



SEGEMAR

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y
RECURSOS MINERALES**



**SUBSECRETARIA
DE MINERIA
DE LA NACION**

ESTUDIO GEOLÓGICO INTEGRADO DE LA QUEBRADA DE HUMAHUACA



ANEXO V: ESTUDIO HIDROQUÍMICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO YACORAITE



**Instituto Tecnológico
GeoMinero de España**

Junio de 1998

ESTUDIO GEOLÓGICO INTEGRADO DE
LA QUEBRADA DE HUMAHUACA (JUJUY)

ANEXO V (Parte I. Datos de abril/96)
ESTUDIO HIDROQUÍMICO DE LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RIO YACORAITE

Autor: Carlos J. Ferrés
Revisión: Ernesto R. García
Colaboración: Juan M. Siri
Mario Poblete
Hugo Valenzuela

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ÁREA DE TRABAJO.....	1
3. ESTUDIOS HIDROQUÍMICOS PREVIOS.....	3
4. PROGRAMA DE MUESTREO	3
5. DETERMINACIONES DE CAMPO Y LABORATORIO	4
6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA HÍDRICO DEL RÍO YACORAITE.	5
6.1. Arroyo Yaratayac.....	6
6.2. Arroyo El Aguilar.....	6
6.3. Río Casa Grande.....	7
6.4. Río Vizcarra	8
6.5. Río Portillo.....	8
6.6. Río Cajas.....	9
6.7. Río Rodeo.....	10
6.8. Arroyo Cerro Arenas	10
6.9. Río Yacoraite.....	11
6.10. Río Grande.....	12
7. CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MENORES	13
7.1. Hierro.....	13
7.2. Manganeso	14
7.3. Compuestos Nitrogenados.....	14
7.3.1. Nitrato.....	15
7.3.2. Nitrito.....	15
7.3.3. Amonio	16
7.4. Boro.....	16

7.5. Fluoruro	16
8. CONTENIDO DE MICROELEMENTOS.....	17
8.1. Arsénico	17
8.2. Cobre	17
8.3. Plomo	17
8.4. Cromo	18
8.5. Aluminio	18
8.6. Cadmio	18
8.7. Cinc.....	19
8.8. Litio.....	19
8.9. Sulfuro.....	19
8.10. Vanadio.....	20
8.11. Níquel.....	20
8.12. Plata.....	20
8.13. Mercurio	20
8.14. Cianuros.....	21
9. CONCLUSIONES	21

TABLAS

1. Especificaciones para aguas de bebida.

PLANILLAS

1. Antecedentes de análisis de agua Superficial de la Cuenca del Río Yacoraite. Fecha: 26/08/82 al 23/07/84.
2. Antecedentes de análisis de agua Superficial de la Cuenca del Río Yacoraite - Fecha: 01/07/91 al 12/04/96.
3. Listado de análisis físico-químicos del agua Superficial de la Cuenca del Río Yacoraite - Provincia de Jujuy - Campaña del 19 al 29 de Abril de 1996.
4. Valores Máximos, Mínimos y Promedios de los parámetros químicos analizados - Area de trabajo: Cuenca imbrífera del río Yacoraite - Prov. de Jujuy.
5. Características químicas de las aguas superficiales según los iones predominantes - Area de trabajo: Cuenca imbrífera del río Yacoraite - Prov. de Jujuy.
6. Análisis comparativo de los parámetros determinados respecto a las especificaciones de agua para bebida.

FIGURAS

1. Características químicas de aguas superficiales - Area Humahuaca - Provincia de Jujuy.

LAMINAS

1. Composición química de las aguas superficiales - Diagramas Columnares - Area: Cuenca río Yacoraite - Provincia de Jujuy.
2. Composición ionica relativa de las aguas superficiales - Diagramas Circulares - Area: Cuenca río Yacoraite - Provincia de Jujuy.

ESTUDIO GEOLÓGICO INTEGRADO DE LA QUEBRADA DE HUMAHUACA (JUJUY)

ANEXO V (Parte I, datos de abril/96) ESTUDIO HIDROQUÍMICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO YACORAITE

Autor:	Carlos J. Ferrés
Revisión:	Ernesto R. García
Colaboración:	Juan M. Siri Mario Poblete Hugo Valenzuela

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene por objeto analizar la información hidrológica e hidroquímica obtenida durante la primer campaña realizada en la cuenca hidrográfica del río Yacoraite, entre el 20 y 29 de Abril de 1996, en el marco del programa de muestreo previsto para esta zona.

Esta tarea se ha realizado a solicitud de la Dirección Nacional de Servicio Geológico dependiente de la Subsecretaría de Minería de la Nación quien, conjuntamente con el Instituto Técnico Geominero de España realizan un Proyecto Integrado del Planeamiento Goeconómico de la cuenca del río Grande (Jujuy).

El proyecto incluye entre sus actividades el estudio del impacto ambiental de la actividad minera en el área de la cuenca del río Yacoraite, el cual tiene sus cabeceras en las cercanías de los diques de colas de Minera Aguilar y constituye uno de los afluentes mas importantes al río Grande, principal recurso hídrico de la ciudad de Jujuy.

Un total de 16 muestras de agua se extrajeron durante la campaña, realizándose en cada uno de estos puntos mediciones de caudal y algunas determinaciones físico-químicas.

Las muestras extraídas se analizaron en los laboratorios del Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS), efectuándose determinaciones complementarias en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

2. ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo se localiza en la provincia de Jujuy, la que se encuentra enclavada en el extremo noroeste de la República Argentina, limitando al norte con la República de Bolivia, al oeste con esta

última y la República de Chile, mientras que al este y al sur lo hace con la provincia de Salta. La superficie provincial es de 53.219 km²; aproximadamente un 1.4 % del territorio nacional.

Esta provincia según el último censo tiene una población total de 408.514 habitantes y una densidad habitacional de 7.68 hab./km².

La cuenca imbrífera del río Yacoraite se desarrolla en su totalidad dentro de departamento de Humahuaca, el que cuenta con una superficie de 3.792 km² y se localiza en el sector centroeste de la provincia.

Tal como se puede observar en la lámina 1 la cuenca imbrífera del río Yacoraite, se desarrolla dentro de un área aproximada de 989 km², con una cuenca alta de 739 Km² y una baja de 250 Km². Se desarrolla por sobre los 3500 metros de altitud, en la ladera este de la sierra El Aguilar (de más de 5000 metros de altura) perteneciente al sistema de la cordillera Oriental y drena desde el altiplano con dirección general noroeste a sureste, hasta desembocar en el río Grande a la altura de pueblo de Huacalera.

El clima está regido por la altura (puna jujeña) donde las lluvias, granizadas, y algunas nevadas en las cimas de los cerros, dan origen a pequeños arroyos permanentes con crecidas de verano. Las precipitaciones se concentran en la época estival y en la actualidad son registradas por tres estaciones meteorológicas, una dentro de la cuenca. correspondiente a Minera Aguilar, con un promedio de 336 mm anuales y dos en la periferia, estación Humahuaca (F.F.C.C.), con 198 mm anuales y estación Tres Cruces (F.F.C.C.) con 253 mm anuales, estableciéndose una precipitación media anual en la cuenca de 297 mm. Estos datos han sido proporcionados por la Dirección de Irrigación de la Provincia de Jujuy.

Los arroyos nacen en la falda este de la sierra El Aguilar con pequeños caudales que se incrementan al sumarse en un solo colector.

Específicamente el río Yacoraite tiene sus nacientes en la confluencia del río Vizcarra y el río Casa Grande a la altura de la localidad homónima. A partir de este punto discurre con dirección aproximada norte-sur unos 10 km., recibiendo el aporte del río Cajas, cuyo caudal se ve incrementado antes de la unión con el Yacoraite por el río Portillo y el Arroyo Rodeo.

A la altura del cerro Arenas, previo recibir los aportes del arroyo homónimo, cambia de dirección, haciéndolo ahora y a lo largo de unos 23 km. de oeste-este hasta la desembocadura al río Grande.

Los cursos que conforman la cuenca imbrífera del río Yacoraite se desarrollan desde su inicio en profundos cañadones que al atravesar cordones montañosos forman profundas y angostas gargantas correspondiendo este panorama a la cuenca alta del río. En la cuenca baja, el río desarrolla una quebrada que posee un ancho de unos 500 metros y unos 20 Km. de largo, donde aparecen en las márgenes del curso pequeños asentamientos humanos y tierras cultivadas.

3. ESTUDIOS HIDROQUIMICOS PREVIOS

Se desconocen estudios o evaluaciones químicas específicas de la cuenca imbrífera del río Yacoraite, habiéndose recopilado escasamente algunos análisis químicos realizados por instituciones estatales en diversos puntos dentro de la cuenca.

La Dirección de Medio Ambiente (DMA) de la Provincia de Jujuy, ha estado realizando el monitoreo químico del Río Yacoraite con una periodicidad aproximadamente mensual desde agosto de 1982 hasta julio de 1984, extrayendo muestras en un único punto, el que se localiza a unos 16 km. aguas arriba de la desembocadura al río Grande (frente a escuela). Un total de 19 muestras fueron recolectadas y analizadas, limitándose el análisis a determinaciones de sólidos en suspensión, pH, alcalinidad total, nitrato, nitrito, amonio, oxígeno disuelto y consumido, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y demanda de cloro.

Por su parte Agua de Los Andes (ex-Dirección de Agua Potable), organismo encargado del suministro de agua para consumo humano a la ciudad de Jujuy, realiza con cierta frecuencia un monitoreo del río Yacoraite y alguno de sus afluentes dentro de su cuenca imbrífera, tal el caso de los ríos Padrioc, Vicuñayoc, Vizcarra, Laguna etc.. El análisis realizado en este caso incluye determinaciones fisicoquímicas de elementos principales como calcio, sodio, sulfatos etc. y algunos elementos menores y microelementos como fluoruro , hierro , arsénico, cobre, plomo, etc.

Toda esta información ha sido sistematizada e informada en las Planillas 1 y 2 que acompaña al presente informe.

Lamentablemente no todos estos datos son correlacionables con los obtenidos por el CRAS, ya que en la mayoría de estos antecedentes no está claro el lugar y fecha de extracción de la muestra.

4. PROGRAMA DE MUESTREO

Considerando que las características químicas del agua superficial están íntimamente relacionadas con las variaciones volumétricas de éstas, se programó realizar el muestreo en dos períodos diferentes. El primero coincidente aproximadamente con la época de mínimos caudales y el segundo en correspondencia con la época de estío (máximas avenidas).

El programa confeccionado contempló la obtención de datos hidroquímicos (muestras y análisis “in situ”) e hidrológicos (aforo de las fuentes) de ríos, arroyos y/o todo curso de agua que pueda incidir en la composición química final del río en estudio.

Los datos que se informan en el presente trabajo corresponden a los obtenidos del análisis de las muestras extraídas durante el período de menores caudales (20 al 29 de Abril), habiéndose previsto un nuevo muestreo para los meses de Noviembre-Diciembre (caudales máximos).

n total de 16 muestras de agua fueron extraídas, correspondientes a 15 puntos diferentes. Solamente el río Casa Grande, antes de su confluencia con el río Vizcarra, fue muestreado en dos

oportunidades por razones que se expondrán mas adelante.

En la lámina 1 puede consultarse la ubicación de los diferentes puntos muestrados, indicándose a continuación el número, nombre y detalle del lugar de extracción de cada uno de ellos.

Nº de punto	Nombre de Fuente	Lugar de extracción de la muestra de agua
1	Río Rodeo	Antes de unión con el río Yacoraite
2	Río Yacoraite	Antes de recibir el aporte del arroyo Cerro Arenas
3	Río Cajas	Antes de unión con el río Yacoraite
4	Río Yacoraite	Antes de recibir el aporte del río Cajas
5	Arroyo Cerro Arenas	Antes de su unión al río Yacoraite
6	Río Vizcarra	Antes de la confluencia con el río Casa Grande
7	Río Cajas	En nacaderos - Falda sur de Minera Aguilar
8	Río Portillo	En nacaderos - Pueblo del Portillo
9	Río Casa Grande	Antes de unión con río Vizcarra
10	Arroyo El Aguilar	Área de efluencia de colas líquidas de Minera Aguilar
11	Río Casa Grande	Después de la confluencia del arroyo El Aguilar
12	Río Casa Grande	Antes de su unión con río Vizcarra (El mismo punto que la muestra N° 9)
13	Arroyo Yaratayac	Antes de la confluencia con el río Casa Grande
14	Río Grande	Después de unión con el río Yacoraite
15	Río Grande	Antes confluencia con río Yacoraite.
16	Río Yacoraite	16 Km. antes del Río Grande (frente a. Escuela)

5. DETERMINACIONES DE CAMPO Y LABORATORIO

Simultáneamente con la extracción de muestras se han realizado “in situ” determinaciones de temperatura del agua y ambiente, caudal, pH, conductividad eléctrica específica y contenido de nitrato del agua.

Las muestras extraídas, almacenadas y preservadas convenientemente, se remitieron al laboratorio químico del Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS) para su análisis completo. Este análisis incluye las siguientes determinaciones : Conductividad eléctrica , pH , Alcalinidad Total, Dureza Total y de No Carbonatos, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Carbonato, Bicarbonato, Sulfato, Cloruro, Hierro, Manganeso, Nitrato, Nitrito, Amonio, Nitrógeno Orgánico y Total, Fluoruro, Arsénico, Plomo, Cinc, Cobre, y Sulfuro.

Complementando este análisis se realizaron determinaciones de Plata, Mercurio y Cianuro en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

Los resultados de los análisis efectuados pueden consultarse en la Planilla 3, mientras que en la Planilla 4 se sintetizan estos resultados presentándose los valores máximos, mínimos y promedios del total de determinaciones realizadas.

6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA HÍDRICO DEL RÍO YACORAITE.

Todas las aguas provenientes de fuentes naturales como las que nos ocupa contienen sustancias disueltas, tanto de la atmósfera como de las rocas y minerales con las cuales está en contacto durante su movimiento.

Para un sistema dado la concentración de las sustancias disueltas varía constantemente en respuesta a varios factores, los que cambian, tanto regionalmente de acuerdo a las características geológicas, como con la variable tiempo.

Justamente, el hecho de acompañar la extracción de muestra con la determinación del caudal instantáneo de la fuente en cuestión, está motivado en las variaciones químicas y fisicoquímicas observadas al modificarse este parámetro hidráulico. Este fenómeno se debe al hecho de que al variar el caudal de una fuente superficial, conjuntamente cambia el área y tiempo de contacto roca-agua y con ello el tenor de sólidos disueltos en el recurso.

La descripción de las características hidroquímicas del río Yacoraite lo haremos considerando primeramente a las fuentes superficiales que contribuyen a su cuenca imbrífera, desde las nacientes hasta su confluencia con al río en cuestión.

Complementariamente a fin de comparar las concentraciones determinadas con los límites establecidos en un agua para consumo humano, se anexa la Tabla 1 con los valores máximos aconsejables, aceptables y tolerables establecidos por Obras Sanitarias de la Nación. Se han incluido además criterios o estándares de la Organización Mundial de la Salud, EPA y AWWA para aquellos parámetros no considerados en las normas de OSN.

Dada la cantidad de parámetros químicos analizados y a fin de facilitar la descripción de las características de cada una de las fuentes muestreadas se ha optado por considerar en primer lugar únicamente la salinidad total del agua y la concentración de los parámetros químicos principales a través del tipo de agua. Este es definido por aquellos iones cuyo porcentaje en miliequivalentes (me) supera al 15 % del total de iones analizados. Los elementos menores y microelementos los consideraremos posteriormente en forma estadística y separada.

La salinidad total del agua es expresada mediante la conductividad eléctrica específica, parámetro que está en estricta relación con el tenor de sólidos disueltos a través de una ecuación lineal calculada en:

$$CE (\mu\text{mho/cm.}) = 1.34 \times SD (\text{mg/l})$$

Para una mejor visualización de las características hidroquímicas de cada una de las fuentes

muestreadas, se han confeccionado diagramas columnares y circulares que representan las concentraciones absolutas (lámina 1) y relativas (lámina 2) respectivamente, de éstas. También en el diagrama triangular de la Figura 1 se han representado las características químicas relativas del agua analizada.

Asumimos en el presente informe que el río Yacoraite tiene sus nacientes en la confluencia de los ríos Vizcarra y Casa Grande en el pueblo del mismo nombre.

De estas dos fuentes y desde el punto de vista del caudal de agua aportado, el mas importante es el río Casa Grande cuyas nacientes se asumen al norte de Minera Aguilar.

Únicamente se han muestreado dos aportes directos al río Casa Grande. El primero de ellos es el denominado arroyo Yaratayac (punto de muestreo N° 13) y el segundo arroyo El Aguilar (punto de muestreo N° 10), los cuales pasamos a describir:

6.1. Arroyo Yaratayac

El agua del arroyo Yaratayac , con un caudal aforado de 12.0 l/s , tiene una conductividad eléctrica igual a 239 $\mu\text{mho/cm}$. (165 mg/l de sólidos disueltos), siendo el de menor salinidad de todas las fuentes analizadas.-

La alcalinidad y dureza de sus aguas es mas bien baja, con valores de 43 y 83 mg/l de CO_3Ca respectivamente, mientras que el pH es ligeramente alcalino (8,58).-

Sus características químicas son sulfatada-cálcica-bicarbonatada con un 29.3, 24.5 y 17.8 % me de sulfato, calcio y bicarbonato respectivamente (ver Figura 1). El bajo tenor salino sumado a estas condiciones hidroquímicas evidencian su origen estrictamente pluvial.

No se disponen de antecedentes químicos de esta fuente.-

6.2. Arroyo El Aguilar

El segundo aporte de importancia al río Casa Grande es el arroyo El Aguilar (punto de muestreo N° 10) el que aparece a la altura del denominado Espinazo del Diablo, como emergente del área de derrame de colas líquidas, con un caudal instantáneo de 50.0 l/s. Esta medición, lo mismo que la extracción de muestra de agua, se realizó posterior a una precipitación en las áreas serranas.

Supuestamente esta fuente se activa en la época estival o ante precipitaciones pluviales intensas que provocan el desborde de las presas de contención de colas líquidas.

A diferencia de la anteriormente considerada, el agua de esta fuente es la mas salina del lugar acusando una conductividad eléctrica de 1600 $\mu\text{mho/cm}$. (1320 mg/l de sólidos disueltos) y un pH similar, en este caso de 8.50.

Asimismo este arroyo se caracteriza por poseer un alto contenido de sólidos en suspensión, los que imparten al agua una coloración gris oscura intensa, provocado posiblemente por la presencia de dióxido de manganeso

Su composición química es totalmente diferente a la determinada en las restantes fuentes muestreadas en la zona, siendo el agua del tipo sulfatada-calcica con un 47,9 y 45.2 % me de sulfato y calcio respectivamente (ver Figura 1 y láminas 1 y 2).

La alcalinidad es de 10 mg/l de CO_3Ca y la dureza total de 891 mg/l de CO_3Ca valor que supera el doble del tenor máximo establecido para potabilidad. En este aspecto también la concentración absoluta de sulfato (876 mg/l) supera ampliamente el valor máximo tolerable (400 mg/l).

Tampoco de esta fuente se tienen antecedentes químicos.

6.3. Río Casa Grande

Este río ha sido muestrado en dos puntos de su recorrido. El primero, luego de recibir los aportes del arroyo El Aguilar y del río Pisungo (no muestrado, ni aforado) e identificado como punto de muestreo N° 11, y el segundo antes de su unión con el río Vizcarra. En este último punto se extrajeron dos muestras (N° 9 y 12), correspondiendo las mismas a diferentes condiciones hidrológicas, y con el propósito de analizar las variaciones en las características químicas del agua por efecto de estos cambios.

Las muestras identificadas con los números 11 y 12 se extrajeron luego de que se produjese una alta precipitación pluvial en áreas serranas y por lo tanto con un caudal creciente en los cauces y altos tenores de sólidos en suspensión, mientras que la muestra N° 9 se extrajo anterior a este fenómeno.

En el primero de los puntos mencionados (N° 11) se evidenció un alto contenido de sólidos suspendidos que imparten al agua una coloración gris oscura, en correspondencia con la detectada para el arroyo El Aguilar, lo que muestra la incidencia de este arroyo en época de creciente. El caudal aforado en este punto fue de 208 l/s.

La conductividad eléctrica determinada en el agua fue de 694 $\mu\text{mho/cm}$. (450 mg/l de sólidos disueltos), el pH de campaña 8.49 y los valores de alcalinidad y dureza total iguales a 61 y 243 mg/l de CO_3Ca respectivamente.

La concentración relativa de los principales iones disueltos en el agua definen para este punto características netamente cálcica-sulfatada con un 34.6 % me. y un 34.2 % me. de calcio y sulfato respectivamente (ver Figura 1 y Láminas 1 y 2), denotando la influencia de los aportes provenientes del arroyo El Aguilar. No obstante el contenido absoluto de estos iones (fundamentalmente el caso del sulfato de valor muy elevado en el arroyo El Aguilar), está muy por debajo del límite máximo tolerable en aguas para consumo humano.

Para la muestra N° 12, tomada el mismo día que la anterior y a unos 5 kms. aguas abajo (antes de la unión con el río Vizcarra) se determinó un caudal de 463 l/s, lo que equivale a un incremento respecto del punto N° 11 de 255 l/s. Esto, sumado al descenso de la salinidad del agua a 593 $\mu\text{mho/cm}$. (14.4 % menos) y al cambio en las características químicas a cálcica-sulfatada-bicarbonatada (incremento de ión bicarbonato del 9.2 al 17.3 %me) indicaría una importante dilución por efecto de la escorrentía pluvial en el trayecto (ver laminas 1 y 2).

Comparando el resultado analítico de la muestra N° 9 (época normal) con la N° 12 (caudal anormal en creciente), se observa que en época de creciente el contenido mineral del recurso se incrementa ligeramente, en este caso de 553 $\mu\text{mho/cm}$. a 593 $\mu\text{mho/cm}$. (un 7 %), se reduce el pH de 8.6 a 8.4 y se mantienen prácticamente inalterable las características químicas principales (Ver Figura 1).

Las mayores fluctuaciones pueden observarse, como veremos mas adelante en detalle , en el incremento de los tenores de hierro (de 0.30 a 1.30 mg/l), manganeso (de 0.05 a 0.17 mg/l), nitrato (de 3.5 a 6.6 mg/l), cobre (de 0.02 a 0.05 mg/l) y plomo (de 0.05 a 0.20 mg/l).

Esto, evidentemente está en correspondencia con la incidencia del arroyo El Aguilar el que de todas las fuentes muestreadas, posee los tenores más elevados de estos elementos (6.50 mg/l de hierro, 4.00 mg/l de aluminio, 1.95 de cinc, 0.80 mg/l de plomo, etc.).

Desafortunadamente, tampoco del río Casa Grande se poseen antecedentes químicos .

6.4. Río Vizcarra

Este río, muestreado en el punto identificado con el N° 6 (Lámina 1), tiene sus nacientes a la altura del Cerro Colorado y con dirección norte-sur se une a la altura del pueblo de Casa Grande al río homónimo, para conformar el río Yacoraite propiamente dicho.

El caudal aforado en este punto es igual a 26.0 l/s (aproximadamente el 10 % del caudal del río Casa Grande), mientras que la conductividad eléctrica determinada en el agua es de 788 $\mu\text{mho/cm}$. y el pH de 8.18.

Las características químicas principales en este río están definidas por los iones sodio (25.7 % me), sulfato (24.2 % me), calcio (22.3 % me) y de bicarbonato (16.0 % me) (ver Figura 1 y láminas 1 y 2). Las concentraciones absolutas de estos iones no ofrecen ninguna limitación al evaluar el agua para consumo humano.

Evidentemente esta composición química, algo diferente a la del río Casa Grande, ha sido impartida por las arcillas terciarias rojas que se encuentran presentes en el lugar y que dan el nombre a la zona (Cerro Colorado).

La alcalinidad es algo más elevada que la del río Casa Grande alcanzando a 123 mg/l de CO_3Ca y la dureza total es muy similar, o sea 184 mg/l de CO_3Ca .

Tampoco del río Vizcarra se han encontrado antecedentes químicos que permitan comparar su evolución en el tiempo.

6.5. Río Portillo

Este río, que conforma parte de la cuenca imbrífera del río Cajas, ha sido muestreado a la altura del pueblo homónimo (punto de muestreo N° 8.), habiéndose determinado un caudal de 3.0 l/s.

El contenido salino de sus aguas se considera bastante elevado comparado con las fuentes muestradas en la zona, siendo el valor de la conductividad eléctrica medida igual a 1470 $\mu\text{mho/cm}$ (818 mg/l de sólidos disueltos), mientras que el pH fue de 8.57.

Es la única fuente de la zona con agua de características cloruradas; específicamente clorurada-sódica-cálcica, con un 31.7 % me de ión cloruro, 26.3 % me de sodio y 16.6 % me de calcio (ver Figura 1 y Láminas 1 y 2).

A su vez la dureza total del agua, conjuntamente con la del arroyo El Aguilar, es la más elevada de las fuentes analizadas, alcanzando en este caso un valor de 320 mg/l de CaCO_3 sin superar el límite tolerable para bebida. La alcalinidad es mas bien baja; 93 mg/l. de CaCO_3 .

En la labor de recopilación de información no se encontraron antecedentes químicos del río Portillo.

6.6. Río Cajas

Este río tiene sus nacientes al este de Minera Aguilar, específicamente en el faldón occidental de la Sierra de Cajas.

Su importancia, al igual que el río Casa Grande estriba en que la red de drenaje superficial que atraviesa la Minera Aguilar confluye indefectiblemente al cauce de alguna de estas dos fuentes. Por lo tanto cualquier derrame accidental de colas líquidas producto del proceso industrial de los minerales podría fácilmente llegar a través de estos, y alcanzar el río Yacoraite, y por ende al río Grande.

El río Cajas ha sido muestreado en dos puntos, uno en sus nacientes (punto de muestreo N° 7) y otro antes de la confluencia con el río Yacoraite (punto de muestreo N° 3).

En el primero de los puntos mencionados el caudal es bastante bajo (8.0 l/s); y el tenor mineral del agua igual a 575 $\mu\text{mho/cm}$. (344 mg/l de sólidos disueltos), con un pH de 8.6.

Sus características químicas (cálcica-bicarbonatada-sódica-sulfatada) (Figura 1) son diferentes al resto de las fuentes consideradas, fruto posiblemente de la elevada heterogeneidad de la geología del lugar y el alto grado de erosión de las rocas, lo que ocasiona la rápida mineralización del agua con elementos diferentes según sea el lugar de circulación del recurso.

En el segundo punto de muestreo (N° 3) localizado unos 15 km. aguas abajo de las nacientes, el caudal aumenta considerablemente a 141.0 l/s., indicando la incorporación en este trayecto de otras fuentes no muestradas. No obstante, la salinidad del agua (578 $\mu\text{mho/cm}$) y el tipo hidroquímico determinado en este punto no difiere mayormente respecto a los valores del primer punto (Ver Figura 1).

A esta altura del río Cajas, la alcalinidad y la dureza total alcanzan un valor de 98 y 154 mg/l de CO_3Ca respectivamente.

En lo que respecta a la concentración absoluta de los principales iones disueltos en el agua, no se observa para ninguno de los dos puntos de muestreo valores que superen los máximos tolerables para consumo humano (ver Tabla 1).

No se poseen antecedentes químicos del río Cajas, que permitan realizar un estudio comparativo.

6.7. Río Rodeo

Este río, muestreado antes de su unión con el río Yacoraite (punto N° 1), reviste una particular importancia no solo por su caudal (65.0 l/s), sino también por su bajo contenido salino. Se determinó en sus aguas una conductividad eléctrica de 314 $\mu\text{mho/cm}$ (196 mg/l de sólidos disueltos) representando una de las fuente de menor tenor mineral junto al río Yaratayac anteriormente considerado.

El pH al igual que el resto de las fuentes de la zona es alcalino, con un valor medido de 8.62.

El tipo de agua que la caracteriza es bicarbonatada-sódica-cálcica, con un 30.2 % me. de bicarbonato, 20.9 % me. de sodio y 20.8 % me. de calcio, indicando el origen pluvial del recurso (ver Láminas 1 y 2).

La alcalinidad y dureza total es bastante baja alcanzando valores analíticos de 94.y 85 mg/l de CO_3Ca , respectivamente.

6.8. Arroyo Cerro Arenas

El arroyo Cerro Arenas (punto de muestreo N° 5), discurre desde el Campo Sepultura con dirección sur-norte hasta su desembocadura al río Yacoraite a la altura del cerro homónimo.

El caudal medido es bastante bajo (2.4 l/s.), mientras que la conductividad eléctrica del agua es igual a 817 $\mu\text{mho/cm}$. (487 mg/l de sólidos disueltos) y el pH es el mas bajo de todas las fuentes muestradas (7.98.).

Como es ya característica de la hidroquímica del lugar, las condiciones minerales del arroyo Cerro Arenas difieren en general del resto de las fuentes muestradas. El tipo de agua determinado es sódica-clorurada-cálcica-bicarbonatada, con un 29.5 % me. de sodio , 20.7 % me. de cloruro, 18.3

% me. de calcio y 18.2 % me. de bicarbonato (ver láminas 1 y 2 y Figura 1).

Evidentemente la gran heterogeneidad geológica que caracteriza a la zona de estudio contribuye a estas notables fluctuaciones hidroquímicas.

La dureza y alcalinidad total de estas aguas fueron medidas en 146 y 161 mg/l de CO_3Ca , respectivamente, no detectándose en los iones principales concentraciones que superen los valores aceptables para potabilidad.

En ninguno de los dos casos vistos, ni para el río Cerro Arenas, ni para el río Rodeo se disponen de antecedentes químicos.

6.9. Río Yacoraite

El río Yacoraite, principal fuente que nos ocupa en este informe y fruto de la unión del Vizcarra con el Casa Grande ha sido muestreado en este relevamiento en tres puntos diferentes.

El primer punto de monitoreo (N° 4) se encuentra a unos 600 metros aguas abajo de la mencionada confluencia y antes de recibir los aportes del río Cajas.

El caudal aforado en este punto fue de 210 l/s, volumen muy cercano a la sumatoria de los caudales medidos para las fuentes que le dan origen (238 l/s + 26 l/s) y que estaría confirmando la inexistencia de otros aportes a este río en el trayecto entre Casa Grande y el río Cajas.

La salinidad medida es igual a 631 $\mu\text{mho/cm}$. (383 mg/l. de sólidos disueltos), el pH 8.60 y el tipo de agua sulfatada-calcica-sódica-bicarbonatada, con un 26.9 % me. de sulfato, 26.2 % me. de calcio, 18.0 % me. de sodio y 15.3 % me. de bicarbonato (ver láminas 1 y 2).

La alcalinidad no es muy elevada, 98 mg/l de CO_3Ca , mientras que la dureza total alcanza un valor de 205 mg/l de CO_3Ca .

El segundo lugar de muestreo (punto N° 2 - Lámina 1), se localiza a unos 500 metros aguas abajo del anterior, luego de recibir los aportes de los ríos Cajas y Rodeo ya considerados anteriormente. El caudal aforado fue de 424 l/s, duplicando prácticamente el caudal medido en el punto anterior por los aportes de los ríos citados.

La conductividad eléctrica del agua determinada en este punto prácticamente no varía, siendo el valor leído igual a 621 $\mu\text{mho/cm}$, y el pH de 8,14.

Desafortunadamente la muestra principal recolectada en campaña, llegó al laboratorio en un alto estado de descomposición, desconociéndose la causa de tal anomalía. Este problema desvirtúa por lo tanto la validez de los datos analíticos de laboratorio con referencia a los iones principales los que

lógicamente no son tomados en consideración.

Finalmente la última muestra del río Yacoraite y la mas representativa del mismo fue tomada unos 7 Km. aguas abajo del punto de muestreo N° 2, a la altura de la escuela y frente al denominado Cerro Budín, luego de recibir los escasos aportes de arroyo Cerro Arenas (Punto de muestreo N° 16).

El caudal aforado en este punto fue de 322 l/s, aproximadamente un 20 % menor al aforado aguas arriba. Esta disminución volumétrica es debida posiblemente al ensanchamiento del cauce del río, el que alcanza a esta altura aproximadamente unos 500 metros, lo que favorece la infiltración.

Tanto la conductividad eléctrica del agua(663 $\mu\text{mho/cm.}$), como la concentración absoluta y relativa de los principales iones disueltos no experimentan un cambio importante respecto al primer punto de muestreo, siendo el tipo hidroquímico en este caso cálcico-sulfatado-sódico-bicarbonatado, con un tenor de 22.2 % me. de calcio, 22.0 % me. de sulfato, 17.5 % me. de sodio y 17.2 % me. de bicarbonato (ver láminas 1 y 2).

Tanto la alcalinidad y dureza (114 y 214 mg/l de CaCO_3 respectivamente) como el contenido de los iones principales no superan los límites máximos tolerables para agua de bebida.

Existen antecedentes de análisis químicos de muestras extraídas del río Yacoraite en este último punto . Los mismos fueron realizados por la Dirección de Medio Ambiente (DMA) de la Provincia de Jujuy entre el 26/08/82 y el 22/07/84 y tal como ya lo mencionáramos dichos análisis son parciales (Ver Planilla 1).

Analizando comparativamente la concentración de aquellos parámetros comunes, tal el caso del pH, alcalinidad, nitrato, nitrito y amonio, no se han registrado variaciones de importancia en el período actual, tal como puede observarse en el cuadro siguiente en donde se han volcado los valores máximos, mínimos y promedios de los antecedentes y el valor determinado por el CRAS.

ANÁLISIS DE DIRECCIÓN MEDIO AMBIENTE

PARÁMETRO	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO	
Sólidos en suspensión (ml/2 hs.)	152	0.1	29.1	ND
pH	8.10	7.10	7.86	8.44
Alcalinidad (mg/l CO_3Ca)	224	118	153	114
Nitrato (mg/l)	7.50	0.20	1.90	4.00
Nitrito (mg/l)	0.100	0.005	0.026	0.030
Amonio (mg/l)	0.0380	0.0025	0.0150	<0.02
Oxígeno Disuelto (mg/l)	9.70	4.80	7.70	ND
Oxígeno Consumido (mg/l)	6.50	1.00	3.70	ND
DBO (mg/l)	3.70	0.60	1.85	ND
Cloro (mg/l)	90	48	60	ND
Demanda de Cloro (mg/l)	11	0.70	2.40	ND

ND = No determinado

Por su parte aquellos parámetros no incluidos en el análisis efectuado por el CRAS, en este caso indicadores de contaminación orgánica, como DBO, Oxígeno Disuelto y Consumido, y Demanda de cloro, permiten deducir que la polución de origen orgánico en el río Yacoraite es realmente muy baja.

6.10. Río Grande

La cuenca del río Grande, es la mas importante de la Provincia de Jujuy debido a su extenso recorrido, teniendo sus nacientes en las proximidades de la localidad de Tres Cruces y atravesando los pueblos y ciudades mas importantes de Jujuy según un recorrido aproximado de norte a sur. Confluyen a él numerosos ríos, siendo el Yacoraite (que incorpora sus aguas aproximadamente a unos 2000 m. al Norte de Humahuaca) uno de los más importantes.

Este río se caracteriza por ser un curso con un caudal de régimen variable, con mínimas durante el invierno y primavera y picos máximos en épocas de lluvia, tornándose torrencioso con transporte de gran cantidad de sólidos de carácter aluvional.

En ambas márgenes del río Grande, principalmente en la zona norte, se desarrolla una gran actividad agrícola que aprovecha la disponibilidad de agua de este río, desviando parte de su caudal para riego.

Durante la presente campaña el río Grande ha sido aforado y muestreado en dos puntos diferentes, antes y después de la confluencia con el río Yacoraite (puntos de muestreo N°15 y N° 14 respectivamente).

En el primero de los puntos (antes del Yacoraite), se determinó un caudal de 1058 l/s, siendo la conductividad eléctrica del agua igual a 812 $\mu\text{mho/cm}$. (487 mg/l de sólidos disueltos) y el pH 8.47.

El tipo de agua que caracteriza a esta fuente es sódica-bicarbonatada-cálcica-sulfatada con un 24.7 % me. de sodio, 21.4 % me de calcio y bicarbonato y 18.9 % me. de sulfato. Estas características son bastante similares a las detectadas para el río Vizcarra, posiblemente por la cercanía geográfica de las nacientes de ambos ríos (ver Figura 1).

La alcalinidad es en general mas elevada que el resto de las fuentes muestreadas, alcanzando a 167 mg/l de CO_3Ca , mientras que la dureza total fue determinada en 216 mg/l CaCO_3 .

En el segundo punto de muestreo (N° 14) localizado a unos 2000 metros aguas abajo de la confluencia con el río Yacoraite, se determinó una salinidad total del agua ligeramente menor e igual a 772 $\mu\text{mho/cm}$. (512 mg/l de sólidos disueltos) y un pH de 8.47.

En este punto el caudal aforado es igual a 1327 l/s, algo menor al esperado teniendo en cuenta que metros antes se suman los aportes del río Yacoraite. Esta disminución se debe a que gran parte del

volumen de agua es desviada en el pueblo de San José para el riego de la zona.

Las características químicas del río Grande prácticamente permanecen inalterables luego de recibir las aguas del Yacoraite, reduciéndose la salinidad solamente en un 5% y conservando el mismo tipo de agua, con un 23.4 % me. de sodio 22.2 % me. de bicarbonato, 20.6 % me. de calcio y 18.7 % me. de sulfato.

Las concentraciones absolutas de los principales iones disueltos en el agua tampoco experimentan cambios entre estos dos puntos, permaneciendo en ambos casos con valores muy por debajo de los máximos tolerables para potabilidad.

7. CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MENORES

7.1. Hierro

El hierro es un elemento muy difundido en la naturaleza, encontrándose sensiblemente presente en todos los terrenos - No existe libre, siendo sus compuestos más importantes: Hematites rojas (Fe_2O_3), Hematites parda o limolita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$), Magnetita (Fe_3O_4), Siderita (FeCO_3), Piritita (S_2Fe), etc.

Se lo encuentra disuelto en muchas aguas naturales, siendo las sales solubles en general las ferrosas. En las aguas superficiales se encuentra a veces al estado de complejos organoférricos y en casos raros como sulfuro. Es frecuente que se presente en forma coloidal en cantidades apreciables.

Las sales de hierro en concentraciones considerables confieren al agua turbiedad y color, debido fundamentalmente a procesos de oxidación. Este problema se soluciona a través de tratamientos de coagulación y filtración.

En la mayoría de los casos analizados (13 de las 16 muestras) el agua presenta contenidos por encima del límite establecido para potabilidad (0.20 mg/l), con un máximo de 6,50 mg/l. determinado en la muestra del arroyo El Aguilar.

En el río Vizcarra no se detectó presencia de hierro, siendo sus aguas junto con las del río Cajas en sus nacientes y el río Portillo, las únicas con valores dentro de las normas para agua potable.

7.2. Manganeso

No se encuentra libre en la naturaleza, siendo los minerales más importantes la pirolusita (MnO_2), braunita (Mn_2O_3), blenda de manganeso (MnS), etc.

Normalmente no está presente en aguas naturales, apareciendo solamente en casos excepcionales en las aguas ácidas, generalmente asociado al hierro y en el caso de una polución industrial.

Al igual que en el caso del hierro contenidos elevados de manganeso, puede llegar a conferir

coloración al agua o precipitaciones indeseables sobre cañerías o equipamientos. En bajas concentraciones el manganeso es reconocido como un oligoelemento que sirve como cofactor en los sistemas enzimáticos. Cuando se ingiere en grandes dosis es un veneno que afecta fundamentalmente al sistema nervioso central.

Solamente en 4 muestras se detectaron tenores superiores al límite establecido para potabilidad (0.10 mg/l), con un máximo de 2.86 mg/l para el arroyo El Aguilar (Ver Planilla 3).

El promedio general de manganeso determinado para el total de determinaciones fue calculado en 0.34 mg/l.

7.3. Compuestos Nitrogenados

Los compuestos nitrogenados del agua son principalmente, amoníaco o ión amonio (NH_3 o NH_4^+), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-) y nitrógeno orgánico, los que contribuyen, de una o de otra manera, al desarrollo de la biota del agua. De acuerdo al medio ambiente en que se encuentran (oxidante o reductor), predominará una o más de estas formas.

Los compuestos nitrogenados en el agua provienen principalmente de materia orgánica de origen animal o vegetal, y su presencia, es de gran importancia pues siempre están relacionados con algún tipo de contaminación, principalmente si hay amoníaco o nitritos.

7.3.1. Nitrato

El nitrato es el compuesto del nitrógeno que se haya en el estado más oxidado. Su presencia en el agua se debe a la disolución de las rocas que lo contienen y/o a una oxidación bacteriana sobre la materia orgánica, principalmente de las eliminadas por los animales.

Desde el punto de vista de la potabilidad, los nitratos no son nocivos, comunicando al agua un sabor agradable. Ahora bien, por su posibilidad de reducirse a nitritos, las aguas con contenidos excesivos de nitratos no se deben tomar, y menos los niños, porque en el medio gástrico de los mismos se desarrolla una abundante flora bacteriana reductora, capaz de reducir los nitratos a nitritos, lo que puede provocar cianosis.

Por otra parte, el nitrógeno en altas concentraciones una vez incorporado al organismo, puede metabolizarse y transformarse en nitrosamina, que supuestamente es un cancerígeno en potencia.

El límite mundial recomendado para aguas de bebida es 45.0 mg/l (ver Tabla 1), no habiéndose determinado en ninguna de las muestras analizadas concentraciones superiores a este valor.

El máximo tenor detectado (17, 0 mg/l) corresponde a la muestra identificada con el N° 11 (río Casa Grande después del arroyo El Aguilar) y el mínimo (0,00 mg/l) al arroyo Yaratayac. En general los valores están por debajo de los 10,0 mg/l, siendo el promedio calculado igual a 7,2 mg/l.

7.3.2. Nitrito

El ión nitrito puede estar presente en el agua por oxidación del amoníaco o por reducción bacteriana o enzimática del nitrato. El límite tolerable establecido para consumo humano es como máximo 0.10 mg/l.

Además de que su presencia indica una polución con la consiguiente presencia de microorganismos patógenos, presenta una cierta toxicidad como consecuencia de su acción metahemoglobizante e hipertensiva.

Del total de 16 muestras analizadas solamente en 4 de ellas (25 %), se determinaron concentraciones por encima del límite de 0.10 mg/l. Estas muestras corresponden a los puntos de muestreo identificados con los N° 10, 11, 12 y 15, es decir al arroyo El Aguilar, al río Casa Grande en sus dos estaciones de muestreo y al río Grande antes de unirse al Yacoraite.

El contenido promedio de nitrito es igual a 0,16 mg/l, siendo el tenor máximo encontrado igual a 1.10 mg/ en la muestra del arroyo El Aguilar. En varias de las muestras analizadas no se detectó presencia de nitritos.

7.3.3. Amonio

Su origen está ligado naturalmente a procesos de reducción de sustancias orgánicas de origen animal o vegetal, por lo tanto es un excelente indicador de contaminación reciente.

El máximo tolerable para consumo humano es según las normas igual a 0.50 mg/l (ver Tabla 1), no superándose en ninguna de las muestras analizadas este valor. El máximo detectado es igual a 0.08 mg/l y el promedio calculado igual a 0.03 mg/l. En el 80 % de los casos los tenores determinados se encontraron por debajo del límite mínimo de detección del equipo (0.02 mg/l).

Cabe aclarar que las concentraciones encontradas para los compuestos nitrogenados, en cualquiera de sus formas indican prácticamente ausencia de algún tipo de contaminación orgánica importante en el agua que compone la cuenca imbrífera del río Yacoraite.

7.4. Boro

Este elemento no se encuentra libre en la naturaleza. Entre los compuestos más importantes están el bórax ($\text{Na}_4\text{B}_4\text{O}_7$), el borato cálcico ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Colemanita), el borato magnésico ($2\text{Mg}_3\text{B}_6\text{O}_{15} \cdot \text{MgCl}_2$) (boracita), etc.

En la química del agua el boro tiene importancia en relación con el papel que ejerce en la fisiología de los vegetales, siendo indispensable en la fertilidad de los suelos. Sin embargo contenidos superiores a 1 ó 2 mg./l. en las aguas de riego son nocivos para el desarrollo de las plantas, dependiendo de la sensibilidad de las mismas a este elemento.

Entre las muestras analizadas, solamente la correspondiente al arroyo Cerro Arenas posee una

concentración superior al mg./l. e igual a 1.10 mg./l. En las restantes el tenor de boro varía entre 0.15 y 0.92 mg./l. no representando peligro su uso para riego de cultivos.

7.5. Fluoruro

El flúor en las aguas procede de los minerales fluorados, como la fluorita ($F_2 Ca$), la criollita ($Al_2 F_6 \cdot 6 Na F$), etc.

Su presencia en el agua es necesaria en concentraciones no superiores a los 2.0 mg/l y no inferiores a los 0.7 mg/l, en cuyo caso se recomienda fluorar el recurso.

En casos que llegue a superar el límite máximo, este elemento puede inducir a problemas de fluorosis dental, malformaciones u osteosis óseas.

Con excepción de la muestra del arroyo El Aguilar en donde se determinó una concentración de 0,80 mg/l de fluoruro, en las restantes fuentes monitoreadas el tenor de este elemento se encuentra por debajo del límite mínimo de 0.70 mg/l.

En general los valores analizados fluctúan entre el valor máximo mencionado y un mínimo de 0.30 mg/l en varios puntos de muestreo, con un promedio de 0.40 mg/l, para el total de fuentes monitoreadas.

8. CONTENIDO DE MICROELEMENTOS

Se consideran microelementos aquellos que en general se encuentran en el agua en forma de trazas pero que a veces en concentraciones de décimas y/o centésimas de miligramo pueden llegar a impotabilizar el agua.

8.1. Arsénico

La mayoría de los autores coinciden en que es muy difícil encontrar a este elemento como un constituyente mas de las aguas superficiales, salvo que sea aportado por los derrames de colas líquidas de origen industrial o bien debido a explotaciones mineras.

El arsénico es de naturaleza tóxica y efecto acumulativo en el organismo, mencionándose lo últimamente como un elemento cancerígeno, relacionado directamente con el cáncer de piel.

El límite máximo tolerable en aguas para consumo humano según OSN (Tabla 1) es 0.10 mg/l, sin embargo las normas mundiales difícilmente aconsejen tenores superiores a los 0.05 mg/l.

Solamente en una de las muestras analizadas (Nº 3, correspondiente al río Cajas), se supera el límite máximo tolerable con un valor de 0.16 mg/l, mientras que en el resto los tenores detectados son inferiores a los 0.07 mg/l, estando ausente en el 50 % de los casos. El promedio es bastante bajo e igual a 0.03 mg/l.

8.2. Cobre

El cobre en bajas concentraciones es un elemento necesario en el cuerpo humano e indispensable en la formación de la hemoglobina de la sangre, pero en dosis elevadas es tóxico, comunicándole al agua un sabor especial.

Según normas, la concentración máxima tolerable para potabilidad es de 1.5 mg/l (ver Tabla 1), no detectándose en ninguna de las muestras analizadas concentraciones superiores a este valor. El máximo determinado (0.16 mg/l) corresponde a la muestra del arroyo El Aguilar (punto N° 10).

8.3. Plomo

Todas las sales de plomo son venenosas, produciendo la enfermedad llamada saturnismo. Lo que agrava este hecho es que, al igual que el arsénico, el plomo no es eliminado por el organismo, sino que se acumula, y aún en bajas concentraciones puede llegar a afectar el proceso de biosíntesis de la hemoglobina de la sangre. El máximo admisible en aguas para consumo humano se ha establecido por normas en 0,05 mg/l.

Las aguas naturales no contienen plomo, como no sea a causa de una polución minera o industrial relacionada a la acción agresiva del agua sobre cañerías o equipos que tengan a este metal como parte de sus constituyentes.

Salvo tres casos; las muestras N° 10 (arroyo El Aguilar), 11 y 12 (río Casa Grande) con tenores de 0.80 mg/l, 1.00 mg/l y 0.20 mg/l respectivamente, el resto de las muestras no acusaron concentraciones superiores al límite mínimo de detección del equipo (0.05 mg/l).

Evidentemente la fuente que está aportando plomo es el arroyo El Aguilar, relacionado a las descargas de colas líquidas de la empresa minera del lugar.

8.4. Cromo

Normalmente el cromo no está presente en el agua natural y si así ocurre debemos atribuirlo a una contaminación de origen industrial. Las sales de cromo trivalente son poco tóxicas, siendo por el contrario fuertemente venenosos los cromatos y dicromatos (sales de cromo hexavalente).

Las normas para potabilidad adoptan como límite máximo admisible 0.05 mg/l, no habiéndose detectado presencia de este elemento en ninguna de las muestras analizadas (Ver Planilla 3).

8.5. Aluminio

El aluminio no se encuentra libre en la naturaleza. Combinado se encuentra en casi todas las rocas bajo forma de silicoaluminatos, en particular en las arcillas.

En general, el aluminio está presente en todas las aguas naturales, ya sea como sal soluble o bien como compuesto coloidal. Suele existir en concentraciones entre 0.10 y 10.0 mg/l, cantidades sin ninguna importancia para la mayoría de los usos industriales e inocua para la bebida y usos domésticos y riego.

Sin embargo las normas de potabilidad consultadas (Tabla 1), coinciden en no aconsejar concentraciones superiores a 0.05 mg/l.

De acuerdo a este límite, y analizando los valores obtenidos para el total de muestras, (Planilla 3), se deduce que aproximadamente en el 70 % de los casos los tenores son inferiores a este valor y solo 5 muestras poseen concentraciones que lo superan.

Los valores máximos determinados de 4.00 y 2.40 mg/l, corresponden al arroyo El Aguilar y al río Casa Grande en el punto de muestreo N° 11.

Los otros tres puntos, con una concentración de 1.20 mg/l, corresponden al río Yacoraite en su desembocadura y al río Grande en sus dos puntos de muestreo.

8.6. Cadmio

Es probable que las aguas superficiales que contienen mas de unos pocos mg/l de cadmio se hayan contaminado por descargas de desechos industriales o lixiviación de áreas de relleno. Las aguas no contaminadas por lo general contienen menos de 1.0 µg/l.

Normalmente el agua potable contiene concentraciones muy bajas de cadmio del orden también de 1.0 µg/l, informándose en casos muy excepcionales tenores de hasta 5.0 µg/l.

Según la Organización Mundial de la Salud el límite máximo adoptado para potabilidad, es 0.01 mg/l, no habiéndose detectado presencia de cadmio en ninguna de las fuentes monitoreadas.

8.7. Cinc

El cinc es un elemento esencial para la nutrición del hombre, fluctuando el requerimiento diario entre 4 y 10 mg según la edad y el sexo. La ingestión prolongada de cantidades considerablemente superiores a las señaladas no provoca efectos negativos.

Se lo encuentra muy raramente en las aguas superficiales, siendo normalmente su origen el ataque de las canalizaciones o depósitos. También puede encontrarse en las aguas como consecuencia de un polución por aguas residuales industriales.

El establecimiento de un valor guía para el cinc presente en el agua potable se basa en consideraciones relacionadas con la calidad organoléptica del agua, El agua que contiene cinc en concentraciones superiores a 5,0 mg/l tiene un sabor astringente desagradable y puede ser opalescente. En la Tabla 1 aparece como valor máximo tolerable una concentración de 15,0 mg/l según la Organización Mundial de la Salud.

La mayor concentración detectada en las aguas superficiales analizadas fue de 1.95 mg/l para el arroyo El Aguilar, mientras que en el resto las concentraciones son muy bajas fluctuando alrededor de un promedio de 0.31 mg/l.

8.8. Litio

No se ha encontrado en la bibliografía consultada, consideraciones de importancia respecto del ión litio, como así tampoco referencias sobre los tenores recomendados para potabilidad.

Las concentraciones determinadas para el total de fuentes analizadas difícilmente alcanzan a superar la décima de mg/l. Solamente en el arroyo El Aguilar se detectó un tenor de 0.11 mg/l, mientras que en el resto de las fuentes los valores fluctúan dentro de un promedio de 0.04 mg/l.

8.9. Sulfuro

El hidrógeno sulfurado y sus sales son consideradas en general muy tóxicas, fundamentalmente a pH ácidos, luego la toxicidad disminuirá extraordinariamente a pH básicos. En general no se encuentra en aguas superficiales, excepción hecha de las aguas negras.

La presencia de hidrógeno sulfurado facilita el desarrollo de bacterias, por lo que las aguas que lo contengan serán en general de características agresivas.

El agua para la bebida no debe tener ni hidrógeno sulfurado ni ión sulfuro. En la Planilla 3 se puede observar que para el total de determinaciones realizadas, el ión sulfuro en cualquiera de sus formas se encuentra ausente.

8.10. Vanadio

En general este es un elemento que no se encuentra en las aguas naturales, apareciendo en las mismas como consecuencia de una polución.

Aparentemente existe una relación entre su presencia en forma de trazas y las afecciones cardiovasculares, en el sentido de que las mismas son menos frecuentes en el caso de que este elemento esté presente. No existen antecedentes en las normas mundiales consultadas sobre límites para potabilidad con referencia al vanadio.

No se detectó presencia de vanadio en ninguna de las fuentes muestreadas o por lo menos que llegaran a superar el límite mínimo de detección del equipo, es decir 0.1 mg/l.

8.11. Níquel

Muchas de las sales de níquel son solubles en agua, lo que puede dar origen a la contaminación del recurso. Se tienen informes de niveles de níquel que han alcanzado hasta 1.00 mg/l en aguas

superficiales, si bien por lo general los niveles suelen ser mucho mas bajos.

A excepción del arroyo El Aguilar con una concentración de 0.20 mg/l, el resto de las fuentes analizadas, no manifestaron presencia de níquel en sus aguas (ver Planilla 3).

8.12. Plata

Los niveles de plata en aguas naturales son el general muy bajos. No existe información suficiente como para proporcionar los niveles precisos en el agua, pero según lo sugieren datos publicados, algunas fuentes de agua contienen mas de 1.0 $\mu\text{g/l}$ de plata, siendo raros los niveles superiores a 10.0 $\mu\text{g/l}$.

No existen pruebas de que la plata sea esencial para el organismo humano. Se han registrado casos fatales de envenenamiento, pero solo con dosis extremadamente altas.

De acuerdo a la bibliografía consultada, el límite máximo establecido para potabilidad es de 0.05 mg/l según la EPA (1972).

En el total de determinaciones realizadas el tenor de plata se mantiene por debajo del límite de detección del equipo (0.01 mg/l).

8.13. Mercurio

En la mayoría de las aguas superficiales, el hidróxido y el cloruro de mercurio son los compuestos de mercurio que predominan, en niveles que son en general menores a 0.001 mg/l.

Por lo general, los niveles de mercurio aceptados en el agua potable son muy bajos, siendo el máximo admitido por la EPA (1972) 0.02 mg/l.

Los efectos principales del envenenamiento por mercurio comprenden los trastornos neurológicos y renales. Además de producir efectos tóxicos generales, también es causa de efectos mutagénicos y alteración del metabolismo.

Las concentraciones de mercurio detectadas en las aguas superficiales analizadas, son muy inferiores al del límite establecido para consumo humano., estando las mismas por debajo de los 0.001 mg/l (Ver Planilla 3).

8.14. Cianuros

El ácido cianhídrico (HCN), los cianuros (CN⁻) y los cianuros complejos (ferrocianuros, tiocianatos, etc.) son un conjunto de compuestos que presentan una toxicidad muy fuerte, más los primeros que los últimos, dependiendo asimismo del compuesto que se considere; así por ejemplo los cianuros alcalinos son más tóxicos que los sulfocianuros.

Su origen en las aguas superficiales es debida fundamentalmente a una contaminación de origen industrial, como altos hornos, galvanoplastia, etc.

La O.M.S. acepta un contenido máximo tolerable de 0.20 mg/l en aguas destinadas a la bebida y uso doméstico (ver Tabla 1).

Según se puede consultar en la Planilla 3 las concentraciones determinadas para el total de fuentes superficiales muestreadas, no superan el tenor máximo de 0.07 mg/l, estando ausente en prácticamente el 50 % de las muestras analizadas.

9. CONCLUSIONES

- La conductividad eléctrica del agua de las fuentes superficiales muestreadas, está relacionada con el tenor de sólidos disueltos, mediante la siguiente ecuación:

$$CE (\mu\text{mho/cm}) = 1.34 \times SD (\text{mg/l})$$

- Las características químicas generales para el total de fuentes muestreadas en la cuenca imbrífera del río Yacoraite, se han sintetizado y expuesto gráficamente en la Planilla 5. Se observa una gran heterogeneidad en los tipos hidroquímicos determinados estando los mismos muy relacionados con las características litológicas de las zonas de circulación de estas fuentes.. El calcio y el sulfato son los iones que con más frecuencia (50 % de los casos) definen el tipo de aguas , siendo el sodio el que sigue en importancia, y luego en orden decreciente el bicarbonato, el cloruro y el magnesio.
- El agua del arroyo Yaratayac es la que presenta el menor tenor mineral de todas las fuentes muestreadas, con 239 $\mu\text{mho/cm}$. de conductividad eléctrica., mientras que la mayor salinidad se determinó en el agua del arroyo El Aguilar (conductividad igual a 1600 $\mu\text{mho/cm}$) . Este arroyo emerge del área de derrame de colas líquidas, activándose en la época estival ante el desborde de las represas de contención de estas colas.
- Las características químicas del agua del río Casa Grande, principal afluente al río Yacoraite, manifiestan una alta incidencia del arroyo El Aguilar .
- La red de drenaje que atraviesa la Minera Aguilar confluye al cauce de los ríos Casa Grande y Cajas. Por lo tanto cualquier derrame accidental de colas líquidas podría fácilmente llegar al río Yacoraite a través de éstos y por ende al río Grande.
- El río Yacoraite, antes de su ingreso al río Grande, presenta un caudal de 322.0 l/s, una conductividad eléctrica de 663 $\mu\text{mho/cm}$ y características calcica-sulfatada-sodica-bicarbonatada, heredadas del río Casa Grande. Tanto la alcalinidad como la dureza y el contenido de iones principales no llegan a superar los límites máximos tolerables establecidos para el agua de bebida.

- La salinidad total como la concentración absoluta y relativa de los principales iones disueltos en el agua del río Yacoraite no experimentan cambios de importancia en su recorrido.
- El caudal y conductividad eléctrica del río Grande antes del río Yacoraite fue de 1058 l/s y 812 $\mu\text{mh/cm}$. respectivamente. mientras que los mismos parámetros después del río mencionado fueron medidos en 1327 l/s y 772 $\mu\text{umho/c}$. Sus características químicas son similares a la del río Vizcarra, posiblemente por la cercanía geográfica de sus nacientes. Estas condiciones hidroquímicas prácticamente permanecen inalterables luego de recibir las aguas del Yacoraite.
- No se detecta presencia de níquel, sulfuro, cromo y cadmio en ninguna de las fuentes muestreada, mientras que los tenores de plata y vanadio se encuentra por debajo de los límites de detección.
- Solamente en la muestra del arroyo El Aguilar se determinó un contenido de 0,003 mg/l de mercurio, estando en el resto de las muestras analizadas por debajo de 0,001 mg/l.
- Tomando como punto de comparación, o referencia, los límites establecidos para cada elemento por Obras Sanitarias de la Nación, se ha esquematizado la planilla 6 en la que se indica para cada fuente muestreada, los parámetros que superan o no los límites máximos tolerables establecidos. Del análisis de dicha planilla se deduce que:
 - El arroyo El Aguilar es la fuente que posee más parámetros fuera de norma, en este caso la dureza total, sulfato, nitrito, hierro, manganeso, plomo y aluminio.
 - El fluoruro, con la sola excepción del arroyo El Aguilar, se encuentra en concentraciones que superan el límite máximo establecido.
 - El hierro, nitrito, aluminio, plomo y manganeso, son los otros parámetros que pueden llegar a aparecer superando el máximo establecido en algunas fuentes.

Tabla 1

ESPECIFICACIONES PARA AGUAS DE BEBIDA

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		VALOR ACONSEJABLE	VALOR ACEPTABLE	VALOR TOLERABLE	
Color	unidades de color	<2	5	12	A
Turbiedad	unidades de turbidez	<0.2	1	3	A
Olor	umbral a 60°	1	5	10	A
Sabor	(1)	-	-	-	-
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS					
pH	(2)	pHs	pHs±0.2	pHs±0.5	A
Sólidos disueltos	mg/l	50-600	1000	2800	A
Dureza Total	mg/l CO ₃ Ca	30-100	200	400	A
Alcalinidad Total	mg/l CO ₃ Ca	30-200	400	800	A
Cloruro	mg/l	<100	250	700	A
Sulfato	mg/l	<100	200	400	A
Nitrato	mg/l	<45	45	(3)	A
Nitrito	mg/l	<0.01	<0.10	0.10	A
Amoníaco	mg/l	<0.05	.20	1.00	A
Fluoruro	mg/l	(4)	0.7-1.2	2.0	A
Arsénico	mg/l	<0.01	0.01	0.10	A
Hierro Total	mg/l	<0.05	0.10	0.20	A
Manganeso	mg/l	<0.01	0.05	0.10	A
Plomo	mg/l	<0.01	0.01	0.05	A
Vanadio	(5)	-	-	-	A
Fenoles	mg/l	-	-	0.01	A
Cobre	mg/l	<0.1	0.5	1.5	A
Cromo Total	mg/l	-	-	0.05	A
Cianuro	mg/l	-	-	0.20	B
Mercurio	mg/l	-	-	0.02	C
Plata	mg/l	-	-	0.05	C
Níquel	(5)	-	-	-	
Sulfuro	mg/l	-	-	S/Contenido	D
Litio	(5)	-	-	-	
Cinc	mg/l	5	10	15	B
Cadmio	mg/l	-	-	0.01	B
Aluminio	mg/l	-	-	<0.05	E
Fosfatos	mg/l	-	-	0.6	D

CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS		
Bacterias Aerobias	Agar a 37° y 24 hs.	max 100
Bacterias Coliformes	ucf/100 ml.	<2
Pseudomonas Aeruginosas		S/Contenido

(1) SABOR: debe ser agradable e inobjetable ; (2) pH: Debe estar comprendido entre 6.8 y 9.2 (3) NITRATO: Contenidos >45 mg/l, informar a la población; (4) FLUORURO: Tenores < 0.7 fluorar el agua; (5) ELEMENTOS VARIOS: No normalizados

A Según O.S.N.; B Según Org. Mundial de la Salud; C: Según EPA (1972); D: Según O.S. de Jujuy; E: Según AWWA (1968)

ESTUDIO GEOLÓGICO INTEGRADO DE
LA QUEBRADA DE HUMAHUACA (JUJUY)

ANEXO V (Parte II, datos de abril/97)
ESTUDIO HIDROQUÍMICO DE LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RIO YACORAITE

Autor: Carlos J. Ferrés
Revisión: Ernesto R. García
Colaboración: Juan M. Siri
Hugo Valenzuela

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ÁREA DE TRABAJO.....	1
3. ESTUDIOS HIDROQUÍMICOS PREVIOS.....	2
4. PROGRAMA DE MUESTREO.....	4
5. DETERMINACIONES DE CAMPO Y LABORATORIO.....	5
6. MEDICIONES HIDROLÓGICAS.....	5
6.1. Pluviometría.....	5
6.2. Caudales.....	6
7. VARIACIONES QUÍMICAS ENTRE LOS PERIODOS DE MUESTREO 1996 Y 1997.....	7
7.1. Tenor mineral.....	7
7.2. Tipos hidroquímicos.....	9
7.3. Elementos menores.....	10
7.4. Microelementos o trazas.....	11
8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE NUEVAS FUENTES.....	11
8.1. Salinidad, caudal y elementos principales.....	12
8.1.1. Arroyo Pisungo.....	12
8.1.2. Arroyo Vieja Mina.....	12
8.1.3. Arroyo Padeo.....	13
8.1.4. Arroyo Yaratayac.....	13
8.1.5. Efluente Planta.....	14
8.2. Elementos menores.....	14
8.2.1. Hierro y Manganeso.....	14

8.2.2. Fluoruro y Boro	15
8.2.3. Compuestos nitrogenados	15
8.3. Microelementos o trazas	15
8.3.3. Arsénico, cromo, sulfuro, vanadio, plata, mercurio y cianuro	16
9. CONCLUSIONES	16
9.1. Sobre las variaciones determinadas entre el periodo 1996 y 1997	16
9.2. Sobre las nuevas fuentes muestreadas	17
9.3. Evaluación tentativa del impacto de las colas líquidas sobre el río Grande	18

PLANILLAS

1. Ubicación de puntos de muestreo y lugar de extracción de muestras
2. Listado de análisis químico de agua superficial de la cuenca del río Yacoraite - Provincia de Jujuy - Campaña de muestreo desarrollada entre el 01 y el 10 de abril de 1997 (anexo los resultados de 1996).
3. Precipitación pluvial en El Aguilar - Periodo de medición desde 01/89 al 04/97.
4. Tenores químicos máximos, mínimos y promedios - Cuenca imbrífera del río Yacoraite - Período de muestreo 1996 y 1997.
5. Variaciones de la relación salinidad/caudal, para cada fuente superficial monitoreada.

FIGURAS

1. Pluviometría en Minera El Aguilar - Período considerado 01/96 al 04/97.
2. Variaciones de caudal - período 1996/97 - Cuenca imbrífera del río Yacoraite.
3. Diagrama de flujo de caudales - Período de muestreo 1997.
4. Variaciones de la conductividad eléctrica - Período 1996/97 - Cuenca imbrífera del río Yacoraite.
5. Diagrama de flujo de la conductividad eléctrica - Período de muestreo 1997.
6. Diagrama de flujo del caudal másico - Período de muestreo 1997.
7. Variaciones de la concentración en miliequivalentes/litro - Punto de muestreo N° 16 - Período de muestreo 1996/97.

LÁMINAS

1. Área de trabajo y ubicación de puntos de muestreo.

ESTUDIO GEOLÓGICO INTEGRADO DE
LA QUEBRADA DE HUMAHUACA (JUJUY)

ANEXO V (Parte II, datos de abril/97)
ESTUDIO HIDROQUÍMICO DE LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DEL RIO YACORAITE

Autor: Carlos J. Ferrés
Revisión: Ernesto R. García
Colaboración: Juan M. Siri
Hugo Valenzuela

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene por objeto analizar la información hidrológica e hidroquímica obtenida durante la segunda campaña realizada en la cuenca hidrográfica del río Yacoraite, y que se desarrolló entre el 01 y 10 de abril de 1997, en el marco del proyecto de muestreo previsto para esta zona. y que viene a completar el plan de monitoreo programado.

Recordemos que esta tarea se realizó a solicitud de la Dirección Nacional de Servicio Geológico dependiente de la Subsecretaría de Minería de la Nación quien, conjuntamente con el Instituto Técnico Geominero de España, llevaron adelante un Proyecto Integrado del Planeamiento Geoeconómico de la cuenca del río Grande (Jujuy), que incluyó el estudio del impacto ambiental de la actividad minera en el área de la cuenca del río Yacoraite.

Un total de 21 muestras de agua se extrajeron durante la campaña, realizándose “in situ” y en cada uno de estos puntos, mediciones de caudal y algunas determinaciones fisicoquímicas.

Las muestras extraídas se analizaron en los laboratorios del Instituto de Aguas Subterráneas (INAS), efectuándose determinaciones complementarias en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

2. ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo para el presente periodo fue exactamente la misma zona seleccionada para el periodo 1996, o sea toda la cuenca imbrífera del río Yacoraite hasta su desembocadura en el

pueblo de Huacalera.

3. ESTUDIOS HIDROQUÍMICOS PREVIOS

Se desconocen estudios o evaluaciones químicas específicas de la cuenca imbrífera del río Yacoraite, aparte de las realizadas por el CRAS en 1996 e informadas en el trabajo “Estudio Hidroquímico de la cuenca hidrográfica del río Yacoraite - Departamento de Humahuaca” (Informe técnico IT-176). Algunos análisis químicos realizados por instituciones estatales en diversos puntos dentro de la cuenca, ya fueron mencionados en dicho informe.

Con el propósito de recordar al lector, mencionaremos en esta sección las conclusiones arribadas en el trabajo efectuado por el CRAS durante el año 1996, a saber:

-La concentración de las sustancias disueltas en el agua de las fuentes superficiales variaban fundamentalmente en función de las características litológicas de las zonas de circulación de dichas fuentes.

-Las variaciones de caudal de las fuentes producían cambios en las características químicas y fisicoquímicas del agua, fenómeno este relacionado con el cambio del área y tiempo de contacto roca-agua.

-La conductividad eléctrica del agua (CE) estaba en relación con el tenor de sólidos disueltos (SD), según la siguiente ecuación:

$$CE (\mu\text{mho/cm}) = 1.34 \times SD (\text{mg/l})$$

El río Casa Grande aforado en sus nacientes en 12.0 l/s, constituía la fuente de menor tenor mineral de las muestreadas, con 239 $\mu\text{mho/cm}$ de conductividad eléctrica, evidenciando su origen pluvial. El incremento de su carga salina aguas abajo, tenía su origen en las descargas del arroyo El Aguilar.

El arroyo El Aguilar, fuente emergente del área de derrame de colas líquidas, evidenciaba el contenido salino más elevado de las fuentes muestreadas, con 1600 $\mu\text{mho/cm}$ de conductividad. Este arroyo se activa en época estival ante el desborde de las represas de contención de colas líquidas, con condiciones químicas muy diferentes al resto de las fuentes muestreadas.

-El río Vizcarra aforado en 26.0 l/s y una salinidad de 787 $\mu\text{mho/cm}$, poseía una composición química bastante diferente a la del río Casa Grande, seguramente impartida por las arcillas rojas terciarias presentes en el lugar.

-El río Portillo, con un caudal de 9.0 l/s y una salinidad de 1470 $\mu\text{mho/cm}$, fue la única fuente con características cloruradas y dureza bastante elevada, juntamente con la del arroyo El Aguilar.

-El río Cajas presentaba características químicas diferentes del resto de las fuentes muestreadas, fruto de la manifiesta heterogeneidad litológica del lugar y alto grado de erosión de las rocas. Su

caudal antes de su unión con el Vizcarra fue aforado en 141.0 l/s y su salinidad medida fue de 578 $\mu\text{mho/cm}$.

-El río Rodeo basa su importancia no sólo en su caudal volumétrico de 65.0 l/s, sino en ser, junto al río Casa Grande, una de las fuentes de menor tenor salino, con una conductividad determinada de 314 $\mu\text{mho/cm}$.

-El arroyo Cerro Arenas aforado en 2.4 l/s y con una conductividad de 817 $\mu\text{mho/cm}$, presentaba condiciones hidroquímicas diferentes en general al resto de las fuentes, contribuyendo a lo mismo la elevada heterogeneidad litológica del lugar.

-El río Yacoraite tiene sus nacientes en la confluencia de los ríos Vizcarra y Casa Grande en el pueblo del mismo nombre, siendo este último el de mayor importancia desde el punto de vista del caudal aportado.

-El río Yacoraite aforado antes de su ingreso al río Grande en 322.0 l/s, manifestó una conductividad eléctrica de 663 $\mu\text{mho/cm}$ y características cálcica-sulfatada-sódica-bicarbonatada, heredadas del río Casa Grande. La alcalinidad, dureza y contenido de iones principales no superaron los límites para el agua de bebida. En base a los antecedentes disponibles, se pudo decir que no se habían registrado variaciones de importancia en el tiempo y que la polución de origen orgánico era realmente muy baja, conservando prácticamente inalterable sus características hidroquímicas desde sus nacientes hasta su desembocadura.

-La cuenca del río Grande es la más importante de la provincia de Jujuy. Se trata de un curso de caudal de régimen variable con mínimas durante el invierno y primavera y picos máximos en épocas de lluvia, con gran transporte de sólidos en suspensión de carácter aluvional. El caudal y conductividad eléctrica determinados antes del río Yacoraite fueron de 1058 l/s y 812 $\mu\text{mho/cm}$ respectivamente y de 1327 l/s y 772 $\mu\text{mho/cm}$ después de su unión. Las características químicas de sus aguas, que permanecen prácticamente inalterables luego de recibir las aguas del Yacoraite, eran similares a la del río Vizcarra, posiblemente por la cercanía geográfica de sus nacientes.

-Los tipos hidroquímicos para el total de fuentes muestreadas en 1996 en la cuenca imbrífera del río Yacoraite, denotaron una gran heterogeneidad, estando los mismos muy relacionados con la litología del lugar. También se observó que el calcio y sulfato eran los elementos que con más frecuencia (50 % de los casos) definen el tipo de aguas de la zona, siguiendo el sodio en importancia, y luego en orden decreciente el bicarbonato, cloruro y magnesio.

-No se detectó presencia de mercurio, plata, níquel, vanadio, sulfuro, cromo y cadmio en ninguna de las fuentes muestreadas.

-El arroyo El Aguilar fue la fuente que poseía mayor número de parámetros con concentraciones por encima de los límites para consumo humano, en este caso la dureza total, sulfato, nitrito, hierro, manganeso, plomo y aluminio.

-En la mayoría de las fuentes muestreadas, la concentración de hierro y fundamentalmente fluoruro, superaban los límite establecidos para potabilidad. En menor proporción aparecían el nitrito, aluminio, plomo y manganeso, tal es el caso del arroyo El Aguilar y río Casa Grande.

4. PROGRAMA DE MUESTREO

Desafortunadamente, por problemas ajenos al organismo no se pudo realizar el muestreo, tal como se programó en un principio, en la época estival o de máximo avenamiento de la red hidrográfica. De todas maneras, el periodo en que se efectuó el muestreo (prácticamente en coincidencia con la época del primero), fue bastante rico hidráulicamente.

El programa confeccionado contempló principalmente la obtención de datos hidroquímicos (muestras y análisis “in situ”) e hidrológicos (aforo de las fuentes) de los mismos puntos de muestreo seleccionados en la red de 1996. A este red se le sumaron otros arroyos y/o cursos de agua que en esta campaña aparecían agregándose a la red de drenaje del río Yacoraite.

Un total de 21 muestras de agua fueron extraídas, de las cuales 15 correspondieron exactamente a la red establecida en 1996, y el resto a nuevos puntos que se anexaron a la misma a causa del incremento observado en el derrame superficial y/o por considerarlos muy importantes o influyentes en las características químicas finales del sistema.

En la lámina 1 puede consultarse la ubicación geográfica de los diferentes puntos muestreados en la campaña de 1997 y en la planilla 1 que acompañamos a continuación, se informa el número, nombre y detalle del lugar de extracción de cada uno de ellos.

PLANILLA 1

UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO Y LUGAR DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Nº de punto	Nombre de Fuente	Lugar de extracción de la muestra de agua
1	Río Rodeo	Antes de unión con el río Yacoraite
2	Río Yacoraite	Antes de recibir el aporte del arroyo Cerro Arenas
3	Río Cajas	Antes de unión con el río Yacoraite
4	Río Yacoraite	Antes de recibir el aporte del río Cajas
5	Arroyo Cerro Arenas	Antes de su unión al río Yacoraite
6	Río Vizcarra	Antes de la confluencia con el río Casa Grande
7	Río Cajas	En nacedores - Falda sur de Minera Aguilar
8	Río Portillo	En nacedores - Pueblo del Portillo
9	Río Casa Grande	Antes de unión con río Vizcarra
10	Arroyo El Aguilar	Área de efluencia de colas líquidas de Minera Aguilar
11	Río Casa Grande	Después de la confluencia del arroyo El Aguilar
13	Río Casa Grande	En nacientes
14	Río Grande	Después de unión con el río Yacoraite
15	Río Grande	Antes confluencia con río Yacoraite.
16	Río Yacoraite	16 Km. antes del Río Grande (frente a Escuela)

17	Arroyo Pisungo	Antes unión con río Vizcarra
18	Arroyo Vieja Mina	Antes de ingreso a El Aguilar
19	Río Yacoraite	Después de campos cultivados en San José
20	Arroyo Padeo	En cruce con ruta a El Aguilar
21	Arroyo Yaratayac	En cruce con ruta a El Aguilar
23	Efluente de planta	Salida de dique de colas líquidas

5. DETERMINACIONES DE CAMPO Y LABORATORIO

Simultáneamente con la extracción de muestras se han realizado “in situ” determinaciones de temperatura del agua y ambiente, caudal, pH, conductividad eléctrica específica y contenido de nitrato del agua.

Las muestras extraídas, almacenadas y preservadas convenientemente, se remitieron al laboratorio químico del Instituto de Aguas Subterráneas (INAS) para su análisis completo. Este análisis incluyó las siguientes determinaciones: conductividad eléctrica, pH, alcalinidad total, dureza total y de no carbonatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonato, bicarbonato, sulfato, cloruro, hierro, manganeso, nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno orgánico y total, fluoruro, arsénico, plomo, cinc, cobre y sulfuro.

Complementando este análisis se realizaron determinaciones de plata, mercurio y cianuro en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

Los resultados de los análisis efectuados pueden consultarse en la planilla 2. A fin de visualizar las fluctuaciones químicas y volumétricas acontecidas entre una y otra campaña se incluyen en dicho listado los resultados analíticos y determinaciones fisicoquímicas realizadas en el primer muestreo.

6. MEDICIONES HIDROLÓGICAS

6.1. Pluviometría

El clima está regido por la altura (puna jujeña) donde las lluvias, granizadas, y algunas nevadas en las cimas de los cerros, dan origen a pequeños arroyos permanentes con crecidas de verano. Las precipitaciones del lugar, con una media anual de 297 mm. se concentran en la época estival, siendo en la actualidad registradas por tres estaciones meteorológicas, una dentro de la cuenca y dos en la periferia.

Dado que el caudal portado por cada curso superficial está directamente relacionado con la pluviometría de la zona, se presenta la planilla 3 con la precipitación pluvial media en El Aguilar durante el periodo comprendido entre el 01/89 y el 04/97. Además se incluye el gráfico de la figura 1 con la pluviometría registrada en Minera Aguilar durante el período comprendido entre el 11/95 y 04/97, a fin de justificar el incremento de caudales observado durante el segundo

período de muestreo respecto del primero.

En dicho diagrama se indican los dos periodos de muestreo, observándose en el mismo como dichas campañas estuvieron precedidas de volúmenes precipitados diferentes, mucho mayores evidentemente en la segunda que en la primera.

6.2. Caudales

La diferencia pluviométrica puesta de manifiesto en el diagrama de la mencionada figura 1 evidentemente se trasladó a los caudales aforados por el INAS en esta última campaña. Estos volúmenes se vieron incrementados en algunas fuentes en forma notable, tal es el caso del río Casa Grande que en el punto de muestreo N° 9 de registrar en el primer período un valor de 238 l/s, pasó en 1997 a un aforo de 836 l/s o sea casi 3,5 veces superior.

El mayor escurrimiento de la mencionada fuente es causal principal del aumento de caudal observado en el río Yacoraite, principalmente en el punto N° 2 donde de un valor de 424 l/s en 1996 pasó a un aforo de 1018 l/s en el segundo muestreo, denotando de esta manera un incremento prácticamente del 240 %.

Estas fluctuaciones de caudal, así como el incremento de la escorrentía determinado en el último muestreo respecto del primero se pone en evidencia en el diagrama de la figura 2, donde se observa que, a excepción de los puntos de muestreo N° 1, 5, 8, 10, 14 y 15 (Drenajes de la Sierra del río Grande -Campo Sepultura- arroyo El Aguilar y río Grande), todos los demás han visto incrementado sus volúmenes en diferentes proporciones.

Con el objeto de visualizar los distintos aportes que volumétricamente llegan a conformar el río Yacoraite y su incidencia sobre el caudal final del río Grande se confeccionó el diagrama de flujo representado en la figura 3. En este diagrama se pone en evidencia que, de todas las fuentes muestreadas, el río Casa Grande es el aporte más importante al río Yacoraite.

Es evidente además que, de acuerdo a la diferencia de valores de caudal aforados entre los puntos N° 13 y 11, existe un ingreso no determinado de aproximadamente 230 l/s entre los mismos.

Asimismo, entre los puntos de muestreo N° 2 y 16 sobre el lecho del río Yacoraite se observó una reducción de caudal de aproximadamente 200 l/s, debido a que en este tramo el agua es aprovechada para el riego de campos cultivados localizados sobre el lecho del mencionado río.

También este mismo fenómeno se pone en evidencia en la desembocadura del río Yacoraite al río Grande donde un caudal de aproximadamente 270 l/s, se aprovecha para el riego de campos correspondientes al pueblo de San José (diferencia entre el caudal aforado en el punto N° 16 y el que realmente sale de la boca de la quebrada en Huacalera).

Finalmente se observa en el diagrama la importante incidencia volumétrica del río Yacoraite

sobre el río Grande a la altura del pueblo de Huacalera, incrementándose el volumen de este último aproximadamente en un 100 % respecto del caudal que portaba antes de recibir los aportes del Yacoraite (de 676 l/s a 1227 l/s) .

7. VARIACIONES QUÍMICAS ENTRE LOS PERIODOS DE MUESTREO DE ABRIL DE 1996 Y ABRIL DE 1997

Como fuera mencionado en el primer informe, en general las aguas provenientes de fuentes naturales como las que nos ocupa contienen sustancias disueltas, con origen tanto en la atmósfera como en las rocas y minerales con las cuales está en contacto durante su movimiento.

Para un sistema dado la concentración de las sustancias disueltas varía constantemente en respuesta a varios factores, los que cambian, tanto regionalmente de acuerdo a las características geológicas, como con la variable tiempo.

Justamente, el hecho de acompañar la extracción de muestra con la determinación del caudal instantáneo de la fuente en cuestión, está motivado en las variaciones químicas y fisicoquímicas observadas al modificarse este parámetro hidráulico. Este fenómeno se debe al hecho de que al variar el caudal de una fuente superficial, conjuntamente cambia el área y tiempo de contacto roca-agua y con ello el tenor de sólidos disueltos en el recurso. Luego, que el recurso se mineralice o diluya dependerá lógicamente, del grado de alteración de la roca que conforma el cauce.

Por lo dicho anteriormente y en base al incremento de caudales observado en esta segunda etapa, es previsible que dichas fluctuaciones se trasladen a las condiciones hidroquímicas del sistema que estamos analizando.

No se realizará en este informe, como se hizo en el primero, la consideración en particular de cada punto de muestreo o de cada parámetro sino que, en base a lo observado, señalaremos únicamente las fluctuaciones que se detecten.

Dada la cantidad de parámetros químicos analizados y a fin de facilitar la descripción de las variaciones de las características químicas de las fuentes muestreadas, se considerará en primer lugar la salinidad total del agua en términos de conductividad eléctrica y posteriormente la concentración de los parámetros químicos principales a través del tipo de agua, y algunas generalidades sobre la concentración de los elementos menores y trazas.

Por otra parte, la descripción de las características químicas de las nuevas fuentes muestreadas se hará en forma separada a la de la red original.

7.1. Tenor mineral

Según se deduce de la planilla 4, en donde se han volcado los valores estadísticos, el tenor medio de salinidad en general no ha variado, a pesar de las mencionadas fluctuaciones de caudal y la incorporación de otros puntos de muestreo correspondiente a nuevas fuentes. Así, de un promedio salino para el período 1996 de 693 $\mu\text{mho/cm}$, se pasó en el nuevo muestreo a un contenido mineral de 709 $\mu\text{mho/cm}$.

Sin embargo si se observaron fluctuaciones en el tenor salino de algunos puntos en particular, por ejemplo algunas reducciones leves de la conductividad para los puntos N° 2, 4, 7, y 9 ó algo mayor para el punto N° 11. Por otro lado y en forma muy notable, dicho parámetro se ve incrementado en el punto N° 10 en más de 800 $\mu\text{mho/cm}$ (de 1600 a 2420 $\mu\text{mho/cm}$).

Esto se aprecia perfectamente en el gráfico de la figura 4 que acompaña al presente informe.

Además de este gráfico y al sólo objeto de visualizar la relación entre las fluctuaciones de la conductividad eléctrica de los diferentes recursos con las variaciones de caudal determinadas para esta segunda etapa, se confeccionó la planilla 5.

Para interpretar esta planilla vale la pena recordar que normalmente, un incremento en el valor de caudal del recurso es acompañado de un descenso del tenor mineral del mismo, efecto que se puede visualizar perfectamente por comparación entre la figura 2 y la figura 4 correspondientes a las fluctuaciones del caudal y a la conductividad eléctrica respectivamente.

De dichos diagramas se pueden extraer algunas conclusiones y sintetizarlas en la planilla, en la que los incrementos, disminuciones o invariabilidad de parámetro se marcan con un signo +, -, ó = respectivamente, y el cumplimiento o no de la premisa mencionada en el párrafo anterior con una cruz. (x).

PLANILLA 5

VARIACIONES DE LA RELACIÓN SALINIDAD/ CAUDAL PARA CADA FUENTE MONITOREADA

N° de Punto de muestreo	Variaciones de caudal 1996/1997	Variaciones de conductividad 1996/ 1997	Cumple la hipótesis	
			SI	NO
1	=	=	X	
2	+	-	X	
3	+	-	X	
4	+	-	X	
5	=	=	X	
6	=	=	X	
7	+	-	X	

8	=	=	X	
9	+	-	X	
10	=	+		X
11	+	-	X	
13	+	-	X	
14	=	=	X	
15	-	=		X
16	+	=		X

De acuerdo a lo que se puede extractar de la planilla 5, salvo los puntos N° 10 (arroyo El Aguilar), N° 15 (río Grande antes Yacoraite) y N° 16 (río Yacoraite antes del río Grande), en el resto de los puntos de muestreo se cumple la premisa de que, al incrementarse los caudales correspondientemente se reduce el tenor salino de la fuente. El hecho de que no se cumpla en estos tres puntos, se debe principalmente al aporte extra de sólidos que reciben cada una de estas fuentes, como es el caso del derrame de colas líquidas de origen industrial sobre el arroyo El Aguilar y el drenaje de campos cultivados en los dos puntos restantes.

Al sólo objeto de visualizar las fuentes que dentro de la red hidrográfica dan lugar al contenido mineral del río Yacoraite, se confeccionó el diagrama de flujo salino representado en la figura 5. En este diagrama quedan en evidencia o resaltan sobre los demás (en orden creciente de salinidad) el río Portillo y el arroyo El Aguilar, los que constituyen las fuentes más mineralizadas que aportan al tenor salino del río Yacoraite.

Tomando en forma conjunta el caudal de la fuente (Q) y el contenido salino de la misma (SD), se tiene el concepto de Carga Química o Caudal Másico que se expresa en unidades de masa en la unidad del tiempo y surge del producto matemático de ambos términos:

$$C = Q (l/s) \times SD (mg/l)$$

El Caudal Másico sería entonces la cantidad de sales que atraviesan una sección en la unidad del tiempo, siendo directamente proporcional tanto al caudal como al contenido de sólidos disueltos.

A fin de poder analizar la menor o mayor influencia del caudal másico proveniente de las distintas fuentes que componen la red hidrográfica del río Yacoraite sobre la composición final de éste, se confeccionó la figura 6. En la misma, se han representado las diferentes cargas químicas por un círculo de magnitud variable según sea el valor calculado para este parámetro en el punto de muestreo considerado.

Según se puede deducir del gráfico el caudal másico (cantidad de sales en la unidad del tiempo) del río Yacoraite tiene su origen fundamentalmente en la carga química proveniente del río Casa Grande, la que es aumentada aguas abajo por el aporte del Cajas.

En la misma figura queda reflejada la gran incidencia del río Yacoraite sobre el Grande cuyo caudal másico se ve prácticamente duplicado al recibir el aporte de la fuente en cuestión.

7.2. Tipos hidroquímicos

El análisis químico realizado para el total de fuentes muestreadas en la cuenca bajo estudio sigue caracterizándose en esta segunda etapa, por la gran heterogeneidad de tipos hidroquímicos encontrados. Recordemos que el tipo hidroquímico de un agua está definido por aquellos iones con mayor concentración relativa.

Se pudo observar que a pesar de los incrementos volumétricos medidos en las fuentes y las fluctuaciones del tenor mineral determinados entre un período y otro, en general los tipos hidroquímicos se mantienen prácticamente inalterables, manteniéndose el calcio, el sulfato y el sodio como los elementos que con más frecuencia caracterizan al agua.

Solamente se observó un cambio en el tipo de agua en el caso de tres muestras, a saber:

En el punto de muestreo N° 6 correspondiente al río Vizcarra que de ser sódica-sulfatada-cálcica pasó en 1997 a cálcica-sulfatada-sódica, cambio en realidad muy poco representativo cuando se consideran los valores absolutos, pues pequeñas variaciones en éstos producen modificaciones en las concentraciones relativas (muy próximas unas de otras) y por ende en el tipo de agua.

La segunda fuente que denota cambios es el río Cajas en sus riacientes (punto de muestreo N° 7), el que de tener características cálcica-bicarbonatada en 1996 pasó en la actualidad a ser sulfatada-cálcica, manifestando un importante descenso en el tenor de bicarbonato de 133 a 48 mg/l. Esto puede estar en relación con el importante ascenso del caudal que de solamente 8 l/s en 1996 se incrementó en 1997 a 124 l/s.

Finalmente la otra fuente que manifestó algún tipo de variación en el tipo de agua fue el río Grande antes de la unión con el Yacoraite (punto de muestreo N° 15), el que de poseer características sódica-cálcica-bicarbonatada en 1996 pasó para el período 1997 a sódica-bicarbonatada-sulfatada. Para este punto valen las mismas consideraciones realizadas en el primer caso.

A fin de visualizar las escasas fluctuaciones de los tenores que caracterizan a cada fuente para el período que estamos informando, se confeccionó la figura 7 con las variaciones del contenido de miliequivalentes entre el muestreo de 1996 y 1997, para el punto de muestreo correspondiente al río Yacoraite antes de su unión con el Grande (punto N° 16).

Se hace muy notorio en dicho gráfico las escasas variaciones entre un muestreo y otro, lo que pone de manifiesto la invariabilidad de las condiciones hidroquímicas al cambiar los caudales de la fuente por efecto de las crecidas propias de la época de estío.

7.3. Elementos menores

Entre los elementos menores presentes en el agua tenemos al hierro, manganeso, los compuestos nitrogenados, boro y fluoruro.

Para el primero de los elementos considerados, o sea el hierro, se nota en este segundo muestreo una importante disminución en los tenores determinados, de manera que el valor promedio que en 1996 era de 1.09 mg/l, se reduce en la actualidad a 0.24 mg/l, jugando un importante papel en esta variación el brusco descenso de la concentración de hierro determinada en el arroyo El Aguilar (de 6.50 mg/l a 0.00 mg/l), lo que también demuestra lo imprevisible de la composición de los efluentes portados por la mencionada fuente.

De cualquier manera también para este muestreo, el hierro sigue siendo un elemento que supera en la mayoría de las fuentes el máximo tenor admisible para potabilidad (0.20 mg/l).

Para el caso del manganeso valdrían prácticamente las mismas consideraciones que para el hierro en el sentido de observarse un descenso general en el tenor promedio (de 0.34 mg/l a 0.13 mg/l entre uno y otro muestreo).

Con referencia a los compuestos nitrogenados, únicamente el ion nitrato manifestó un descenso casi generalizado en su concentración. El valor más resaltante es el determinado en el arroyo El Aguilar con 16.0 mg/l, contra los 25.0 mg/l en 1996.

En el resto de los compuestos nitrogenados, el nitrito se mantuvo prácticamente inalterable respecto del período anterior, mientras que el ion amonio, indicativo de alguna contaminación orgánica reciente, alcanzó para este período valores superiores a 0.02 mg/l (mínimo detectable por el equipo y que con más frecuencia se manifestó en el anterior período). De cualquier manera, si bien el aumento es generalizado en casi todas las muestras, lejos están los valores determinados de alcanzar el límite tolerable establecido para consumo (1.00 mg/l).

Al considerar los tenores de fluoruro y boro, se aprecia que no existen variaciones notables dignas de resaltar, manteniéndose prácticamente inalterable respecto de los valores determinados en 1996. Las concentraciones de fluoruro, en general se encuentran muy por debajo del máximo valor admisible (2.00 mg/l).

7.4. Microelementos o trazas

Recordamos que bajo esta denominación se entienden aquellos elementos que en general se encuentran en el agua en forma de trazas, pero que a veces en concentraciones de solamente décimas y hasta centésimas de miligramo pueden llegar a impotabilizarla, tal el caso del cadmio y el cromo entre otros. En otras situaciones la sólo presencia del elemento ya es causal de impotabilidad, como es el caso del ion sulfuro.

Del total de trazas determinadas en este periodo (14 microelementos), se concluye que en la mayoría de los casos no se detectó prácticamente ningún tipo de variación en las concentraciones respecto de las ya informadas en el trabajo anterior.

Solamente en tres de ellos se detectó algún tipo de aumento, tal es el caso del aluminio que de un valor promedio en 1996 de 0.80 mg/l se incrementó en 1997 a 1.39 mg/l. También el vanadio y el níquel variaron sus concentraciones, de tal manera que de estar ausentes o por debajo del límite de detección del equipo en todas las fuentes en el anterior período, en 1997 se presentan en algunas muestras con valores muy bajos de 0.10 y 0.20 mg/l respectivamente.

8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE NUEVAS FUENTES

Como mencionáramos al inicio de este informe, el mayor drenaje de la cuenca detectado durante el último muestreo, ocasionó que la red seleccionada en 1996, se incrementara con nuevos arroyos, muchos de ellos seguramente de carácter temporario.

Las características químicas y fisicoquímicas de estas nuevas fuentes se presentan a continuación:

8.1. Salinidad, caudal y elementos principales

8.1.1. Arroyo Pisungo

Este arroyo, fruto del mayor avenamiento de la época, se incorpora a la red hidrográfica del río Yacoraite a través del drenaje proveniente de la margen norte del área bajo estudio.

Unos dos kilómetros al noroeste de Casa Grande, antes de desembocar al río homónimo, se le unen el río Chajarahuaico y el río Colorado (ambos secos durante la campaña de muestreo).

El arroyo fue muestreado y aforado en sus nacientes (punto de muestreo N° 17), con un registro de 242 l/s, transformándose de acuerdo a ese valor en el afluente más importante al río Casa Grande.

El contenido salino, medido en términos de la conductividad eléctrica, fue de 332 $\mu\text{mho/cm}$ y el pH de 8.08.

Las características químicas principales en este río están definidas por los iones calcio (26.3 % me), sulfato (26.2 % me) y bicarbonato (18.8 % me), cuyas concentraciones en valores absolutos son lo suficientemente bajas para no representar ningún tipo de limitación en el consumo humano.

Como es característica de los ríos de montaña, la alcalinidad y dureza del agua son bastante bajas, alcanzando valores de 59 y 110 mg/l de CaCO_3 respectivamente.

8.1.2. Arroyo Vieja Mina

Este arroyo discurre por el lateral sur de la Minera El Aguilar y drena con dirección oeste-este desde el faldón oriental de la Sierra de El Aguilar hasta su unión con el arroyo homónimo a la

altura de los diques de colas líquidas.

Esta fuente, muestreada en el punto N° 18, recibe sobre su cauce las descargas de colas líquidas provenientes de la planta de flotación de mineral, encargándose la misma de transportarlas luego hasta los diques de contención y sedimentación, localizados aguas abajo.

Es junto con los arroyos Padeo y Yaratayac, una de las fuentes de menor contenido salino detectadas en la zona, con un registro de conductividad eléctrica de 261 $\mu\text{mho/cm}$. y un pH de 6.50. El caudal aforado en el punto de extracción de la muestra fue de 31.0 l/s.

También la alcalinidad y dureza son muy bajas acusando el análisis realizado valores de 10 y 81 mg/l de CaCO_3 respectivamente.

Analizando las concentraciones relativas de los iones principales, estas aguas son del tipo sulfatada-cálcica-sódica, con contenidos absolutos de 91.0 mg/l, 25.0 mg/l y 16.0 mg/l de sulfato, calcio y sodio respectivamente.

8.1.3. Arroyo Padeo

Este arroyo (punto de muestreo N° 20), al igual que el Yaratayac y el ya mencionado Mina Vieja, también tiene sus nacientes en el faldón oriental de las sierras de El Aguilar, discurriendo con dirección aproximada sudoeste-noreste desde el lateral norte de la minera hasta su desembocadura al río Casa Grande, con un caudal aforado de 40.0 l/s.

Su contenido mineral es muy bajo, alcanzando una conductividad eléctrica de 131 $\mu\text{mho/cm}$ y un pH de 8.20.

Es una de las fuentes que manifestó valores más reducidos de alcalinidad y dureza (31.0 y 35.0 mg/l CaCO_3 , respectivamente).

El tipo de agua es bicarbonatada-sódica-cálcica-sulfatada, con contenidos absolutos de cada uno de estos iones de 38.0 mg/l, 12.0 mg/l, 9.8 mg/l y 21.0 mg/l, respectivamente. Estas características son más concordantes con aguas de origen pluvial que las anteriormente mencionadas.

Tomando sólo en consideración los parámetros principales, se deduce que esta fuente como las anteriormente mencionadas son aguas sin contaminación y aptas para la bebida.

8.1.4. Arroyo Yaratayac

Si bien en el informe anterior dicho arroyo figura como muestreado, la corroboración de su ubicación geográfica en el campo durante la segunda campaña demostró que la fuente así nombrada no correspondía al arroyo en cuestión sino a las nacientes del río Casa Grande (punto de muestreo N° 13). Es por ello que esta fuente se considera en el nuevo grupo de recursos que se agrega en el periodo actual a la red hidrográfica de 1996.

Este arroyo también tiene sus nacientes en el drenaje pluvial de la Sierra de El Aguilar discurrendo con dirección oeste-este y con un caudal aforado de 54.0 l/s. Aguas abajo del punto de muestreo (punto N° 21) se une con el río Padeo para conformar una única fuente y descargar sus aguas al río Casa Grande.

Es la fuente de más bajo tenor mineral de todas las muestreadas, con una conductividad eléctrica de 94 $\mu\text{mho/cm}$ y un pH de 8.12.

Su alcalinidad y dureza, junto al ya mencionado río Yaratayac, son también las más bajas, alcanzando valores de 26.0 y 28.0 mg/l de CaCO_3 .

Al igual que el río Padeo, el origen de esta fuente es netamente pluvial, lo que lo demuestra su composición química definida como del tipo bicarbonatada-cálcica-sódica, con contenidos absolutos de cada uno de los elementos de: 32.0 , 8.40 y 8.30 mg/l, respectivamente.

8.1.5. Efluente Planta

Al sólo objeto de tener una idea aproximada de la composición química de las colas líquidas efluentes de la planta, se tomó una muestra de las mismas a unos 400 metros aguas abajo de abandonar la Minera El Aguilar (punto de muestreo N° 23, lámina 1).

Estos efluentes, en su mayoría formados por el agua con origen en el desagote propio de la mina y sobrecargado de sólidos provenientes del tratamiento del mineral (principalmente la flotación), tras abandonar la planta vuelcan sobre el arroyo Vieja Mina (ya mencionado). En este lugar sufren cierto grado de dilución, para ser finalmente derramados sobre los denominados diques de colas líquidas, cuyo desagote se produce a través del arroyo El Aguilar.

Lógicamente estos diques se encuentran ubicados en serie sobre el lecho del mencionado arroyo permitiendo que durante su escurrimiento aguas abajo vayan sedimentando los sólidos suspendidos, de tal manera que el agua transportada por el arroyo El Aguilar corresponde a los efluentes de la planta luego del proceso de eliminación de sólidos mencionado.

De acuerdo a lo observado en campaña, en épocas normales o sea fuera de períodos de grandes lluvias y crecientes que llegan a distorsionar el normal proceso de sedimentación, se constató que el grado de separación de sólidos suspendidos es bastante eficiente.

No obstante, en lo que a separación de sólidos disueltos se refiere no se logra la misma eficiencia, ya que de poseer una concentración de 168 mg/l (261 $\mu\text{mho/cm}$ de conductividad eléctrica) en el arroyo Vieja Mina, pasan a un tenor de 1730 mg/l (2240 $\mu\text{mho/cm}$ de conductividad eléctrica) en este efluente final (o sea un incremento cercano al 1000 %). Tal como se puede observar esta salinidad aún se ve más incrementada (2420 $\mu\text{mho/cm}$) al abandonar el área de diques de colas (conductividad del arroyo El Aguilar).

El pH de esta muestra es el más elevado de todas las fuentes muestreadas, alcanzando un valor de 10.10.

El tipo de agua que lo caracteriza es totalmente anómalo respecto del resto de las fuentes muestreadas. Posee una elevada concentración relativa de sulfato y calcio (46.6 % me y 46.8 % me respectivamente) lo que permite definirla como netamente cálcica-sulfatada, características estas que son impartidas posteriormente al arroyo El Aguilar.

8.2. Elementos menores

La concentración de los elementos menores lo consideraremos tomando en cuenta las fuentes en su conjunto.

8.2.1. Hierro y Manganeso

La concentración de hierro determinada en las nuevas fuentes muestreadas, indica que en dos de éstas se supera el máximo admisible para consumo humano (0,20 mg/l), tal el caso de los arroyos Pisungo y el efluente de la planta con valores de 0.40 y 0.70 mg/l respectivamente. El resto de las fuentes no acusan presencia de este elemento.

En cuanto al manganeso no se observaron concentraciones superiores al límite de potabilidad (0.10 mg/l).

8.2.2. Fluoruro y Boro

El contenido de fluoruro en las fuentes muestreadas no supera al límite de 2,0 mg/l establecido para potabilidad, alcanzando un máximo de 1,9 mg/l para los efluentes de la planta (punto muestreo N° 23). Para el caso del boro, si bien no existen límites para consumo humano, las concentraciones determinadas son bastante bajas, manteniéndose por debajo de 1.00 mg/l.

8.2.3. Compuestos nitrogenados

Los tenores de nitrato y amonio para estas fuentes se encuentran por debajo de los límites establecidos para consumo humano, o sea inferiores a 45.0 mg/l y a 1.00 mg/l respectivamente. Para el nitrato, el máximo determinado fue de 18.0 mg/l (efluentes de la planta), mientras que en el resto no llega a superar los 10 mg/l. La concentración máxima de amonio se determinó en la muestra proveniente del arroyo Padeo, con un valor de 0,21 mg/l.

El nitrito fue el único compuesto nitrogenado que llegó a manifestar una concentración por encima del límite de 0.10 mg/l establecido para consumo, ésto en la muestra correspondiente al efluente de la planta donde se determinó un contenido de 1.40 mg/l. En el resto de las muestras, el tenor de nitrito se mantiene prácticamente en las centésimas de miligramo.

8.3. Microelementos o trazas

8.3.1. Aluminio, cadmio y plomo

Estos tres elementos tienen en común que en algunos casos superan el límite establecido para consumo humano. Así por ejemplo el aluminio, que con excepción de los arroyos Yaratayac y Padeo, sobrepasa en el resto de las fuentes el límite de 0.05 mg/l, manifestando un valor máximo de 2.10 mg/l para los efluentes de la planta. En el caso de cadmio y plomo las mayores concentraciones se determinaron también en esta última fuente, con concentraciones de 0.07 mg/l y 1.00 mg/l respectivamente.

8.3.2. Cinc, cobre, litio y níquel

Estos cuatro elementos son informados en forma conjunta debido a que, si bien se encuentran presentes en el agua, sus concentraciones no superan en ningún caso los límites establecidos para potabilidad.

8.3.3. Arsénico, cromo, sulfuro, vanadio, plata, mercurio y cianuro

Finalmente, estos siete elementos se agrupan por el sólo hecho de que en todas las determinaciones realizadas a estas nuevas fuentes, no se detecta presencia alguna de ellos o bien sus concentraciones están por debajo del límite de detección del equipo.

9. CONCLUSIONES

9.1. Sobre las variaciones determinadas entre el periodo 1996 y 1997

- Las precipitaciones durante el periodo 1997 fueron mayores a las del año 1996, consecuentemente los caudales aforados también se incrementaron en este último período.
- Se observaron diferencias de caudales, que indican ingresos y egresos de volúmenes no determinados a la red y cuyo origen estaría en relación a recargas a través de los subalveos de ríos secos y pérdidas por riego de campos cultivados respectivamente.
- El tenor medio de salinidad en general no ha variado, sin embargo se observaron fluctuaciones en el tenor salino de algunos puntos en particular.
- En general se cumple que a un incremento de caudal le corresponde una reducción de la salinidad de las fuentes, salvo en el caso de aquellas que reciben un aporte extra de sólidos, con origen en las colas líquidas o campos cultivados.
- En orden creciente, es el arroyo Cerro Arenas, el río Portillo y fundamentalmente el arroyo El Aguilar los que contribuyen con el mayor aporte mineral al río Yacoraite.

- El caudal másico (cantidad de sales en la unidad del tiempo) del río Yacoraite tiene su origen fundamentalmente en la carga química proveniente del río Casa Grande.
- A pesar de las variaciones de volumen y salinidad observados, en general los tipos hidroquímicos se mantienen heterogéneos y prácticamente inalterables respecto del período anterior.
- Se notó una importante reducción en los tenores promedios de hierro y manganeso determinados, sin embargo sigue siendo el hierro un elemento que supera en la mayoría de las fuentes, el máximo tenor admisible para potabilidad.
- Con referencia a los compuestos nitrogenados, el ion nitrato manifestó un descenso generalizado en su concentración, el nitrito se mantuvo prácticamente inalterable y el ion amonio denotó para este período valores superiores a 0,02 mg/l, pero lejos del máximo admisible (1,00 mg/l).
- Para el fluoruro y el boro, no se aprecian variaciones notables entre ambos períodos, manteniéndose el primero de estos elementos en concentraciones muy por debajo del máximo valor admisible.
- Para el total de trazas determinadas, no se detecta prácticamente ninguna variación. Sólo en el caso del aluminio, vanadio y níquel, se determinó un ligero aumento, manteniéndose los mismos en muy bajas concentraciones.

9.2. Sobre las nuevas fuentes muestreadas

- El Arroyo Pisungo, es el afluente más importante al río Casa Grande. Sus características químicas principales definidas por los iones calcio, sulfato y bicarbonato, poseen valores absolutos suficientemente bajos sin limitaciones para consumo humano.
- El arroyo Vieja Mina constituye una de las fuentes de menor contenido salino, con alcalinidad y dureza muy bajas y aguas del tipo sulfatada-cálcica-sódica.
- El Arroyo Padeo, con contenido mineral muy bajo, valores reducidos de alcalinidad y dureza, y características bicarbonatada-sódica-cálcica-sulfatada, se relaciona con aguas de origen pluvial, sin contaminación y aptas para la bebida.
- El arroyo Yaratayac, es la fuente de más bajo tenor mineral de las muestreadas, características bicarbonatada-cálcica-sódica y origen estrictamente pluvial.
- Los efluentes de la planta, sobrecargados de sólidos provenientes del tratamiento del mineral, tienen un elevado pH, un tipo de agua totalmente anómalo respecto del resto y alta concentración relativa de sulfato y calcio.

- Salvo en períodos de creciente, el grado de separación de sólidos suspendidos alcanzado en los diferentes diques es bastante elevado, no así en lo que a sólidos disueltos se refiere, los que entre el arroyo Vieja Mina y el arroyo El Aguilar se ven incrementados en aproximadamente un 1000 %.
- Respecto de la concentración de hierro determinada en las nuevas fuentes, sólo en dos se supera el máximo para consumo (arroyos Pisungo y el efluente de la planta), el resto no acusan presencia.
- En cuanto al manganeso y al fluoruro tampoco se observaron concentraciones superiores al límite.
- La concentración de boro es bastante baja, y en general inferior a 1.00 mg/l.
- Los tenores de nitrato y amonio están por debajo del límite para consumo, registrándose los máximos en los efluentes de la planta y arroyo Padeo respectivamente.
- El nitrito fue el único compuesto nitrogenado con un contenido por encima del límite de 0.10 mg/l para consumo determinado en el efluente de la planta, mientras que en el resto alcanza sólo centésimas de miligramo.
- El aluminio, cadmio y plomo superan en algún caso el límite de potabilidad.
- El cinc, cobre, litio y níquel, presentes en el agua, no superan en ningún caso los límites para bebida.
- El arsénico, cromo, sulfuro, vanadio, plata, mercurio y cianuro, no detectan presencia alguna o están por debajo del límite de detección del equipo.

9.3. Evaluación tentativa del impacto de las colas líquidas sobre el río Grande

Realizando algunas especulaciones matemáticas con los datos disponibles y al sólo objeto de determinar aproximadamente la incidencia del arroyo El Aguilar sobre la composición química del río Grande a la salida de la cuenca, se eliminó supuestamente dicha fuente de la red hidrográfica del sistema, y con ello, la incidencia de las colas líquidas de la planta. Ello permitió arribar a algunas conclusiones importantes:

- La reducción del tenor mineral del río Grande con la supuesta eliminación de los volcados de colas líquidas sería escasamente del 1,5% o sea de 756 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 745 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que demostraría la escasa incidencia de dichos drenajes sobre el contenido salino final del mencionado río. Lógicamente esta suposición será valedera en la medida que dichos efluentes se mantengan prudentemente dentro de los valores determinados.
- Si bien se tomó para el cálculo sólo el tenor mineral, los bajos valores determinados analíticamente para las trazas y elementos metálicos tóxicos en la mayoría de las fuentes,

permiten aseverar las mismas conclusiones sobre su incidencia final en la composición química del río Grande.

- Una conclusión de esta índole debe ser considerada muy preliminar y sujeta a la confirmación fruto de un estudio más profundo de la dinámica hídrica relacionada al manejo integral de la disposición de colas líquidas.