© H 1112 N19 II
MFN-42
37314

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
BIBLIOTECA
Dr. Manuel Belgrano

CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DE LOS RIOS TURBIO Y GALLEGOS, PROVINCIA DE SANTA CRUZ.

INFORME FINAL

© H 1112 N19 II

Dr. Hugo B. Nicolli
Geol. Marcelo H. Merino

Buenos Aires
1993

Buenos Aires. 01 de junio de 1993

OBJETO: Entrega de Informe Final

C. F. I.
INGRESO
01 JUN. 1993
Nº 4192

SEÑOR SECRETARIO GENERAL:

Tengo el agrado de dirigirme a Ud. con el objeto de poner a su consideración el informe final correspondiente al estudio "CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DE LOS RIOS TURBIO Y GALLEGOS, PROVINCIA DE SANTA CRUZ" que se entrega en tres (3) ejemplares, de acuerdo con el plan de trabajo propuesto en el contrato respectivo (Expte. No. 2227) y al acta de fecha 23 de marzo de 1993.

Hago propicia la oportunidad para saludar al señor Secretario General con atenta consideración.

Dr. Hugo B. NICOLLI

AL SEÑOR SECRETARIO GENERAL DEL
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
Ing. D. JUAN JOSE CIACERA
S. / D.

CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DE LOS RIOS TURBIO Y GALLEGOS, PROVINCIA DE SANTA CRUZ.

INFORME FINAL

INTRODUCCION

En el mes de octubre de 1992 se realizó la primera campaña prevista de acuerdo con el plan de trabajo propuesto. Durante su desarrollo se tomaron veintiuna (21) muestras de aguas pertenecientes a los ríos Turbio y Gallegos (muestras 1 a 21), se montó un laboratorio de campaña en dependencias del Departamento Laboratorio de Servicios Públicos de la Provincia de Santa Cruz. En él se realizaron determinaciones fisicoquímicas y se acondicionaron las muestras para su conservación y posterior traslado a Buenos Aires, donde se efectuaron las determinaciones analíticas necesarias para definir su composición aniónico-catiónica y su contenido de oligoelementos. Cinco (5) muestras más se tomaron en perforaciones pertenecientes al actual sistema de provisión de agua potable a la ciudad de Río Gallegos empleando idénticos procedimientos. En el mes de marzo, y con la finalidad de comprobar variaciones en composición entre dos períodos con regímenes hídricos distintos, se realizó una segunda campaña de muestreo geoquímico en la que se obtuvieron quince (15) muestras pertenecientes a la misma cuenca (muestras 22 a 36).

En el mapa 1 puede observarse la ubicación de las muestras en el área estudiada. La parte superior de la cuenca del río Turbio fue analizada con más detalle ya que se aumentó la densidad del muestreo, debido a que en ese sector se detectaron fenómenos antrópicos que, en cierta manera, modifican los procesos naturales. En el mapa 2, basado en un mapa de exploración geohidrológica del C.F.I., puede

observarse la parte superior de la cuenca y la distribución de muestras en ese área.

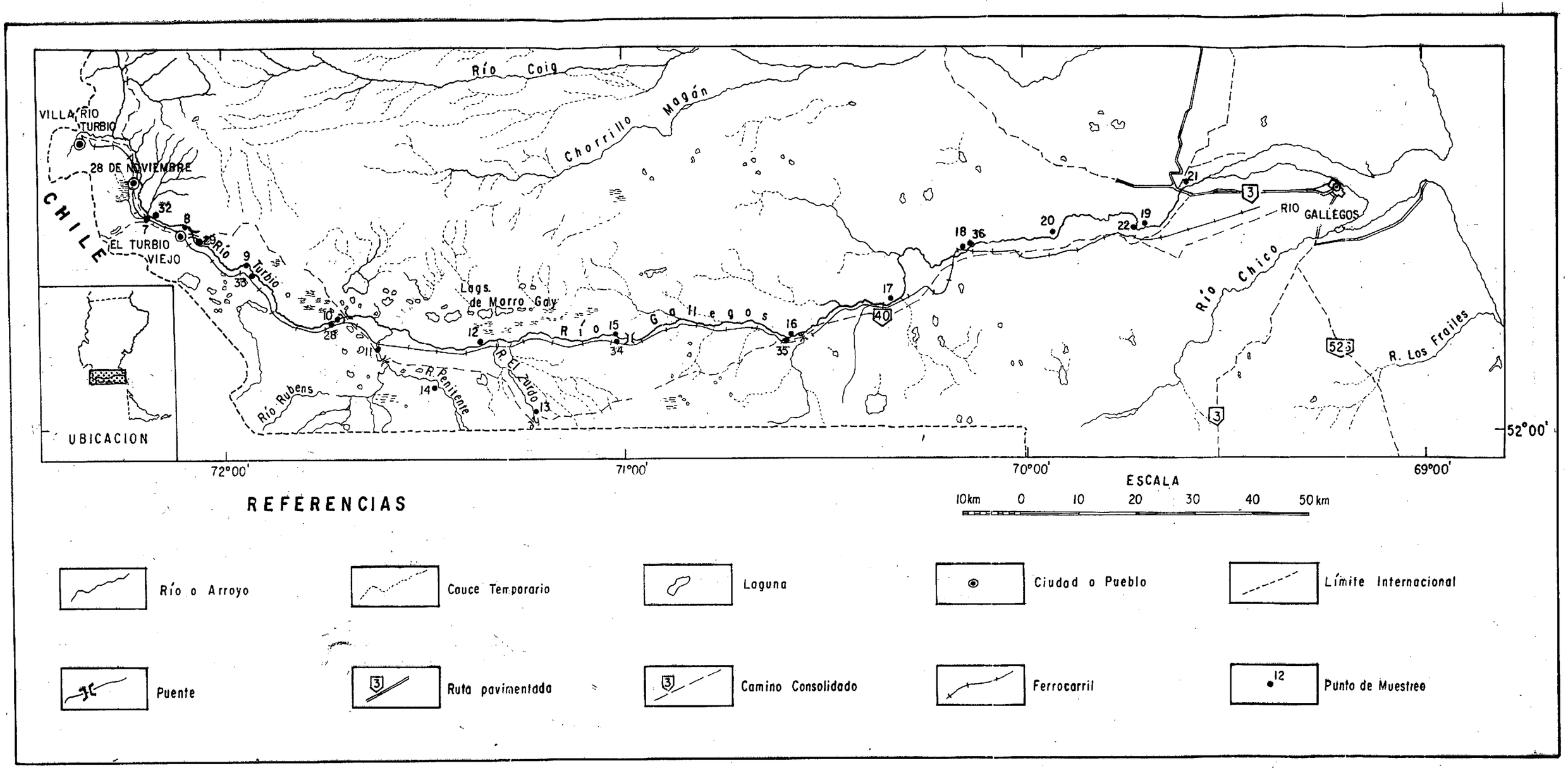
La unión de los arroyos San José, Santa Flavia y Primavera conforman el río Turbio que desemboca en el río Gallegos a los 45º 50´ de latitud sur y 72º 10´ de longitud oeste. No es muy caudaloso, sólo en la época de deshielo aumenta significativamente su caudal, gracias al aporte de cauces temporarios. El río Gallegos nace en la confluencia de los ríos Penitente y Rubens. Estos, en época de deshielo, son de gran caudal y llevan una cantidad considerable de sólidos en suspensión. Otro aporte, de menor importancia, son el arroyo el Zurdo y un número importante de arroyos menores que, en su mayor parte, provienen del sur. Es curioso la cantidad de lagunas (cuencas endorreicas) situadas entre los 72º 10´ y 72º 15´ de longitud oeste, al norte del río Gallegos (lagunas de Morro Gay). La mayor parte de esas lagunas son, en realidad, salmueras que impiden que los arroyos provenientes del norte desemboquen en el río. Finalmente, el río Gallegos, confluye con el río Chico antes de su desembocadura en el mar.

OBJETIVOS FIJADOS EN EL PLAN DE INVESTIGACION PROPUESTO

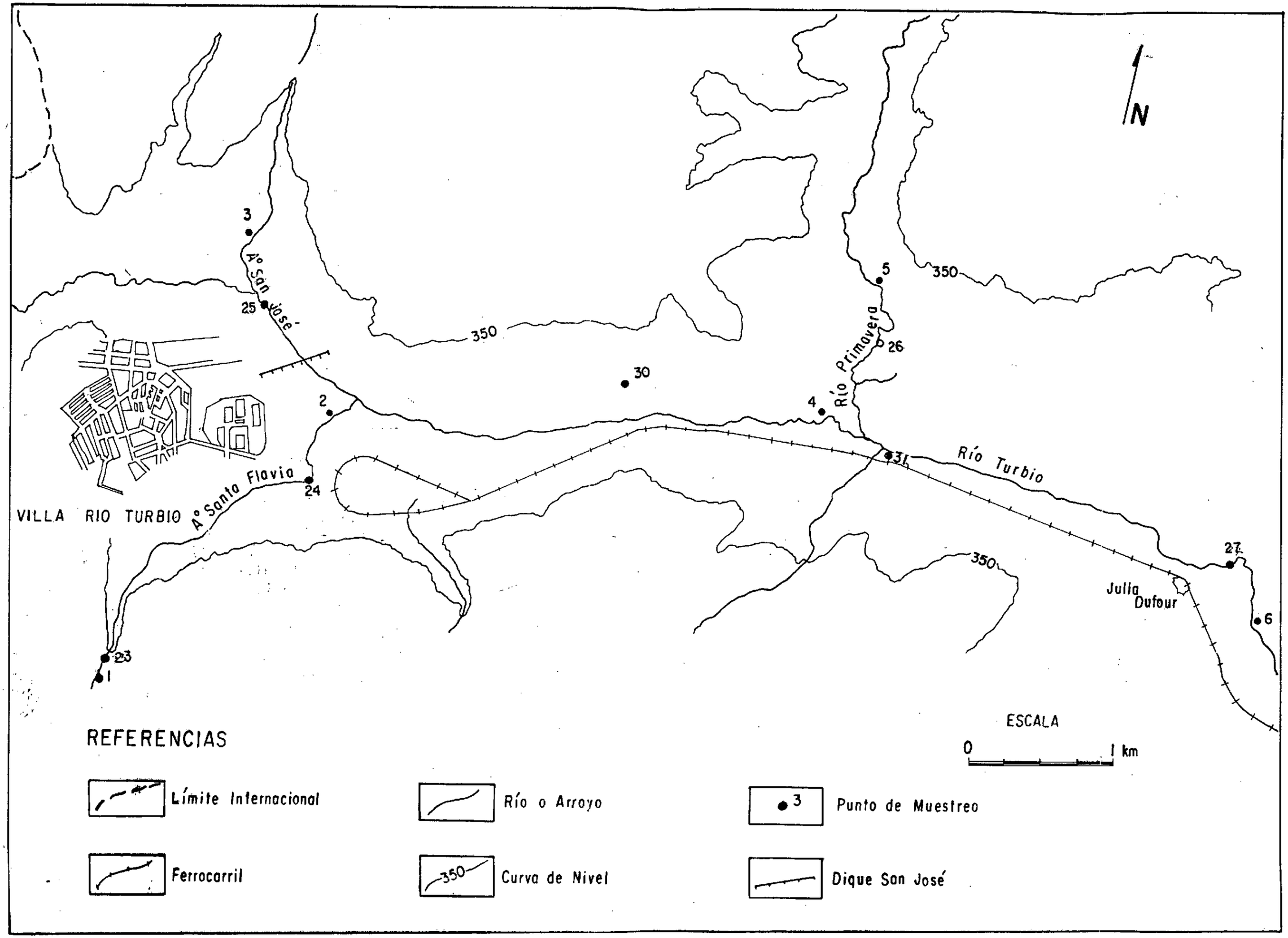
Se han cumplido con la totalidad de los objetivos previstos en el plan de trabajo, los que se detallan a continuación.

Primera etapa:

- Muestreo sistemático y determinaciones in situ de: temperatura, pH oxígeno disuelto (OD), turbidez y conductancia específica.
- Muestreo especial para la determinación de oligoelementos.
- Muestreo y estabilización in-situ para la determinación de sulfuro.
- Determinaciones en laboratorio de campaña: potencial redox (Eh), alcalimetría (bicarbonato, carbonato, dióxido de carbono) y sulfuro.



Mapa N° I CUENCA DEL RIO TURBIO-GALLEGOS: UBICACION E HIDROGRAFIA



Mapa N° 2 TRAMO SUPERIOR DE LA CUENCA DEL RIO TURBIO

- Determinaciones en laboratorio central (Buenos Aires): residuo seco (105 ºC y 180 º C), metales alcalinos (litio, sodio, potasio), alcalinotérreos (calcio, magnesio), cloruro, sulfato, y demanda química de oxígeno (D.Q.O.).
- Análisis de la información obtenida: composición aniónico-catiónica. Diagramas de composición. Correlaciones y rectas de regresión.
- Confección de un mapa de distribución geográfica del anión y del catión dominantes.

Segunda etapa:

- Muestreo sistemático y determinaciones in situ de: temperatura, pH oxígeno disuelto (OD), turbidez y conductancia específica.
- Muestreo especial para la determinación de oligoelementos.
- Muestreo y estabilización in-situ para la determinación de sulfuro.
- Determinaciones en laboratorio de campaña: potencial redox (Eh), alcalimetría (bicarbonato, carbonato, dióxido de carbono) y sulfuro.
- Determinaciones en laboratorio central (Buenos Aires): residuo seco (105 ºC y 180 º C), metales alcalinos (litio, sodio, potasio), alcalinostérreos (calcio, magnesio), cloruro, sulfato y demanda química de oxígeno (D.Q.O.).
- Análisis de la información obtenida: composición aniónico-catiónica. Diagramas de composición.
- Determinación de hierro, cobre, cadmio, cinc, plomo, cobalto, aluminio, antimonio y mercurio.

METODOLOGIA UTILIZADA

La toma de muestra, las mediciones de los parámetros fisicoquímicos in situ y la metodología utilizada en las determinaciones en el laboratorio de campaña y en el laboratorio central, se realizaron de acuerdo con los procedimientos indicados por el U.S. Geological Survery (BROWN et al.,1970; WOOD, 1976). Es importante

destacar el hecho de que en la época de muestreo de la primera etapa, ya había dado comienzo el proceso de deshielo en el ambiente cordillerano, el cual aumenta notablemente el caudal de los ríos y arroyos tributarios y, consecuentemente, disminuye la proporción de los sólidos disueltos en el medio acuoso. Por esa razón, en el operativo de toma de muestras, especialmente en el tramo superior de la cuenca, se tuvo en cuenta lo propuesto por SMITH et al.(1973) en cuanto al volumen de agua recogido y la ubicación de cada muestra, ya que la mayor o menor homogeneidad de las aguas de un rio, sobre una sección transversal, está determinada por factores físicos tales como la turbulencia y la distancia a grandes afluentes y el caudal aportado por cada uno.

En laboratorio de campaña se procedió al filtrado de las muestras por membranas de acetato de celulosa de poros controlados (tamaño de poro : 0,45 micrones) empleando vacío en un equipo de filtrado SARTORIUS. El fraccionamiento de las muestras se realizó en envases de polietileno previamente descontaminados. Para la fracción destinada a la determinación de oligoelementos, los envases fueron descontaminados con HNO_3 y enjuagados con agua bidestilada. Para el proceso de acidificación se emplearon reactivos ultra puros (calidad RPE, Erbatron de CARLO ERBA).

En las mediciones de los parámetros fisicoquímicos in situ se utilizó un medidor digital multiparámetros HORIBA (modelo U-7). Las determinaciones por medio de electrodos específicos se realizaron con un medidor de actividad iónica ORION (mod. 901). En cuanto a las determinaciones espectrofotométricas se empleó un espectrofotómetro CARL ZEISS, modelo PMQ-3. La espectrofotometría de emisión en llama se realizó en un equipo CARL ZEISS (modelo FMD-3) con un quemador de titanio de flujo laminar, empleando la combinación acetileno-aire.

El cuadro I sintetiza los procedimientos utilizados para cada una de las determinaciones. Consecuentemente, los resultados

C U A D R O I

M E T O D O L O G I A A N A L I T I C A

Constituyente	Técnica utilizada
Sodio (Na^+)	Espectrometría de emisión en llama (λ = 589,0 nm)
Potasio (K^+)	Espectrometría de emisión en llama (λ = 766,5 nm)
Calcio (Ca^{2+})	Complejometría con EDTA (indic. HHSNN)
Magnesio (Mg^{2+})	Complejometría con EDTA (indic. erio-T)
Bicarbonato (HCO_3^-)	Volumetría con H_2SO_4
Sulfato (SO_4^{2-})	Turbidimetría sin empleo de aditivos (λ = 480,0 nm)
Cloruro (CL^-)	Medición de actividad iónica (electrodo específico)
Sulfuro (S^{2-})	Iodometría
Anhídrido carbónico (CO_2)	Por cálculo
Dureza (como $CaCO_3$)	Por cálculo
Sílice (SiO_2)	Espectrometría de absorción molecular (λ = 812,0 nm)
Nitrato (NO_3^-) y Nitrito (NO_2^-)	Medición de actividad iónica (electrodos específico)
Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)	Volumetría
Oxígeno disuelto (O.D.)	Electrodo específico
Flúor (F^-)	Medición de Actividad Iónica
Oligoelementos	Espectrometría de absorción atómica

respectivos se consignan en los cuadros II y siguientes. Es importante destacar que la mayor parte de los oligoelementos se encuentran por debajo del límite de detección. Para asegurar que no existe la posibilidad de otro contaminante **se añadieron las determinaciones de cromo y níquel no propuestas en el plan de trabajo original.**

COMPOSICION IONICA

El cuadro II muestra los contenidos mínimo, máximo, medio y las desviaciones estándar para cada uno de los constituyentes, en época de deshielo (octubre de 1992) determinados en las aguas superficiales. Es importante destacar que las aguas superficiales son de baja concentración salina; el contenido medio de sólidos totales disueltos (STD) es de 98,7 mg/l. Las muestras correspondientes a aguas subterráneas, por el contrario, poseen una mayor cantidad de sólidos disueltos (contenido medio de STD = 405,03 mg/l). El cuadro III muestra los contenidos mínimos, máximos, medio y las desviaciones estándar para cada uno de los constituyentes en marzo de 1993. No obstante el aumento de contenido salino en las aguas superficiales (contenido medio de STD para marzo 319,82) todas las muestras analizadas pertenecen al tipo **no salino** de acuerdo con los límites establecidos por el U.S. Geological Survey (HEM, 1985).

Sobre la base de los análisis químicos de los cuadros IV y V se obtuvieron los valores correspondientes a miliequivalentes por litro (cuadros VI y VII) y miliequivalentes por ciento (cuadro VIII y IX). La representación gráfica de la composición aniónico-catiónica de las aguas superficiales y subterráneas se efectuó en los diagramas de Piper para los dos períodos de muestreo (figs.1 y 2).

Algunos detalles más sobre la composición aniónica y catiónica pueden observase en las ampliaciones de los triángulos de las figuras 3 y 4, respectivamente. La fig.3 muestra, para las aguas de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos que, en época de deshielo,

C U A D R O I I

Aguas de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos (octubre de 1992)

Constituyente	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Des. St.
T (^0C)	1.0	11.0	7.10	2.85
pH	6.3	7.9	7.02	0.45
$D.Q.O.$	4.17	15.1	8.04	2.68
$O.D.$	6.5	8.5	7.54	0.61
$Conduc.especif.$	10.0	780.0	218.05	231.97
$Res.seco$ (105^0C)	51.8	248.60	95.78	42.30
$Res.seco$ (180^0C)	50.6	246.4	93.01	42.11
$Turbidez$	0.02	999.0	105.95	228.73
$Eh_{(NHE)}$	386.9	406.4	392.63	4.82
SiO_2	5.24	8.82	6.84	1.02
Na^+	4.43	58.1	12.41	12.88
K^+	0.41	8.82	1.25	1.82
Mg^{2+}	0.53	9.67	1.89	1.88
Ca^{2+}	4.49	39.5	11.95	7.63
HCO_3^-	13.1	173.7	74.48	37.97
SO_4^{2-}	0.29	76.4	4.35	16.53
Cl^-	3.5	23.3	6.21	3.93
S^{2-}	0.09	6.05	0.49	1.26
NO_3^-	0.76	19.0	5.89	4.89
NO_2^-	1	78	8.26	16.85
$S.T.D.$	35.65	310.9	98.7	74.15
$Dureza(CaCO_3)$	13.39	138.45	37.48	26.53
CO_2	1.0	34.76	8.92	9.26
F^-	6	107	36.95	30.9

Eh en mv, conduct. espec. en micro mho/cm, nitrito y flúor en ug/l, el resto de los constituyentes en mg/l

C U A D R O I I I

Aguas de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos (marzo de 1993)

Constituyente	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Des. St.
T (^0C)	2.9	15.4	7.14	3.30
pH	6.0	8.7	7.69	0.92
$D.Q.O.$	2.50	13.40	7.49	3.12
$O.D.$	7.50	10.70	9.42	1.07
Conduc. especif.	52.9	1105.9	260.93	282.07
Res. seco (105^0C)	56.40	1391.0	262.27	337.64
Res. seco (180^0C)	51.10	1248.0	136.95	304.16
Turbidez	10.0	450.0	77.75	112.39
$Eh_{(NHE)}$	436.0	674.0	488.47	67.00
SiO_2	8.28	16.70	13.31	1.94
Na^+	3.34	342.8	56.40	97.91
K^+	0.25	2.64	1.16	0.66
Mg^{2+}	0.77	5.42	2.76	1.50
Ca^{2+}	7.02	63.60	25.18	14.58
HCO_3^-	27.30	408.90	134.37	112.39
SO_4^{2-}	0.10	446.0	65.21	120.48
Cl^-	3.39	103.4	15.31	24.36
S^{2-}	0.05	8.07	1.04	2.04
NO_3^-	2.29	11.3	5.08	2.23
NO_2^-	1	209	22.8	59.76
$S.T.D.$	62.19	1363.49	319.83	358.61
Dureza ($CaCO_3$)	24.11	161.99	74.22	38.50
CO_2	3.59	15.60	9.30	3.91
F^-	3	4840	481.9	1189.10

Eh en mv. conduct. espec. en micro mho/cm. nitrito y flúor en ug/l, el resto de los constituyentes en mg/l

CUADRO IV. CARACTERISTICAS FISICAS Y COMPOSICION QUIMICA (octubre 1992)

Aguas superficiales de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos

Muestra	T (°C)	pH in situ	O.D.	D.Q.O.	Conduc. Especif.	Res.seco 105 °C	Res.seco 180 °C	Turbidez	Eh* mv	Eh(NHE) mv	SiO2
01	1.0	6.6	7.5	13.80	110	79.8	73.2	0.02	148.9	392.3	5.71
02	2.7	6.9	8.5	5.99	220	117.8	108.0	0.09	162.4	406.4	6.23
03	3.0	7.2	8.2	11.50	197	100.0	96.5	2.63	150.2	394.2	7.23
04	4.5	7.9	6.5	15.10	135	181.4	179.2	999	145.0	389.0	5.24
05	4.2	7.1	7.8	6.19	105	77.4	75.8	0.11	147.0	390.7	8.24
06	4.5	7.7	7.5	4.17	500	82.4	79.6	470	143.2	386.9	7.23
07	6.0	7.1	7	5.31	540	78.2	76.4	46	145.3	389.2	7.98
08	6.3	7.1	6.6	6.64	470	65.2	64.2	180	145.6	390.2	7.81
09	10.0	6.5	7.5	7.89	780	108.2	105.6	270	141.7	386.9	7.42
10	10.4	6.5	7.5	5.75	720	84.8	81.8	66	143.5	388.1	7.83
11	8.8	6.6	7.7	9.92	90	65.4	63.6	11	148.4	393.0	5.52
12	9.1	6.7	6.7	10.10	60	85.8	83.1	18	146.7	391.8	6.46
13	11.0	7.9	8.2	5.46	270	248.6	246.4	22	142.5	388.7	5.71
14	5.5	7.0	8.2	6.76	60	51.8	50.6	2	157.0	403.1	8.45
15	7.5	6.8	8.5	8.79	10	86.0	84.2	25	150.8	397.3	6.55
16	7.8	7.2	6.8	7.84	20	88.6	85.8	22	147.3	393.8	6.12
17	8.4	7.5	7.0	7.78	20	83.4	81.6	21	148.5	395.0	8.82
18	8.9	7.5	7.2	8.16	21	77.2	75.4	22	146.3	392.4	5.78
19	9.8	6.3	7.4	7.21	80	80.6	78.2	16	146.9	393.1	6.44
20	9.4	6.5	7.8	7.24	81	85.8	83.6	17	148.4	394.6	6.59
21	10.4	7.1	8.3	7.33	90	83.0	80.6	15	141.4	388.6	6.35

Aguas subterráneas de perforaciones

Muestra	T (°C)	pH in situ	O.D.	Q.O.D	Conduc. Especif.	Res.seco 105 °C	Res.seco 180 °C	Turbidez	E* mv	E(NHE) mv	SiO2
Pa1	12.6	8.2	7.4	0.97	347	427.0	402.0	2	307.2	-61.1	28.20
P38	13.6	8.4	4.6	0.52	4320	411.8	378.8	1	-291.4	-45.2	27.00
P16	11.9	8.7	7.2	0.71	5040	492.0	459.6	1.5	-267.4	-20.9	27.40
P07	11.1	8.7	5.3	0.81	4290	921.6	391.6	1	-313.5	-67.5	29.50
P01	11.4	8.5	4.3	0.59	4520	356.2	328.4	1	-245.5	1.7	29.30

Conduc. especif. en umho/cm. Eh en mv. NO2 = ug/l. el resto de los constituyentes incluida la dureza (como CaCO3) en mg/l. - = no detectado.

CUADRO IV. (Continuación)

Aguas superficiales de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos

Muestra	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	CO3=	HCO3-	SO4=	CL-	S=	NO3-
01	6.81	0.46	1.46	8.58	-	28.9	0.46	4.69	0.16	7.50
02	12.20	8.82	3.06	18.40	-	67.0	0.38	7.06	0.12	13.00
03	9.81	0.41	2.14	14.50	-	51.4	0.79	4.97	0.14	8.70
04	58.10	1.30	1.07	16.30	-	115.0	76.40	7.68	6.05	19.00
05	7.30	0.55	2.04	10.30	-	43.4	0.37	3.50	0.16	7.61
06	16.00	0.83	1.90	13.30	-	60.9	0.67	4.80	1.00	7.70
07	11.80	0.83	2.14	15.40	-	60.2	0.62	4.97	0.09	9.73
08	11.60	0.85	1.99	15.20	-	56.8	0.42	5.99	0.11	5.08
09	18.90	0.79	2.92	17.20	-	68.7	4.35	4.92	0.25	4.17
10	14.60	0.87	2.38	17.10	-	65.5	0.29	4.87	0.11	7.37
11	4.43	0.68	0.53	4.49	-	13.1	0.75	4.52	0.28	1.63
12	5.43	0.63	1.22	5.61	-	22.1	0.75	4.92	0.28	2.30
13	40.10	3.71	9.67	39.50	-	173.7	0.50	23.30	0.09	14.80
14	4.73	0.73	1.02	5.61	-	17.7	0.66	4.97	0.09	2.60
15	5.61	0.63	1.02	6.41	-	20.1	0.54	5.14	0.19	2.24
16	5.56	0.60	0.87	6.81	-	21.4	0.54	4.80	0.19	2.48
17	5.58	0.59	0.78	6.97	-	20.9	0.42	5.25	0.18	2.40
18	5.16	0.68	0.78	6.57	-	18.9	0.46	5.54	0.19	1.87
19	5.49	0.77	0.87	7.29	-	23.8	0.38	5.71	0.20	1.65
20	5.41	0.75	0.97	7.94	-	23.3	0.75	5.99	0.22	0.76
21	6.00	0.77	0.92	7.45	-	24.3	0.92	6.78	0.20	1.01

Aguas subterráneas de perforaciones

Muestra	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	CO3=	HCO3-	SO4=	CL-	S=	NO3-
Pa1	159.7	3.14	0.49	2.48	9.55	90.3	12.00	102.8	1.46	2.25
P38	151.1	3.08	0.53	2.89	13.4	93.2	0.13	94.9	0.44	7.80
P16	177.7	3.62	0.73	2.32	13.8	89.5	0.29	123.2	0.78	9.32
P07	151.8	3.21	0.49	1.84	7.64	88.3	17.20	102.3	3.28	7.92
P01	134.5	4.48	0.34	3.29	-	110.2	1.32	71.8	0.42	6.90

Conduc. especif. en umho/cm. Eh en mv. NO2 = ug/l. el resto de los constituyentes incluída la dureza (como CaCO3) en mg/l. - = no detectado.

CUADRO IV. (Continuación

Aguas superficiales

Muestra	NO2-	TDS	Dureza	CO2
01	2	64.57	27.44	11.61
02	78	136.15	58.55	13.49
03	3	99.95	45.02	5.81
04	1	300.09	45.11	2.60
05	2	83.31	34.12	6.19
06	2	113.33	41.03	2.18
07	-	113.67	47.27	7.65
08	-	105.74	46.15	8.10
09	5	129.37	54.97	34.76
10	2	120.81	52.50	33.14
11	2	35.65	13.39	5.26
12	2	49.42	19.03	7.06
13	2	310.99	138.45	3.50
14	1	46.47	18.21	2.83
15	7	48.24	20.21	5.09
16	9	49.18	20.59	2.16
17	6	51.71	20.62	1.06
18	17	45.74	19.62	1.00
19	7	52.4	21.79	19.08
20	5	52.46	23.82	11.79
21	4	54.5	22.39	3.09

Aguas subterráneas

Muestra	NO2-	TDS	Dureza	CO2
Pa1	9	410.91	8.21	0.91
P38	8	394.03	9.40	0.59
P16	7	447.88	8.80	0.28
P07	12	410.2	6.61	0.28
P01	18	362.13	9.62	0.56

Conduc. especif. en umho/cm. Eh en mv. NO2 = ug/l. el resto de los constituventes incluída la dureza (como CaCO3) en mg/l. - = no detectado.

CUADRO V. CARACTERISTICAS FISICAS Y COMPOSICION QUIMICA
(marzo 1993)

Aguas superficiales de la cuenca del río Turbio y Gallegos

Muestra	T (°C)	pH in situ	O.D.	D.Q.O.	Conduc. Especif.	Res.seco 105 °C	Res.seco 180 °C	Turbidez	Eh* mv	Eh(NHE) mv	SiO2
22	9.3	8.2	9.7	7.01	120.0	96.2	83.4	37	205.2	450	14.2
23	4.3	8.1	10.7	10.90	92.9	90.6	79.1	19	247.8	495	13.5
24	6.9	8.0	9.7	13.40	323.5	255.7	233.8	35	225.2	472	11.2
25	6.4	8.3	10.3	6.65	171.8	145.7	139.0	18	229.6	476	14.9
26	9.3	8.7	8.9	5.15	104.7	83.4	78.7	15	226.6	474	16.7
27	10.1	8.7	10.6	4.00	261.2	217.1	190.2	f.e.	225.5	473	12.9
28	7.4	8.3	10.7	2.53	158.8	165.4	141.9	50	220.4	468	13.7
29	6.4	8.4	10.3	4.94	218.8	182.5	162.7	20	265.4	513	13.3
30	11.3	8.3	7.5	2.50	764.7	705.8	648.6	79	375.6	624	8.3
31	15.4	8.1	9.6	9.22	1105.9	1391.0	1248.0	450	426.7	674	11.1
32	2.9	7.0	8.3	7.20	203.5	170.3	160.8	80	203.1	451	15.2
33	3.8	6.4	7.5	10.60	214.1	210.7	190.6	223	195.5	443	15.1
34	5.2	6.0	9.9	10.10	52.9	81.8	74.5	60	192.6	441	13.3
35	4.6	6.5	9.5	9.50	55.3	56.4	51.1	10	188.6	437	13.0
36	3.8	6.3	8.1	8.72	65.9	81.4	71.8	60	188.3	436	13.3

Conduc. especif. en umho/cm. Eh en mv. NO2 en ug/l. el resto de los constituyentes incluida la dureza (como CaCO3) en mg/l. - = no detectado.

CUADRO V. (Continuación)

Aguas superficiales de la cuenca del río Turbio y Gallegos

Muestra	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	CO3=	HCO3-	SO4=	CL-	S=	NO3-
22	8.36	1.15	3.43	12.90	-	60.5	0.53	9.24	0.12	3.63
23	5.12	0.25	2.76	17.50	-	68.1	0.35	4.58	0.14	2.83
24	22.70	2.09	5.42	42.80	-	168.6	27.00	13.00	0.20	11.30
25	7.51	0.44	3.92	26.20	-	99.6	0.26	5.95	0.05	5.10
26	6.79	0.69	3.00	15.60	-	71.2	0.10	3.39	0.14	3.20
27	64.80	0.90	1.21	17.40	-	141.8	62.80	9.15	2.89	5.98
28	33.50	1.39	4.69	30.80	-	143.5	40.30	9.59	2.11	4.93
29	28.60	1.25	3.82	31.70	-	125.2	49.00	9.26	0.31	5.65
30	255.70	2.64	0.82	32.00	-	408.9	265.20	30.50	8.07	6.65
31	342.80	2.22	0.77	63.60	-	388.4	446.00	103.40	0.23	4.97
32	32.00	1.20	3.77	28.60	-	115.9	48.90	8.13	0.22	6.94
33	26.50	1.16	4.06	33.10	-	134.2	34.30	8.33	0.25	6.50
34	3.63	0.65	1.60	7.02	-	27.3	1.59	4.52	0.29	2.29
35	3.34	0.62	1.06	8.22	-	27.8	1.06	4.49	0.22	2.58
36	4.72	0.80	1.02	10.20	-	34.6	0.79	6.18	0.31	3.60

Muestra	NO2-	TDS	Dureza	CO2
22	16	114.06	46.33	3.85
23	14	115.13	55.06	10.90
24	209	304.31	129.20	15.16
25	15	163.93	81.57	7.98
26	< 1	120.81	51.31	6.40
27	76	319.83	48.43	3.59
28	12	284.51	96.22	9.14
29	133	268.09	94.89	5.63
30	57	1018.76	83.28	4.63
31	39	1363.49	161.99	8.77
32	60	260.86	86.94	10.42
33	50	263.5	99.37	10.76
34	13	62.19	24.11	15.49
35	9	62.39	24.89	11.17
36	21	75.52	29.67	15.60

Conduc. especif. en umho/cm. Eh en mv. NO2 en ug/l. el resto de los constituyentes incluida la dureza (como CaCO3) en mg/l. - = no detectado.

CUADRO V a. Determinación de Oligoelemntos

Aguas superficiales de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos

Muestra	F-	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb	Co	Al	Hg	Sb	Cr	Ni
01	22	0.90	0.87	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	1.0 ± 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
02	36	1.00	0.81	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	1.9 ± 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
03	44	< 0.4	0.47	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	1.5 ± 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
04	106	< 0.4	0.44	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	1.9 ± 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
05	43	< 0.4	0.12	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	1.0 ± 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
06	60	< 0.4	0.38	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
07	57	< 0.4	0.15	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
08	56	< 0.4	0.14	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
09	67	< 0.4	0.40	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
10	67	< 0.4	0.09	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
11	8	0.59	0.40	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
12	6	0.63	0.56	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
13	107	< 0.4	0.11	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
14	9	0.5	0.51	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
15	8	0.4	0.42	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
16	26	0.8	0.84	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
17	19	< 0.4	0.81	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
18	9	0.46	0.48	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
19	8	< 0.4	0.11	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
20	9	< 0.4	0.18	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
21	9	< 0.4	0.12	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	1.1 ± 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
22	39	< 0.4	0.16	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
23	28	< 0.4	0.25	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
24	58	< 0.4	0.21	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
25	46	< 0.4	0.81	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
26	29	< 0.4	0.47	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
27	91	< 0.4	0.11	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
28	69	< 0.4	0.15	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
29	103	< 0.4	0.58	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
30	550	< 0.4	0.36	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
31	4840	< 0.4	0.17	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
32	217	< 0.4	0.45	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
33	165	< 0.4	0.45	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
34	30	< 0.4	0.39	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
35	7	< 0.4	0.16	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
36	3	< 0.4	0.14	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25

Aguas subterráneas

Muestra	F-	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb	Co	Al	Hg	Sb	Cr	Ni
Pa1	1210	< 0.4	0.08	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
P38	1350	< 0.4	0.08	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
P16	1290	< 0.4	0.08	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
P07	1380	< 0.4	0.08	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25
P01	348	< 0.4	0.08	< 0.5	< 0.2	< 0.75	< 0.5	< 0.3	< 0.5	< 4	< 0.5	< 0.25

Flúor en ug/l, Hg en ng/ml, el resto de los oligoelementos en ug/ml

el HCO_3^- es siempre el anión dominante. Su composición varía entre bicarbonatadas (entre 50 y 75 meq% de HCO_3^-) y fuertemente bicarbonatadas (más de 75 meq% de HCO_3^-). La proporción de ambos tipos es de 53 % y 47 %, respectivamente. En la muestra 4, ubicada muy cerca del desagüe de la planta de tratamiento de las minas del yacimiento de Río Turbio, si bien sigue predominando el bicarbonato, se nota un incremento importante de los otros aniones, principalmente del sulfato (HCO_3^-= 51,05 meq%; SO_4^{2+}= 43,08 meq%; Cl^-= 5,87 meq%). Todas las aguas subterráneas muestreadas, provenientes de perforaciones pertenecientes al actual sistema de provisión a la ciudad de Rio Gallegos, son de tipo cloruradas (entre 50 y 75 meq% de Cl^-). Los valores extremos son 61,52 y 70,23 meq% para el cloruro; el bicarbonato varía entre 29,64 y 46,80 meq%, mientras que el sulfato varia entre 0,06 y 7,63 meq%.

El muestreo realizado en marzo de 1993 refleja que, para este período de régimen hídrico menos caudaloso, la composición aniónica de las aguas superficiales de la cuenca varía entre aguas de tipo bicarbonatadas a aguas sin anión dominante. Se observa un incremento relativo del anión sulfato; su contenido medio pasa de 3,71 meq% en octubre de 1992 a 17,60 meq% en marzo de 1993. La muestra 31 (HCO_3^-= 34,29 meq%; SO_4^{-2}= 50,02 meq%; Cl^-= 15,67 meq%) correspondiente al desagüe de mina, pertenece al tipo sulfatado (más de 50 meq% de SO_4^{-2}).

En cuanto a la composición catiónica, la fig. 3 muestra, para las aguas superficiales de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos que, en general, para los dos períodos de régimen hídrico, son de tipo cálcicas (entre 50 y 75 meq% de calcio) en un 57% de las muestras. Las intermedias (sin catión dominante) representan el 43%.

CUADRO VI. Composición en meq/l
(octubre 1992)

Aguas superficiales de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos

Muestra	Na+	K+	Ca2+	Mg2+	HCO3-	SO4=	Cl-
01	0.296	0.012	0.428	0.120	0.474	0.010	0.132
02	0.531	0.226	0.918	0.252	1.098	0.008	0.199
03	0.427	0.010	0.724	0.176	0.842	0.016	0.140
04	2.527	0.033	0.813	0.088	1.885	1.591	0.217
05	0.318	0.014	0.514	0.168	0.711	0.008	0.099
06	0.696	0.021	0.664	0.156	0.998	0.014	0.135
07	0.513	0.021	0.768	0.176	0.987	0.013	0.140
08	0.505	0.022	0.758	0.164	0.931	0.009	0.169
09	0.822	0.020	0.858	0.240	1.126	0.000	0.139
10	0.635	0.022	0.853	0.196	1.074	0.006	0.137
11	0.193	0.017	0.224	0.044	0.215	0.016	0.128
12	0.236	0.016	0.280	0.100	0.362	0.016	0.139
13	1.744	0.095	1.971	0.796	2.847	0.010	0.657
14	0.206	0.019	0.280	0.084	0.290	0.014	0.140
15	0.244	0.016	0.320	0.084	0.329	0.011	0.145
16	0.242	0.015	0.340	0.072	0.351	0.011	0.135
17	0.243	0.015	0.348	0.064	0.343	0.009	0.148
18	0.224	0.017	0.328	0.064	0.310	0.010	0.156
19	0.239	0.020	0.364	0.072	0.390	0.008	0.161
20	0.235	0.019	0.396	0.080	0.382	0.016	0.169
21	0.261	0.020	0.372	0.076	0.398	0.019	0.191

Aguas subterráneas de perforaciones

Muestra	Na+	K+	Ca2+	Mg2+	HCO3-	SO4=	Cl-
Pa1	6.947	0.080	0.124	0.040	1.480	0.250	2.900
P38	6.573	0.079	0.144	0.044	1.528	0.003	2.677
P16	7.730	0.093	0.116	0.060	1.467	0.006	3.475
P07	6.603	0.082	0.092	0.040	1.447	0.358	2.886
P01	5.851	0.115	0.164	0.028	1.806	0.027	2.025

CUADRO VII. Composición en meq/l
(marzo 1993)

Aguas superficiales de la cuenca del río Turbio y Gallegos

Muestra	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	HCO3-	SO4=	CL-
22	0.363	0.029	0.282	0.643	0.990	0.011	0.260
23	0.222	0.006	0.227	0.873	1.116	0.007	0.129
24	0.987	0.053	0.446	2.135	2.763	0.562	0.366
25	0.326	0.011	0.322	1.307	1.632	0.005	0.167
26	0.295	0.017	0.246	0.778	1.166	0.002	0.095
27	2.818	0.023	0.099	0.868	2.324	1.307	0.258
28	1.457	0.035	0.385	1.536	2.351	0.839	0.270
29	1.244	0.031	0.314	1.581	2.052	1.020	0.261
30	11.120	0.067	0.067	1.596	6.700	5.521	0.860
31	14.911	0.056	0.063	3.173	6.365	9.285	2.910
32	1.392	0.030	0.310	1.427	1.899	1.018	0.229
33	1.152	0.029	0.334	1.651	2.199	0.714	0.234
34	0.157	0.016	0.131	0.350	0.447	0.033	0.127
35	0.145	0.015	0.087	0.410	0.455	0.022	0.126
36	0.205	0.020	0.083	0.508	0.567	0.016	0.174

CUADRO VIII. Composición en meq%
(octubre 1992)

Aguas superficiales de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos

Muestra	Na+	K+	Ca2+	Mg2+	HCO3-	SO4=	Cl-
01	34.60	1.37	50.00	14.03	76.95	1.56	21.49
02	27.55	11.71	47.66	13.07	84.13	0.61	15.26
03	31.92	0.78	54.12	13.17	84.32	1.65	14.03
04	73.00	0.96	23.49	2.54	51.05	43.08	5.87
05	31.33	1.39	50.71	16.56	86.98	0.94	12.07
06	45.28	1.38	43.17	10.17	86.98	1.22	11.80
07	34.70	1.44	51.95	11.91	86.57	1.13	12.30
08	34.83	1.50	52.36	11.30	83.97	0.79	15.24
09	42.36	1.04	44.22	12.38	89.03	0.00	10.97
10	37.22	1.30	50.00	11.48	88.21	0.50	11.29
11	40.33	3.64	46.90	9.13	60.00	4.36	35.63
12	37.34	2.55	44.25	15.87	70.11	3.02	26.87
13	37.87	2.06	42.79	17.28	81.00	0.30	18.70
14	34.97	3.17	47.58	14.27	65.33	3.09	31.57
15	36.76	2.43	48.18	12.64	67.83	2.31	29.85
16	36.17	2.30	50.82	10.71	70.52	2.26	27.22
17	36.24	2.25	51.93	9.58	68.59	1.75	29.66
18	35.41	2.74	51.72	10.13	65.13	2.01	32.86
19	34.42	2.84	52.43	10.32	69.77	1.42	28.81
20	32.21	2.63	54.23	10.93	67.41	2.76	29.83
21	35.84	2.70	51.05	10.40	65.43	3.15	31.42

Aguas subterráneas de perforaciones

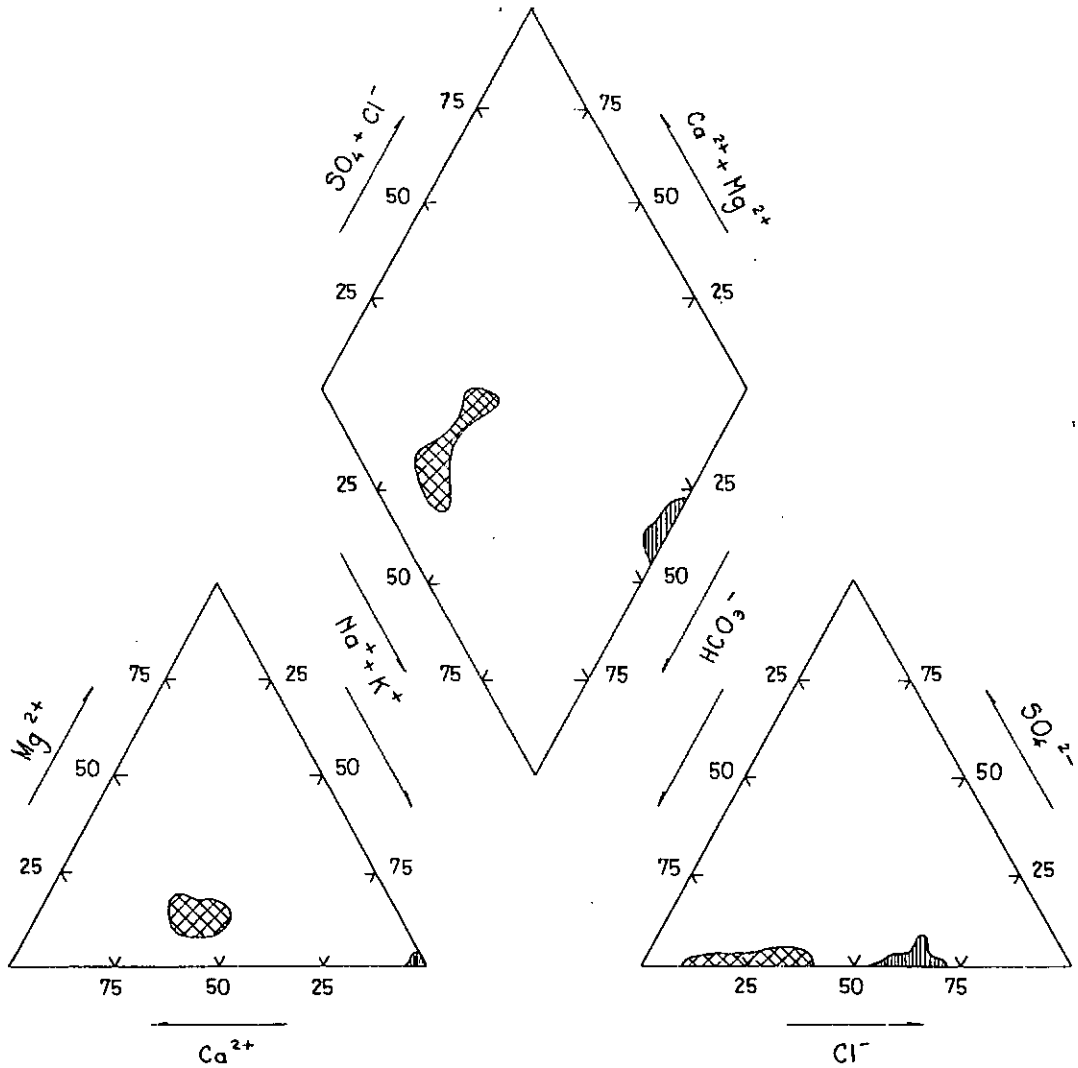
Muestra	Na+	K+	Ca2+	Mg2+	HCO3-	SO4=	Cl-
Pa1	96.60	1.12	1.72	0.56	31.97	5.40	62.64
P38	96.10	1.15	2.11	0.64	36.31	0.06	63.63
P16	96.64	1.16	1.45	0.75	29.64	0.12	70.23
P07	96.86	1.20	1.35	0.59	30.85	7.63	61.52
P01	95.02	1.86	2.67	0.45	46.80	0.71	52.49

CUADRO IX. Composición en meq%
(marzo 1993)

Aguas superficiales de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos

Muestra	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	HCO3-	SO4=	CL-
22	27.563	2.202	21.412	48.823	78.509	0.872	20.619
23	16.713	0.474	17.090	65.723	89.123	0.575	10.302
24	27.258	1.464	12.317	58.962	74.858	15.226	9.916
25	16.582	0.560	16.378	66.480	90.446	0.299	9.255
26	22.081	1.272	18.413	58.234	92.320	0.158	7.522
27	74.002	0.604	2.600	22.794	59.758	33.608	6.634
28	42.690	1.025	11.280	45.004	67.948	24.249	7.803
29	39.243	0.978	9.905	49.874	61.566	30.603	7.831
30	86.537	0.521	0.521	12.420	51.219	42.206	6.574
31	81.915	0.308	0.346	17.431	34.294	50.027	15.679
32	44.065	0.950	9.813	45.173	60.362	32.359	7.279
33	36.387	0.916	10.550	52.148	69.876	22.688	7.436
34	24.006	2.446	20.031	53.517	73.641	5.437	20.923
35	22.070	2.283	13.242	62.405	75.456	3.648	20.896
36	25.123	2.451	10.172	62.255	74.901	2.114	22.985

DIAGRAMAS DE COMPOSICION ANIONICO-CATIONICA
(octubre 1992)



Aguas superficiales

Aguas subterráneas

Figura 1

DIAGRAMAS DE COMPOSICION ANIONICO-CATIONICA
(marzo 1993)

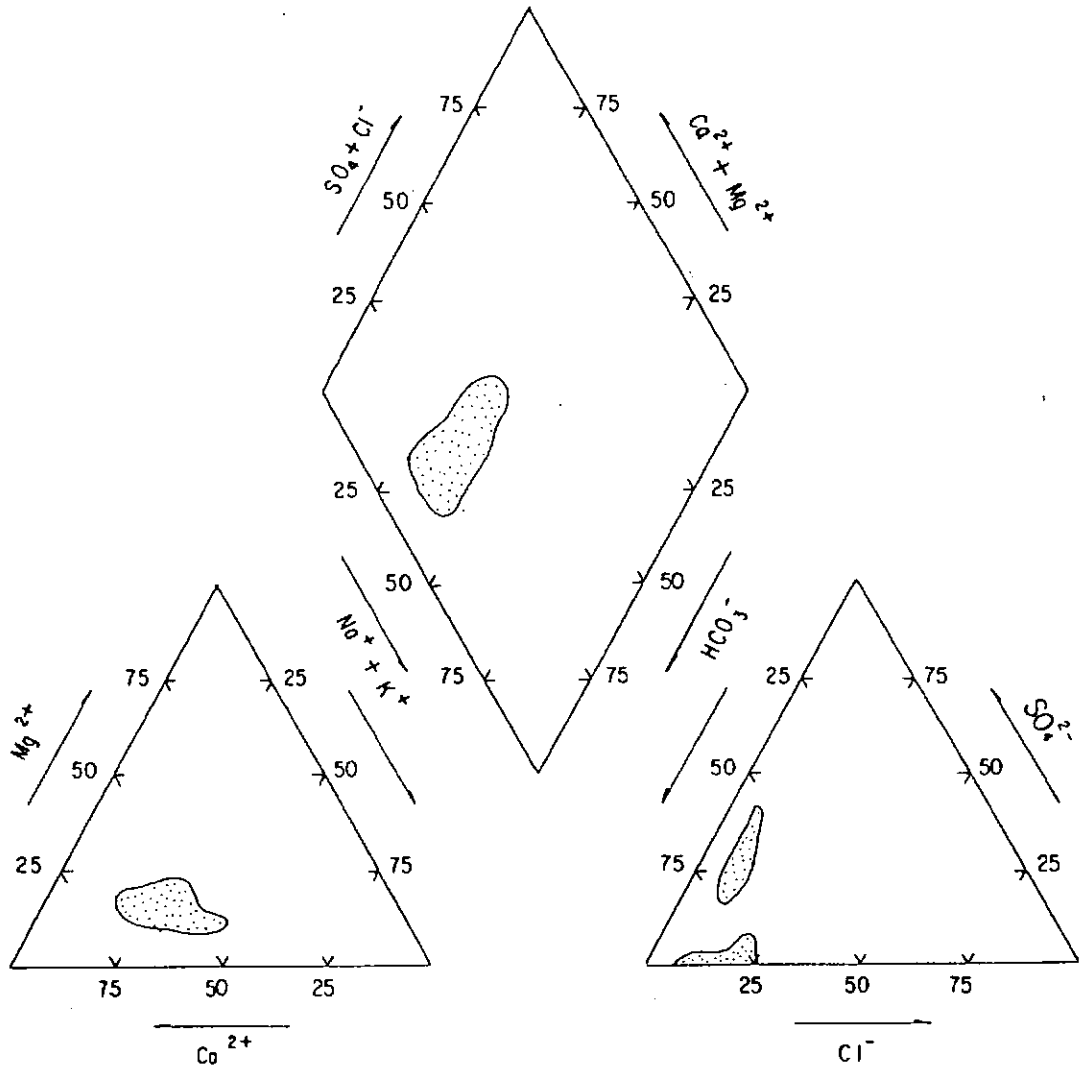


Figura 2. Aguas superficiales

DIAGRAMA DE COMPOSICION ANIONICA

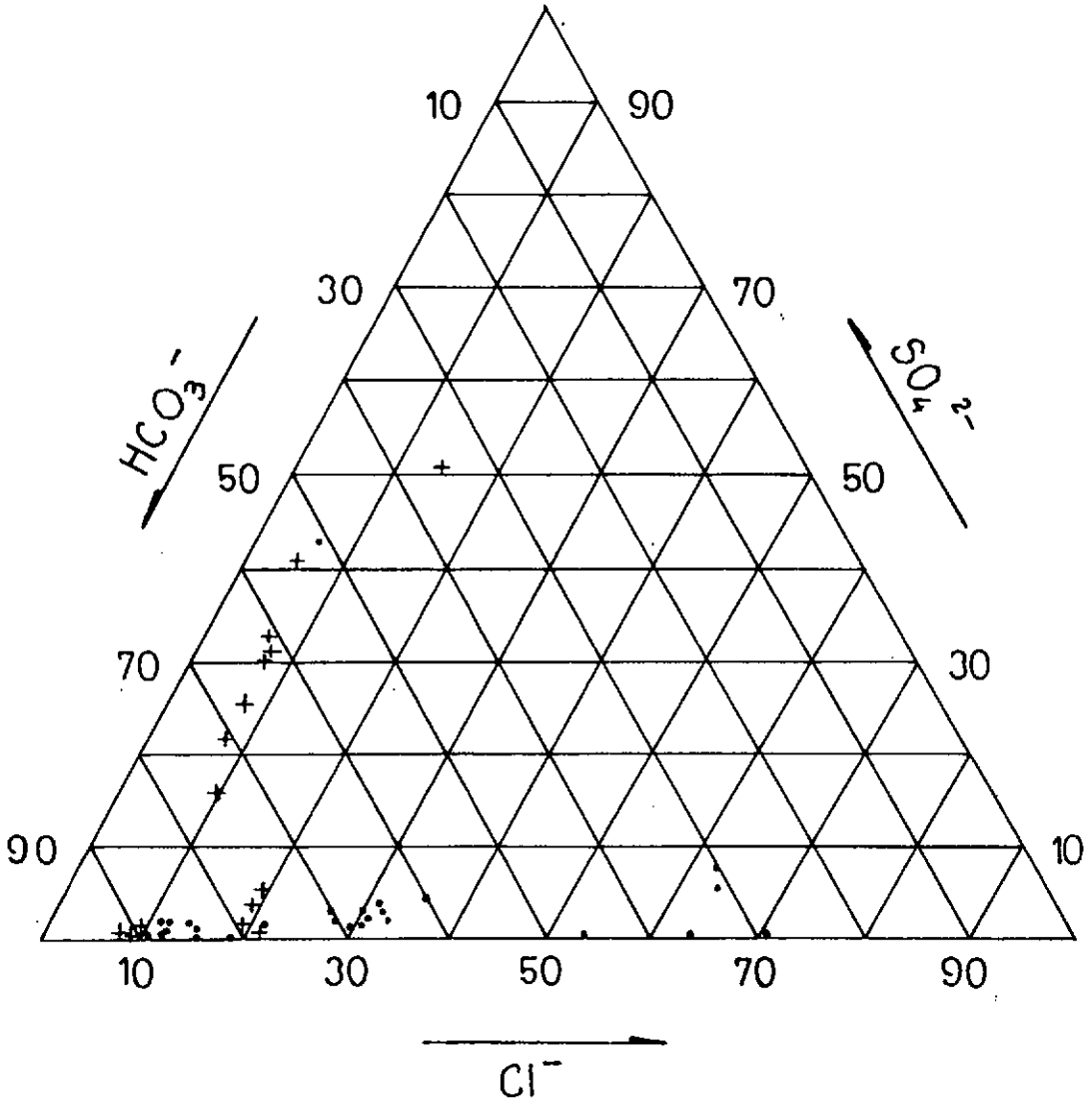


Fig. 3. • octubre 1992 + marzo 1993

DIAGRAMA DE COMPOSICION CATIONICA

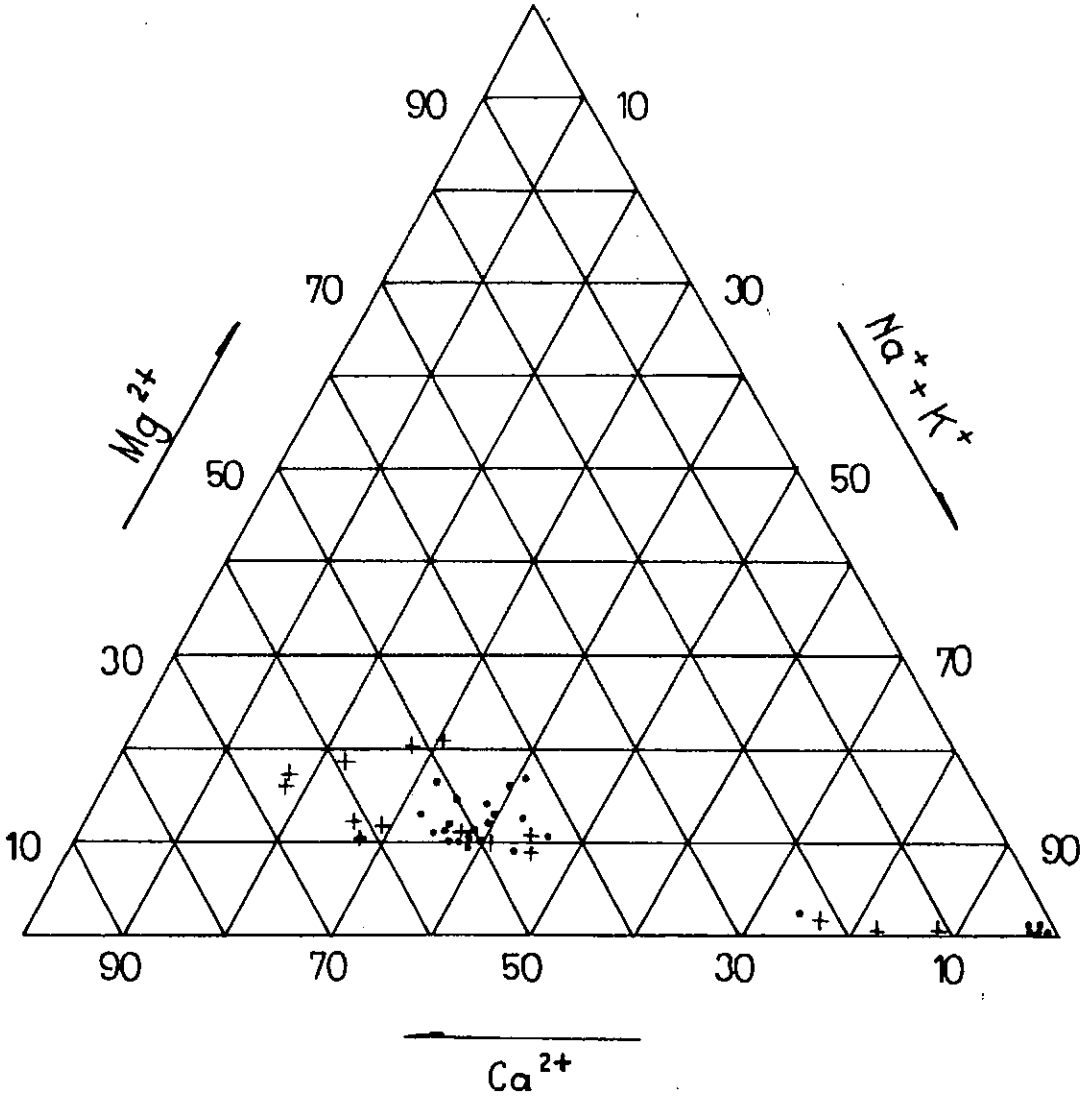


Fig. 4. • octubre 1992 + marzo 1993

Algunas excepciones son la muestra 4 (Na^+= 73,00 meq%; K^+= 0,96 meq%; Ca^{2+}= 23,49 meq%; Mg^{2+}= 2,45 meq%.) ubicada cerca del desagüe de la planta de tratamiento del yacimiento de Río Turbio, la muestra 30 (Na^+= 86,54 meq%; K^+= 0,52 meq%; Mg^{2+}= 0,52 meq%; Ca^{2+}= 12,42 meq%) perteneciente al desagüe de la planta de tratamiento y la muestra 31 (Na^+= 81,91 meq%; K^+= 0,30 meq%; Mg^{2+}= 0,34 meq%; Ca^{2+}= 17,43 meq%) perteneciente al desagüe de mina, que presentan una composición en la que los metales alcalinos son mayoritarios y el sodio es el catión dominante.

La composición catiónica de las aguas subterráneas presenta una muy limitada variabilidad: se define como fuertemente alcalina (fuertemente sódica). Las muestras siempre presentan más de 96 meq% de elementos alcalinos. El calcio varía entre 1.35 y 2.67 meq% y el magnesio entre 0.45 y 0.75 meq%.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE ACUERDO CON SU POTENCIAL REDOX

PAVLOV y SHEMYAKIN (1957) han establecido una clasificación de las aguas naturales, en 19 grupos geoquímicos, sobre la base de valores del potencial redox (Eh) y del pH. Los grupos II a VII se consideran como aguas de tipo oxidante (O), los grupos VIII a XIII como aguas de tipo transicional (M), los grupos XIV a XVIII como aguas de tipo reductor (R), los grupos I y XIX como aguas de tipo ultraoxidante (UO) y de tipo ultrareductor (UD), respectivamente. De acuerdo con los valores de Eh y de pH medidos in situ las aguas de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos son de tipo oxidante (O), grupos V y VI, y las aguas subterráneas pertenecientes al actual sistema de provisión de la ciudad de Río Gallegos son de tipo transicional (M), grupos X, XI y XII (Fig.5).

DIAGRAMA Eh-pH SEGUN PAVLOV y SHEMYAKIN (1957)

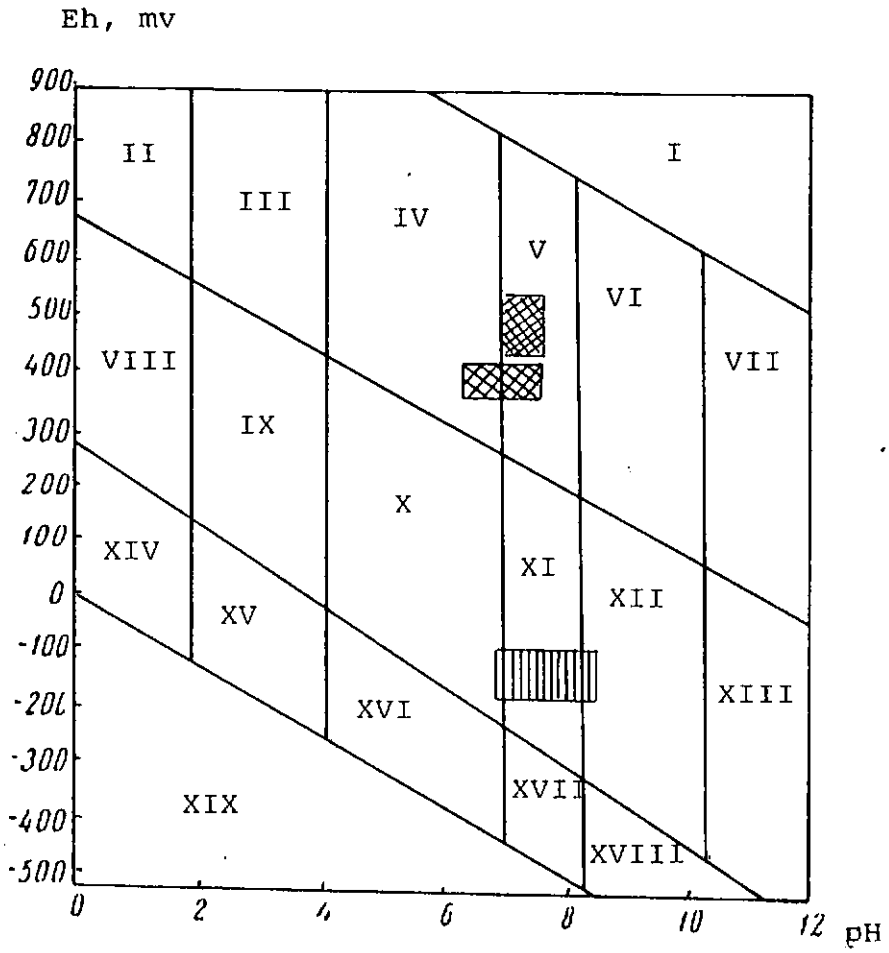


Fig. 5. Aguas superficiales Aguas subterráneas

ANALSIS MATEMATICO

CORRELACION

Para poder establecer relaciones entre las distintas variables medidas en las aguas superficiales de la cuenca del rio Turbio-Gallegos, se ha realizado un ensayo empleando la **Teoría de la Correlación** en las muestras de octubre de 1992. Con el objeto de hacer sencillo su análisis se ha elegido el modelo de correlación lineal simple, válido y comúnmente usado en geoquímica para comparar los distintos coeficientes de correlación entre pares de variables siguiendo el criterio de CRAMER (1974).

Para dos variables, X e Y, el *error típico de estimación* ($S_{Y.X}$) de la recta de regresión lineal será:

$$S_{Y.X} = \sqrt{\frac{\Sigma(Y-\overline{Y}_{est})^2}{N}}$$

y el coeficiente de correlacion estará dado por:

$$r = \pm\sqrt{\frac{\Sigma(Y_{est}-\overline{Y})^2}{\Sigma(Y-\overline{Y})^2}} = \pm\sqrt{\frac{VARIACION\ EXPLICADA}{VARIACION\ TOTAL}}$$

Si tomamos todos los objetos, con sus variables como una matriz ($X_{n.v}$) podemos obtener, a partir de ella, la matriz $R_{v.v}$ (matriz de correlación) de la siguiente forma:

$$X_{n.v.} \rightarrow Y_{n.v.} \rightarrow S_{v.v.} \rightarrow Z_{n.v.}$$

donde : $Y_{n.v}$ = matriz de desviaciones

$S_{v.v}$ = matriz de varianza-covarianza

$Z_{n.v}$ = matriz de datos tipificados

Luego:

$$R_{v.v} = \frac{Z'_{n.v} \times Z_{n.v}}{n-1}$$

Con ese procedimiento se ha calculado la matriz de correlación entre las distintas variables medidas, que se puede observar en el cuadro X. Por orden de significación, los valores obtenidos pueden clasificarse siguiendo el criterio dado por NICOLLI et al. (1985), de la siguiente manera:

- **Correlaciones extremadamente significativas** ($r > 0,95$) son las de turbidez con sulfato y con sulfuro, STD con sodio y bicarbonato, magnesio con calcio y sulfato con sulfuro.

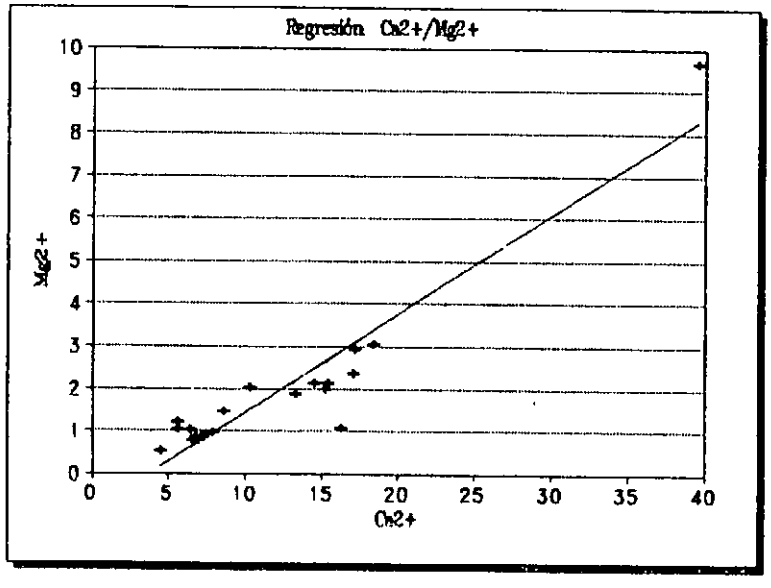
- **Correlaciones altamente significativas** ($0,95 > r > 0,90$) son las de magnesio con cloruro y calcio con bicarbonato.

- **Correlaciones muy significativas** ($0,90 > r > 0,75$) son las de sodio con turbidez, bicarbonato, sulfato, sulfuro y nitratro; magnesio con bicarbonato; calcio con cloruro, nitrato y STD; bicarbonato con cloruro y sulfuro; y nitrato con STD.

En las figuras 6 y 7 se han representado los diagramas de dispersión y las rectas de regresión correspondientes a cuatro pares de variables que presentan las correlaciones más altas. Puede observarse que el modelo de correlación que mejor ajusta, para establecer las relaciones entre los distintos parámetros medidos para esa población, es el lineal.

CUADRO X. MATRIZ DE COEFICIENTES DE CORRELACION

	T(°C)	pH in situ	D.Q.O.	O.D.	Cond. Espec.	Turb.	Eh	SiO2	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	HCO3-	SO4=	CL-	S-	NO3-	TDS	CO2
T(°C)	1.00																		
H(in sit	-0.11	1.00																	
D.Q.O	-0.34	-0.01	1.00																
O.D.	-0.06	-0.07	-0.24	1.00															
ond.espc	-0.04	0.05	-0.44	-0.14	1.00														
Turb.	-0.17	0.42	0.55	-0.15	0.03	1.00													
Eh	0.04	-0.04	0.12	0.37	-0.35	-0.13	1.00												
SiO2	-0.09	-0.04	-0.50	-0.02	0.33	-0.30	-0.21	1.00											
Na+	-0.07	0.63	0.25	-0.20	0.23	0.31	-0.01	-0.35	1.00										
K+	-0.01	0.30	-0.42	0.28	0.33	-0.08	0.09	-0.10	0.22	1.00									
Mg2+	0.14	0.40	-0.31	0.29	0.32	-0.08	-0.03	-0.12	0.50	0.36	1.00								
Ca2+	0.04	0.48	-0.24	0.16	0.50	0.17	-0.12	-0.12	0.68	0.41	0.94	1.00							
HCO3-	-0.02	0.59	-0.07	0.02	0.43	0.43	-0.08	-0.20	0.86	0.37	0.85	0.95	1.00						
SO4=	-0.20	0.43	0.59	-0.38	-0.07	0.98	0.04	-0.35	0.80	-0.05	-0.09	0.13	0.41	1.00					
Cl-	0.33	0.46	-0.16	0.23	0.08	0.08	0.01	-0.33	0.59	0.24	-0.91	0.85	0.81	0.08	1.00				
S-	-0.21	0.46	0.56	-0.39	-0.04	0.97	0.06	-0.35	0.80	0.03	-0.11	0.12	0.40	0.99	0.05	1.00			
NO3-	-0.44	0.53	0.18	-0.04	0.39	0.59	0.03	-0.19	0.85	0.41	0.57	0.76	0.86	0.60	0.47	0.58	1.00		
TDS	-0.07	0.62	0.10	-0.07	0.34	0.62	-0.05	-0.28	0.96	0.32	0.71	0.86	0.97	0.61	0.73	0.60	0.90	1.00	
CO2	0.14	-0.66	-0.16	-0.06	0.51	-0.12	-0.03	0.11	-0.10	-0.01	0.03	0.11	0.02	-0.02	-0.03	-0.19	0.03	-0.03	1.00



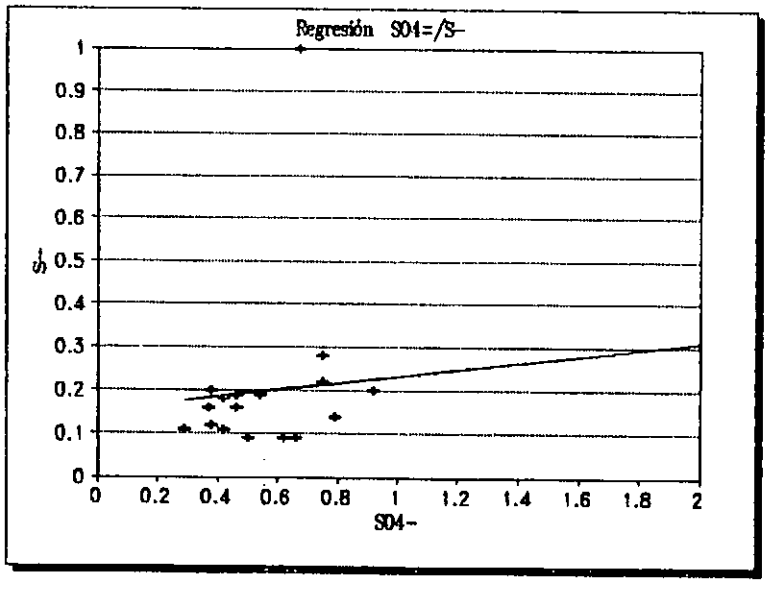
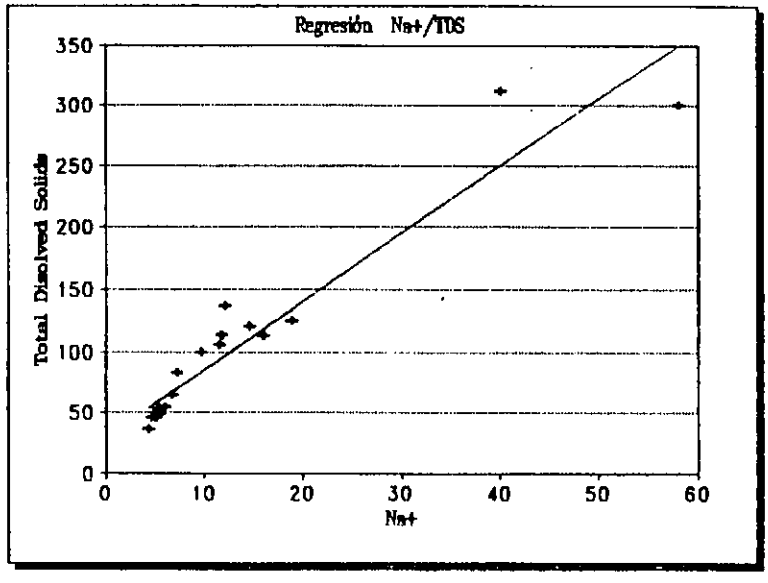


Fig. 6 Diagramas de dispersión y rectas de regresión



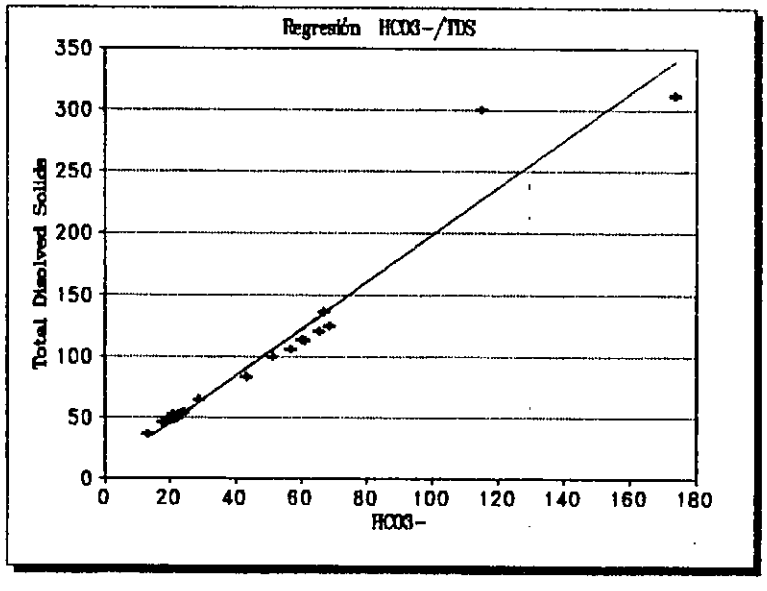


Fig. 7 Diagramas de dispersión y rectas de regresión

Es importante recalcar que el modelo de correlación lineal no es el único. Pueden utilizarse otros modelos, como el logaritmico o el exponencial, que en algunos casos pueden explicar mejor la relación de dependencia entre algunos pares de variables.

En el cuadro XI se consignan los parámetros de las rectas de regresión de las fig. 6 y 7.

Cuadro XI. PARAMETROS DE LAS RECTAS DE REGRESION

Sodio/TDS

REGRESSION OUTPUT

Constant	29.87296
Std Err of Y Est	22.91332
R Squared	0.913799
No. of Observation	21
Degrees of Freedom	19
X Coefficient(s)	5.511541
Std Err of Coef.	0.388353

Bicarbonato/TDS

REGRESSION OUTPUT

Constant	7.496702
Std Err of Y Est	18.90729
R squared	0.941306
No. of Observation	21
Degrees of Freedom	19
X Coefficient(s)	1.911864
Std Err of Coef.	0.109525

Calcio/Magnesio

REGRESSION OUTPUT

Constant	-0.87672
Std Err of Y Est	0.67401
R squared	0.883919
No. of Observation	21
Degrees of Freedom	19
X Coefficient(s)	0.231782
Std Err of Coef.	0.01927

Sulfato/sulfuro

REGRESSION OUTPUT

Constant	0.155177
Std Err of Y Est	0.199484
R squared	0.977208
No. of Observation	21
Degrees of Freedom	19
X Coefficient(s)	0.077021
Std Err of Coef.	0.002699

No. of Observations = número de observaciones de cada variable, Degrees of Freedom = grados de libertad, R squared = coeficiente de regresión, Std Err of Y Est = error estándar estimado de los valores Y de la recta.

ANALISIS DE AGRUPAMIENTO

Con el objeto de establecer las posibles asociaciones entre las distintas variables medidas se ha realizado un análisis de agrupamiento utilizando el módulo CLUSTER del sistema SYSTAT. Este módulo permite calcular diferentes tipos de matrices de correlación y con ellas construir un "dendrograma" que pueda mostrar las diferentes asociaciones entre variables medidas. En este ensayo se ha utilizado la matriz de correlación de Pearson para los dos grupos de muestras (octubre de 1992 y marzo de 1993) y se eligieron distancias Pearson y Euclidianas para uno y otro caso, respectivamente. En las Figuras 8 y 9 pueden verse los resultados obtenidos. LLama la atención que en ambos casos se mantiene una fuerte asociación entre las variables sulfato y turbidez.

ANALISIS DEL MATERIAL EN SUSPENSION

Puede observarse, sobre todo en el tramo superior de la cuenca, la elevada cantidad de materiales en suspensión que el río transporta aguas abajo. Esos materiales provienen, en su mayor parte, de los estériles de mina del yacimiento de Río Turbio que están depositados en la planicie de inundación del río (fig.12) y de los depósitos provenientes de la planta de tratamiento arrojados a través del efluente que se observa en la figura 11.

Con el objeto estudiar estos materiales se procedió a realizar un muestreo a lo largo de toda la cuenca (S22, S27, S30, S31, S33, S34; la ubicación de esas muestras coincide con el número de muestra de agua correspondiente). En cada punto de muestreo se realizó una preconcentración "in situ" (fig.13) y posteriormente una concentración en laboratorio de campaña que consistió en una modificación del pH hasta producir la floculación del material en suspensión. En la figura 14 puede verse la proporción de los

ANALISIS DE AGRUPAMIENTO (octubre 1992)

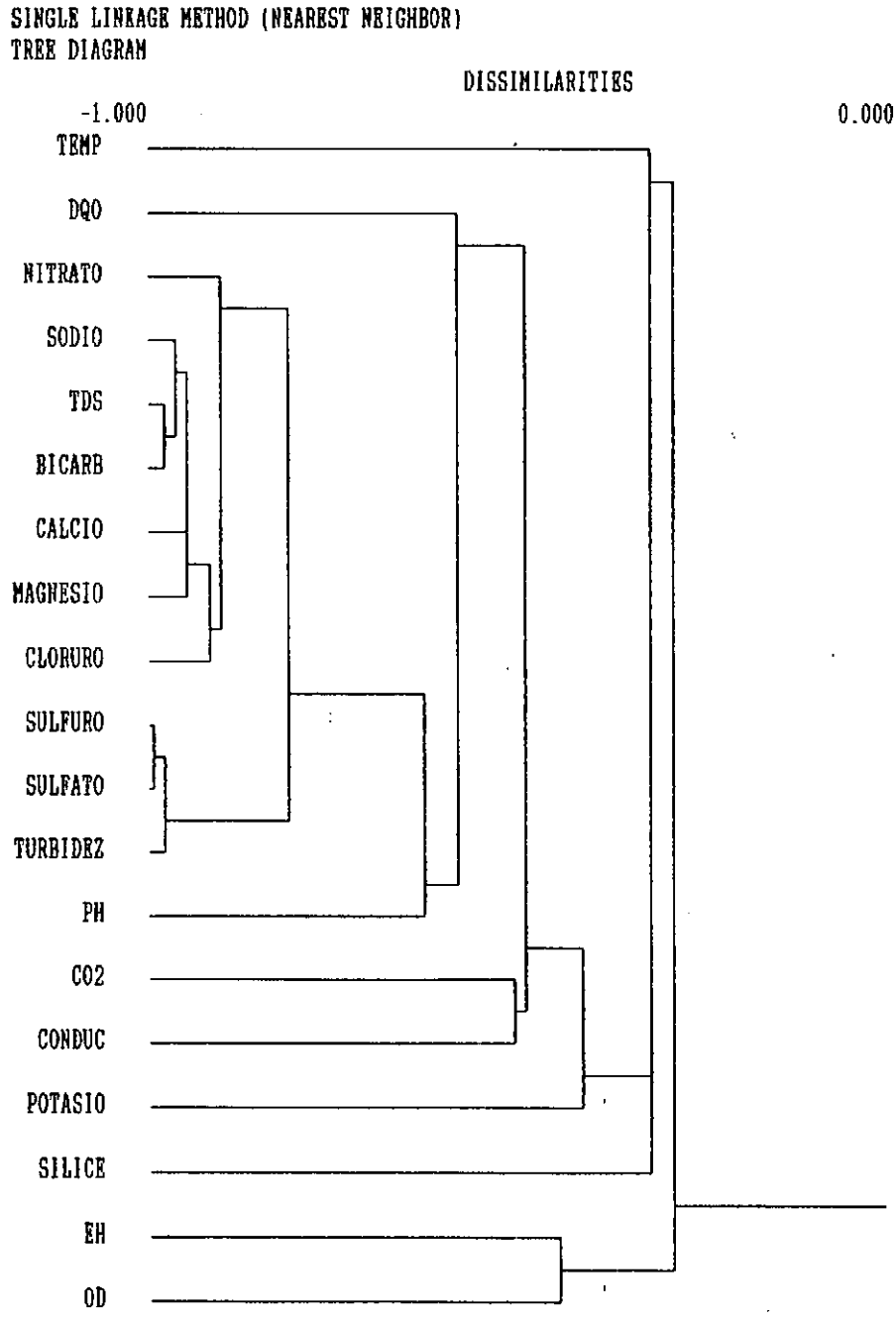
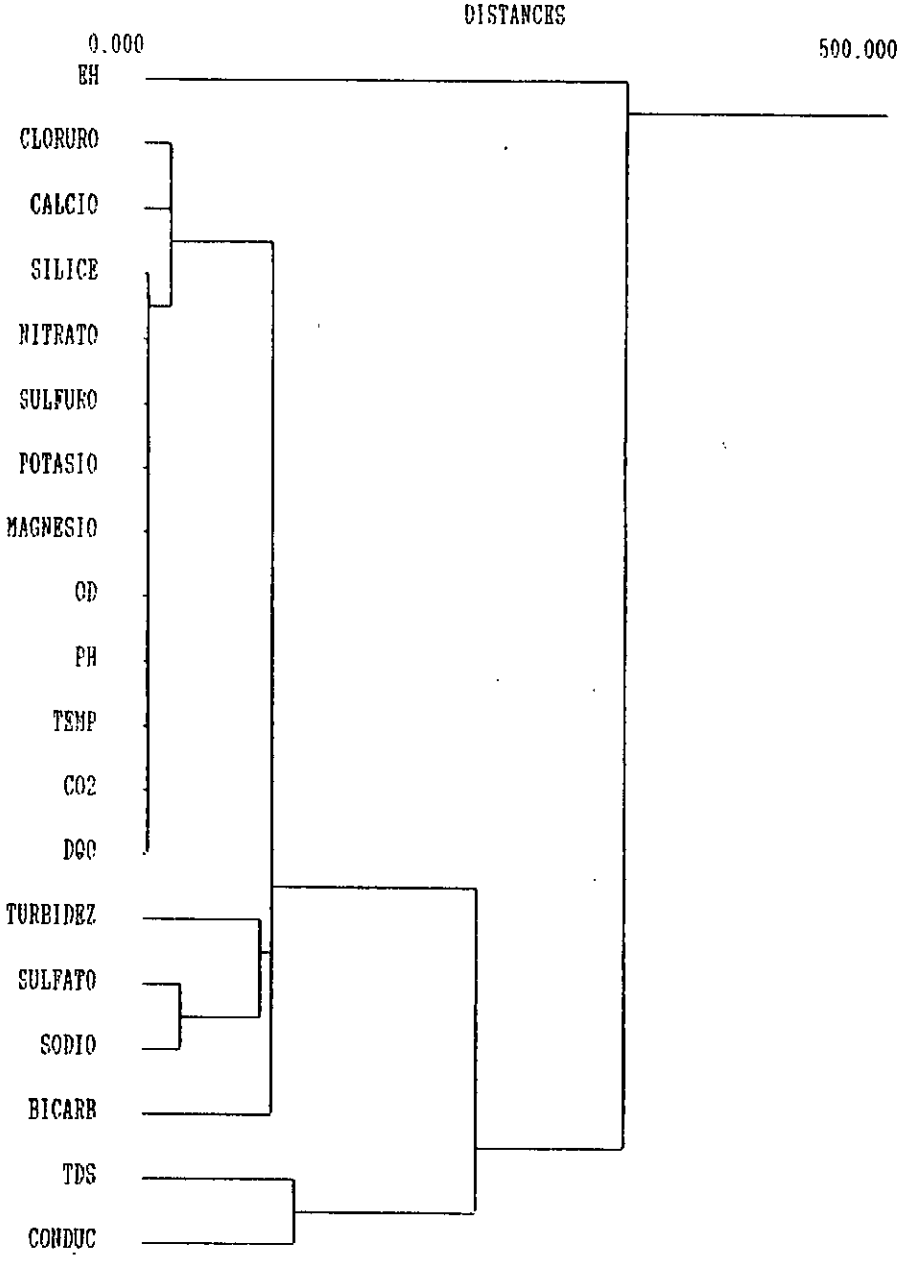


Fig. 8

ANALISIS DE AGRUPAMIENTO (marzo 1993)

SINGLE LINKAGE METHOD (NEAREST NEIGHBOR)

TREE DIAGRAM



SYSTAT PROCESSING FINISHED

Fig. 9

Fig. 10 Desagüe de mina

Fig.11 Efluente de planta de tratamiento

12

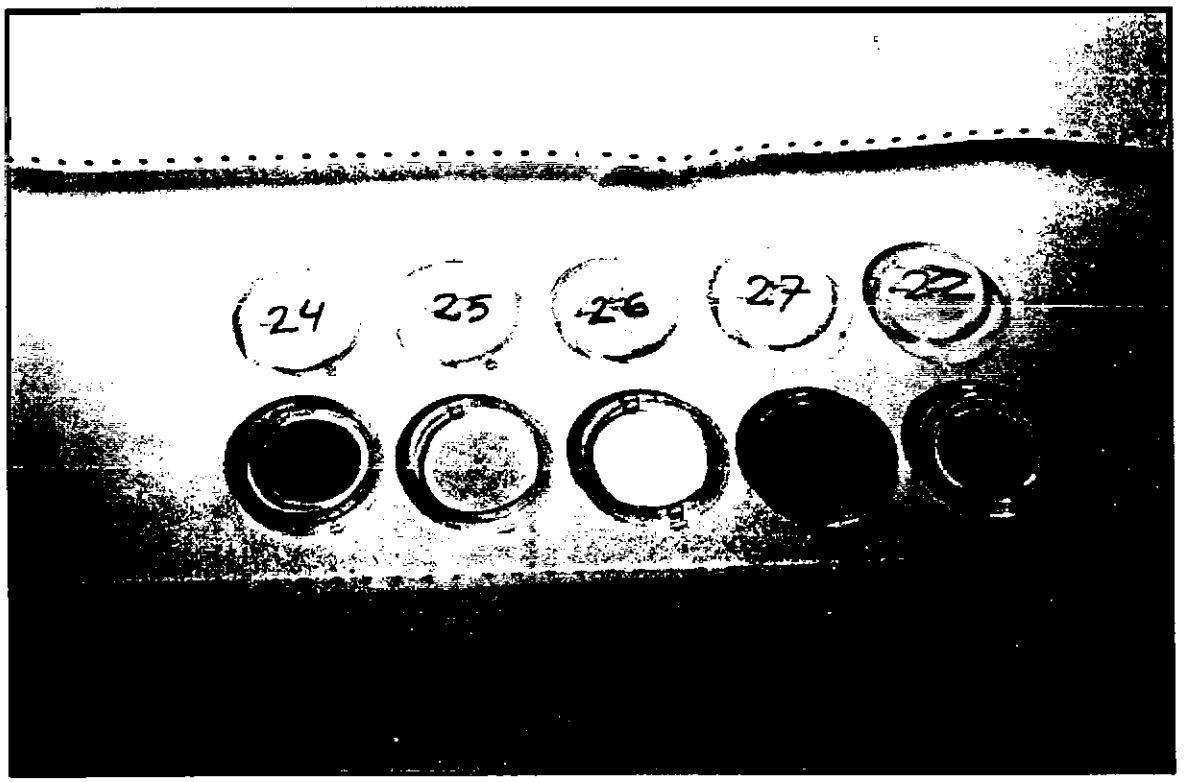
Fig. 12 Planicie de inundación del río Turbio

13

Fig.13 Muestreo de sólidos en suspención en Palermo Aike

14

Fig. 14 Concentración de sólidos en suspensión



15

Fig.15 Comparación de filtros

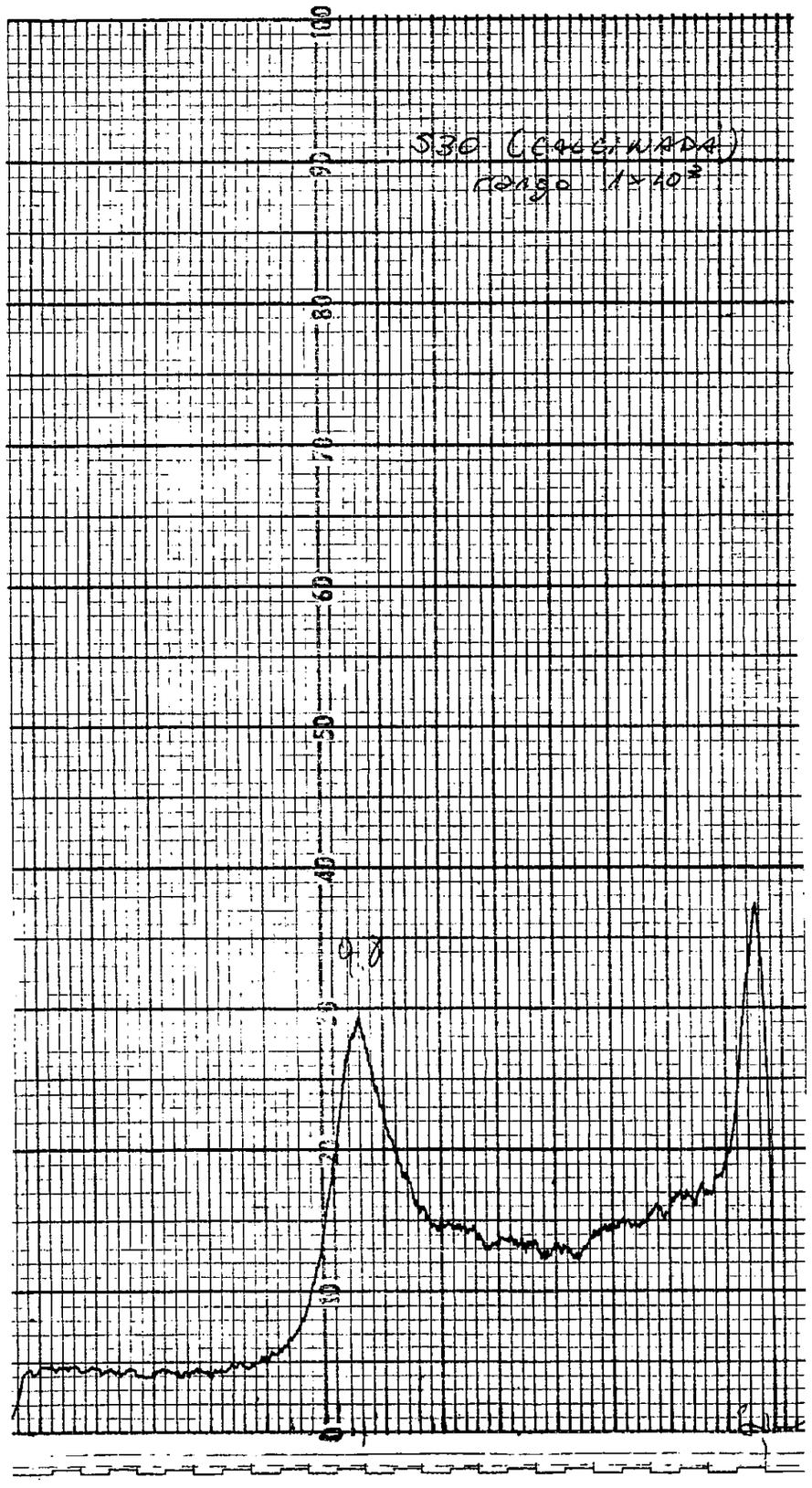
materiales en suspensión con relación al volumen de agua en el sector de la muestra 27. Es notable cómo se incrementa la cantidad de materiales en suspensión en el rio y como se modifican sus características aguas abajo de la planta de tratamiento. Una muestra de este fenómeno puede observarse comparando los filtros utilizados en las muestras de aguas en la parte superior de la cuenca (antes de la planta de tratamiento) con el de la muestra 27 (aguas abajo de la planta de tratamiento).

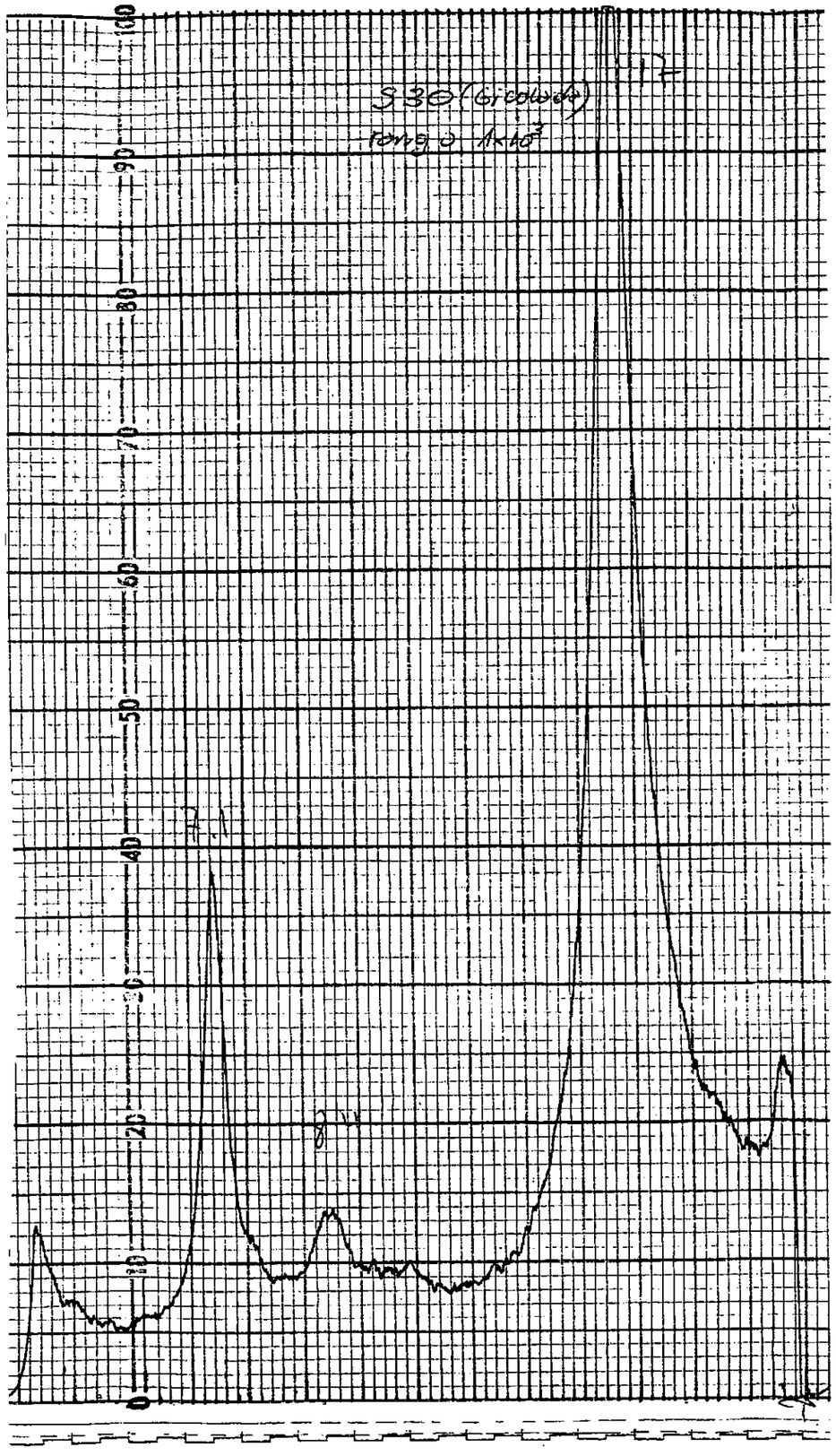
La observación de estos materiales bajo microscopio de polarización indica que se trata, en su mayor parte, de minerales arcillosos con **abundante contenido de partículas de carbón**, aún en muestras muy alejadas de la planta de tratamiento, como la S22 situada en Palermo Aike. Con el objeto de estudiar con más detalle los minerales de las arcillas se concentró esos materiales y se procedió a realizar difractogramas de rayos X. Para cada una de las muestras se realizaron 3 difractogramas correspondientes a una fracción calcinada, a una glicolada y a una normal.

Se empleó un equipo de difractometría de rayos X Philips, con tubo de cobre y filtro de níquel con un voltaje de 40 Kw y 18 mA de corriente. Se utilizó una velocidad de papel de 20 mm/min. Los 18 difractogramas obtenidos pueden verse en las páginas siguientes.

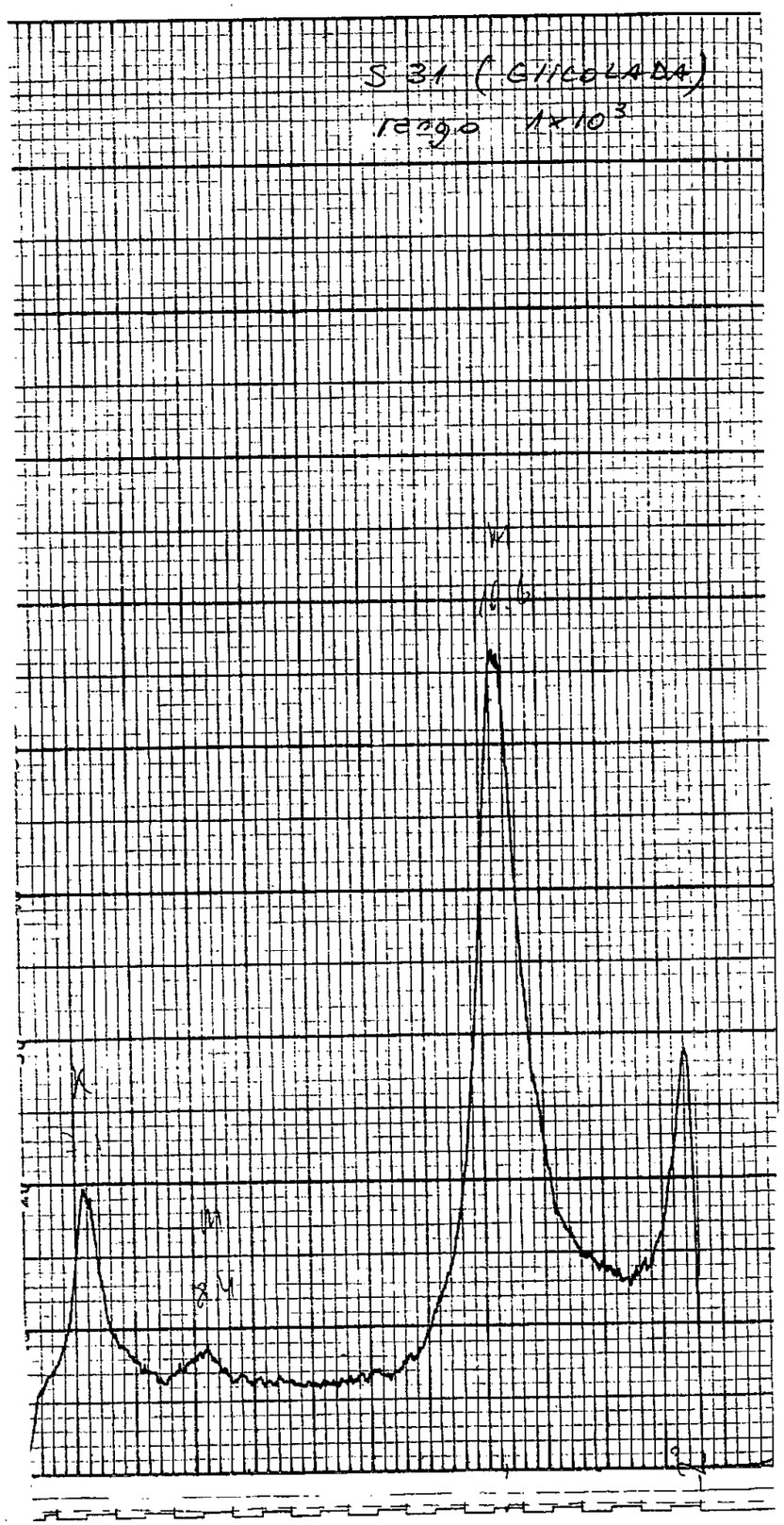
El cuadro XII resume los resultados obtenidos. La asociación de minerales de las arcillas más abundante es la compuesta por montmorillonita-caolinita con proporciones menores de illita y clorita, en algunas muestras. El mineral predominante en todas las muestras es la montmorillonita. Por otra parte, puede observarse en los diagramas material amorfo (sin estructura cristalina) no identificable. Es probable que, en su mayor parte, corresponda al material carbonoso muy abundante observado microscópicamente en las muestras analizadas.

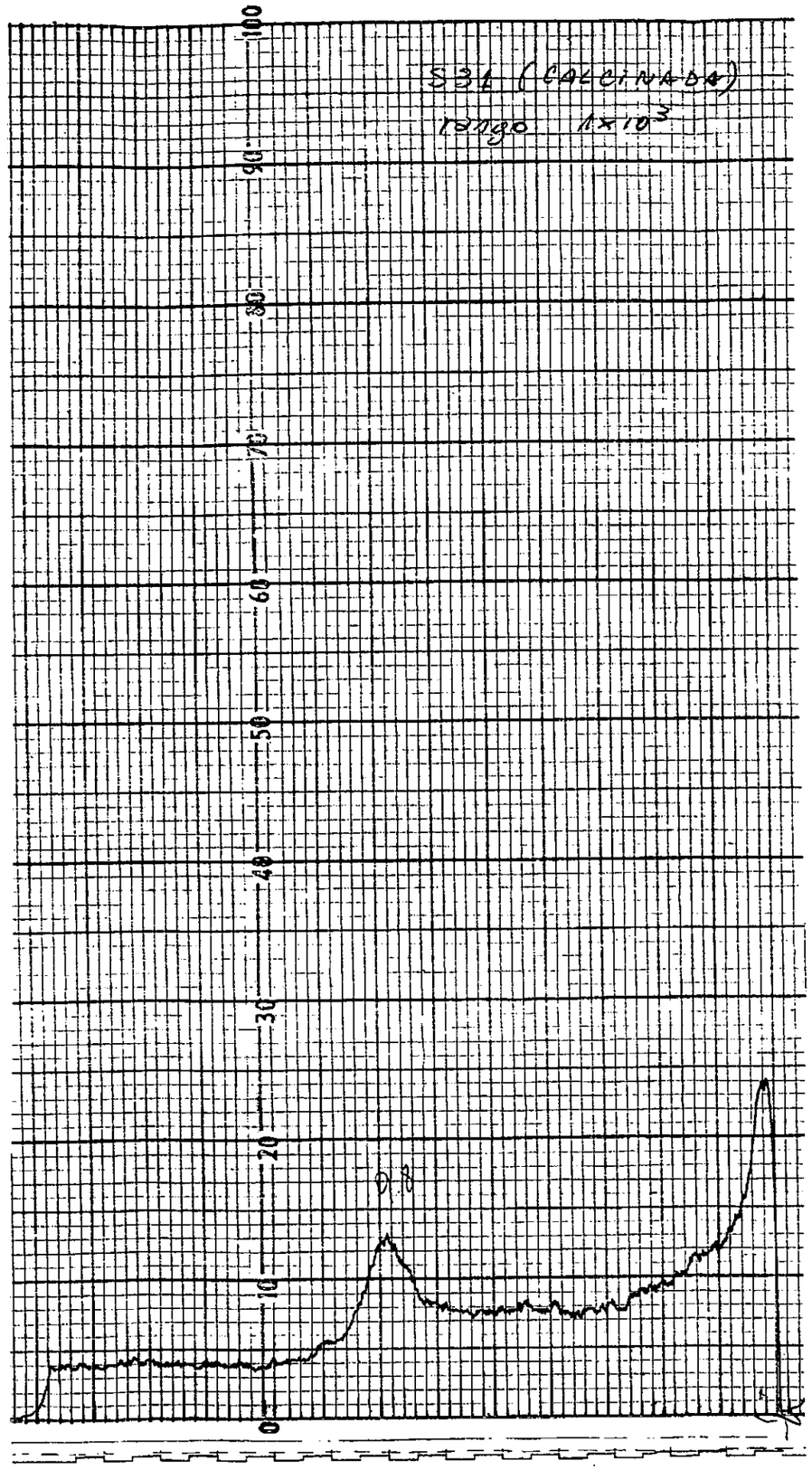
S30 (NATURAL)
rango 1×10³
15.76
7.13
357
333
301
484
443
527
755
998
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0


S30 (CALCINADA)
rango 1×10³
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
9.8

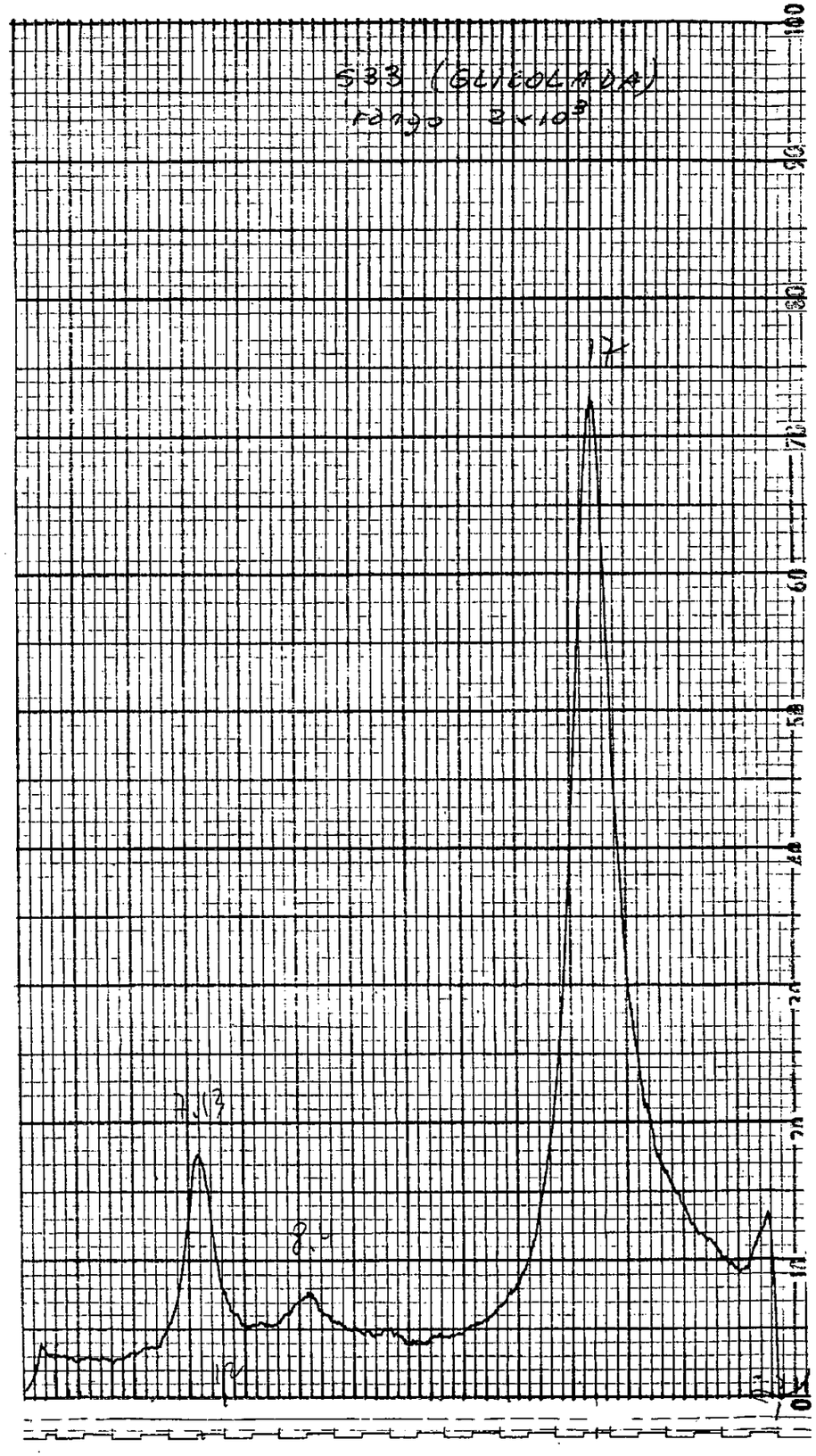

S30 (Gicolada)
rango 1×10³
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
7.1
8.4

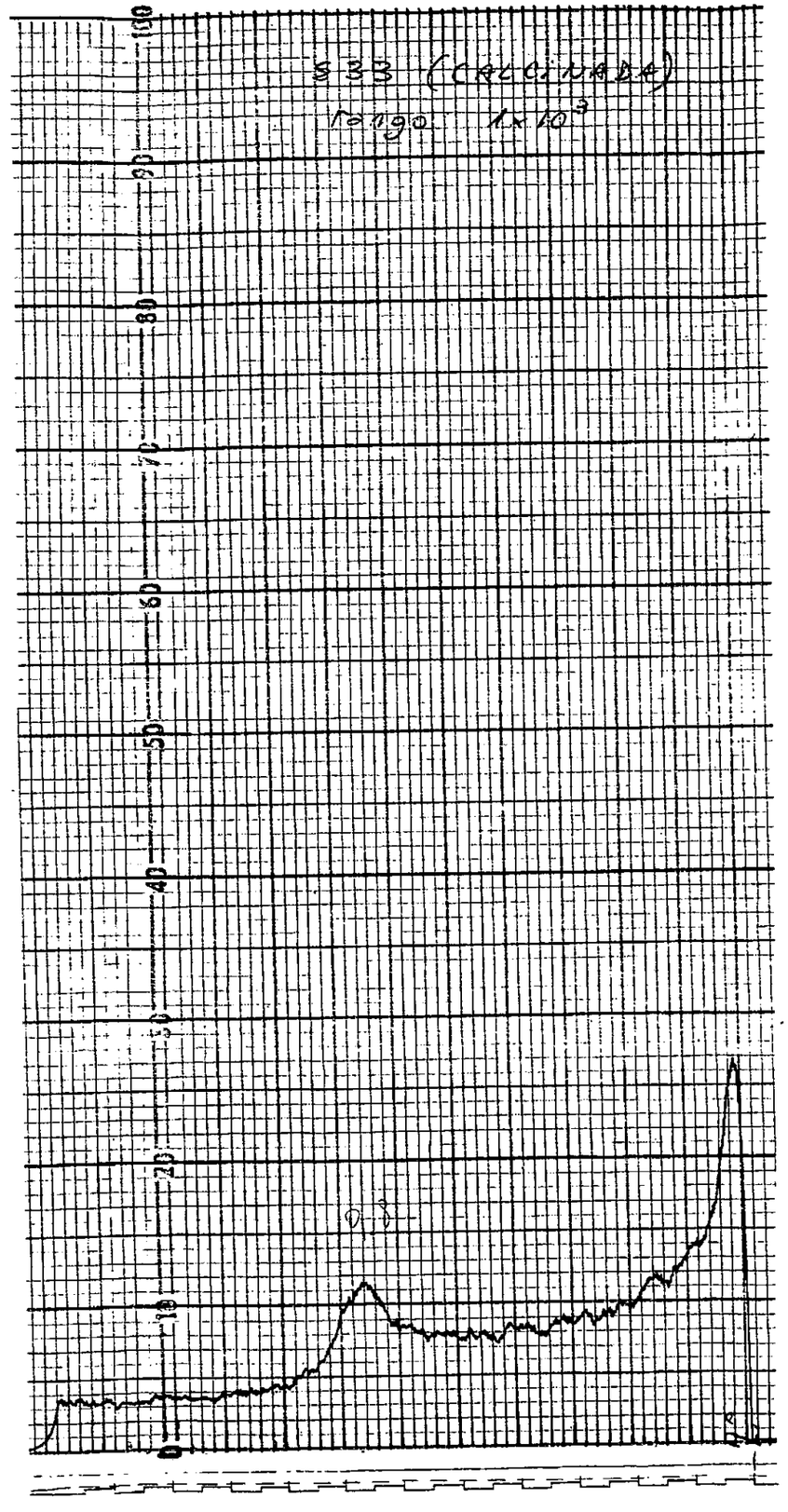
S 31 (NATURAL)
rango 1 x 10³
Qz
333
K
357
326
Qz
424
M
443
M
506
K
713
M
152
C
302

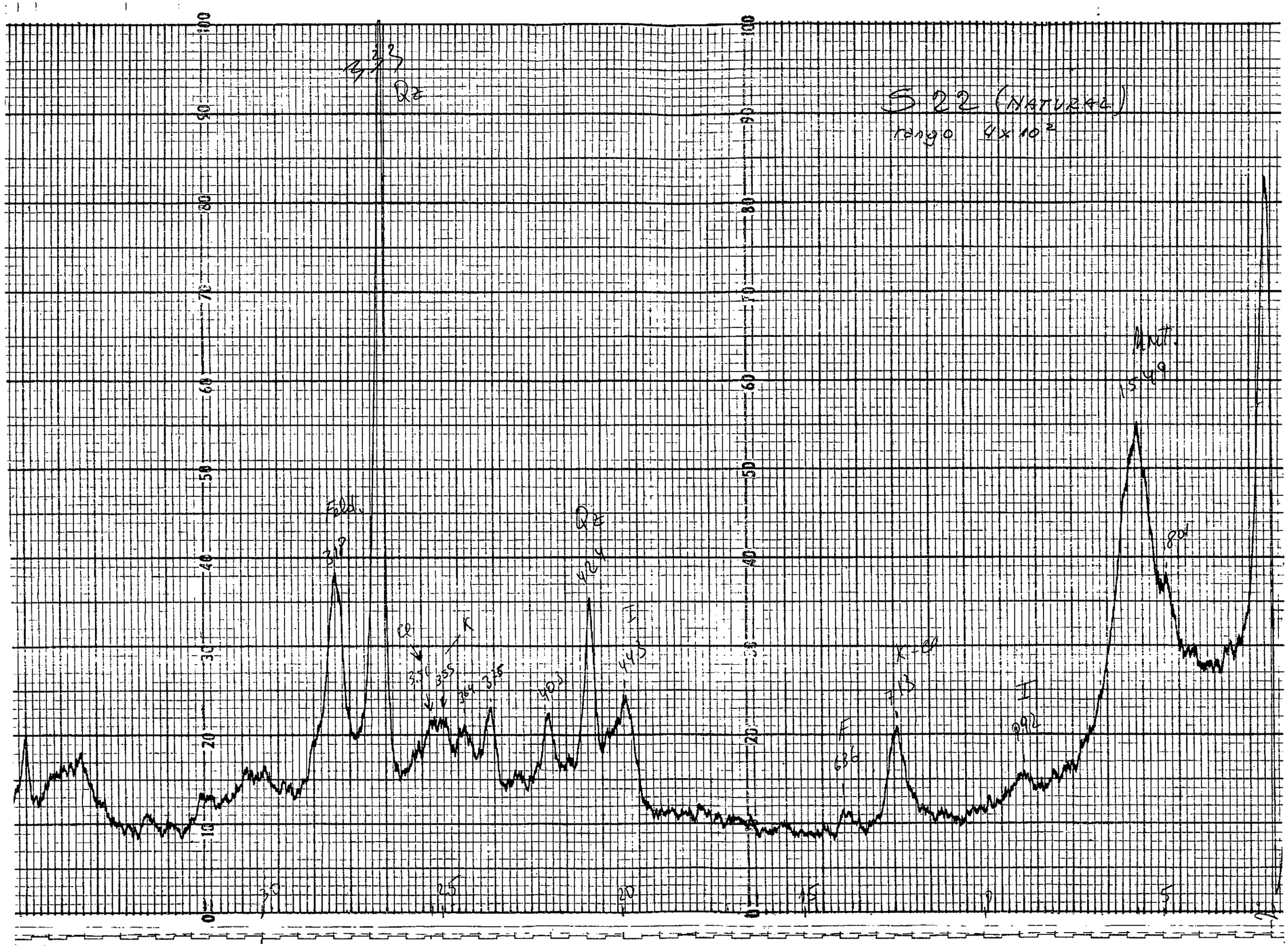

S 31 (GLICOLADA)
rango 1x10³
M
16.6
K
M
8.4

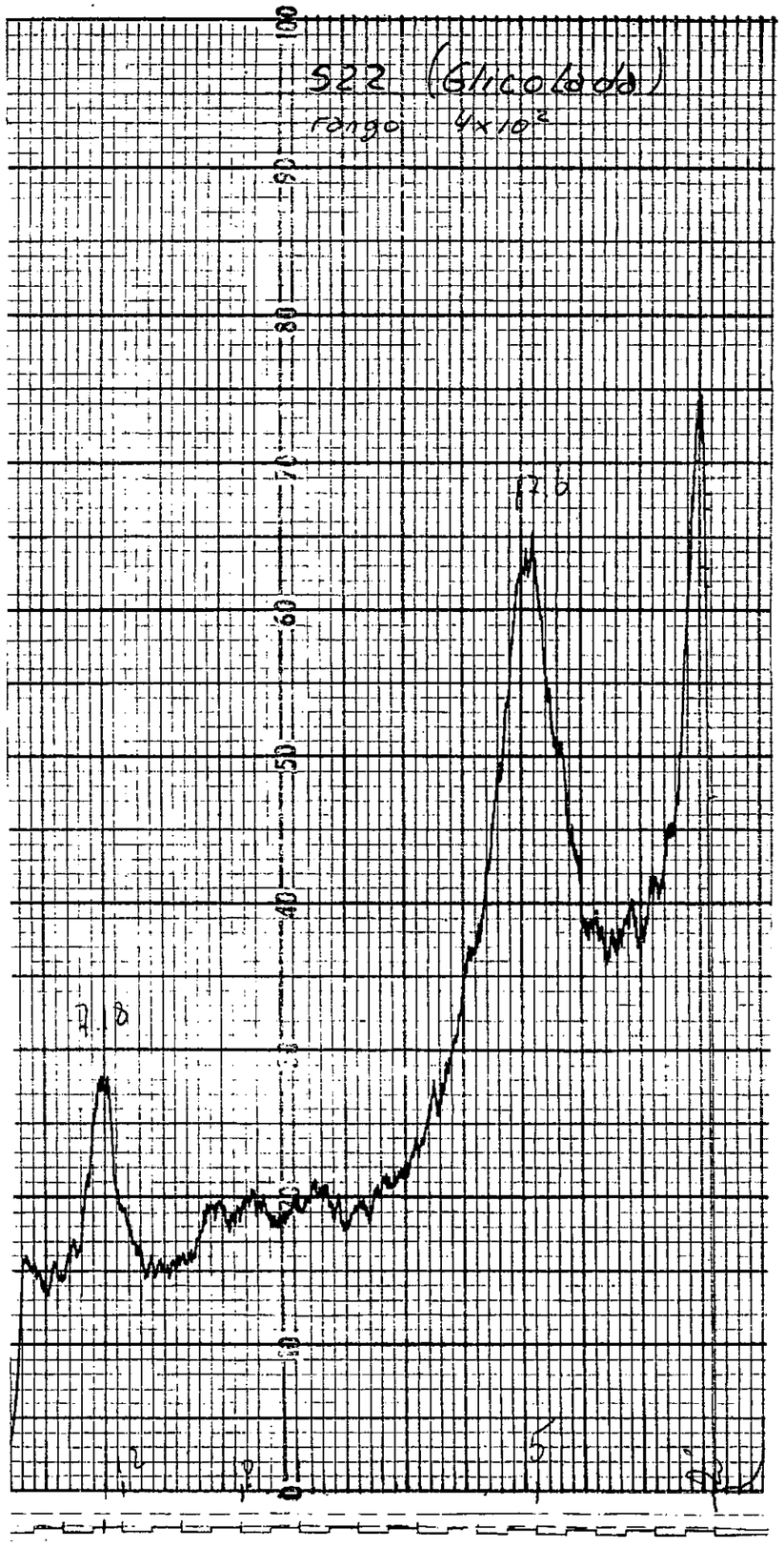

S31 (CALCINADA)
rango 1x10³
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0.8

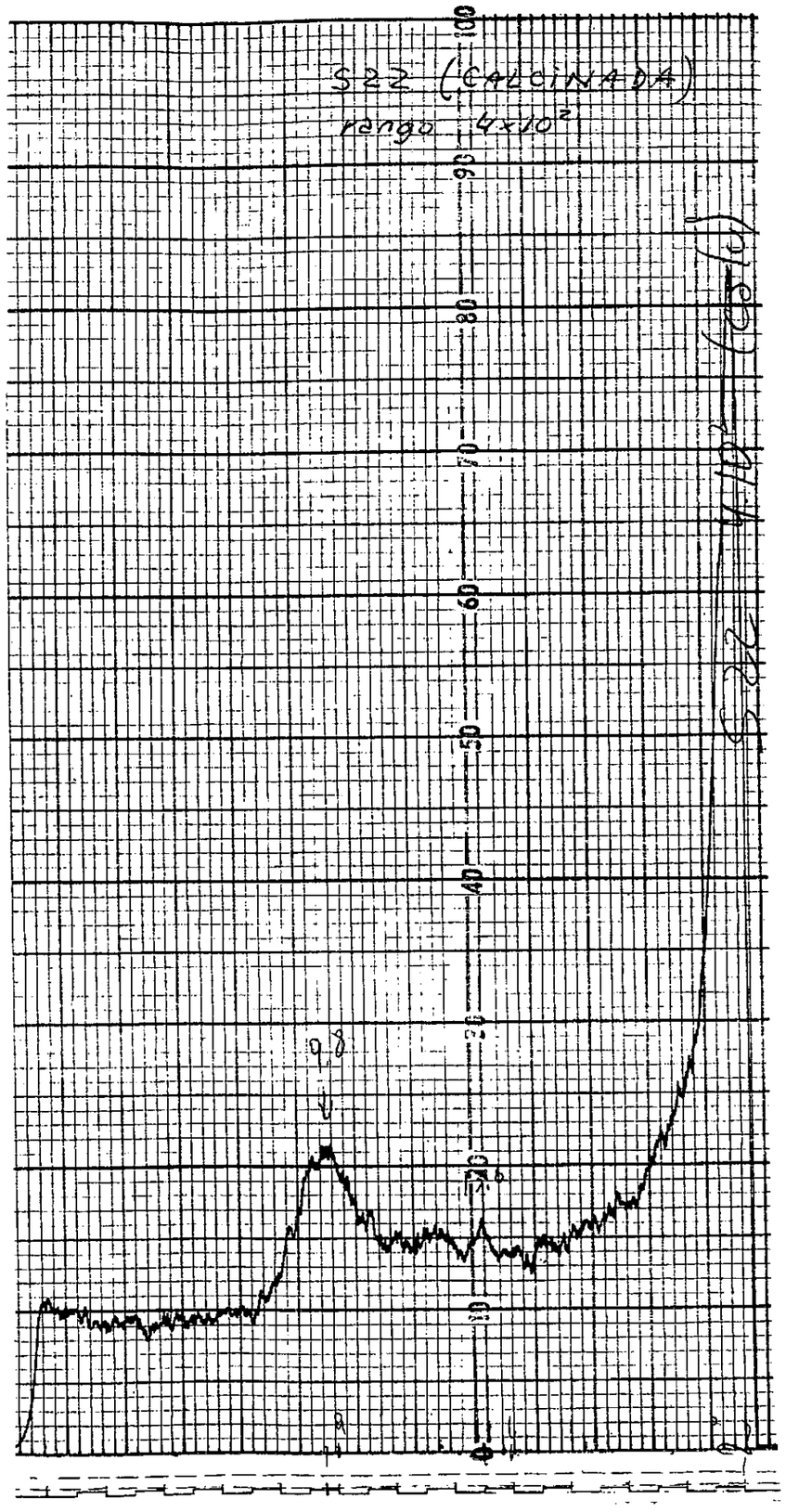
S 33 (NATURAL)
rango $\times 10^3$
1522
2 10³
533
713
333
357
307
318
359
424
443
512
713
481
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

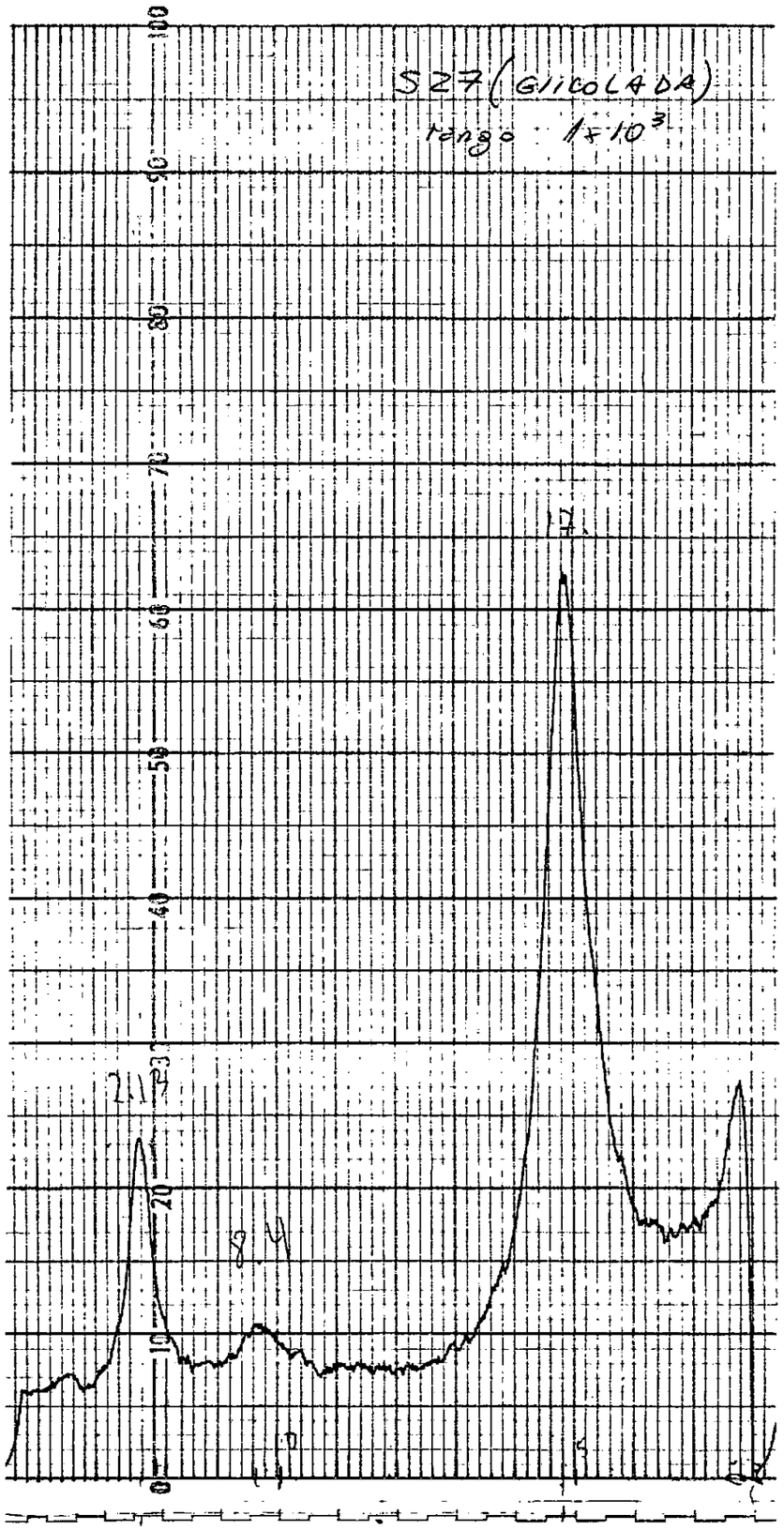

533 (GLICOLADA)
rango 2x10³
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

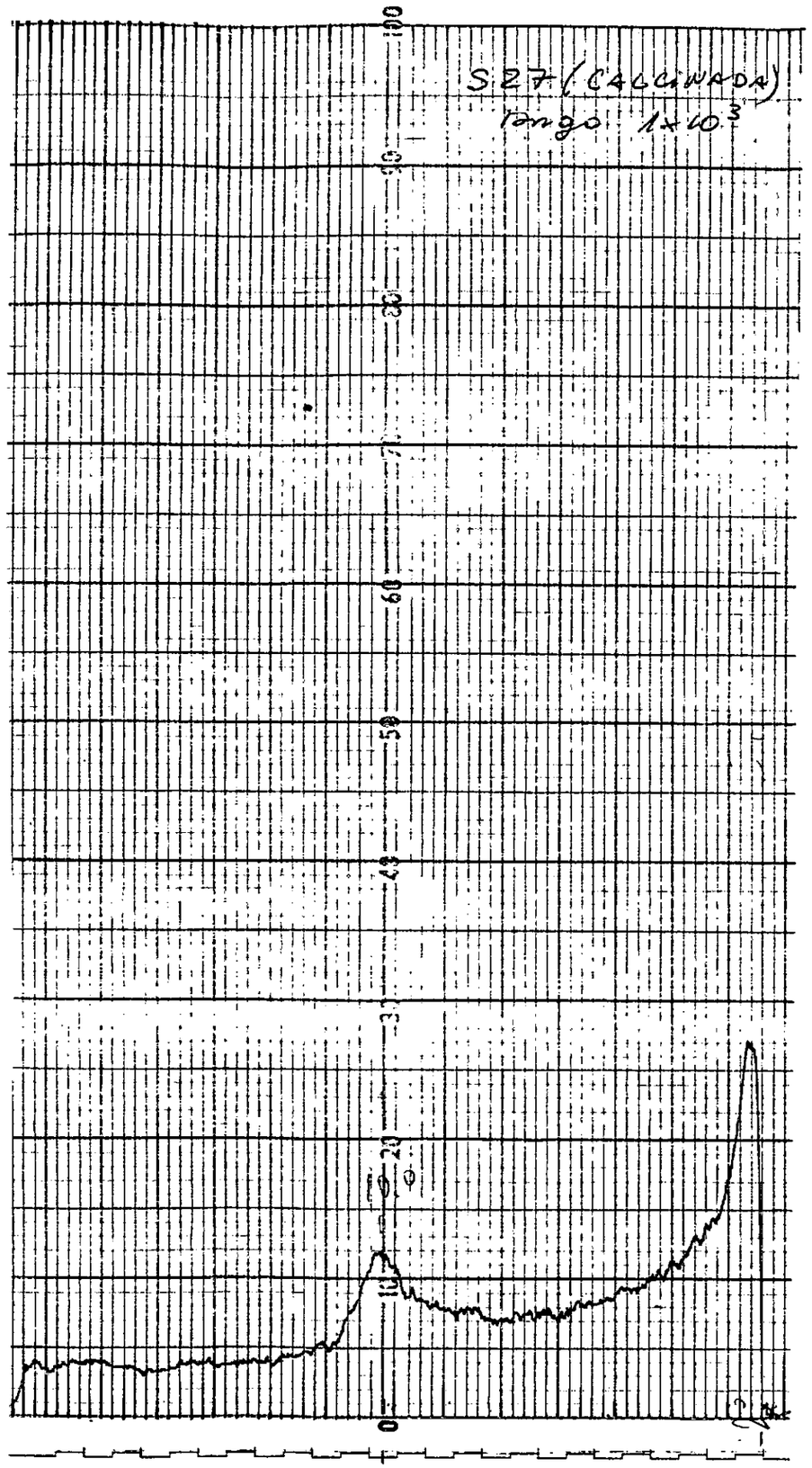

533 (CALCINADA)
rango 1x10³
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0


S 22 (NATURAL)
rango 4x10²
Qz
Feld.
Qz
I
F
K-Cl
I
Ant.
1549
801
318
424
443
403
636
713
892
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
30
25
20
15
10
5

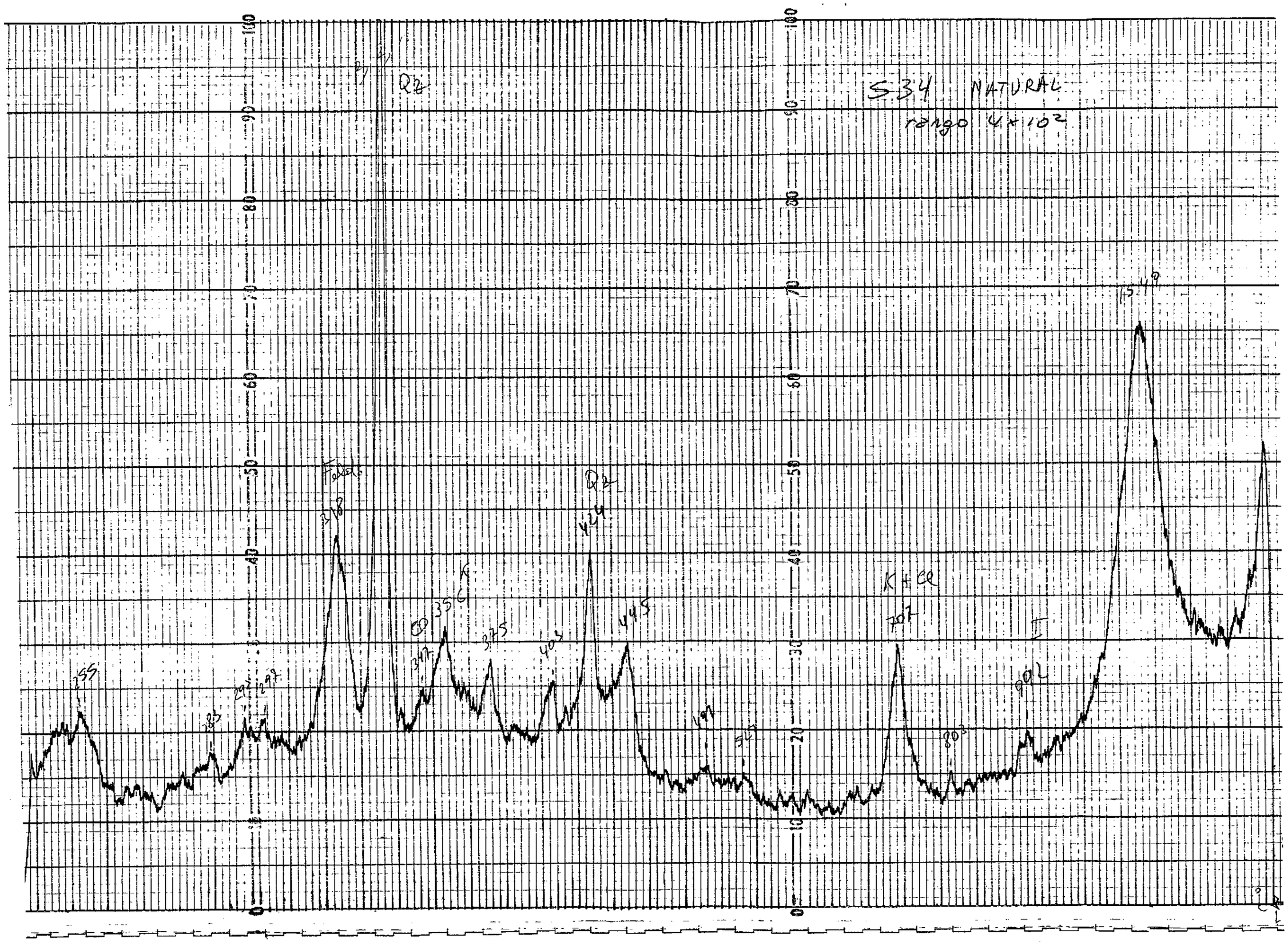

S22 (Glicolado)
rango 4x10²
12.6
7.8
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

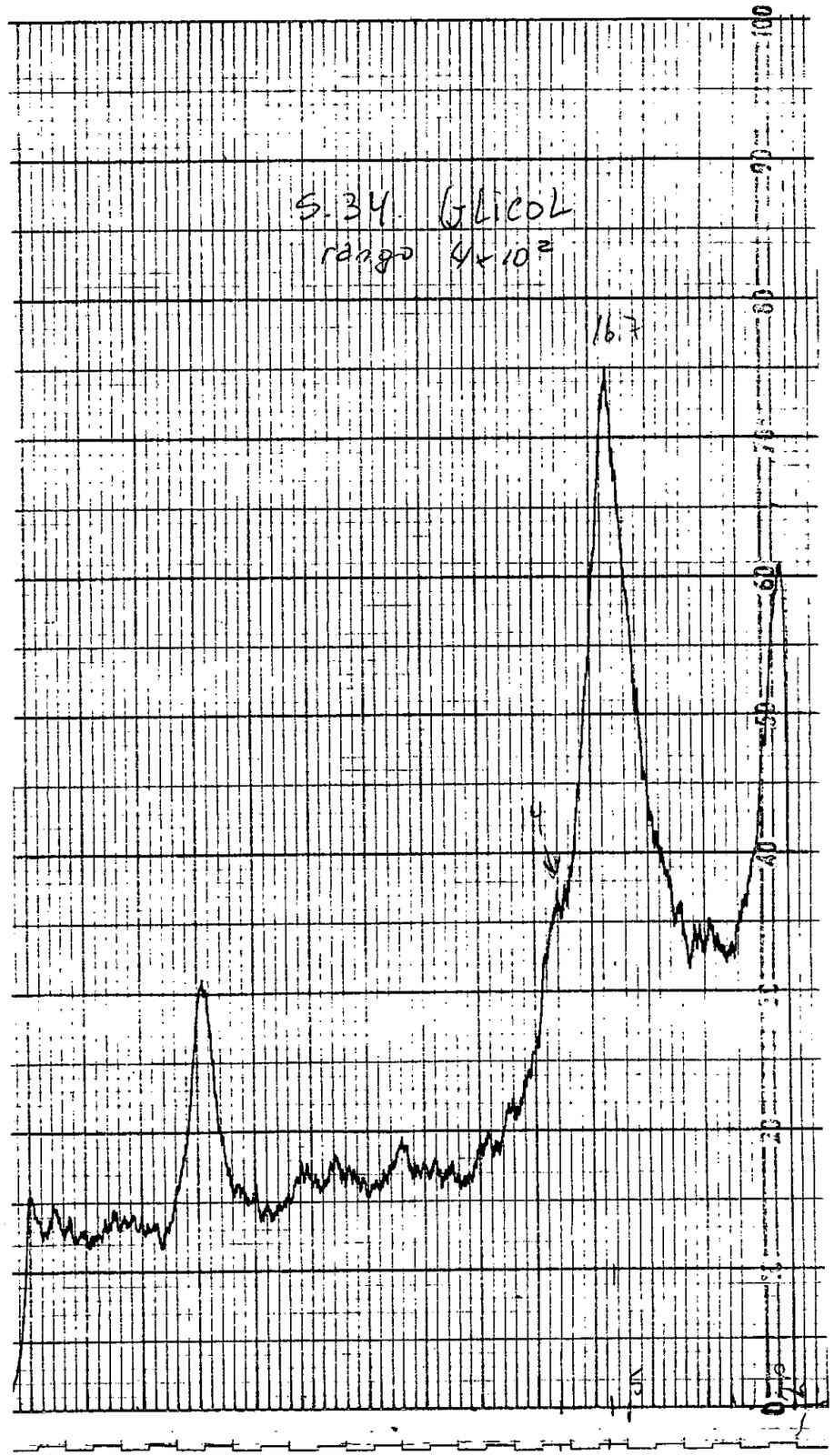

S22 (CALCINADA)
rango 4x10²
9.8
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

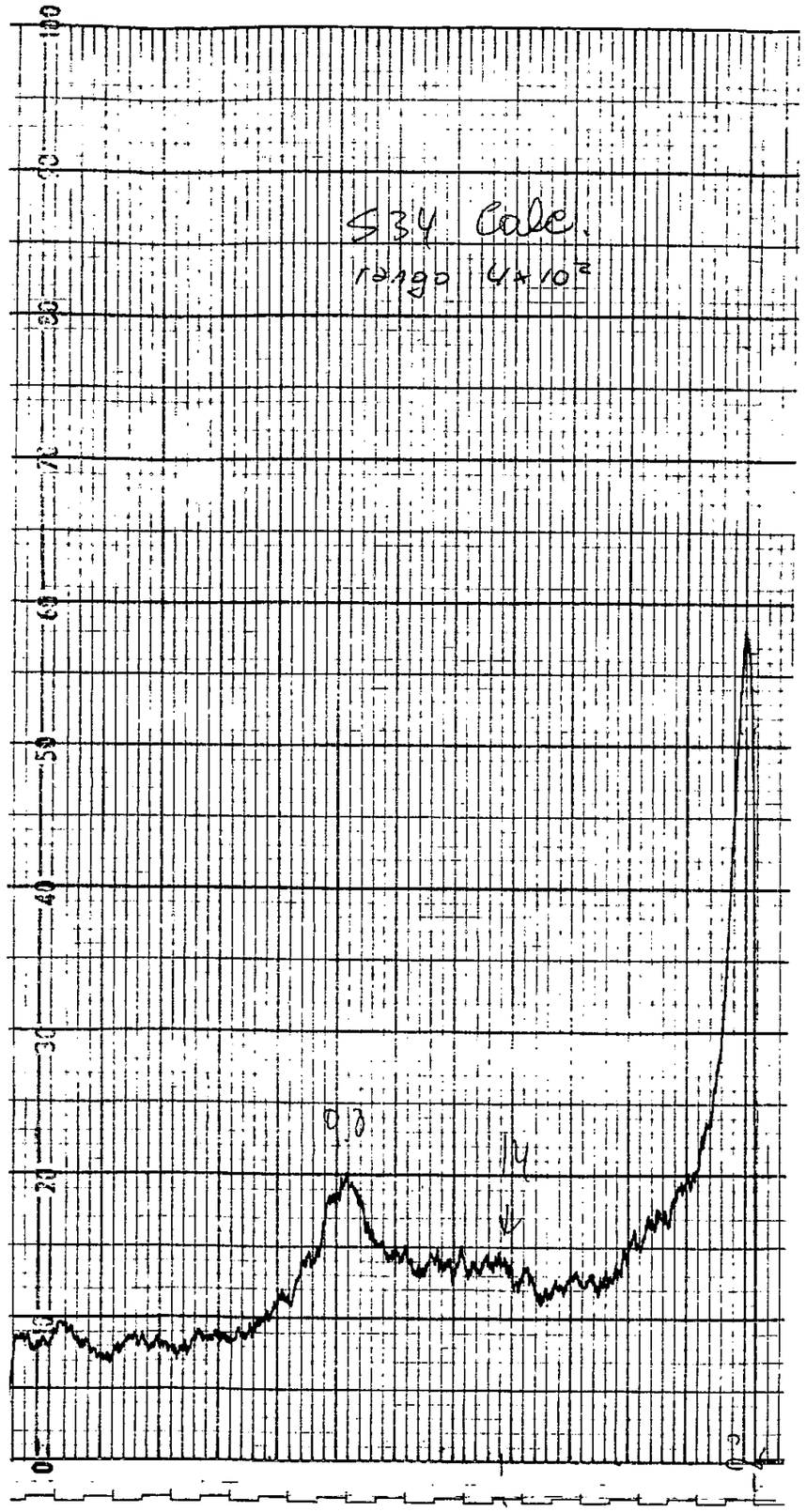

S27 (GLICOLADA)
rango 1x10³
17.
2.1
8.4
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0


S27 (CALCINADA)
rango 1x10³
10.0
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

S 27 (NATURAL)
Rango 1x10^3
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
332
357
424
445
515
710
1549


S34 NATURAL
rango 4×10²
Qz
Feld.
Qz
K
K + Cl
I
255
283
292
297
318
347
356
375
403
424
445
497
527
707
803
902
1549


S.34 GLICOL
range 4×10²
16.7
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0


S34 Calc.
range 4×10²
9.0
14
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

Cuadro XII. Análisis por difracción de rayos X

Muestra	Montmoril.	Illita	Caolinita	Clorita	Cuarzo	Feldesp.
S 22	70	10	10	10	Ab.	Ab.
S 27	80	--	20	--	Ab.	--
S 30	60	5	35	--	Esc.	--
S 31	80	--	20	--	Ab.	--
S 33	75	--	25	--	Ab.	Esc.
S 34	65	5	20	10	Ab.	Ab.

Valores expresados en %. Ab.= abundante. Esc. = escaso. -- = no detectado

MODELO DE EQUILIBRIO DE REACCION

El empleo de modelos geoquimicos en aguas permite establecer relaciones entre las distintes especies iónicas disueltas y la fase sólida (mineral). Se ha elegido un **modelo de equilibrio de reacción** con el objeto de explicar los cambios geoquimicos que se producen en la cuenca. Este modelo de actividad iónica puede definirse a través de una ecuación donde se relaciona la actividad iónica con la concentración molar:

$$[Y] = \gamma_Y(Y)$$

La actividad iónica (γ) puede calcularse a partir de diferentes modelos de actividad. El más comunmente usado para aguas

no salinas está basado en la ecuación de Debye-Hückel:

$$\log \gamma_Y = -Az_i^2(I)^{0.5}$$

donde A es una constante en función de la temperatura, z_i^2 es la carga iónica e I es la fuerza iónica de la solución.

Con el propósito de poder realizar los cálculos del modelo de evolución geoquímica en la cuenca se compararon los resultados obtenidos mediante el sistema WATEQ4F desarrollado por el U.S. Geological Survey (Ball y Nordstrom, 1991) aplicado a dos de las muestras del curso superior del río Turbio (muestras No.25 y No.27). El objetivo principal del sistema WATEQ4F es calcular índices de saturación (SI). Para tal fin resuelve un sistema de ecuaciones de acción de masa y de balance de masa no lineares mediante el método matemático de fracción continua (Wigley, 1977). Los resutados obtenidos se consignan en las páginas siguientes.

```
1 1 M.H. MERINO - Data test sample 25 - Rio Turbio                    1      5
 172.  164.      0   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000
                     TEMP      =        6.400000
                     PH        =        8.260000
                     EH(0)     =      476.000000
                     DOC       =         .000000
                     DOX       =       10.000000
                     CORALK    =        0
                     FLG       =      MG/L
                     DENS      =        1.000000
                     PRNT      =        0
                     PUNCH     =        1
                     EHOPT(1)  =        0  Use measured Eh to calculate Fe species distribution
                     EHOPT(2)  =        0  Use measured Eh to calculate Mn species other than +2
                     EHOPT(3)  =        0  Use measured Eh to calculate Cu +1 species
                     EHOPT(4)  =        0  Use measured Eh to calculate As species distribution
                     EHOPT(5)  =        0  Use measured Eh to calculate Se species distribution
                     EHOPT(6)  =        0  Use measured Eh to calculate Ion Activity Products
                     EHOPT(7)  =        3  Use H2O/O2 classical Eh to calculate atmospheric pO2
                     EHOPT(8)  =        0  Use measured Eh to calculate H2S from SO4
                     EHOPT(9)  =        0  Use measured Eh to calculate U species distribution
                     EMPOX     =        0
                     ITDS      =      163.930000
                     COND      =      171.800000
                     SIGMDO    =         .000000
                     SIGMEH    =         .000000
                     SIGMPH    =         .000000
```

Species	Index No	Input Concentration
Ca	0	26.20000000
Mg	1	3.92000000
Na	2	7.51000000
K	3	.44000000
Cl	4	5.95000000
SO4	5	.26000000
HCO3	6	99.60000000
Fe total	16	.00000000
H2S aq	13	.00000000
CO3	17	.00000000
SiO2 tot	34	14.90000000
NH4	38	.00000000
B tot	86	.00000000
PO4	44	.00000000
Al	50	.30000000
F	61	.04600000
NO3	84	5.10000000
NO2	202	.01500000

ITER	S1-AnalCO3	S2-AnalSO4	S3-AnalF	S4-AnalPO4	S5-AnalCL	S6-AnalH2S	S7-AnalFULV	S8-AnalHUM
1	3.698623E-05	2.265136E-07	2.142714E-08	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	1.023196E-07	1.280468E-09	6.749051E-11	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
3	-2.859069E-10	-4.830080E-12	-1.412726E-13	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

1 1 M.H. MERINO - Data test sample 25 - Río Turbio 1 5 Date = 5/31/93 17:26

172. 164. 0 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000

DOX = 10.0000 DOC = .0 INPUT TDS = 163.9

Anal Cond = 171.8 Calc Cond = 190.1 Activity H2S calc from SO4 and pe = 0.00E+00

Anal EPMCAT = 2.0015 Anal EPMAN = 1.8913 Percent difference in input cation/anion balance = 5.6612

Calc EPMCAT = 1.9459 Calc EPMAN = 1.8687 Percent difference in calc cation/anion balance = 4.0481

Total Ionic Strength (T.I.S.) from input data = .00280

Effective Ionic Strength (E.I.S.) from speciation = .00272

Input	Sigma	Fe3/Fe2	Sigma	NO3/NO2	Sigma	NO3/NH4	Sigma	SO4/S=	Sigma	S/S=	Sigma	Sato H2O2/O2	Sigma	H2O/O2	Sigma
Eh															
476.000	.000	9.900	.000	.460	.000	9.900	.000	9.900	.000	9.900	.000	.125	.000	.736	.000
pe															
100.000	.000	100.000	.000	8.293	.000	100.000	.000	100.000	.000	100.000	.000	2.249	.000	13.275	.000

As5/As3	Sigma	As3/As	Sigma	Se6/Se4	Sigma	Se4/Se	Sigma	Se/Se=	Sigma	U6/U4	Sigma		Sigma		Sigma
Eh															
9.900	.000	9.900	.000	9.900	.000	9.900	.000	9.900	.000	9.900					
pe															
100.000	.000	100.000	.000	100.000	.000	100.000	.000	100.000	.000	100.000					

T	pH	TDS ppm	Effective Ionic Str	pO2 Atm	ppm O2 Atm	pCO2 Atm	ppm CO2 Atm	log pCO2	CO2 Tot		Ncrb Alk	aH2O
6.40	8.260	164.2	.00272	2.28E-04	7.30E+00	4.29E-04	1.89E+01	-3.368	1.63E-03		1.48E-05	.9999

I	Species		Anal ppm	Calc ppm	Anal Molal	Calc Molal	% of Total	Activity	Act Coeff	-Log Act
50	Al	3	.300000	.000000	1.112E-05	8.674E-14	.00	5.260E-14	.6065	13.279
53	Al(OH)4	-1		1.052		1.108E-05	99.62	1.048E-05	.9459	4.980
0	Ca	2	26.200	25.700	6.538E-04	6.413E-04	98.09	5.156E-04	.8040	3.288
29	CaHCO3	1		.686		6.783E-06	1.04	6.416E-06	.9459	5.193
4	Cl	-1	5.950	5.950	1.679E-04	1.679E-04	100.00	1.587E-04	.9455	3.799
6	HCO3	-1	99.600	96.166	1.633E-03	1.576E-03	96.85	1.493E-03	.9470	2.826
85	H2CO3 aq	0		1.609		2.595E-05	1.59	2.597E-05	1.0007	4.586
61	F	-1	.046	.046	2.422E-06	2.400E-06	99.12	2.271E-06	.9459	5.644
63	H	1		.000006		5.786E-09	.00	5.495E-09	.9497	8.260
3	K	1	.440	.440	1.125E-05	1.125E-05	100.00	1.064E-05	.9455	4.973
1	Mg	2	3.920	3.846	1.613E-04	1.582E-04	98.11	1.275E-04	.8056	3.895
21	MgHCO3	1		.192		2.252E-06	1.40	2.131E-06	.9459	5.671
2	Na	1	7.510	7.503	3.267E-04	3.264E-04	99.91	3.089E-04	.9463	3.510
202	NO2	-1	.015	.015	3.261E-07	3.261E-07	100.00	3.085E-07	.9459	6.511
84	NO3	-1	5.100	5.100	8.227E-05	8.227E-05	100.00	7.782E-05	.9459	4.109
26	OH	-1		.006910		4.064E-07	.00	3.844E-07	.9459	6.415
34	SiO2 tot	0	14.900		2.480E-04					
23	H4SiO4aq	0		23.514		2.447E-04	98.65	2.448E-04	1.0006	3.611
24	H3SiO4	-1		.317		3.337E-06	1.35	3.156E-06	.9459	5.501
5	SO4	-2	.260	.240	2.707E-06	2.497E-06	92.24	2.005E-06	.8030	5.698

1 1 M.H. MERINO - Data test sample 25 - Río Turbio 1 5

	Phase	Log IAP/KT	Log IAP	Sigma(A)	Log KT	Sigma(T)
39	Adularia	1.290	-20.786		-22.076	
40	Albite	-.058	-19.323		-19.265	
140	Al(OH)3 (a)	-.591	11.501		12.092	
50	Alunite	-7.697	-6.646		1.051	
42	Analcime	-2.123	-15.712		-13.589	
17	Anhydrite	-4.644	-8.986		-4.342	
21	Aragonite	-.148	-8.389		-8.240	.020
472	Basaluminite	1.086	23.786		22.700	
19	Brucite	-5.536	12.625		18.162	
12	Calcite	.010	-8.389		-8.398	.020
97	Chalcedony	.170	-3.611		-3.782	
20	Chrysotile	-3.999	30.654		34.653	
99	Cristobalite	.244	-3.611		-3.855	
154	Diaspore	3.418	11.501		8.083	
11	Dolomite (d)	-1.385	-17.384		-15.999	
401	Dolomite (c)	-.754	-17.384		-16.630	
340	Epsomite	-7.315	-9.593		-2.278	
62	Fluorite	-3.724	-14.575		-10.852	
51	Gibbsite (c)	2.279	11.501		9.222	.200
18	Gypsum	-4.387	-8.986		-4.599	
64	Halite	-8.847	-7.310		1.537	
47	Halloysite	1.335	15.780		14.445	
46	Kaolinite	6.623	15.780		9.157	
128	Laumontite	5.200	-27.691		-32.892	
10	Magnesite	-1.267	-8.996		-7.728	
141	Prehnite	1.354	-10.848		-12.202	
101	Quartz	.661	-3.611		-4.272	
153	Sepiolite(d)	-4.243	14.417		18.660	
36	Sepiolite(c)	-1.864	14.417		16.282	
395	SiO2 (a)	-.736	-3.611		-2.875	

```
1 2 M.H. MERINO - Data test sample 27 - Río Turbio                          1      5
  261.  320.      0   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000   .0000
                      TEMP      =        10.100000
                      PH        =         8.700000
                      EH(0)     =       473.000000
                      DOC       =          .000000
                      DOX       =        10.600000
                      CORALK    =         0
                      FLG       =       MG/L
                      DENS      =         1.000000
                      PRNT      =         0
                      PUNCH     =         1
                      EHOPT(1)  =         0  Use measured Eh to calculate Fe species distribution
                      EHOPT(2)  =         0  Use measured Eh to calculate Mn species other than +2
                      EHOPT(3)  =         0  Use measured Eh to calculate Cu +1 species
                      EHOPT(4)  =         0  Use measured Eh to calculate As species distribution
                      EHOPT(5)  =         0  Use measured Eh to calculate Se species distribution
                      EHOPT(6)  =         0  Use measured Eh to calculate Ion Activity Products
                      EHOPT(7)  =         3  Use H2O/O2 classical Eh to calculate atmospheric pO2
                      EHOPT(8)  =         0  Use measured Eh to calculate H2S from SO4
                      EHOPT(9)  =         0  Use measured Eh to calculate U species distribution
                      EMPOX     =         0
                      ITDS      =       319.830000
                      COND      =       261.200000
                      SIGMDO    =          .000000
                      SIGMEH    =          .000000
                      SIGMPH    =          .000000

     Species    Index No      Input Concentration
     ---------------------------------------------
     Ca        :    0   :       17.40000000
     Mg        :    1   :        1.21000000
     Na        :    2   :       64.80000000
     K         :    3   :         .90000000
     Cl        :    4   :        9.15000000
     SO4       :    5   :       62.80000000
     HCO3      :    6   :      141.80000000
     Fe total  :   16   :         .00000000
     H2S aq    :   13   :         .00000000
     CO3       :   17   :         .00000000
     SiO2 tot  :   34   :       12.90000000
     NH4       :   38   :         .00000000
     B tot     :   86   :         .00000000
     PO4       :   44   :         .00000000
     Al        :   50   :         .30000000
     F         :   61   :         .09100000
     NO3       :   84   :        5.98000000
     NO2       :  202   :         .07600000


ITER  S1-AnalCO3     S2-AnalSO4      S3-AnalF      S4-AnalPO4     S5-AnalCL      S6-AnalH2S     S7-AnalFULV     S8-AnalHUM
  1  6.228536E-05   3.336323E-05   2.323229E-08   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00
  2  4.067014E-07   3.563957E-07   1.428505E-10   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00
  3  1.927687E-09   8.496746E-10   1.069681E-12   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00   0.000000E+00
```

1 2 M.H. MERINO - Data test sample 27 - Río Turbio 1 5 Date = 5/31/93 17:26

261. 320. 0 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000 .0000

DOX = 10.6000 DOC = .0 INPUT TDS = 319.8

Anal Cond = 261.2 Calc Cond = 401.0 Activity H2S calc from SO4 and pe = 0.00E+00

Anal EPMCAT = 3.8440 Anal EPMAN = 3.9952 Percent difference in input cation/anion balance = -3.8565

Calc EPMCAT = 3.7136 Calc EPMAN = 3.8967 Percent difference in calc cation/anion balance = -4.8102

Total Ionic Strength (T.I.S.) from input data = .00509

Effective Ionic Strength (E.I.S.) from speciation = .00491

Input	Sigma	Fe3/Fe2	Sigma	NO3/NO2	Sigma	NO3/NH4	Sigma	SO4/S=	Sigma	S/S=	Sigma	Sato H2O2/O2	Sigma	H2O/O2	Sigma
Eh															
473.000	.000	9.900	.000	.411	.000	9.900	.000	9.900	.000	9.900	.000	.102	.000	.703	.000
pe															
100.000	.000	100.000	.000	7.312	.000	100.000	.000	100.000	.000	100.000	.000	1.815	.000	12.500	.000

As5/As3	Sigma	As3/As	Sigma	Se6/Se4	Sigma	Se4/Se	Sigma	Se/Se=	Sigma	U6/U4	Sigma		Sigma		Sigma
Eh															
9.900	.000	9.900	.000	9.900	.000	9.900	.000	9.900	.000	9.900					
pe															
100.000	.000	100.000	.000	100.000	.000	100.000	.000	100.000	.000	100.000					

T	pH	TDS ppm	Effective Ionic Str	pO2 Atm	ppm O2 Atm	pCO2 Atm	ppm CO2 Atm	log pCO2	CO2 Tot		Ncrb Alk	aH2O
10.10	8.700	317.4	.00491	2.58E-04	8.27E+00	2.20E-04	9.66E+00	-3.658	2.26E-03		2.19E-05	.9999

I	Species		Anal ppm	Calc ppm	Anal Molal	Calc Molal	% of Total	Activity	Act Coeff	-Log Act
50	Al	3	.300000	.000000	1.112E-05	6.371E-16	.00	3.293E-16	.5169	15.482
53	Al(OH)4	-1		1.055		1.111E-05	99.88	1.032E-05	.9293	4.986
0	Ca	2	17.400	15.683	4.343E-04	3.914E-04	90.13	2.940E-04	.7510	3.532
30	CaCO3 aq	0		1.327		1.326E-05	3.05	1.327E-05	1.0011	4.877
29	CaHCO3	1		.603		5.968E-06	1.37	5.546E-06	.9293	5.256
31	CaSO4 aq	0		3.209		2.358E-05	5.43	2.361E-05	1.0011	4.627
4	Cl	-1	9.150	9.150	2.582E-04	2.582E-04	100.00	2.397E-04	.9285	3.620
17	CO3	-2		2.643		4.406E-05	1.95	3.311E-05	.7514	4.480
6	HCO3	-1	141.800	132.671	2.325E-03	2.175E-03	96.43	2.025E-03	.9310	2.694
61	F	-1	.091	.091	4.791E-06	4.768E-06	99.51	4.431E-06	.9293	5.353
63	H	1		.000002		2.133E-09	.00	1.995E-09	.9356	8.700
3	K	1	.900	.898	2.302E-05	2.297E-05	99.75	2.133E-05	.9285	4.671
1	Mg	2	1.210	1.107	4.979E-05	4.556E-05	91.51	3.433E-05	.7535	4.464
20	MgCO3 aq	0		.073		8.619E-07	1.73	8.629E-07	1.0011	6.064
21	MgHCO3	1		.072		8.395E-07	1.69	7.801E-07	.9293	6.108
22	MgSO4 aq	0		.301		2.501E-06	5.02	2.504E-06	1.0011	5.601
2	Na	1	64.800	64.577	2.820E-03	2.810E-03	99.66	2.613E-03	.9299	2.583
202	NO2	-1	.076	.076	1.653E-06	1.653E-06	100.00	1.536E-06	.9293	5.814
84	NO3	-1	5.980	5.980	9.647E-05	9.647E-05	100.00	8.965E-05	.9293	4.047
26	OH	-1		.027		1.593E-06	.00	1.480E-06	.9293	5.830
34	SiO2 tot	0	12.900		2.148E-04					
23	H4SiO4aq	0		19.748		2.055E-04	95.70	2.058E-04	1.0011	3.687
24	H3SiO4	-1		.878		9.234E-06	4.30	8.581E-06	.9293	5.066
5	SO4	-2	62.800	59.719	6.540E-04	6.219E-04	95.09	4.660E-04	.7493	3.332

1 2 M.H. MERINO - Data test sample 27 - Río Turbio 1 5

	Phase	Log IAP/KT	Log IAP	Sigma(A)	Log KT	Sigma(T)
39	Adularia	1.045	-20.717		-21.761	
40	Albite	.372	-18.629		-19.000	
140	Al(OH)3 (a)	-1.204	10.617		11.822	
50	Alunite	-6.119	-5.582		.537	
42	Analcime	-1.539	-14.942		-13.403	
17	Anhydrite	-2.528	-6.863		-4.336	
21	Aragonite	.244	-8.012		-8.256	.020
472	Basaluminite	-.962	21.738		22.700	
19	Brucite	-4.949	12.936		17.885	
12	Calcite	.399	-8.012		-8.411	.020
97	Chalcedony	.047	-3.687		-3.733	
20	Chrysotile	-2.706	31.434		34.140	
99	Cristobalite	.113	-3.687		-3.799	
154	Diaspore	2.787	10.618		7.831	
11	Dolomite (d)	-.844	-16.956		-16.112	
401	Dolomite (c)	-.230	-16.956		-16.726	
340	Epsomite	-5.548	-7.796		-2.249	
62	Fluorite	-3.443	-14.239		-10.795	
51	Gibbsite (c)	1.628	10.617		8.989	.200
18	Gypsum	-2.272	-6.863		-4.591	
64	Halite	-7.750	-6.203		1.547	
47	Halloysite	-.175	13.862		14.037	
46	Kaolinite	5.066	13.862		8.796	
128	Laumontite	4.237	-28.250		-32.487	
10	Magnesite	-1.153	-8.944		-7.791	
141	Prehnite	1.400	-10.695		-12.096	
101	Quartz	.525	-3.687		-4.211	
153	Sepiolite(d)	-3.849	14.811		18.660	
36	Sepiolite(c)	-1.361	14.811		16.173	
395	SiO2 (a)	-.846	-3.687		-2.841	

CONSIDERACIONES FINALES y CONCLUSIONES

Por primera vez se ha efectuado una caracterización geoquímica de las aguas de la cuenca de los rios Turbio y Gallegos.La mayor parte de las muestras extraídas son, de acuerdo con su composición iónica, **bicarbonato cálcicas e intermedias (sin catión dominante), no salinas (media < 1000 mg STD/l), débilmente alcalinas (media pH = 7,6), semiduras (media CaCO3) = 74,22 mg/l.**

La determinación de oligoelementos por espectrometría de absorción atómica demostró que, en su mayoría, se encuentran por debajo del límite de detección en los dos periodos de muestreo. Los contenidos de flúor, mercurio y hierro detectados están por debajo de los límites máximos permisibles para aguas potables.

De acuerdo con los valores de pH y del potencial redox medido (Eh), las aguas superficiales, que son de tipo oxidante (O), pertenecen a los grupos V y VI de la clasificación de PAVLOV y SHEMYAKIN (1957).

Se realizaron análisis de muestras correspondientes al actual sistema de provisión de agua potable a la ciudad de Río Gallegos. Se trata de aguas **clorurado sódicas** , no salinas (media 405,0 mg STD/l), alcalinas (media pH = 8,5), blandas (media CaCO3 = 8,528 mg/l) y según sus valores de potencial redox y de pH, transicionales (M), grupos X, XI, XII.

Se demostró que el modelo de correlación lineal es el que mejor representa las relaciones entre los distintos pares de variables medidas en aguas de esta cuenca. Consecuentemente, se clasificaron los coeficientes de correlación de los pares de variables correspondientes al muestreo realizado en octubre de 1993, encontrándose correlaciones significativas, muy significativas y altamente significativas; entre las últimas se encuentran las de

magnesio con cloruro y calcio con bicarbonato.

Si bien la demanda química de oxígeno (D.Q.O.) en las aguas superficiales de la cuenca del río Turbio-Gallegos presenta correlaciones negativas con varios parámetros, es importante señalar el valor correspondiente con el oxígeno disuelto: r= -0.243. La correlación negativa se explica por el hecho de que, a mayor contenido de oxígeno disuelto en el agua, menor debería ser la demanda (química o bioquímica) de oxígeno. Lo que se destaca, es su **bajo valor absoluto**.

Se ha observado que la D.Q.O, en las aguas superficiales, presenta una dependencia funcional directa de los contenidos de los aniones sulfuro y sulfato. Con ellos se dan las más altas correlaciones positivas ($r\ S^{2-}$-$D.Q.O.$ = 0.56; $r\ SO_4^{2-}$-$D.Q.O.$ = 0.59). Este hecho sugiere el desarrollo de procesos anaeróbicos que consumen oxígeno rápidamente, y que están vinculados con los valores de la relación de los aniones sulfuro y sulfato que, como puede observarse, presentan correlaciones altamente significativas (r = 0.99).

De acuerdo con las condiciones definidas por los pares de valores de Eh-pH, ese tipo de aguas posee una alta capacidad de disolución. Sin embargo, si observamos las últimas muestras próximas a la desembocadura del río Gallegos puede notarse que, en época de deshielo, su contenido salino (STD 52,0 mg/l) no aumenta significativamente con respecto a las muestras ubicadas en el tramo superior de la cuenca. Atento a las características litológicas dominantes en el área (donde predominan rocas volcánicas, básicas y silícicas, que no son fácilmente erosionables) y a la alta velocidad de escurrrimiento, que juega un importante papel no permitiendo un tiempo prolongado de contacto de la interface agua-roca, el fenómeno de intercambio iónico es relativamente limitado y, en consecuencia, el aporte de sales al agua por parte de las rocas y sedimentos es muy poco significativo.

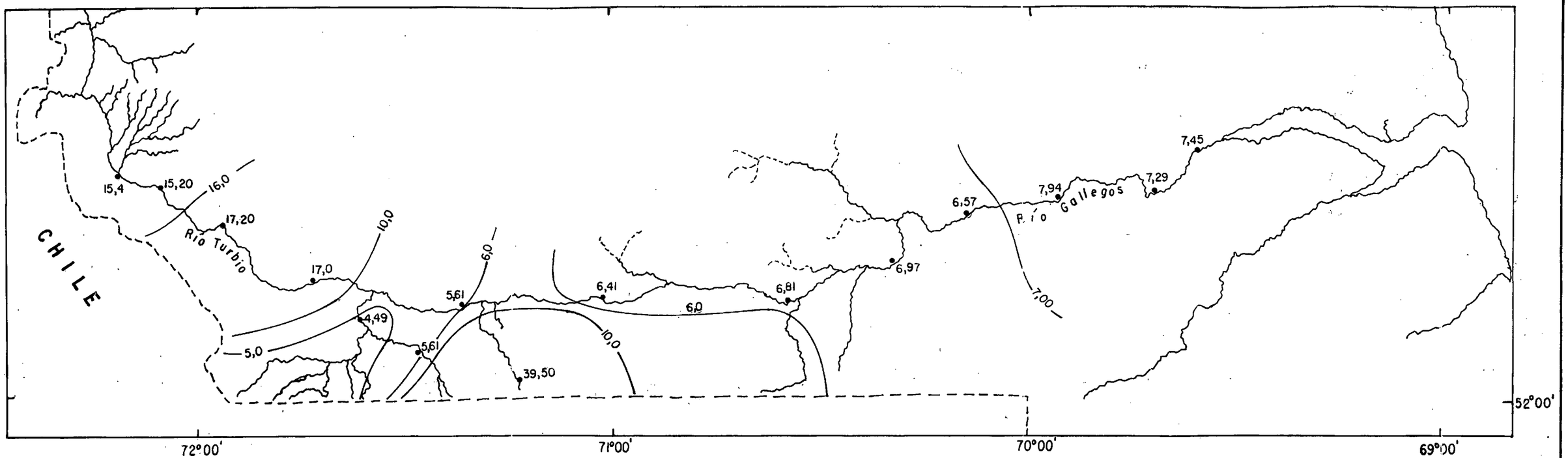
La sílice disuelta proviene de la descomposición de silicatos minerales y su contenido aumenta con un aumento del pH, factor que generalmente facilita el proceso. Presenta correlaciones negativas con todos los iones. Vale decir, que tanto el sodio como el potasio, el calcio, el magnesio, el bicarbonato, el sulfuro, etc. provienen, en su mayor parte, de otras fuentes.

Los contenidos de magnesio, calcio y bicarbonato presentan correlaciones altas entre si, y a su vez, este último con el sodio. Esos elementos provienen de una misma fuente, que en mayor medida son los suelos salino-alcalinos que predominan en toda el área.

El análisis de agrupamiento demostró una fuerte asociación entre sulfato, sulfuro y turbidez que permanece constante cualquiera sea la distancia (Euclidiana o Pearson) que se utilice para su construcción. Esto implica que el sulfato, sulfuro y la turbidez podrían ser producto de un mismo proceso.

El contenido de sulfato de la muestra 31 (446.0 mg/l) perteneciente al desagüe de mina, demuestra que el agua de mina arrojada al río aporta considerablemente al aumento de contenidos de sulfato en la cuenca. En menor medida, lo hace también el agua proveniente de la planta de tratamiento (muestra 30) que presenta un contenido de sulfato de 265.20 mg/l.

La muestra 04, tomada cerca de la desembocadura del efluente de la planta de tratamiento del yacimiento de Rio Turbio, posee características particulares. Contiene el máximo valor de turbidez (999,0 ppm) debido a que el agua, proveniente de la planta de tratamiento, se arroja al rio con un volumen excesivo de partículas en suspensión. También se diferencian significativamente la totalidad de los parámetros medidos, de los cuales llama la atención la DQO (15,1 mg/l) y los contenidos de nitrato (19,0 mg/l) y de sulfato (76,4 mg/l). En el tramo superior de la cuenca del rio Turbio



REFERENCIAS

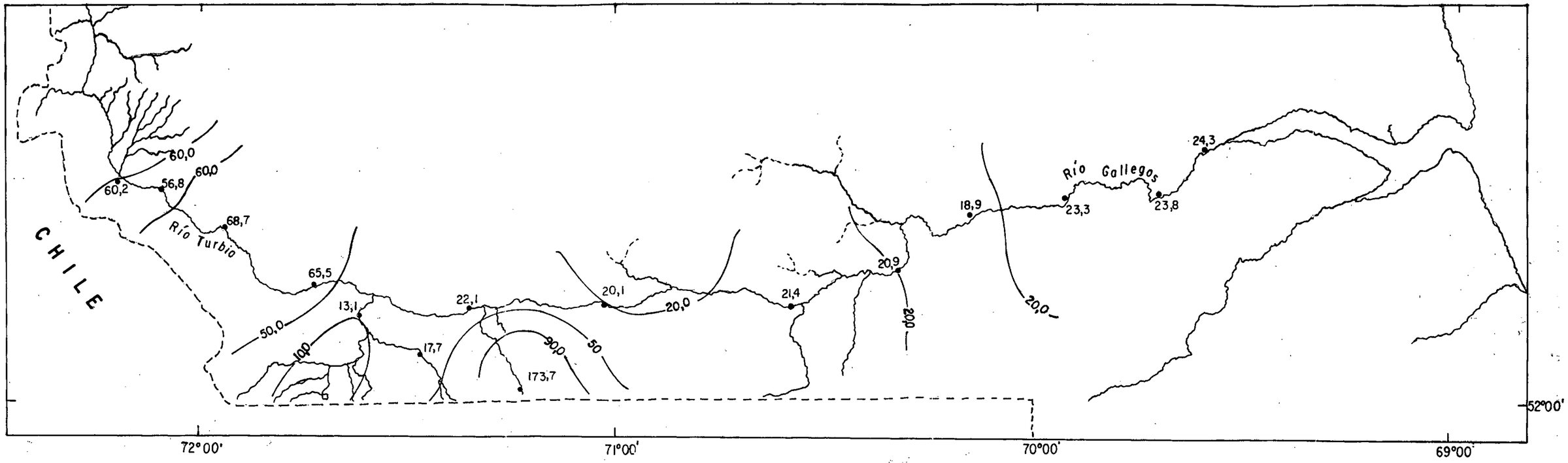
Río o Arroyo

5,0 Curva de Isocontenido

39,50 Muestra y contenido en mg/l

0 10 20 30 40 50 km

Mapa Nº 3 DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE Ca^{2+}



REFERENCIAS

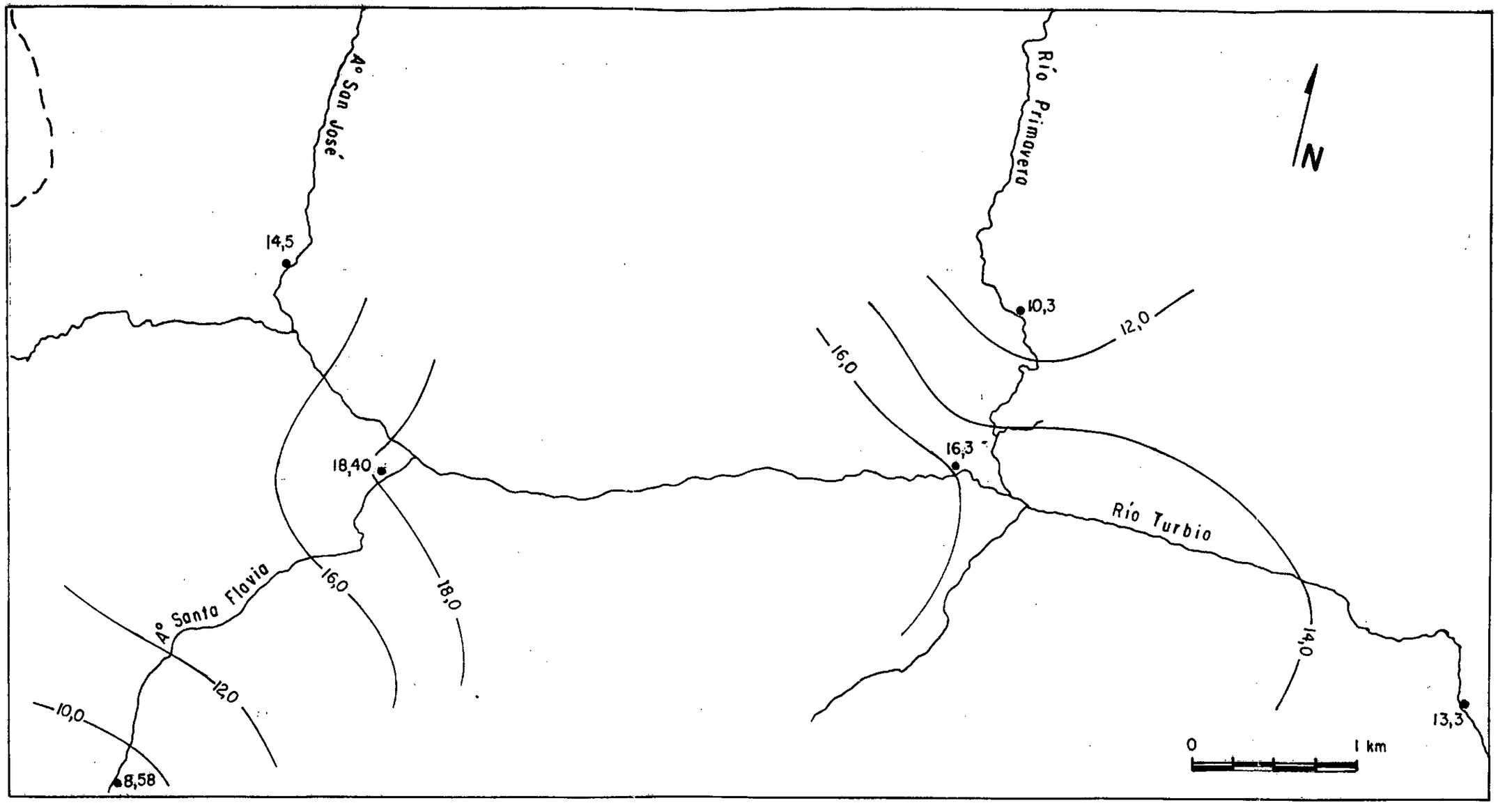
Río o Arroyo

90,0 Curva de Isocontenido

21,4 Muestra y contenido en mg/l

0 10 20 30 40 50 km

Mapa N°4 DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE HCO_3^-



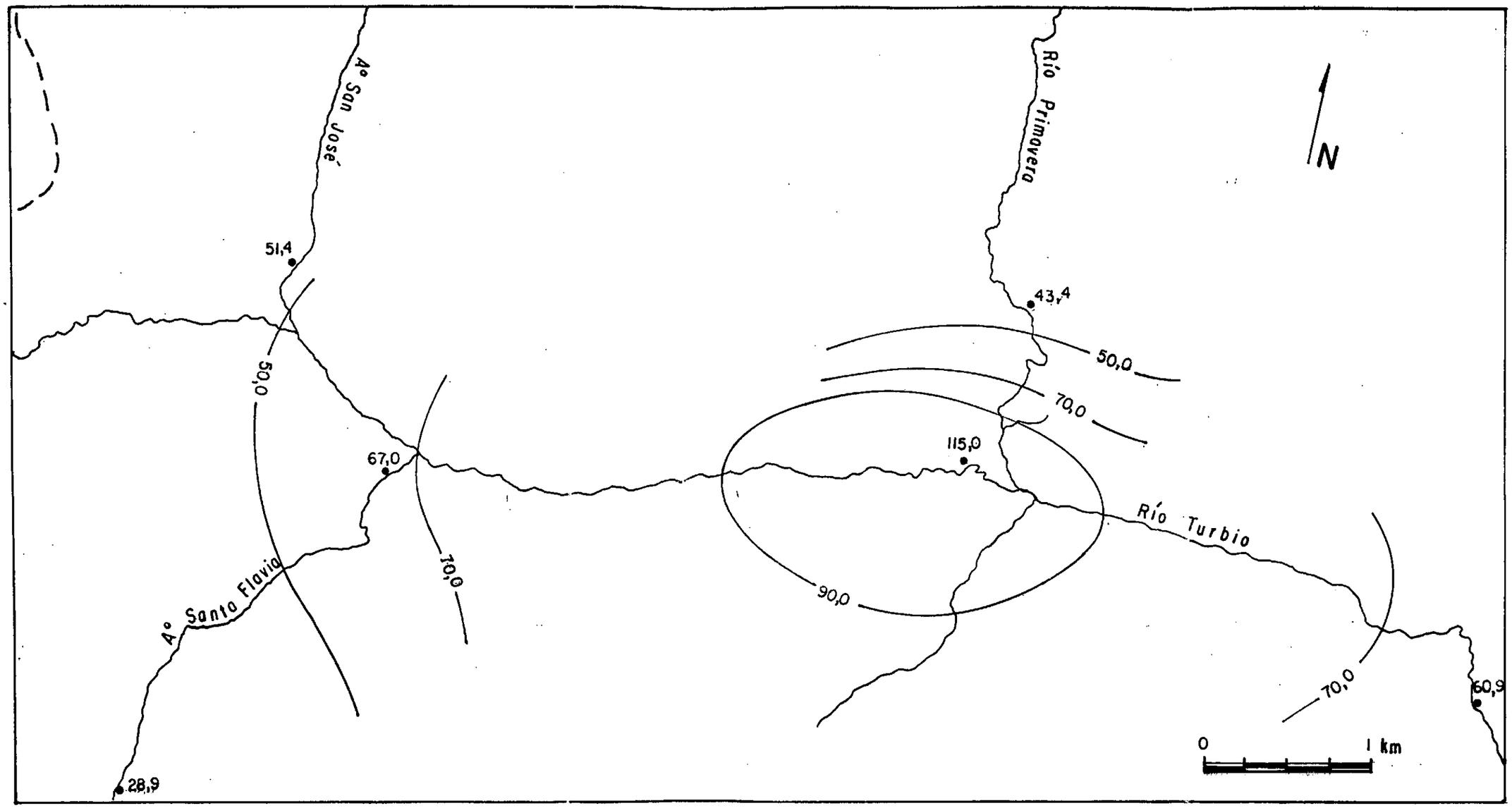
REFERENCIAS

Río o Arroyo

12,0 Curva de Isocontenido

12,0 Muestra y contenido en mg/l

Mapa Nº 5 DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE Ca^{2+}



REFERENCIAS

Río o Arroyo

70,0 Curva de Isocontenido

43,4 Muestra y contenido en mg/l

Mapa N°6 DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE HCO_3^-

(mapas 5 y 6) se observa la influencia de esa muestra en la distribución geográfica areal del bicarbonato. En ese sector se produce una modificación antrópica de los contenidos de bicarbonato.

Otra muestra que reveló interés por su singularidad es la 13, perteneciente al arroyo El Zurdo, que presenta un contenido mucho mayor de sólidos disueltos (STD = 310,99 mg/l) con respecto al valor medio del área (STD en el área = 98,7 mg/l). En los mapas de distribución geográfica (mapas 3 y 4) puede verse como el arroyo El Zurdo juega un papel muy importante, en cuanto al aporte de sales solubles, en toda la cuenca.

Se ha podido comprobar que el aumento de caudal en la época de deshielo produce, desde el punto de vista geoquímico, modificaciones importantes en la cuenca. El cuadro XII muestra que en la mayoria de los iones presentes en el agua se producen aumentos significativos de sus contenidos en la época de bajo caudal. La comparación de los contenidos de sólidos totales disueltos (STD) que van de 98,27 mg/l, en época de deshielo, a 319,83 mg/l, en época de bajo caudal, demuestran la magnitud del fenómeno mencionado. Puede verse claramente la relación de las magnitudes en la representación de la figura 16.

En el cuadro XIII se ha presentado una comparación de las proporciones medias relativas de los iones mayoritarios para los dos períodos de muestreo. La fig.17 demuestra que para los cationes la proporción relativa se mantiene constante en los dos períodos; sin embargo la figura 18 muestra que en el caso de los aniones se producen modificaciones significativas. En época de bajo caudal aumenta sensiblemente la proporción de sulfato (de 4,03 meq% a 17,60 meq%) con respecto a la de bicarbonato y cloruro.

Mediante la utilización de diagramas de Eh-pH para el sistema S-O-H (tomado de Brookins, 1988) en la figura 19 queda

CUADRO XII

Comparación de contenidos medios en mg/l

	oct.92	marzo.93		oct.92	marzo.93
SiO2	6.84	13.31	TDS	98.27	319.83
Na+	12.41	56.40	Dureza	37.63	74.22
K+	1.25	1.16	CO2	8.93	9.30
Mg2+	1.89	2.76			
Ca2+	11.95	25.18			
HCO3-	47.48	134.37			
SO4=	4.35	65.21			
Cl-	6.21	15.31			
S-	0.49	1.04			

CUADRO XIII

Comparación de contenidos medios en meq%

	oct.92	marzo.93
Na+	37.64	39.08
K+	2.49	1.23
Mg2+	11.80	11.60
Ca2+	48.08	48.08
HCO3-	74.45	70.29
SO4=	4.03	17.60
Cl-	21.53	12.11

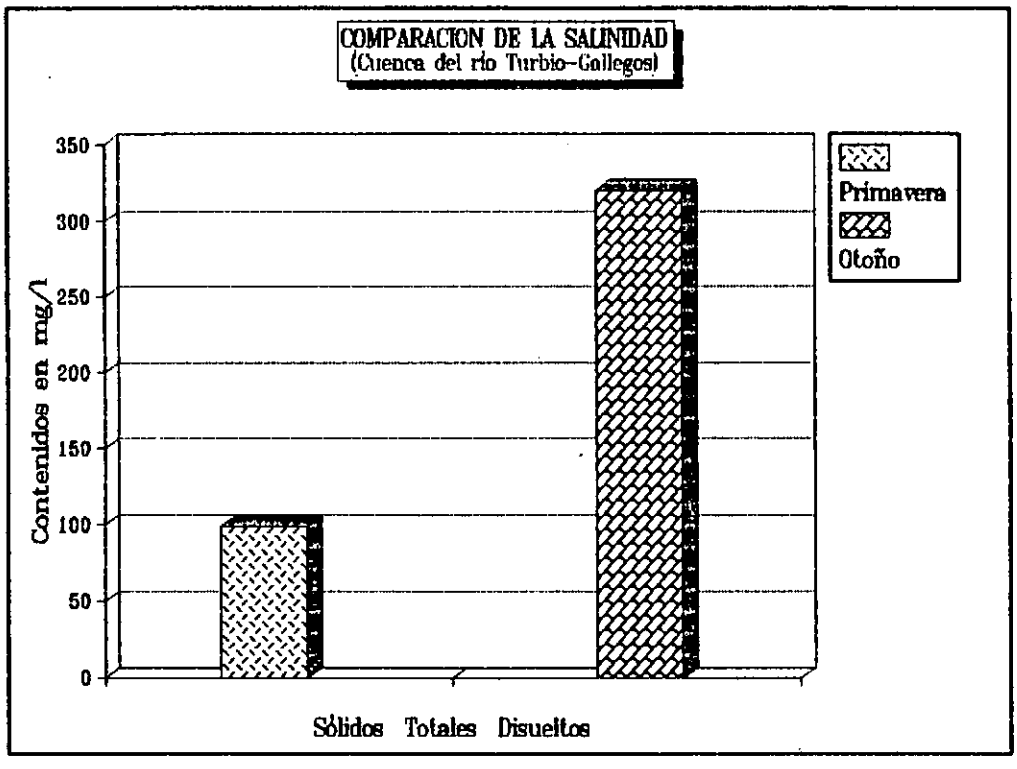


Fig. 16

comprobado que para el azufre la única especie iónica posible en estas aguas es el SO_4^{2-}. Esto se debe a que la proporción de oxígeno disuelto en estas aguas es muy elevada (contenido medio de O.D.= 9.42 mg/l) y aunque se esté aportando azufre en otras formas iónicas éstas se oxidan rápidamente (el sulfuro sólo se alcanza a detectar en pequeñísimas proporciones).

Es importante destacar que:

- el agua proveniente del deshielo es agua con muy bajo contenido salino; a pesar se su alta capacidad de disolución, la alta velocidad de escurrimiento hacen limitar la magnitud del fenómeno de intercambio iónico agua-sedimento.
- el aporte de sulfato a la cuenca proviene, en gran medida, de los efluentes de planta de tratamiento y desagüe de mina del yacimiento Río Turbio.

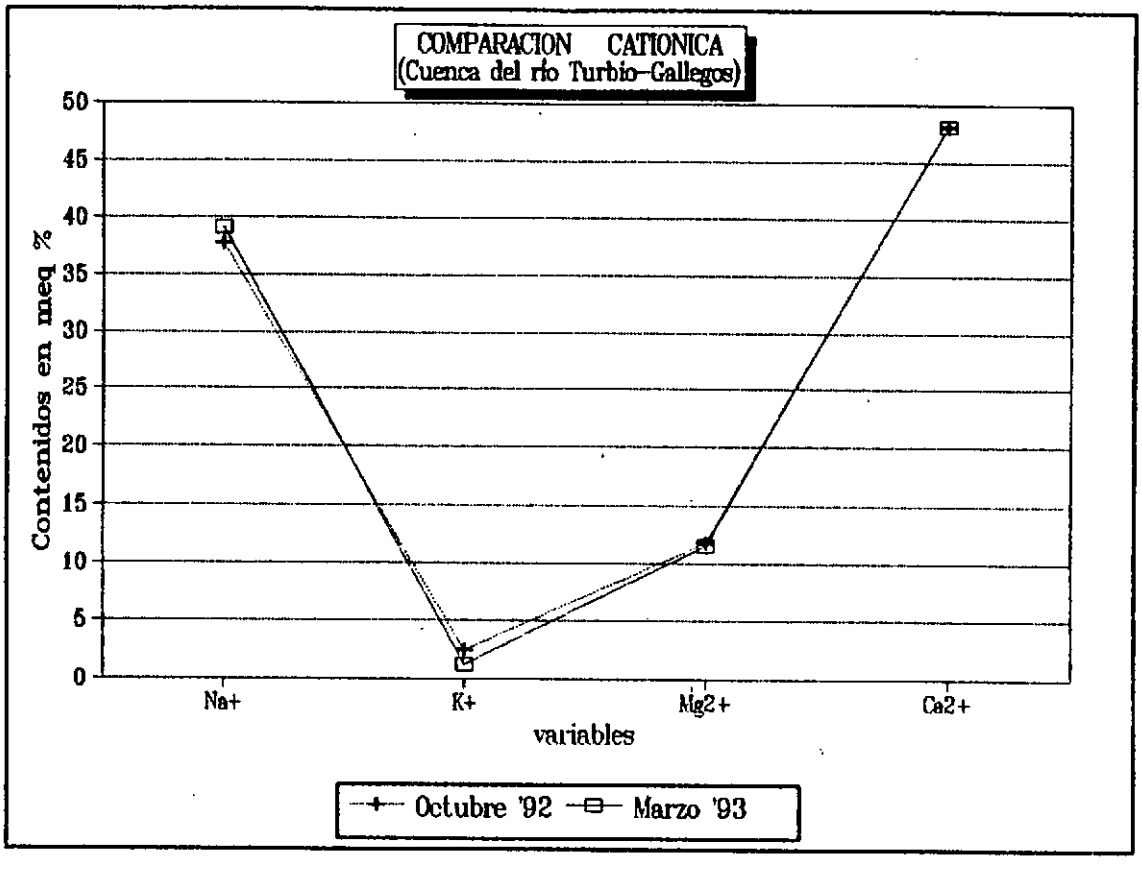

COMPARACION CATIONICA
(Cuenca del río Turbio-Gallegos)
Contenidos en meq %
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Na+
K+
Mg2+
Ca2+
variables
Octubre '92
Marzo '93

Fig. 17

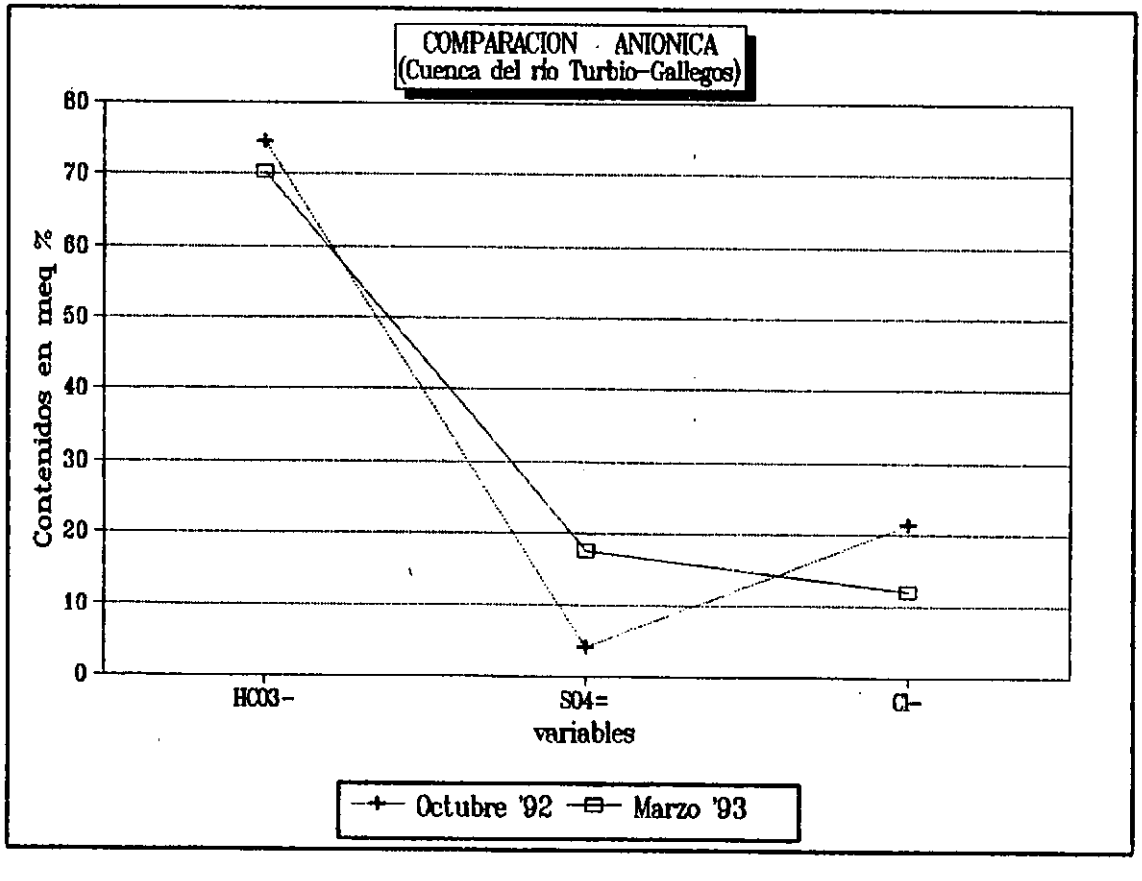

COMPARACION ANIONICA
(Cuenca del río Turbio-Gallegos)
Contenidos en meq %
80
70
60
50
40
30
20
10
0
HCO3-
SO4=
Cl-
variables
Octubre '92
Marzo '93

Fig.18

DIAGRAMA Eh-pH SEGUN BROOKINS (1988)

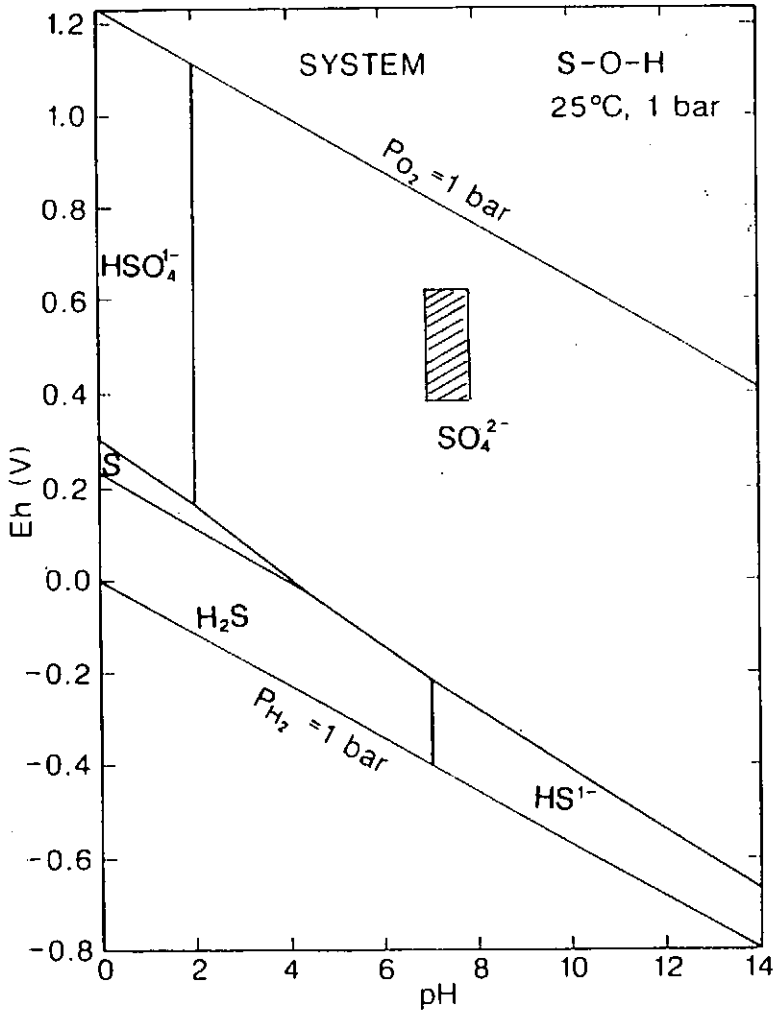


Fig.19

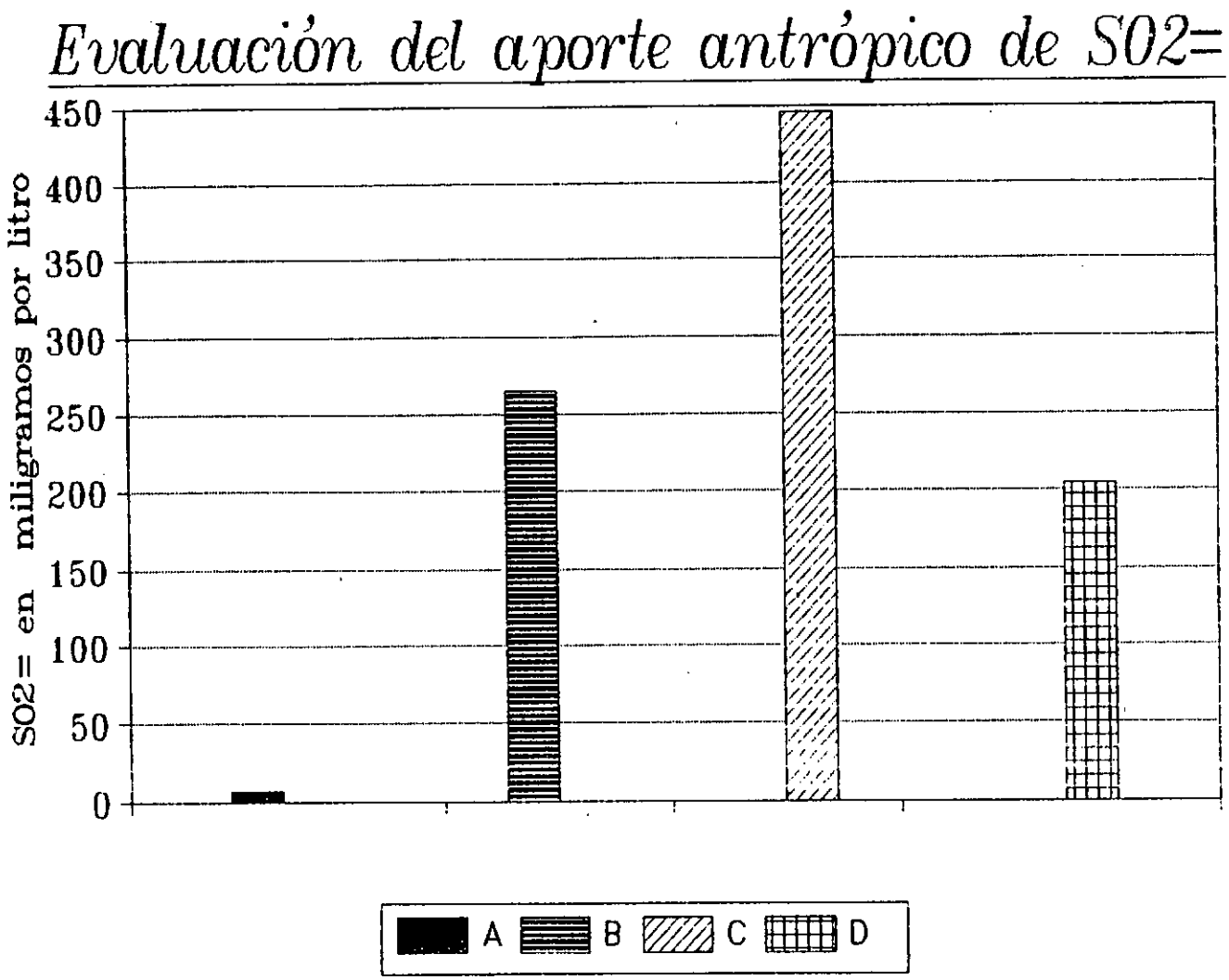


Fig.20 A: contenido medio antes del yacimiento de Río Turbio
B: contenido de la muestra 30 (efluente de la planta de tratamiento)
C: contenido de la muestra 31 (desague de mina)
D: contenido medio aguas abajo del yacimiento de Río Turbio

- existe una fuerte asociación entre el anión sulfato y la turbidez.
- la turbidez se produce por la elevada cantidad de material en suspensión que consiste, principalmente, en minerales de las arcillas y en partículas de carbón provenientes de los desechos de mina y del efluente de la planta de tratamiento.

En resumen, **la actividad minera de río Turbio está produciendo desechos que son arrojados al río.** La ubicación de las pilas de "esteril", en la planicie de inundación del río, permite que a través de la lluvia, o en períodos de deshielo, ese material ingrese al sistema hídrico **produciendo principalmente una contaminación de tipo física que se suma al aporte de los efluentes.**

Los materiales en suspensión, compuestos principalmente por arcillas y partículas de carbón, viajan a lo largo de toda la cuenca depositándose en el fondo del lecho del rio en lugares muy cercanos a la desembocadura. El mineral predominante es, netamente, montmorillonita, mineral arcilloso con una gran aptitud para mantenerse en suspensión y una elevada capacidad de intercambio catiónico. Este hecho es muy significativo a lo largo de su recorrido, ya que va intercambiando iones con el medio acuoso y, por lo tanto, produce una modificación del sistema geoquímico natural de la cuenca que influye, principalmente, en las caracteristicas de la biota.

En el cuadro XIV puede verse la distribución de las especies calculadas con WATEQ4F en las muestras 25 (antes del yacimiento de Río Turbio) y 27 (aguas abajo del yacimiento). De la comparación de los resultados puede comprobarse que aguas abajo del yacimiento se generan nuevas especies iónicas antes no presentes ($CaSO_4^0\ aq$, $CaCO_3^0\ aq$, $MgCO_3^0\ aq$ y $MgSO_4^0\ aq$) y desaparecen otras ($H_2CO_3^0$). Por otra parte, el cálculo refleja que, para el azufre, la única forma iónica posible es el SO_4^{2-} como antes se habia demostrado. La modificación de los valores de la concentración -log M muestran

Cuadro XIV

Especies iónicas disueltas en aguas superficiales de la cuenca del río Turbio

	Muestra 25 (-log M)	Muestra 27 (-log M)
Ca^{2+}	3.192	3.407
$CaHCO_3$	5.168	5.224
$CaSO_4^0$ aq	- - -	4.628
$CaCO_3^0$ aq	- - -	4.877
Cl^-	3.774	3.588
HCO_3^-	2.802	2.662
$H_2CO_3^0$ aq	4.585	- - -
F^-	5.619	5.321
K^+	4.948	4.638
Mg^{2+}	3.800	4.255
$MgCO_3^0$ aq	- - -	6.064
$MgSO_4^0$ aq	- - -	4.627
$MgHCO_3$	5.647	6.075
Na^+	3.486	2.551
SiO_2 tot.	3.605	3.667
$H_4SiO_4^0$ aq	3.611	3.687
$H_3SiO_4^-$	5.476	5.034
SO_4^{2-}	5.602	3.206

la magnitud de las variaciones geoquímicas que se producen en un corto tramo de la cuenca. En las páginas 57 y 60 se encuentran los resultados obtenidos correspondiente a los indices de saturación para las distintas fases minerales calculadas con WATEQ4F. En ese aspecto, la evolución geoquímica marca la tendencia de las aguas a subsaturarse con respecto a albita y aragonita. El aporte de sílice condiciona el aumento del SI del cuarzo (de 0.525 en la muestra 25 a 0.661 en la muestra 27) y de la calcedonia (de 0.047 en la muestra 25 a 0.170 en la muestra 27). La caolinita aumenta su estado de saturación (de 5.066 en la muestra 25 a 6.623 en la muestra 27).

Todos esos fenómenos indican la tendencia de las aguas a saturarse rápidamente con fases minerales relacionadas con el aporte antrópico de diferentes elementos a la cuenca como por ejemplo la minerales de las arcillas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su agradecimiento a las autoridades de la provincia de Santa Cruz que facilitaron el desarrollo de las campañas de muestreo geoquímico de la cuenca de los rios Turbio y Gallegos y posibilitaron la concreción de la presente investigación.

Dejan constancia de su gratitud al señor Gerente de Explotación de Servicios Públicos S. E., Ing. D. Néstor C. Diziano, a la señora Jefa del Departamento Laboratorio Dña. Silvia Bustos y a todo el personal de dicho Departamento, en particular al señor Ricardo Salinas, así como al señor Cildo Igor, por su amplia colaboración en las tareas de muestreo.

Bibliografía citada

BALL, J.W. y NORDSTROM D.K., 1991. WATEQ4F: A program for calculating speciation of major, trace and redox elements in natural waters. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Open-file report 91-183.

BROOKINS, D.G., 1988. Eh-pH diagrams for geochemistry. Springer-Verlag, N.Y., 176p.

BROWN, E., SKOUGSTAD, M.W. y FISHMAN, M.J., 1970. Methods for collection and analysis of water samplesfor disolved minerals and gases. U.S. Geol. Surv., Techniques of Water-Resources Investigations, 5 (A1), 160p.

CRAMER, H., 1974. Mathematical Method of Statistics. 13 ed.. Princeton Univ. Press, Princenton, 575 p.

HEM, J.D., 1985. Study and Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Waters. 3a. ed.. U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper 2254, 264 p.

NICOLLI, H.B., O'CONNOR, T.E., SURIANO, J.M., KOUKHARSKY, M.M.L., GOMEZ PERAL, M.A., BERTINI, M.L., COHEN, I.M., CORRADI, L.I., BALEANI, O.A. y ABRIL, E.G., 1985. Geoquímica del arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura sudoriental de la provincia de Córdoba. Miscelánea No. 71, Acad. Nac. de Ciencias, Córdoba, 112 p.

PAVLOV, A.N., y SHEMYAKIN, V.N. 1957. A Geochemical Clasification of Natural Water. Gechem. Int. No 4: 1159-1164. (Geokhimiya No 12: 1482-1488).

SMITH, A.Y., OLSEN, H., ARMOUR-BROWN, A. y BASSET, M., 1973. Exploration for uranium in Central and Eastern Macedonia and Thrace, Greece. A Manual of Methods Used in the Uranium Exploration Project. GRE-70=529. Technical Report 1, 101 p.

WIGLEY, T.M.L., 1977. WATSPEC: a computer program for determining speciation of aqueous solutions. British Geomorfological Research Group Technical Bulletin no. 20, 48p.

WOOD, W.W., 1976. Guidelines for collection and field analysis of groudwater samples for selected unestable constituents. U.S. Geol. Surv. Thecniques of Water-Resource Investigations, D2, (1), 24 p.