LAMAS EN EL SALTO							
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO						
(mg / l)	22-2-67	1-11-67	19-12-67	27-1-68	23-2-68	28-3-68	20-10-68
pH	7,95	7,3	8,1	7,7	7,7	7,7	7,1
Conductividad(mmhos/cm)	4,07	4,07	4,00	4,12	4,12	4,09	3,98
Calcio	167,53	174,15	136,87	185,97	174,35	178,36	170,34
Cl	1.173,73	1.116,99	1.155,64	1.146,78	938,27	1.072,67	1.159,54
Carbonato	33,00	-	18,60	-	-	-	-
Bicarbonato	204,38	359,96	230,01	373,99	331,28	396,57	358,74
Potasio	66,47	50,83	50,83	59,82	59,82	82,11	64,52
Magnesio	28,21	24,08	46,69	33,20	30,28	23,23	33,44
Sodio	634,80	598,00	552,00	667,00	630,20	575,00	630,20
Sulfato	70,14	98,48	80,71	110,49	110,49	105,69	107,61

POZO SAL-2 SALAR BORDE NORTE	
PARAMETROS	FECHA MUESTREO
(mg/l)	04-10-1984
pH	6,5
Conductividad(mmhos/cm)	21,62
Calcio	365,93
Cloro	7.616,81
Bicarbonato	164,12
Potasio	156,01
Magnesio	173,89
Sodio	392,15
Sulfato	198,89
T.S.D.(ppm)	18.932,00

POZO CIE-1 VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS NEGROS														
PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO													
(mg/l)	18/11/66	1/3/67	11/4/67	Nov-67	19/12/67	27/1/68	23/2/68	28/3/68	20/10/68	4/10/84	9/4/96	2/7/96	17/1/97	3/3/97
pH	7	7.93	-	7.4	7.9	7.6	8	7.4	6.9	6.5	7.9	7.4	8.86	8.00
Conductividad(mmhos/cm)	9.81	1.108	-	1.206	1.125	1.152	1.235	1.22	1.07	1.123	2.2	2.19	2.23	2.31
Plata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01
Aluminio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	<0.2	0.20
Arsénico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	0.121	0.312	0.71
Boro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.87	1.57	7	<0.0001
Bario	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.026	0.027	0.03	<0.1
Berilio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.005	<0.1
Bismuto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	-
Calcio	85.17	97.9956	-	87.174	77.5548	92.9856	92.9856	90.18	63.126	83.9676	200	190	153.00	179.00
Cadmio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	<0.0001	<0.0001
Cloro	212.76	217.0152	-	230.49	225.171	228.717	232.9722	208.5048	210.6324	203.895	478.5	570.3	475.00	574.00
Cobalto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Carbonato	-	-	-	-	10.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.005
Cobre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	0.003	<0.005
Hierro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.11	0.26	0.14
Bicarbonato	113.4786	-	114.6988	126.2907	140.323	140.323	122.02	100.6665	94.5655	-	187.2	149.9	-	130.00
Mercurio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	0.00007	0.00
Potasio	72.335	72.726	-	73.508	80.937	89.93	89.93	78.2	64.515	60.605	16.3	13.9	14.00	16.00
Litio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.32	2.08	2.10	2.24
Magnesio	15.808	20.064	1.3376	15.808	14.4704	19.3344	17.9968	11.552	32.832	10.944	13.9	25.3	23.30	25.60
Manganeso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	0.15	0.04	0.06
Molibdeno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.05	<0.05	<0.006	<0.05
Sodio	112.7	87.4	-	101.2	108.1	119.6	128.8	124.2	92	117.99	250	215	238.00	253.00
Niquel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	<0.02	<0.03
Fósforo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.3	-
Plomo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	<0.001	<0.05
Selenio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	<0.001	0.0008	<0.005
Silice	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53.3	48.3	-	197
Dureza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	577	579	477	555
Sulfato	111.4528	71.0992	-	151.326	93.678	137.3944	146.522	155.6496	133.5512	178.2284	332.5	170.5	337.00	275.00
Estroncio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.88	-
T.S.D.(ppm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1632	1632	1,310.00	1,550.00
Titanio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	-
T.S.S.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.00	-
Vanadio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.03	<0.05
Zinc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	0.004	<0.005	<0.005
Nitrato	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	2	0.02	<0.01
Nitrilo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.005	<0.005
Antimonio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.2	-
Fluoruros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.66	0.36	<0.4	0.78
Alcalinidad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-
Bromuros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<10	-
Fosfatos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	-
Cianuros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.005	<0.025	0.023
Talio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	-

Cations

meq Stiff Diagram Anions



Geobase 7.01

AGUAS SUPERFICIALES

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : CIENAGA REDONDA Y RIO ASTABURUAGA

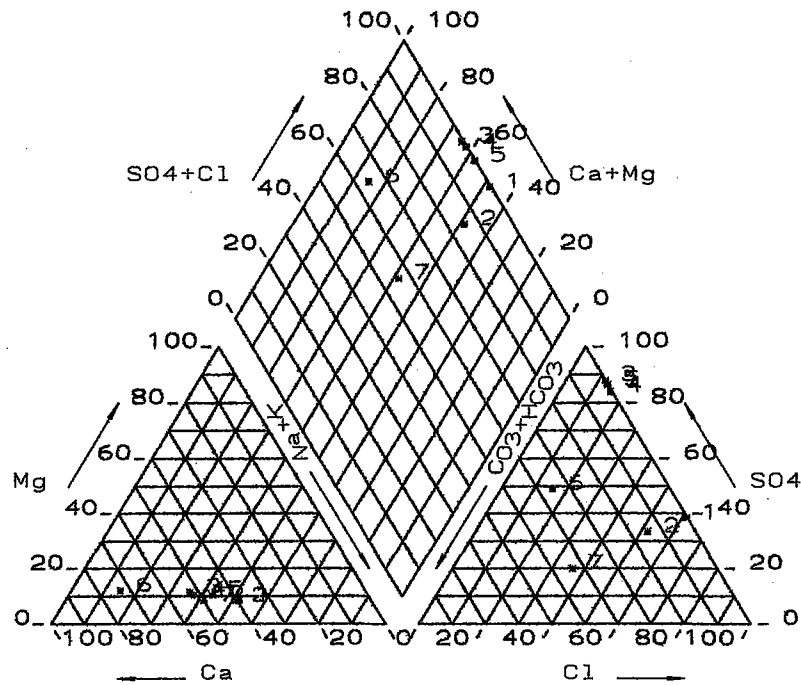
REGION : TERCERA

FIGURA

C-1

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

Piper Diagram



#	Date YYMMDD	Zone	Well I.D.
1	970118	2,4,7	CIE-2
2	841004	2,4,7	CIE-1
3	970118	1,4,6	VILL-2
4	970117	1,4,6	VILL-1
5	970118	1,4,6	BN-1
6	940831	1,4,9	PAN-1
7	940831	1,4,9	AST-1

Geobase 7.01

AGUAS SUPERFICIALES

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : CIENAGA REDONDA Y RIO ASTABURUAGA

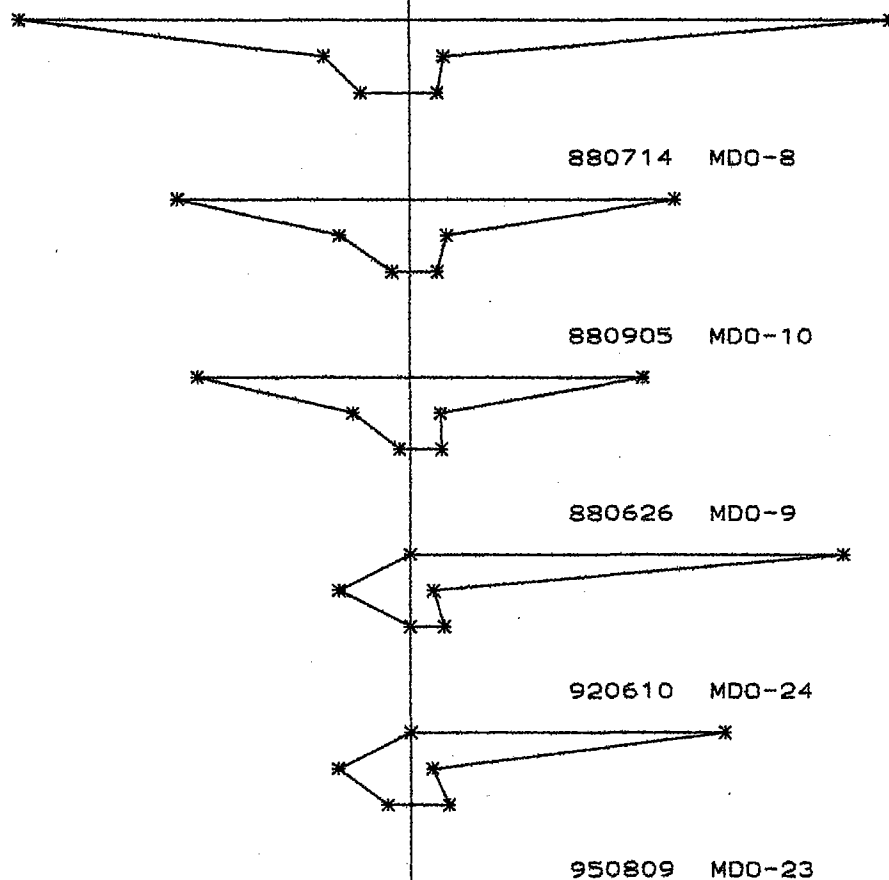
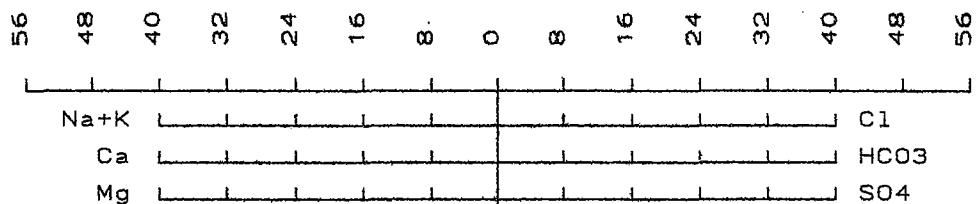
REGION : TERCERA

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

FIGURA

C-2

Cations meq Stiff Diagram Anions



Geobase 7.01

AGUAS SUBTERRANEAS

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : SALAR DE MARICUNGA(CENTRO-SUR)

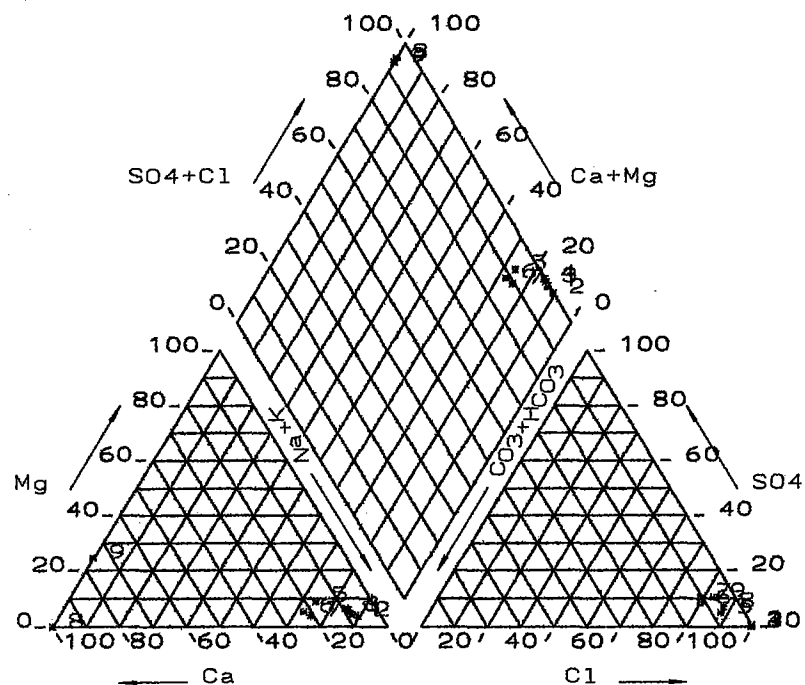
REGION : TERCERA

FIGURA

C-3a

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

Piper Diagram



#	Date YYMMDD	Zone	Well I.D.
1	880820	2,4,7	MDO-14
2	880626	2,4,7	MDO-12
3	880829	2,4,7	MDO-13
4	880820	2,4,7	MDO-15
5	880714	2,4,7	MDO-8
6	880905	2,4,7	MDO-10
7	880626	2,4,7	MDO-9
8	920610	1,4,6	MDO-24
9	950809	1,4,6	MDO-23

Geobase 7.01

AGUAS SUBTERRANEAS

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : SALAR DE MARICUNGA

REGION : TERCERA

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

FIGURA

C-4

Stiff Diagram

Cations

meq

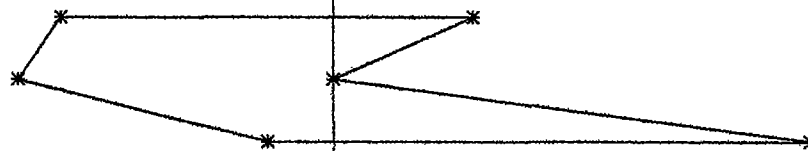
Anions

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

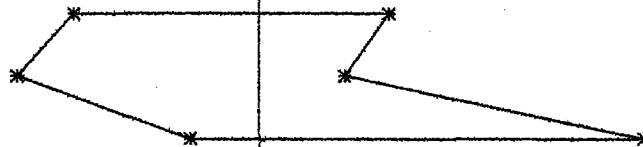
Na+K _____ Cl

Ca _____ HCO3

Mg _____ SO4



970118 P-6



970519 MAR-1

Geobase 7.01

AGUAS SUBTERRANEAS

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : POZOS SECTOR CIENAGA REDONDA

REGION : TERCERA

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORD

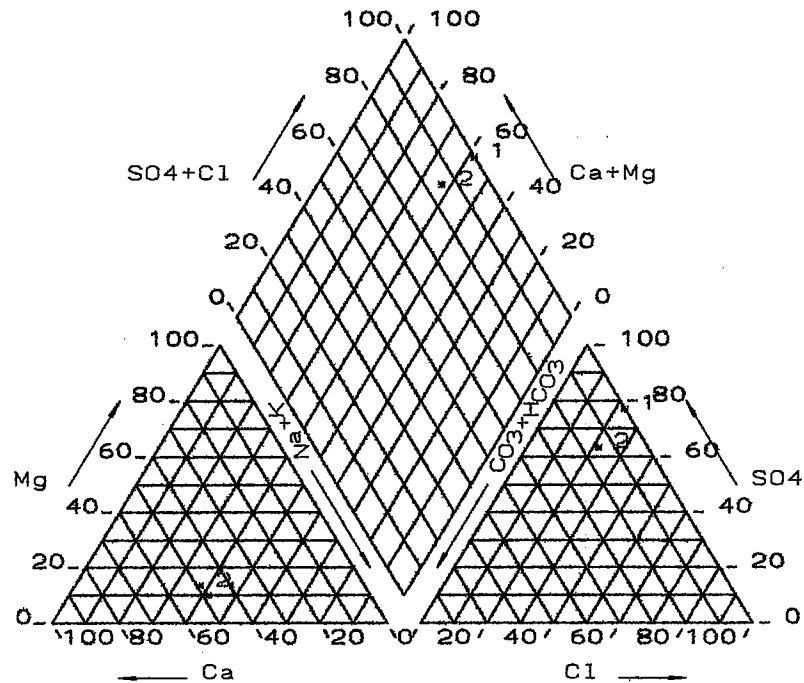
FIGURA

C-5

Piper Diagram

#	Date YYMMDD	Zone	Well I.D.
---	----------------	------	-----------

1	970118	1,4,6	P-6
2	970519	1,4,9	MAR-1



Geobase 7.01

AGUAS SUBTERRANEAS

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : POZOS SECTOR CIENAGA REDONDA

REGION : TERCERA

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

FIGURA

C-6

Cations meq Stiff Diagram Anions

1000 800 600 400 200 0 200 400 600 800 1000

Na+K

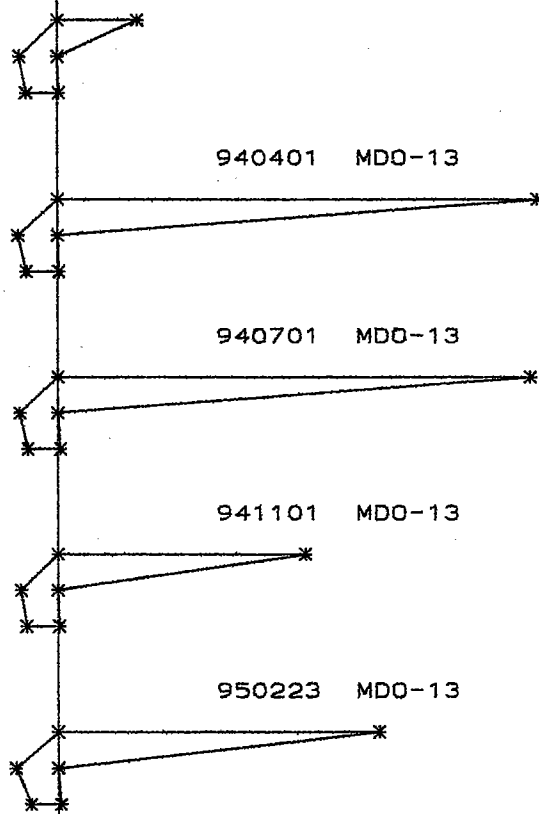
Ca

Mg

Cl

HCO3

SO4



Geobase 7.01

VARIACION ESTACIONAL

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : SECTOR NORTE SALAR DE MARICUNGA

REGION : TERCERA

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

FIGURA

C-7

Cations

meq Stiff Diagram Anions

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Na+K

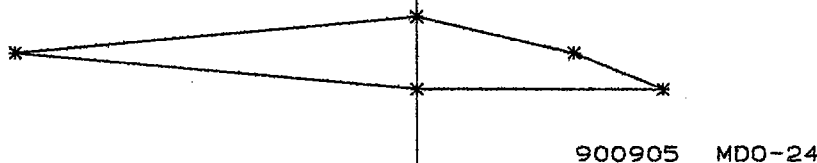
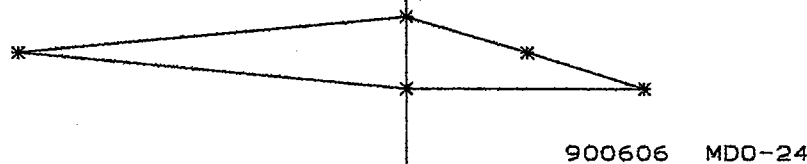
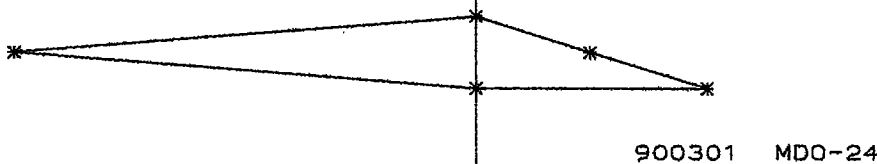
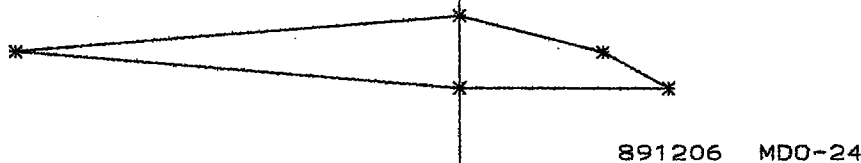
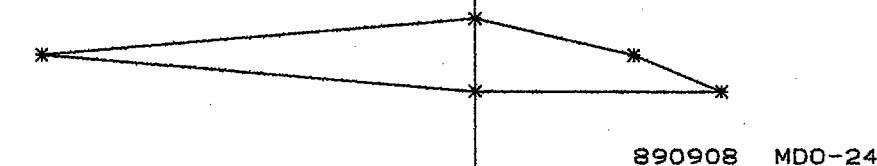
Ca

Mg

Cl

HCO3

SO4



Geobase 7.01

VARIACION ESTACIONAL

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : SECTOR SUR SALAR DE MARICUNGA

REGION : TERCERA

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

FIGURA

C-8

Cations

meq

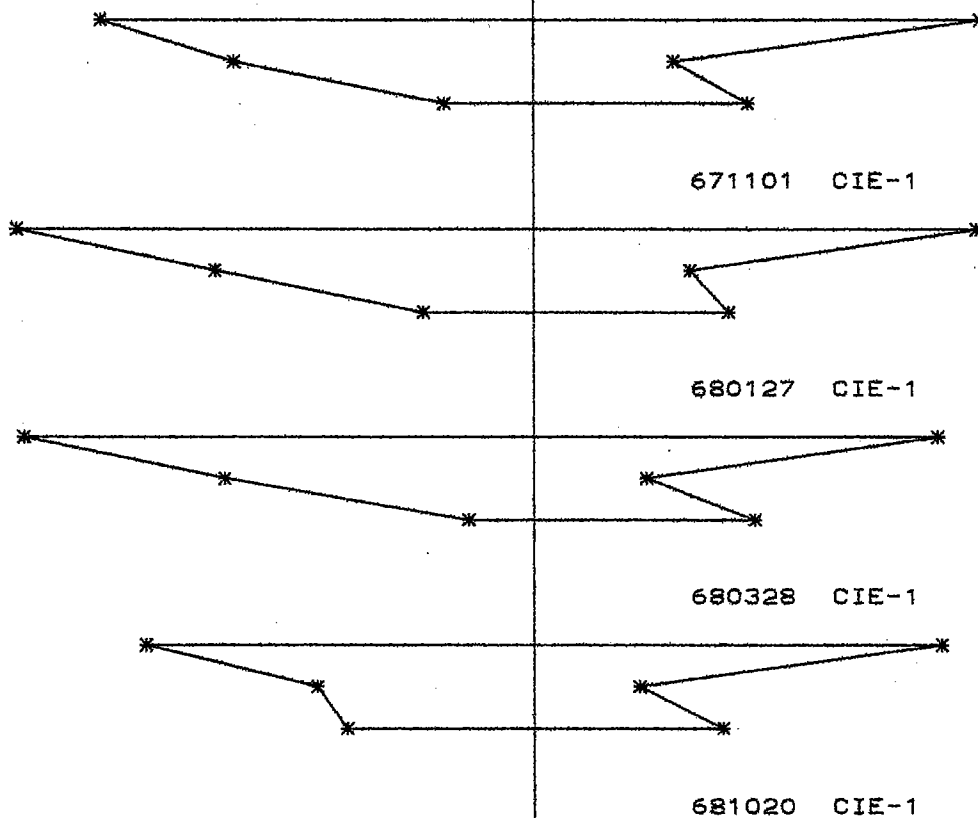
Stiff Diagram Anions

7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7

Na+K _____ Cl

Ca _____ HCO3

Mg _____ SO4



Geobase 7.01

VARIACION ESTACIONAL

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : SECTOR CIENAGA REDONDA

REGION : TERCERA

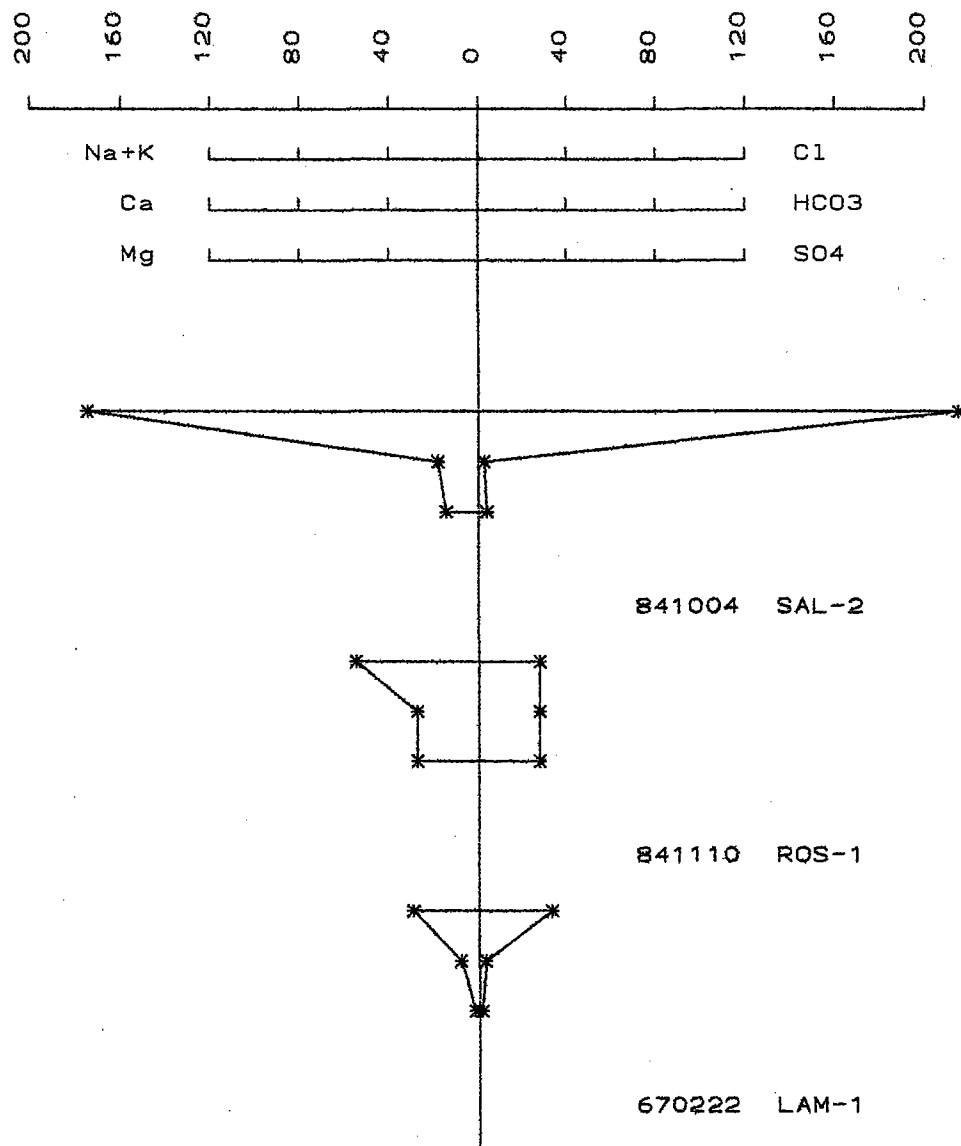
FIGURA

C-9

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

Stiff Diagram

Cations meq Anions



Geobase 7.01

AGUAS SUPERFICIALES

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : SALAR DE MARICUNGA-LAGUNA STA ROSA

REGION : TERCERA

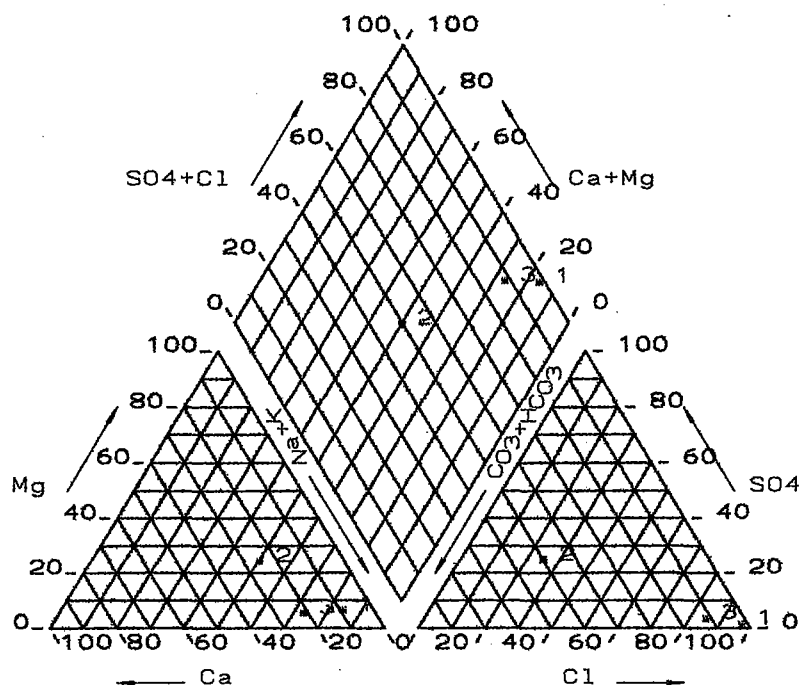
FIGURA

C-10

Piper Diagram

#	Date YYMMDD	Zone	Well I.D.
---	----------------	------	-----------

1	841004	2,4,7	SAL-2
2	841110	2,4,7	ROS-1
3	670222	2,4,7	LAM-1



Geobase 7.01

AGUAS SUPERFICIALES

PROYECTO : TECK-MDO FASE IV

UBICACION : SALAR DE MARICUNGA-LAGUNA SANTA ROSA

REGION : TERCERA

TECK CORPORATION-MINERA MANTOS DE ORO

FIGURA

C-11



ANEXO D
CATASTRO DE DERECHOS DE AGUA



TECK – MDO

TASK 1 – DERECHOS DE AGUA

SALAR DE MARICUNGA, CIENAGA REDONDA

Y LAGUNA NEGRO FRANCISCO

**TECK – MDO****TASK 1 – DERECHOS DE AGUA****SECTORES SALAR DE MARICUNGA, LLANO CIENAGA
REDONDA Y LAGUNA NEGRO FRANCISCO****Introducción**

El presente catastro contiene la información de derechos de agua en el sector definido de interés y sus entornos, para satisfacer la demanda hídrica de TECK CORPORATION (Proyectos Lobo y Marte), el cual queda limitado al polígono de coordenadas UTM:

A	N	7.050.000	470.000 E
B	N	7.050.000	510.000 E
C	N	6.940.000	510.000 E
D	N	6.940.000	470.000 E

Esta área ha sido digitalizada a escala 1: 250.000, donde se ha ploteado toda la información recabada. Cabe señalar que además, se ha incluido en el Catastro de Derechos información que no recae dentro del polígono señalado, la cual se localiza en torno del área del Proyecto, lo cual puede dar una mejor información en relación a la disponibilidad hídrica real que existe a nivel de cuenca hidrogeológica.

Presentación de la información:

La información catastrada se ha estructurado en cuatro anexos:

- **Anexo A: Catastro de Solicitudes de Exploración Vigentes.**

La tabla incluye varias columnas con información acerca del número de Expediente que la Dirección General de Aguas asigna a cada solicitud, que en este caso por tratarse de un permiso de exploración se rola como NE; el nombre del titular a quien ha sido concedida la autorización; el número y fecha de la Resolución DGA que otorgó dicho permiso; el polígono autorizado definido por sus respectivas coordenadas UTM, el área otorgada en hectáreas y su ubicación en el Catastro, las que se han clasificado con números.

Cabe destacar que las autorizaciones otorgadas tienen una duración de dos años desde la fecha de Toma de Razón de las resoluciones citadas por la Contraloría General de la República.

- **Anexo B: Catastro de Solicitudes de Exploración en Trámites:**

Aquí se incluye la información de las solicitudes que están siendo tramitadas en la Dirección General de Aguas, las cuales son asignadas a un expediente con un número determinado, su fecha de ingreso, el nombre del peticionario, ya sea en calidad de persona natural o representante legal de alguna compañía, que ha solicitado el área, la cual queda definida por un polígono en el cual se indican los vértices en coordenadas UTM, el área solicitada en hectáreas y la ubicación de dichas áreas en el Catastro, las cuales se han denominado con letras mayúsculas.

- **Anexo C: Catastro de Derechos de Aprovechamiento Constituidos:**

Aquí se incluye la información de las solicitudes de derechos de aprovechamientos de aguas superficiales y subterráneas que han sido constituidas en favor de una persona natural o jurídica, el caudal otorgado, la Resolución DGA y fecha en que se constituyó dicho derecho, la ubicación del punto de captación en coordenadas UTM para el caso de aguas subterráneas, el número del expediente que ha sido asignado por la Dirección General de Aguas, que por tratarse de una solicitud de derecho de aprovechamiento, se rola como ND y la ubicación de dichos puntos en el Catastro de Derechos, los cuales se han denominado con números romanos en mayúsculas.

- **Anexo D: Catastro de Derechos de Aprovechamiento en Trámite:**

Aquí se incluye la información de las solicitudes de derechos de aprovechamientos que están siendo tramitadas en la Dirección General de Aguas, que para el caso específico de este catastro, se trata de solicitudes de derecho de aprovechamiento de aguas superficiales, las cuales se están analizando en la Dirección General de Aguas-Nivel Central, por haberse interpuestos a éstas, Recursos de Reconsideración.

Se indica el álveo respectivo, el número de expediente DGA, el titular y la ubicación aproximada del álveo respectivo en el Catastro de Derechos de Aguas, la que se ha señalado con una letra minúscula.



TECK – MDO

CATASTRO DE SOLICITUDES DE EXPLORACION VIGENTES

SALAR DE MARICUNGA, CIENAGA REDONDA Y LAGUNA NEGRO FRANCISCO



EXPLORACION Y DESARROLLO DE RECURSOS DE AGUA S.A.

**CATASTRO SOLICITUDES DE EXPLORACION VIGENTES
PROYECTO LOBO - MARTE**

EXPEDIENTE N°	TITULAR	FECHA RESOLUCION	N° RESOLUCION	SUPERF. HAS.	VERTICES	COORDENADAS UTM		UBICACION MAPA
						NORTE	ESTE	
NE-0302-204	CIA MINERA MARICUNGA Qda. Ciénaga Redonda	05-06-1995	43	5200	V1	6.980.000	496,000	1
					V2	6.980.000	500,000	
					V3	6.967.000	500,000	
					V4	6.967.000	496,000	
NE-0302-202	CIA MINERA MARICUNGA Valle Ancho	05-06-1995	41	19800	V1	6995,000	484,000	2
					V2	6995,000	493,000	
					V3	6977,000	493,000	
					V4	6977,000	481,000	
					V5	6989,000	481,000	
					V6	6.989.000	484,000	



ANEXO A
ESTRATIGRAFIA

WELL LOG

Pozo

PO-5

Figura N° A-1

Método Perf.

Fecha Perf.

E

499950

N

6988450

Z

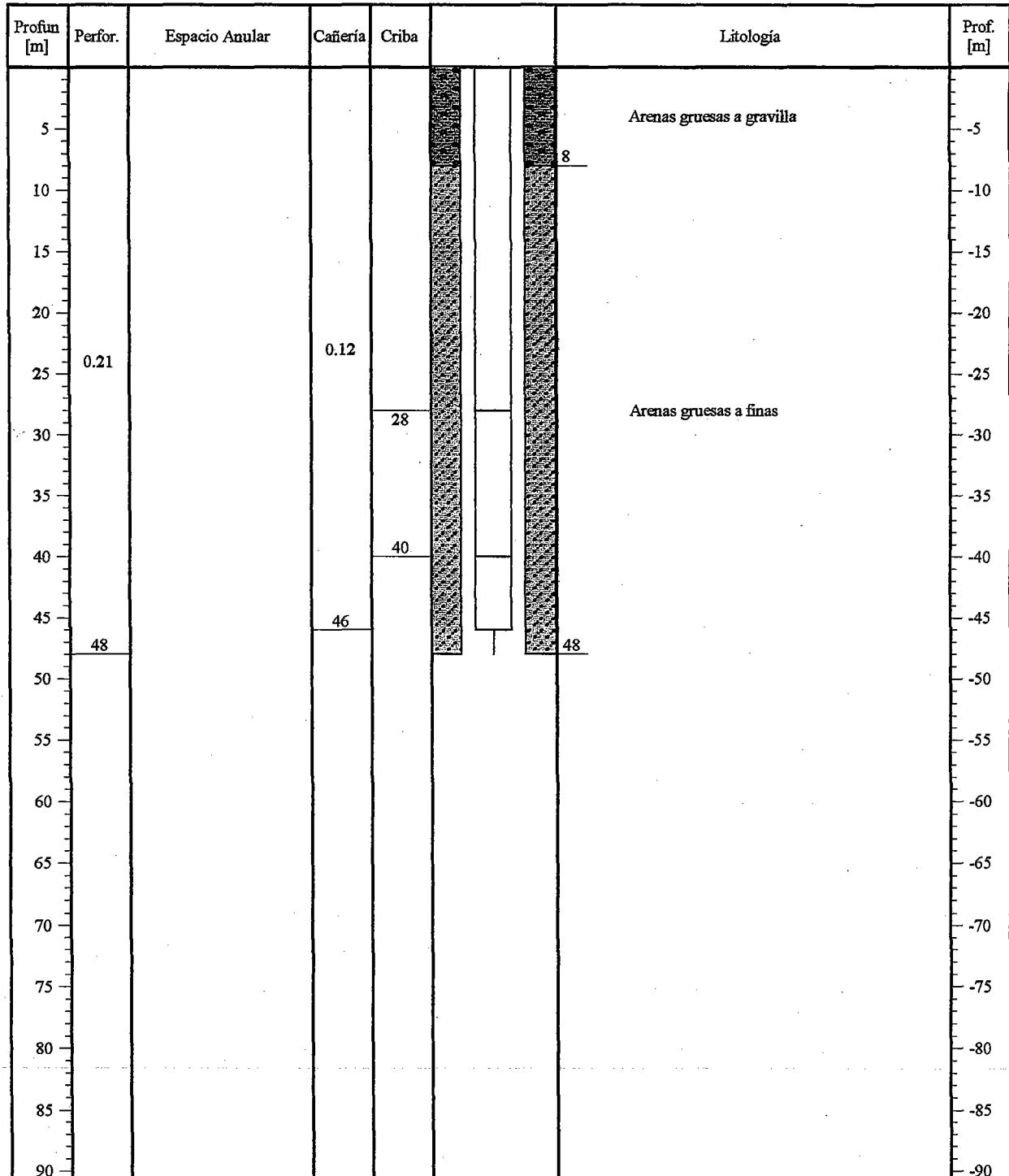
Cota pto. Medida

EDRA S.A.

Nivel Agua (m MSL)

Fecha Nivel

Escala 1: 500



WELL LOG

Pozo

PO-6

Figura N° A-2

Método Perf.

Fecha Perf.

E 498300

N 6979300

Z

Cota pto. Medida

EDRA S.A.

Nivel Agua (m MSL)

Fecha Nivel

Escala 1: 500

Profun [m]	Perfor.	Espacio Anular	Cañería	Criba		Litología	Prof. [m]
5					4	Arenas gruesas a finas con 20% a 30% limos	
					6	Limos	-5
10				6		Arenas gruesas a finas con 10% de limos	-10
15	0.21		0.12		10		
					16	Arenas finas a medias con 30% a 50% limos	-15
20				18			-20
25						Arenas medias y gruesas con 10% a 20% limos	-25
30	30		30		30		-30
35							-35
40							-40
45							-45
50							-50
55							-55
60							-60
65							-65
70							-70
75							-75
80							-80
85							-85
90							-90

WELL LOG

Pozo

PO-7

Figura N° A-3

Método Perf.

Fecha Perf.

E 498150

N 6970250

Z

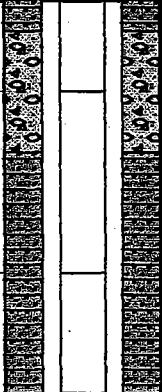
Cota pto. Medida

EDRA S.A.

Nivel Agua (m MSL)

Fecha Nivel

Escala 1: 500

Profun [m]	Perfor.	Espacio Anular	Cañería	Criba		Litología	Prof. [m]
5	0.21	0.12	6	18		2 Arena gruesa con 15% de limo	-5
10						Grava fina y arena gruesa con 2%-5% limo	-10
15						Arenas gruesas con 5% a 15% de limo	-15
20	26					26	-20
25							-25
30							-30
35							-35
40							-40
45							-45
50							-50
55							-55
60							-60
65							-65
70							-70
75							-75
80							-80
85							-85
90							-90

WELL LOG

Pozo

PO-8

Figura N° A-4

Método Perf.

Fecha Perf.

E 495200

N 6963300

Z

Cota pto. Medida

EDRA S.A.

Nivel Agua (m MSL)

Fecha Nivel

Escala 1: 500

Profun [m]	Perfor.	Espacio Anular	Cañería	Criba		Litología	Prof. [m]
5				3		Arenas gruesas con 5% de limos	-5
10	0.21		0.12				-10
15				15		Arenas finas y medias con 10% a 15% limo	-15
20	20		20				-20
25							-25
30							-30
35							-35
40							-40
45							-45
50							-50
55							-55
60							-60
65							-65
70							-70
75							-75
80							-80
85							-85
90							-90

WELL LOG

Pozo

Pozo N°1

Figura N° A-5

Método Perf.

Fecha Perf.

E

492306

N

7058189

Z

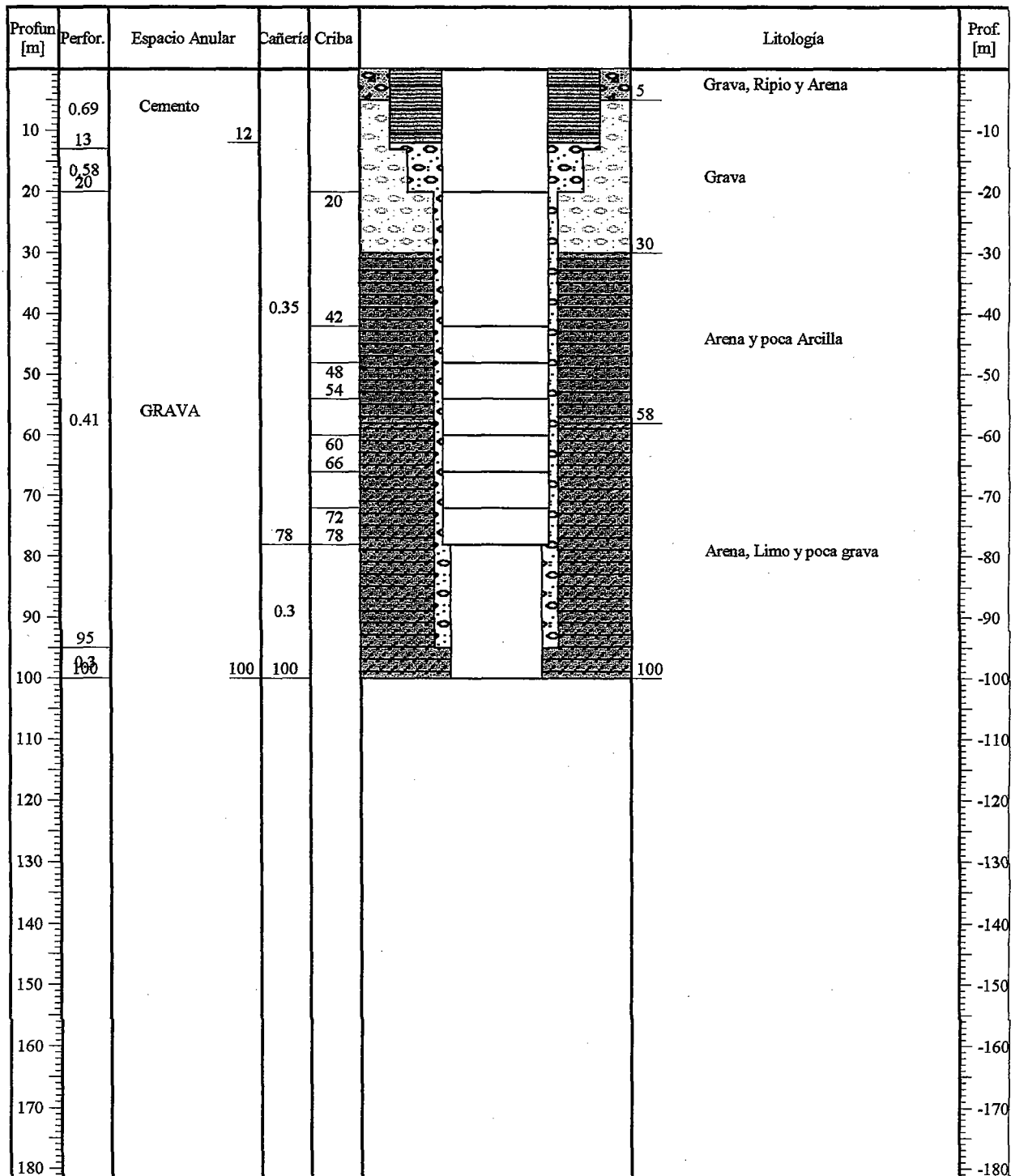
Cota pto. Medida

EDRA S.A.

Nivel Agua (m MSL)

Fecha Nivel

Escala 1: 1000



WELL LOG

Pozo

Pozo N°2

Figura N° A-6

Método Perf.

Fecha Perf.

E

492419

N

7058087

Z

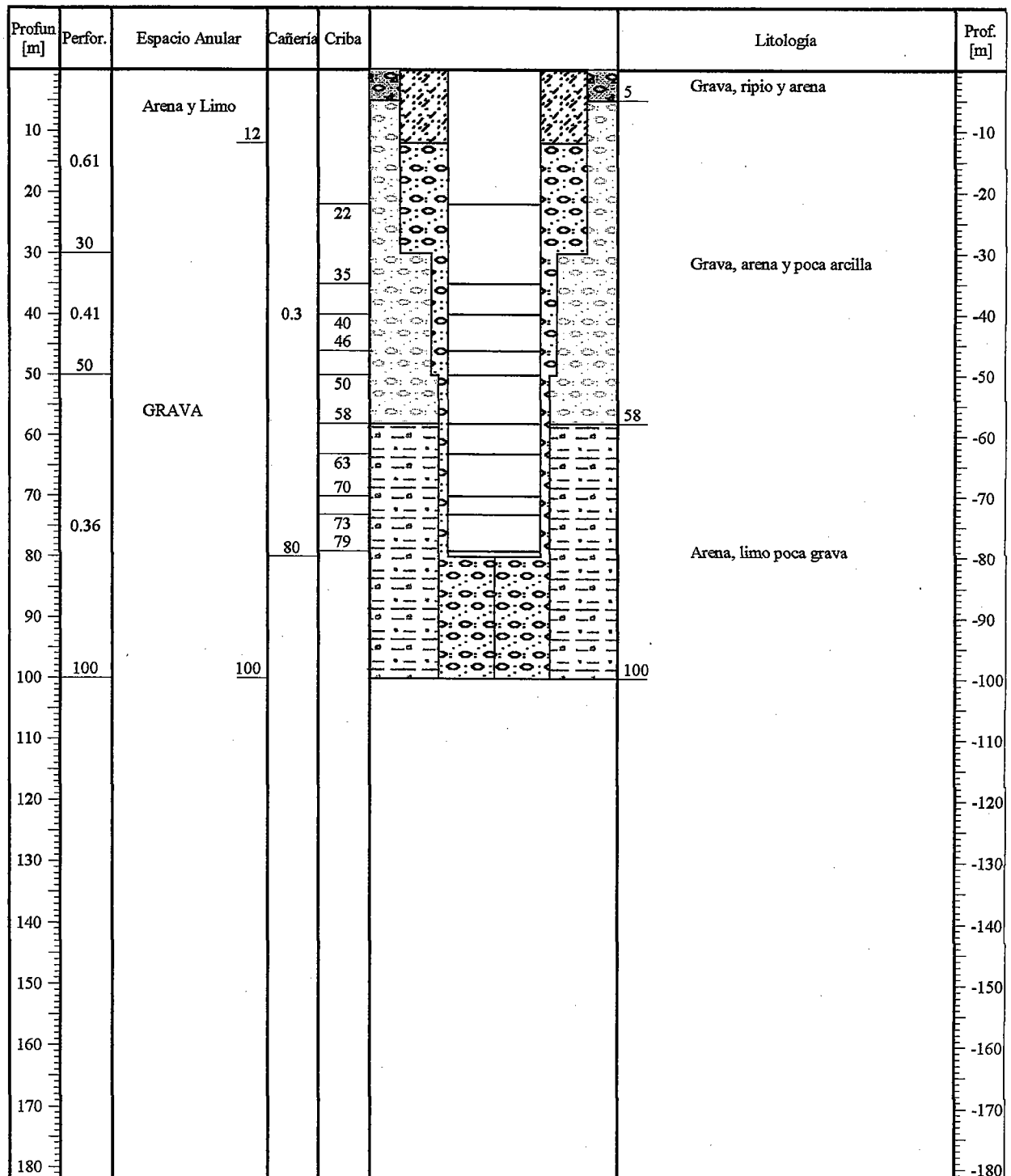
Cota pto. Medida

EDRA S.A.

Nivel Agua (m MSL)

Fecha Nivel

Escala 1: 1000





ANEXOS



ANEXOS

que fueron variados dentro de un rango razonable para las condiciones generales observadas. El estudio indicó que, dentro de este rango, el modelo no es sensible a cambios en los valores de los parámetros considerados. Si bien, la calibración del modelo pudiera no ser estrictamente exacta, el resultado del análisis de sensibilidad indica que los pronósticos del modelo no hubiesen cambiado sensiblemente, y por lo tanto, serían aún válidos.

Con el objeto de evaluar la respuesta del acuífero al bombeo de MDO y MSR, se simularon las alturas piezométricas y flujos subterráneos, en diferentes puntos de interés. Los resultados obtenidos para los diferentes escenarios de bombeo indican que los impactos hidrológicos son tan pequeños que se pueden considerar como despreciables o nulos. Los puntos de interés analizados son los siguientes:

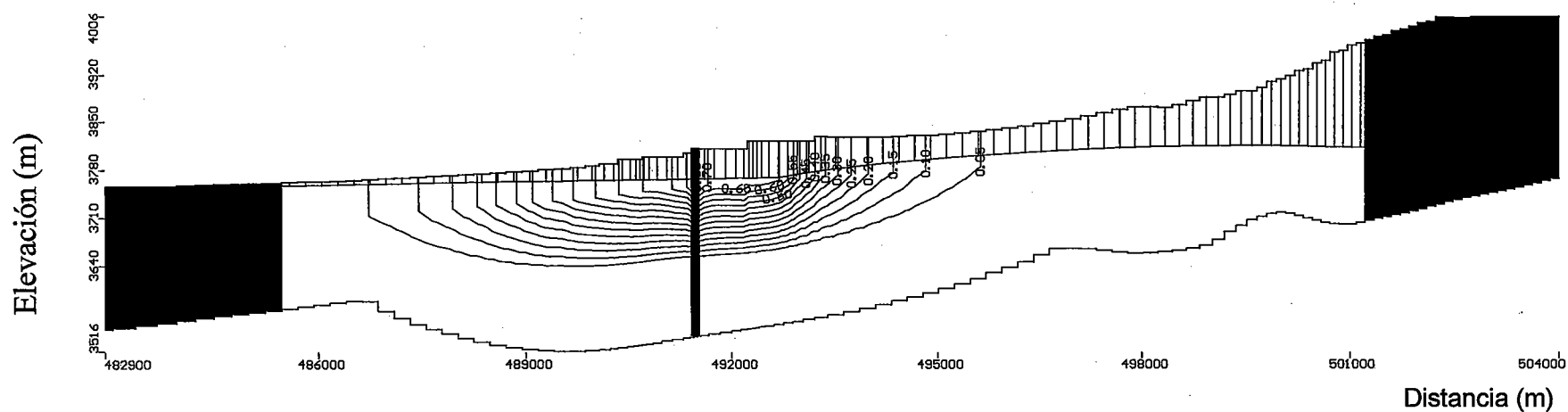
- Pozos de producción (MDO-9, MDO-23 y MDO-24).
- Acuífero principal, desembocadura del Río Lamas.
- Laguna Santa Rosa.
- Descarga al Salar de Maricunga.

Un período considerable de tiempo es necesario para que los niveles se recuperen hasta los valores previos al bombeo. Este tiempo se requiere para rellenar los poros drenados durante el período de bombeo. Las Figuras 4.26 y 4.27 muestran la respuesta y recuperación de los niveles a lo largo de un corte a través de los pozos de MDO, respectivamente. Se observa en estas figuras, que los niveles, y consecuentemente los poros, que se encuentran cercanos a los pozos MDO se recuperan rápidamente. Esto se debe a una baja razón entre caudal de bombeo y flujo entrante, y a una geometría favorable.

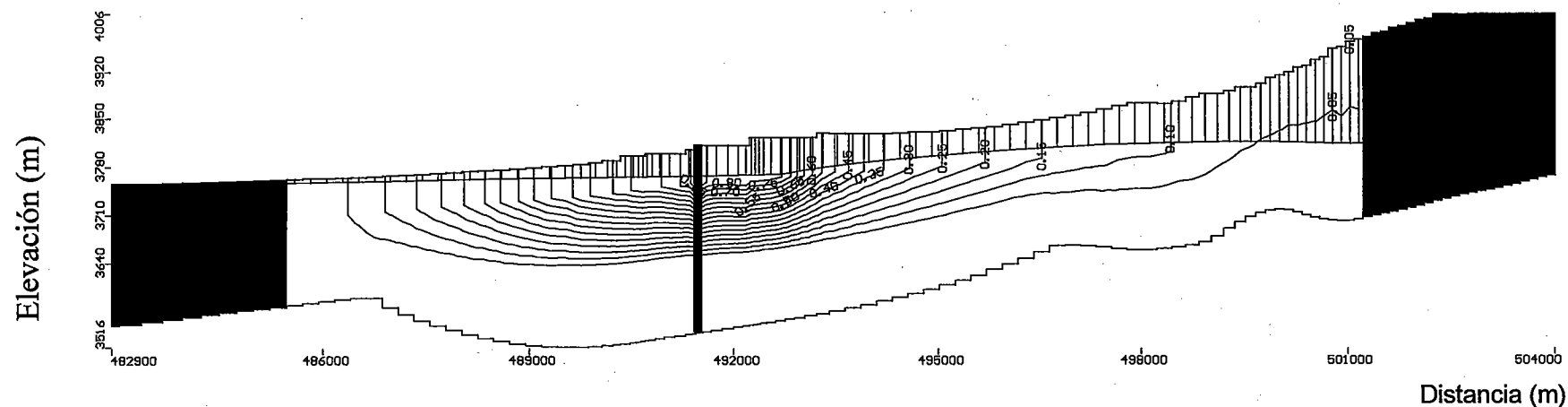
Sin embargo, los descensos en la salida de la Quebrada Ciénaga Redonda demoran más en recuperarse. El retardo en la recuperación de estos descensos fue pronosticado por el modelo de la Quebrada Ciénaga Redonda (EDRA, 1997b). Dentro de dicha Quebrada, la recuperación de los niveles se propaga lentamente hacia aguas abajo desde los pozos MSR, a la velocidad natural del flujo subterráneo (del orden de 10^{-6} m/s o cerca de 60 m/año). Como resultado, el agua necesaria para rellenar los poros en el acuífero del Salar de Maricunga necesitará de varios años desde Ciénaga Redonda (12 km).

Además, los efectos en la salida de esta quebrada son aumentados debido a la disminución en la sección del acuífero en la Vega Ciénaga Redonda, y a los gradientes más pronunciados en esta zona (EDRA, 1997b). A pesar del largo tiempo de recuperación, los descensos en el área del modelo serán mínimos, y probablemente serán imperceptibles debido a las variaciones estacionales.

Sobre la base de estos resultados, se concluyó que las actividades de bombeo, llevadas a cabo por la empresa de Mantos de Oro dentro de la cuenca del Salar de Maricunga, y de Minera Santa Rosa dentro de la Quebrada Ciénaga Redonda, ejercen un impacto hidrológico despreciable sobre el área considerada por el modelo. Además, bajo estas condiciones, no se prevén impactos



- Después de 5 años



- Después de 18 años (fin del bombeo)

Notas:

Año 1 = Inicio del Bombeo de los pozos de MDO
Año 18 = Fin del Bombeo
Curvas de Iso-Descento a cada 0,05 m

RESPUESTA DEL ACUIFERO CON EL TIEMPO DESPUES DE 5 Y 18 AÑOS.
CORTE TRANSVERSAL A TRAVES DE LOS POZOS DE MDO

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



Figura 4.26

Project No:
CH301-97

medibles en el largo plazo dentro del Salar de Maricunga y con el tiempo, el sistema acuífero recuperará sus condiciones basales previo al bombeo.

5. - BIBLIOGRAFIA

- **Bema Gold Ltda.** : Proyecto Refugio- Informe Complementario. Realizado por E.C. Rowe & Asoc.(1993).
- **Compañía Minera Anglo Cominco Ltda. Chile:** "Resumen Pruebas de Bombeo-Marte". Realizado por Pozos Profundos C.P.A.(1988).
- **Cía. Nacional de Minería C.N.M. Ltda.:** "Prospección de Aguas Subterráneas- Salar de Maricunga". Realizado por Geoestudios. (1988).
- **Chevron Corporación Minera de Chile :** "Estudio Hidrogeológico Salar de Maricunga." Realizado por : Ingeniería y Geología Ltda. (1990).
- **Davis, S, R. De Wiest :** " Hidrogeology". Editorial: John Wiley & Sons, Inc. , Estados Unidos.(1966).
- **Dirección General de Aguas- Chile:** " Análisis Crítico de la Realidad Fluviométrica Nacional". Realizado por B y F.(1982).
- **Dirección General de Aguas. Chile ::** "Balance Hídrico Nacional. II Región" Realizado por Grilli, A., F. Vidal. y C. Garín (1985).
- **Dirección General de Aguas - Chile:** "Análisis y Evaluación de los Recursos Hidrogeológicos del Valle del Río Copiapó". Realizado por Alamos y Peralta. (1987).
- **Dirección General de Aguas Santiago, Chile.:** "Balance Hídrico de Chile" (1987).
- **Fetter, C.W.:** "Applied Hydrogeology". Third Edition. University of Wisconsin. Editorial: Prentice Hall N.J., Estados Unidos. (1994).
- **Freeze, R. A., J. A. Cherry :** "Groundwater". Editorial: Prentice Hall N.J., Estados Unidos.(1979).
- **Guiger N., Franz T. :** "Visual MODFLOW Manual". (1996).
- **I.G.M. :** "Portezuelo-Valle Ancho 2715-6845. Carta Topográfica escala 1:50.000. Chile".(1979)
- **I.G.M. :** "Laguna del Negro Francisco 2715-6900. Carta Topográfica escala 1:50.000. Chile". (1979).
- **I.G.M. :** "Laguna Santa Rosa 2700-6900. Carta Topográfica escala 1:50.000. Chile".(1979).

- **I.G.M.** : "Macizo Tres Cruces 2700-6845. Carta Topográfica escala 1:50.000. Chile".(1979).
- **McDonald & Harbaugh** : "A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model" U.S. Geological Survey, Washington, D.C.(1988).
- **Minera Santa Rosa**: "Modelo Hidrogeológico Matemático de Lobo-Marte, Copiapó – Región III" Realizado por Exploración y Desarrollo de Recursos de Agua S.A.- EDRA S.A. (1997b).
- **Minera Teck Chile S.A.**: "Estudio Geofísico Proyecto Lobo-Marte, Copiapó-III Región" Realizado por Geoexploraciones (1997).
- **Mpodozis, e.t. a.l.**: "La Franja de Maricunga: Síntesis de la Evolución del Frente Volcánico Oligoceno-Mioceno de la Zona Sur de Los Andes Centrales". Revista Geológica de Chile, vol. 21, N°2, pp.273-313.(1995).
- **Niemeyer, Hans**: "Estudio de las Cuencas Cerradas de la Cordillera. Copiapó". (1967).

4.5.3 - Laguna Santa Rosa

Simulando el bombeo de los pozos de MDO y MSR, se estudió la respuesta del sistema de flujo de agua subterránea en el sector de la Laguna Santa Rosa. Para realizar este análisis se utilizaron los balances de agua locales antes indicados, con lo cual fue posible sumar todos los flujos afluentes a este sector. Además este análisis consideró los cinco escenarios al igual que en los análisis anteriores.

Los flujos transientes hacia la Laguna Santa Rosa se presentan en las Figuras 4.24a y b. La disminución del flujo que fluye hacia la Laguna Santa Rosa es de apenas 0.8% del flujo actual, que en términos de caudal, representan valores de 60 m³/día. Por lo tanto, al igual que en los casos indicados anteriormente, el impacto del bombeo sobre la Laguna Santa Rosa será imperceptible.

4.5.4 - Salar de Maricunga

A través de la misma simulación anterior, se evaluaron los cambios en el flujo de descarga de agua subterránea hacia el núcleo del Salar de Maricunga, debido al bombeo de los pozos de MSR y MDO. Para el sector del Salar con agua libre (sin incluir la Laguna Santa Rosa), y sus alrededores con evidente precipitación de minerales, se definió una zona de balance de agua, que fue delimitada utilizando imágenes satelitales.

Los flujos transientes hacia el Salar de Maricunga, se presentan en las Figuras 4.25a y 4.25b. Como se puede observar, la disminución en el flujo de descarga al Salar de Maricunga es de 2.930 m³/día (34 L/s), lo que representa una disminución de sólo 4,2 %, con respecto a las condiciones basales (Figura 4.25b).

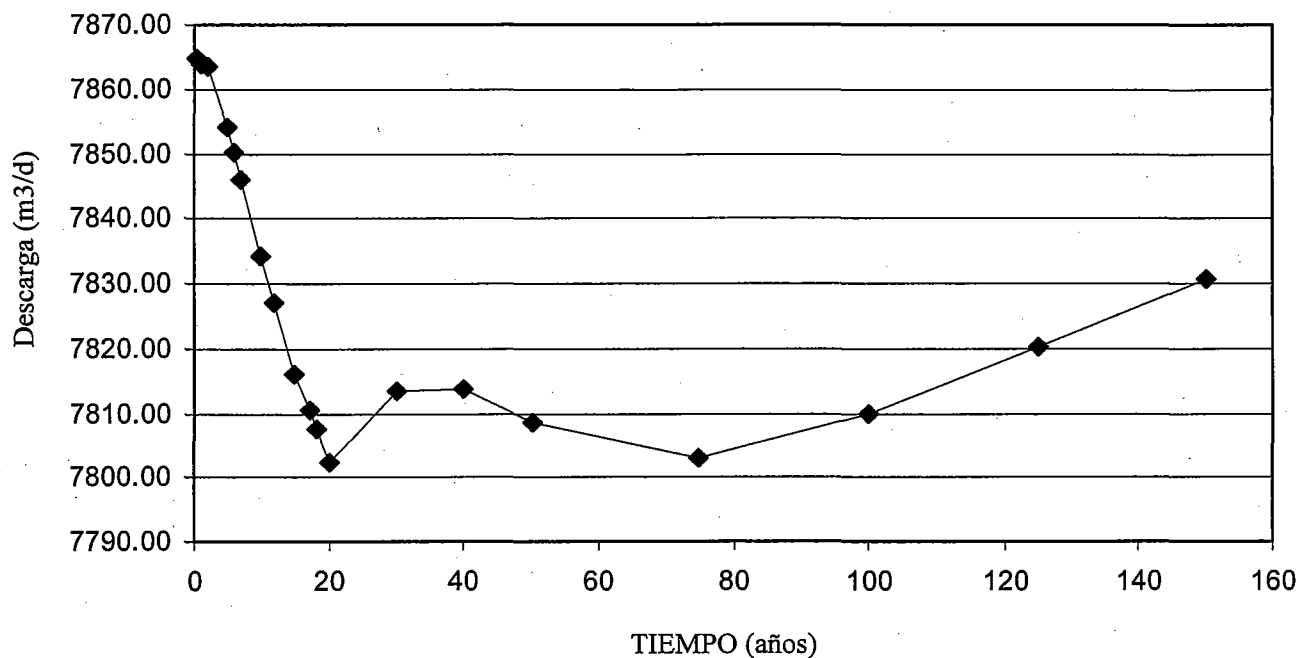
Esto significa una disminución de solamente 2,3 % del flujo total al Salar, estimado en aproximadamente 1500 L/s. De esta manera, el impacto hidrológico del bombeo sobre el flujo subterráneo que escurre hacia el centro del Salar de Maricunga se puede calificar como mínimo.

4.6. - Discusión de los Resultados de la Modelación (Conclusiones de la Modelación)

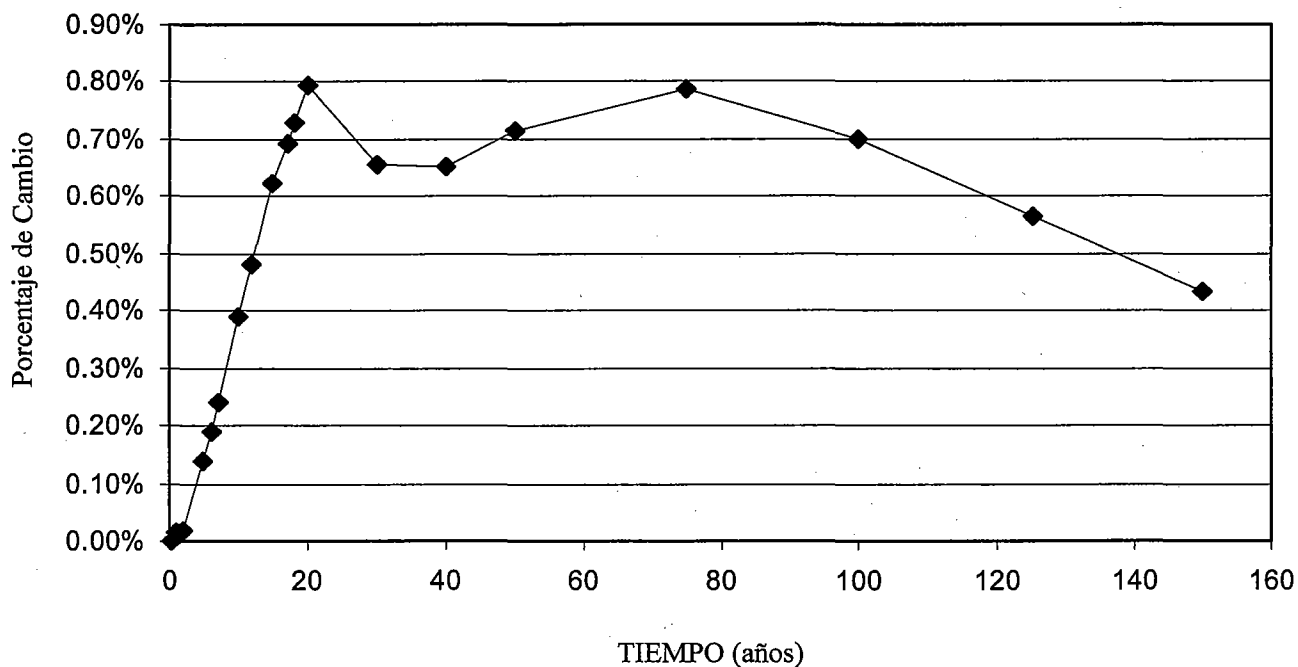
Se ha desarrollado un modelo de flujo de agua subterránea para la cuenca del Salar de Maricunga, con el objeto de evaluar la respuesta del sistema acuífero al bombeo de los pozos de MDO y MSR. El modelo se calibró para las condiciones existentes, para luego pronosticar la respuesta de los flujos para los próximos 144 años. De este total, 12 corresponden a la vida tiempo de bombeo remanente de MDO y los siguientes 132 años corresponden al período de recuperación. Para esta simulación se consideró que las condiciones climáticas actuales no cambiaran durante el periodo simulado.

El modelo se calibró con éxito para reflejar las condiciones observadas en terreno, con la finalidad de estudiar la sensibilidad del modelo frente a parámetros claves. Se realizó un análisis de sensibilidad, que considera la conductividad hidráulica del acuífero y la recarga, parámetros

a) Flujo Hacia Laguna Santa Rosa



b) Porcentaje de Cambio de Flujo Hacia Laguna Santa Rosa



RESPUESTA DEL FLUJO DE DESCARGA HACIA
LAGUNA SANTA ROSA

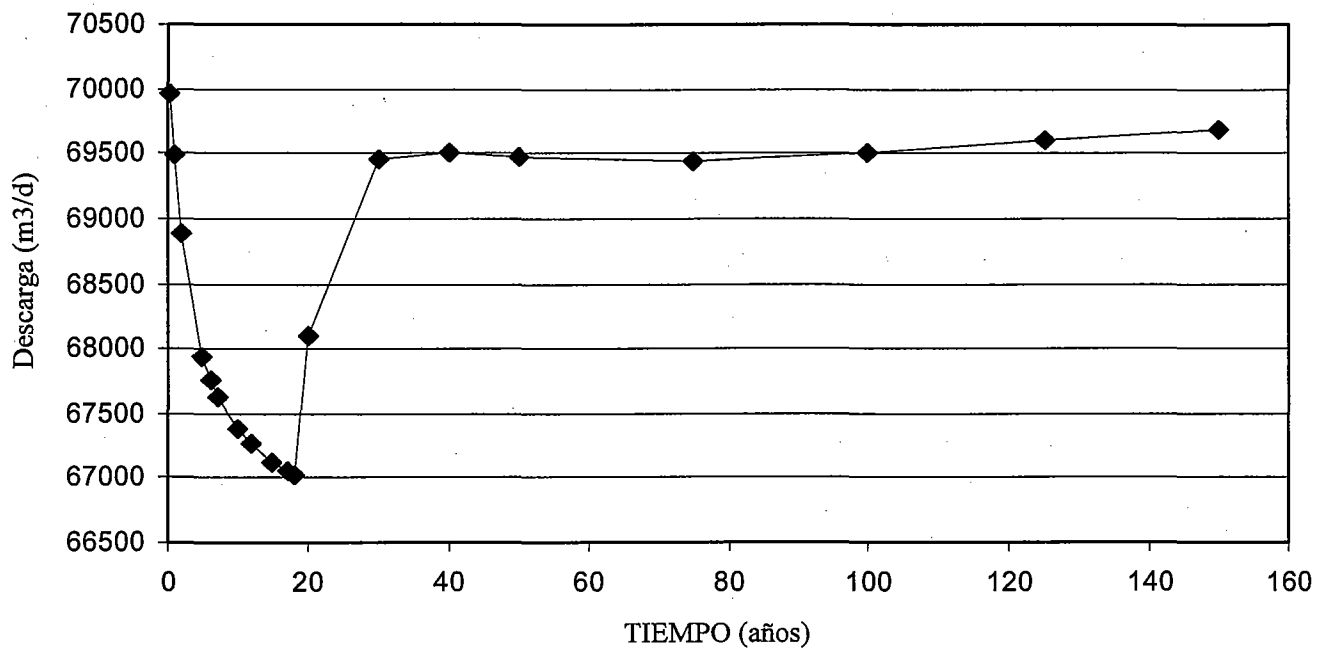
MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



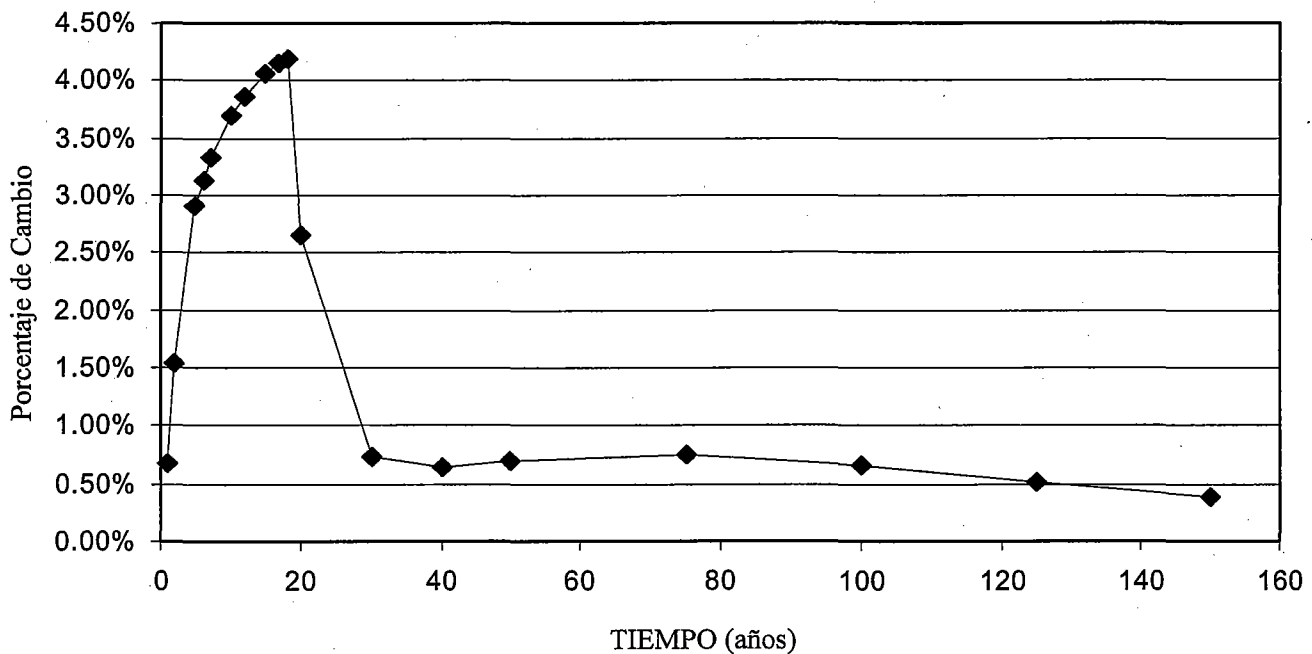
Figura 4.24

Project No:
CH301-97

a) Flujo Hacia el Salar de Maricunga



b) Porcentaje de Cambio de Flujo Hacia el Salar de Maricunga



RESPUESTA DEL FLUJO DE DESCARGA
HACIA EL SALAR DE MARICUNGA

MINERA SANTA ROSA S.C.M. & MANTOS DE ORO
SALAR DE MARICUNGA, Chile



Figura 4.25

Project No:
CH301-97