O
H 1112 - 42
N19
I

37313

CONSEJO FEDERAL I
BIBLIOTECA
Dr. Manuel
Belgrano

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

INFORME CORRESPONDIENTE A LA PRIMERA ETAPA DE TRABAJO

O/H 1112
N19
I
x 12

por: Dr. Hugo B. NICOLLI
Geól. Marcelo H. MERINO

Buenos Aires, 21 de diciembre de 1992

C. F. I.
INGRESO
21 DIC 1992
Nº 9140

De mi mayor consideración:

Me dirijo a Ud. con el objeto de poner a su consideración el informe correspondiente la primera etapa de trabajo: "**Caracterización Geoquímica de las Aguas de la Cuenca de los ríos Turbio-Gallegos**", que se entrega en tres (3) ejemplares, de acuerdo con el plan de trabajo propuesto en el contrato-exp. No 2227.

Sin otro particular, lo saludo muy atentamente.

Dr. Hugo B. NICOLLI
M.P. No. 522

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

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

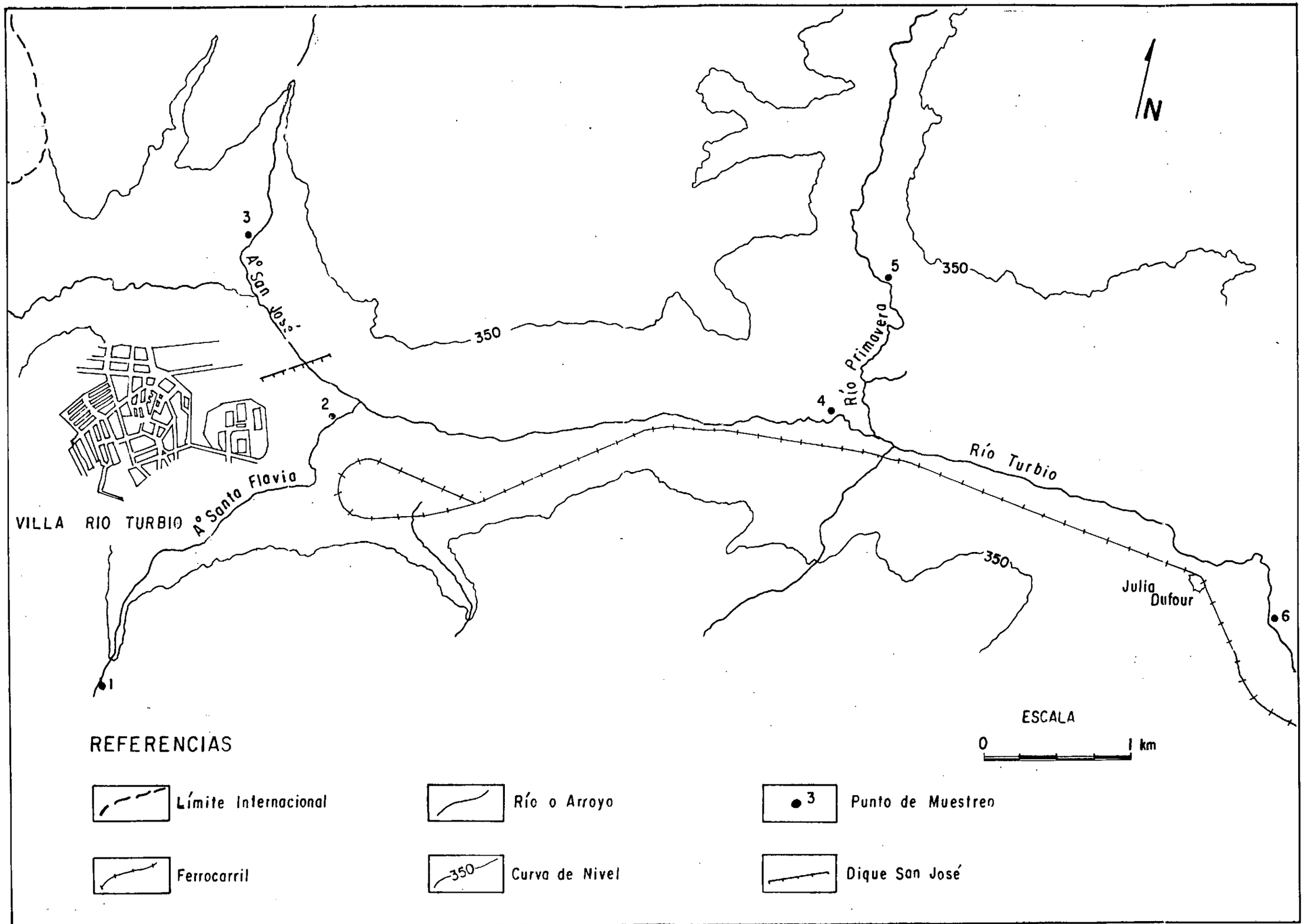
INFORME CORRESPONDIENTE A LA PRIMERA ETAPA DE TRABAJO

INTRODUCCION

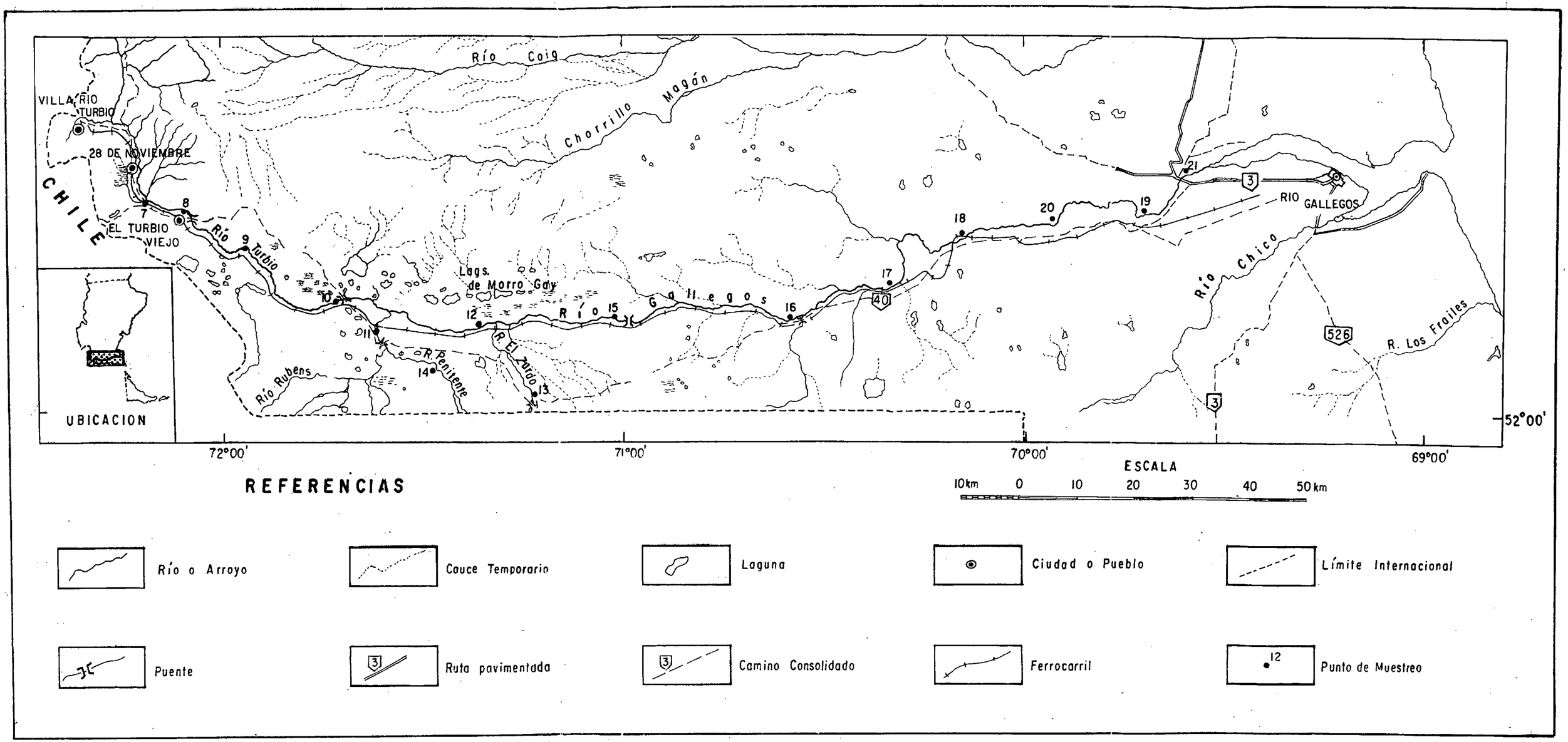
En el mes de octubre se realizó la primera campaña prevista de acuerdo con el plan de trabajo propuesto. Durante su desarrollo se tomaron veintiuna (21) muestras de aguas pertenecientes a los ríos Turbio y Gallegos, se acondicionó un laboratorio de campaña en dependencias del Departamento Laboratorio 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. Cinco (5) muestras más, se tomaron en perforaciones pertenecientes al actual sistema de provisión de agua potable a la ciudad de Río Gallegos.

En el mapa 1 puede observarse la ubicación de las muestras en el área estudiada. La parte superior de cuenca del río Turbio fue analizada con más detalle y se aumentó la densidad del muestreo debido a que en ese sector se encuentran 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 verse el área y las muestras en la parte superior de la cuenca.

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 y logra aumentar su caudal sólo en la época de deshielo, gracias al aporte de cauces temporarios. El río Gallegos nace en la confluencia



Mapa Nº 2 TRAMO SUPERIOR DE LA CUENCA DEL RIO TURBIO



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

de los ríos Penitente y Rubens. Estos, en época de deshielo, son de gran caudal y llevan una cantidad considerable de sólidos en suspención. Otro aporte, de menor importancia, son el arroyo el Zurdo y un número importante de aroyos menores que, en su mayor parte, provienen del sur. Es curioso la cantidad de lagunas (cuencas endorreicas) situadadas 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 PARA LA PRIMERA ETAPA ETAPA DE INVESTIGACION

En esta primera etapa se han cumplido con la totalidad de los objetivos previstos, los que se detallan a continuación:

- 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 de laboratorio: residuo seco (105 ºC y 180 º C), litio, sodio, potasio, calcio , magnesio, cloruro, 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.

METODOLOGIA UTILIZADA

La toma de muestra, las mediciones de los parámetros fisicoquímicos in situ y la metodología utilizada en las determinaciones en laboratorio de campaña y en laboratorio central, en Buenos Aires, 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, 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 solidos 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 propouesto por SMITH et al.(1973) en cuanto al volumen de agua y la ubicación de cada muestra, ya que la mayor o menor homogeneidad de las aguas de un río, 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 medidior de actividad iónica ORION (mod. 901). En cuanto a las determinaciones espectrofotométricas se empleó un espectrofotómetro

C U A D R O I

M E T O D O L O G I A A N A L I T 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^-)	Medición de actividad iónica (electrodos específico)
Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)	Volumetría
Oxígeno disuelto (O.D.)	Electrodo específico

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. Es importante destacar que las determinaciones de nitrato y sílice, **no previstas para esta primera etapa de trabajo**, pudieron completarse antes de la finalización de este primer informe, en razón de tener ya estandarizados los métodos analíticos y ajustados los niveles de precisión para aguas con distintas concentraciones salinas. Consecuentemente, los resultados respectivos se consignan en los cuadros II y siguientes.

COMPOSICION IONICA

El cuadro II muestra los contenidos mínimo, máximo, medio y las desviaciones estándar para cada uno de los constituyentes determinados en las aguas superficiales. Es importante destacar que las aguas superficiales son de baja concentración salina; el contenido medio de sólidos totales disueltos (TDS: Total Disolved Solids) 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 TDS = 405,03 mg/l). No obstante el aumento de contenido salino en las aguas subterráneas, todas las muestras analizadas pertenecen al tipo **no salino** de acuerdo con las normas dadas por el U.S. Geological Survey (HEM, 1985).

Sobre la base de los análsis químicos de los cuadros III y IV se obtuvieron los valores correspondientes a miliequivalentes por litro y miliequivalentes por ciento (cuadro V y VI, respectivamente) con el objeto de representar la composición aniónico-catiónica de las aguas superficiales y subterráneas en los diagramas de Piper (fig.1).

Algunos detalles más sobre la composición aniónica y catiónica, pueden observase en las ampliaciones de los triángulos en las figuras 2 y 3 respectivamente. La fig.2 muestra, para las aguas

C U A D R O I I

Constituyente	Mínimo	Máximo	Medio	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
STD	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

Eh en mv, conduct. espec. en micro mho/cm, el resto en mg/l

Cuadro III. CARACTERISTICAS FISICAS Y COMPOSICION QUIMICA

AGUAS SUPERFICIALES

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 SUBTERRANEAS

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

Eh en mv, conductancia específica en umho/cm y el resto de los constituyentes, incluída la dureza (como $CaCO_3$) en mg/l, – : no detectado.

Cuadro IV. CARACTERISTICAS FISICAS Y COMPOSICION QUIMICA

AGUAS SUPERFICIALES

Muestra	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	CO3=	HCO3-	SO4=	CL-	S=	NO3-	TDS
01	6.81	0.46	1.46	8.58	-	28.9	0.46	4.69	0.16	7.50	64.57
02	12.20	8.82	3.06	18.40	-	67.0	0.38	7.06	0.12	13.00	136.15
03	9.81	0.41	2.14	14.50	-	51.4	0.79	4.97	0.14	8.70	99.95
04	58.10	1.30	1.07	16.30	-	115.0	76.40	7.68	6.05	19.00	300.09
05	7.30	0.55	2.04	10.30	-	43.4	0.37	3.50	0.16	7.61	83.31
06	16.00	0.83	1.90	13.30	-	60.9	0.67	4.80	1.00	7.70	113.33
07	11.80	0.83	2.14	15.40	-	60.2	0.62	4.97	0.09	9.73	113.67
08	11.60	0.85	1.99	15.20	-	56.8	0.42	5.99	0.11	5.08	105.74
09	18.90	0.79	2.92	17.20	-	68.7	4.35	4.92	0.25	4.17	129.37
10	14.60	0.87	2.38	17.10	-	65.5	0.29	4.87	0.11	7.37	120.81
11	4.43	0.68	0.53	4.49	-	13.1	0.75	4.52	0.28	1.63	35.65
12	5.43	0.63	1.22	5.61	-	22.1	0.75	4.92	0.28	2.30	49.42
13	40.10	3.71	9.67	39.50	-	173.7	0.50	23.30	0.09	14.80	310.99
14	4.73	0.73	1.02	5.61	-	17.7	0.66	4.97	0.09	2.60	46.47
15	5.61	0.63	1.02	6.41	-	20.1	0.54	5.14	0.19	2.24	48.24
16	5.56	0.60	0.87	6.81	-	21.4	0.54	4.80	0.19	2.48	49.18
17	5.58	0.59	0.78	6.97	-	20.9	0.42	5.25	0.18	2.40	51.71
18	5.16	0.68	0.78	6.57	-	18.9	0.46	5.54	0.19	1.87	45.74
19	5.49	0.77	0.87	7.29	-	23.8	0.38	5.71	0.20	1.65	52.4
20	5.41	0.75	0.97	7.94	-	23.3	0.75	5.99	0.22	0.76	52.46
21	6.00	0.77	0.92	7.45	-	24.3	0.92	6.78	0.20	1.01	54.5

AGUAS SUBTERRANEAS

Muestra	Na+	K+	Mg2+	Ca2+	CO3=	HCO3-	SO4=	CL-	S=	NO3-	TDS
Pa1	159.7	3.14	0.49	2.48	9.55	90.3	12.00	102.8	1.46	2.25	410.91
P38	151.1	3.08	0.53	2.89	13.4	93.2	0.13	94.9	0.44	7.80	394.03
P16	177.7	3.62	0.73	2.32	13.8	89.5	0.29	123.2	0.78	9.32	447.88
P07	151.8	3.21	0.49	1.84	7.64	88.3	17.20	102.3	3.28	7.92	410.2
P01	134.5	4.48	0.34	3.29	-	110.2	1.32	71.8	0.42	6.90	362.13

Eh en mv, conductancia específica en umho/cm y el resto de los constituyentes, incluída la dureza (como $CaCO_3$) en mg/l, - : no detectado.

Cuadro IV. (Continuación)

AGUAS SUPERFICIALES

Muestra	Dureza	CO2
01	27.44	11.61
02	58.55	13.49
03	45.02	5.81
04	45.11	2.60
05	34.12	6.19
06	41.03	2.18
07	47.27	7.65
08	46.15	8.10
09	54.97	34.76
10	52.50	33.14
11	13.39	5.26
12	19.03	7.06
13	138.45	3.50
14	18.21	2.83
15	20.21	5.09
16	20.59	2.16
17	20.62	1.06
18	19.62	1.00
19	21.79	19.08
20	23.82	11.79
21	22.39	3.09

AGUAS SUBTERRANEAS

Muestra	Dureza	CO2
Pa1	8.21	0.91
P38	9.40	0.59
P16	8.80	0.28
P07	6.61	0.28
P01	9.62	0.56

Eh en mv, conductancia específica en umho/cm y el resto de los constituyentes, incluída la dureza (como $CaCO_3$) en mg/l, - : no detectado.

CUADRO V Composición en meq/l

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 VI Composición en meq %

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-
Pai	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

de la cuenca de los ríos Turbio y Gallegos que, el HCO_3^- es siempre el anión dominante. Su composición varía entre bicarbonatadas (entre 50 y 75 meq% de HCO_3^-) a 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 desague 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, pricipalmente 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 varía entre 0,06 y 7,63 meq%.

En cuanto a la composición catiónica, la fig. 3 muestra, para las aguas superficiales de la cuenca de los ríos Turbio-Gallegos, que 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% . Una excepción es la muestra 4, ubicada cerca del desague de la planta de tratamiento del yacmiento de Río Turbio. Su composición con predominio de metales alcalinos, en donde el sodio es el catión dominante, es: Na^+ = 73,00 meq%; K^+ = 0,96 meq%; Ca^{2+} = 23,49 meq%; Mg^{2+} = 2,45 meq%. La composición catiónica de las aguas subterráneas presentan una muy limitada variabilidad. Se definen como fuertemente alcalinas en las que el sodio es el catión dominante. 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%.

DIAGRAMAS DE COMPOSICION ANIONICO-CATIONICA

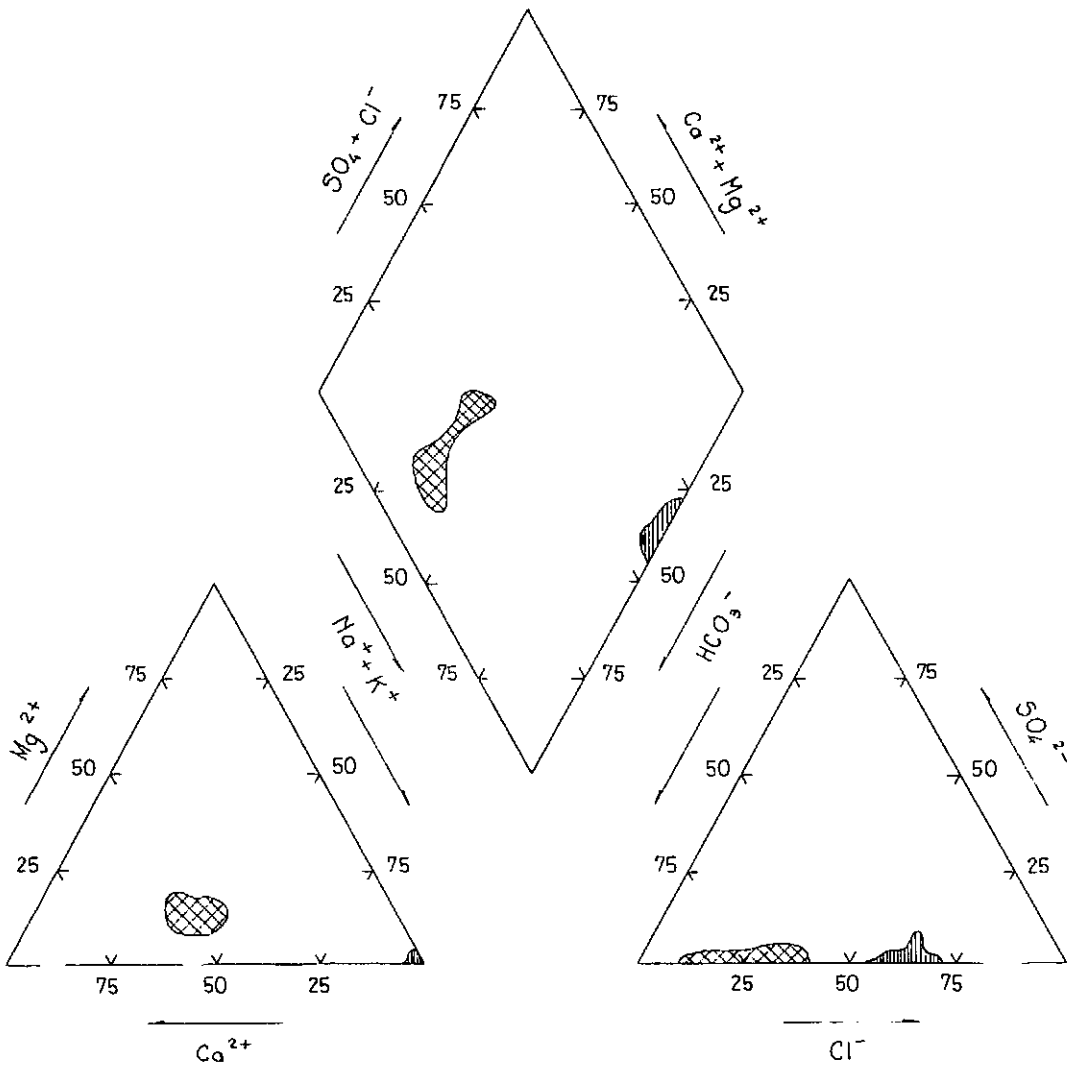


Fig. 1 Aguas superficiales Aguas subterráneas

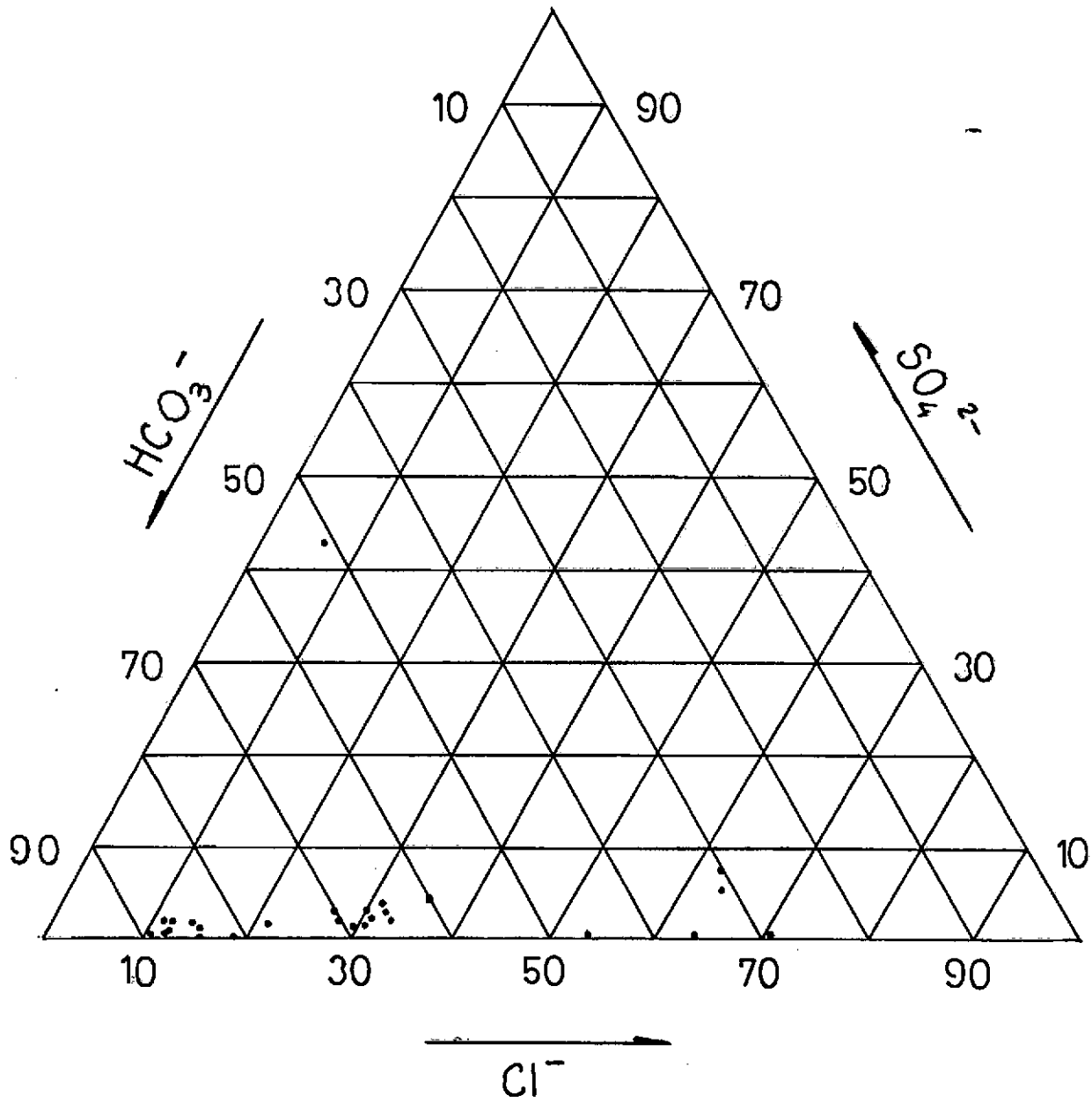


Fig. 2 Diagrama de composición aniónica

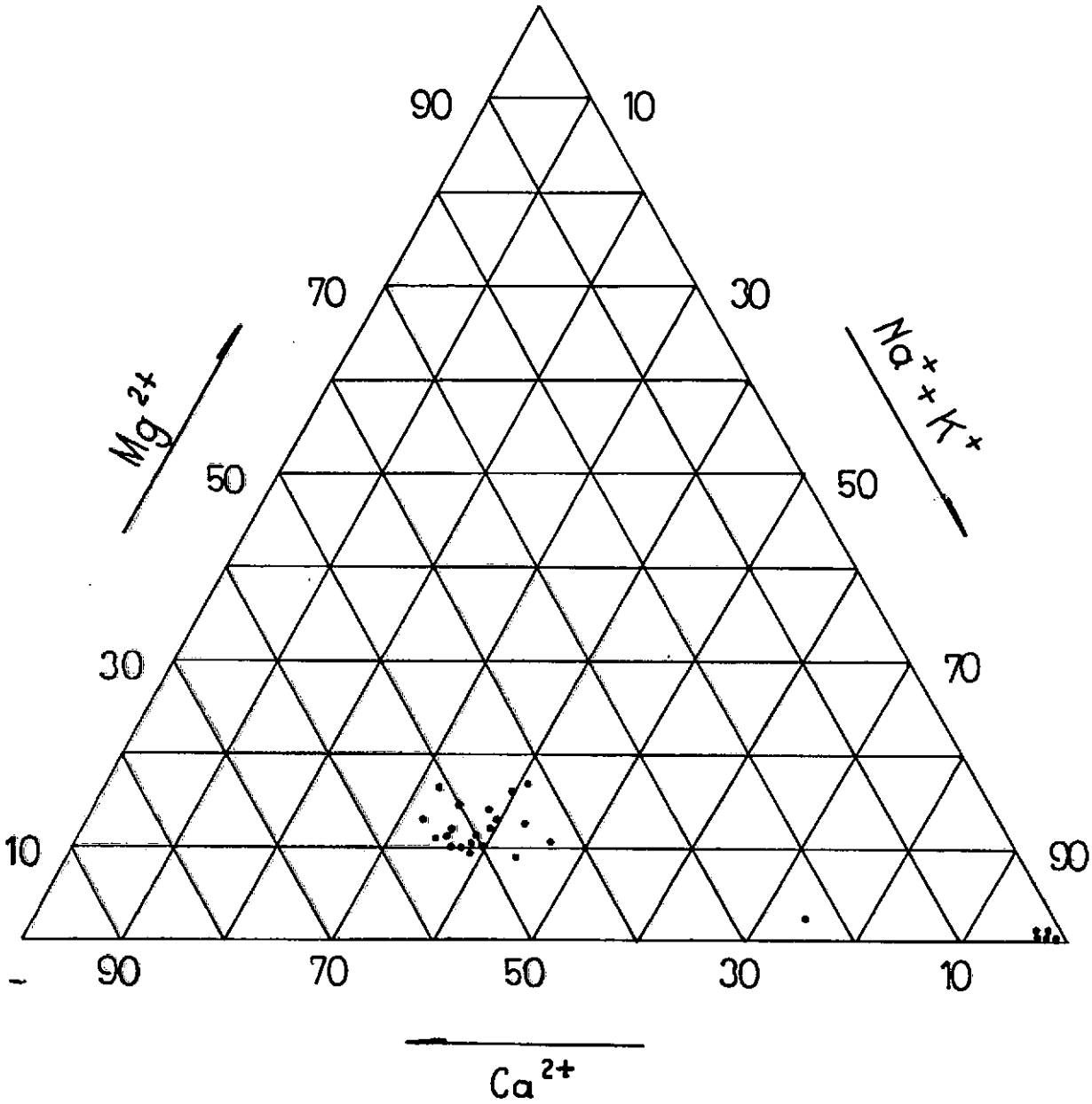


Fig. 3 Diagrama de composición catiónica

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 subteráneas pertenecientes al actual sistema de provisión de la ciudad de Río Gallegos son de tipo transcicional (M), grupos X, XI y XII. (Fig.4)

ANALSIS MATEMATICO

Para poder establecer relaciones entre las distintas variables medidas en las aguas superficiales de la cuenca del río Turbio-Gallegos, se ha recurrido al empleo de la Teoría de la Correlación. Con el objeto de hacer sencillo su análsis se ha elegido el modelo de correlación lineal simple, válido y comunmente 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:

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

DIAGRAMA Eh-pH SEGUN PAVLOV y SHEMYAKIN (1957)

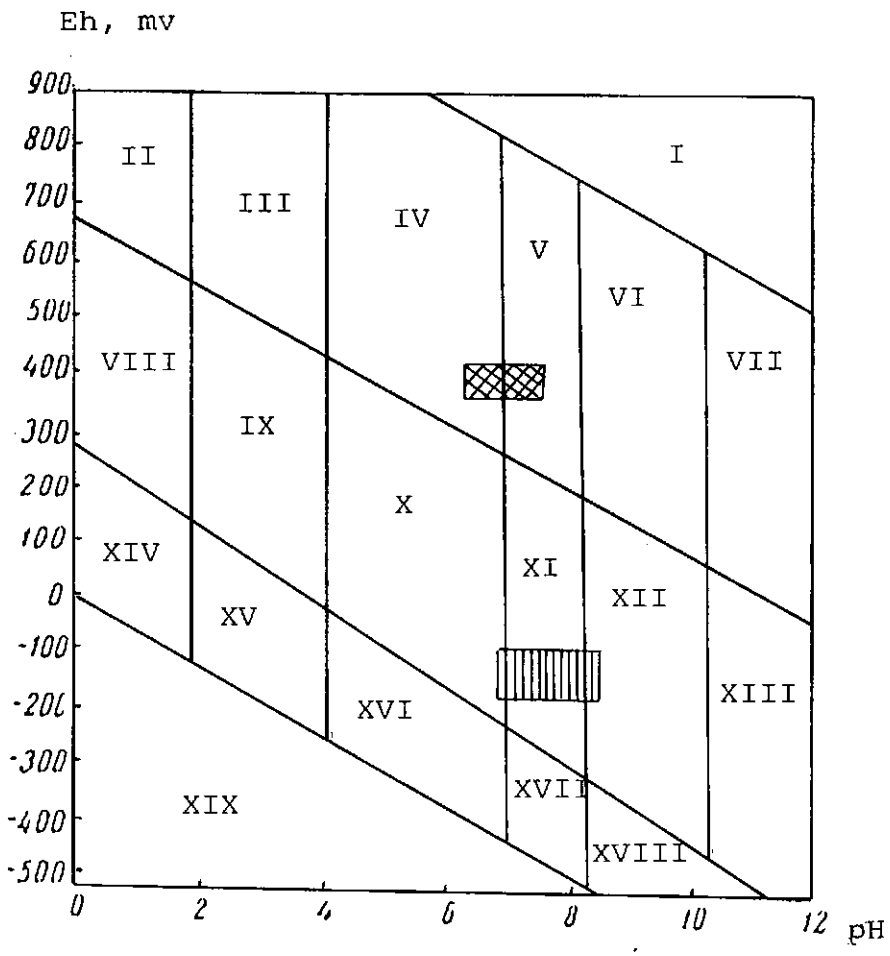


Fig. 4 Aguas superficiales Aguas subterráneas

y el coficiente 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:

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

Con ese procedimiento se ha calculado la matriz de correlación entre las distintas variables medidas, que se puede observar en el cuadro VII. 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, TDS con sodio y bicarbonato,

Cuadro VII. 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																		
pH(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															
Cond.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	0.81	-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

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 TDS; bicarbonato con cloruro y sulfuro; y nitrato con TDS.

En las figuras 5 y 6 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.

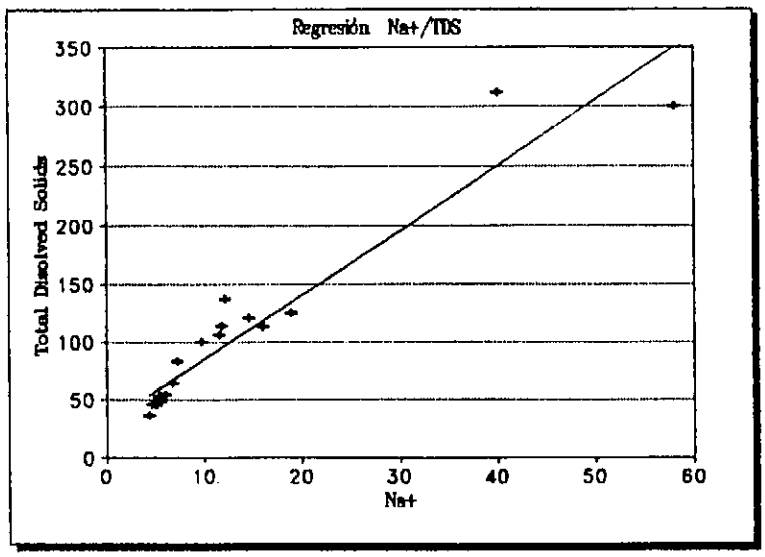
Es importante recalcar que el modelo de correlación lineal no es el único, pueden utilizarce otros modelos, como el logarítmico o el exponencial que en algunos casos pueden explicar mejor la relación de dependencia entre algunos pares de variables.

En el cuadro VIII se consignan los parámetros de las rectas de regresión de las fig. 5 y 6.

CONSIDERACIONES FINALES y CONCLUSIONES PRELIMINARES

- Por primera vez se ha efectuado una caracterización geoquímica de las aguas de la cuenca del Río Turbio-Gallegos.La mayor parte de las muestras extraídas son, de acuerdo con su composición iónica, **bicarbonatas cálcicas e intermedias.**

- De acuerdo con los valores de pH y del potencial redox medido (Eh),



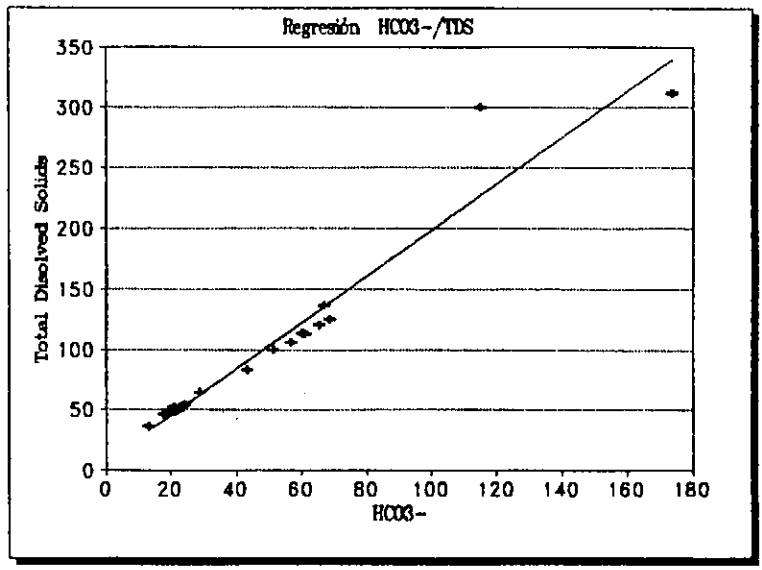
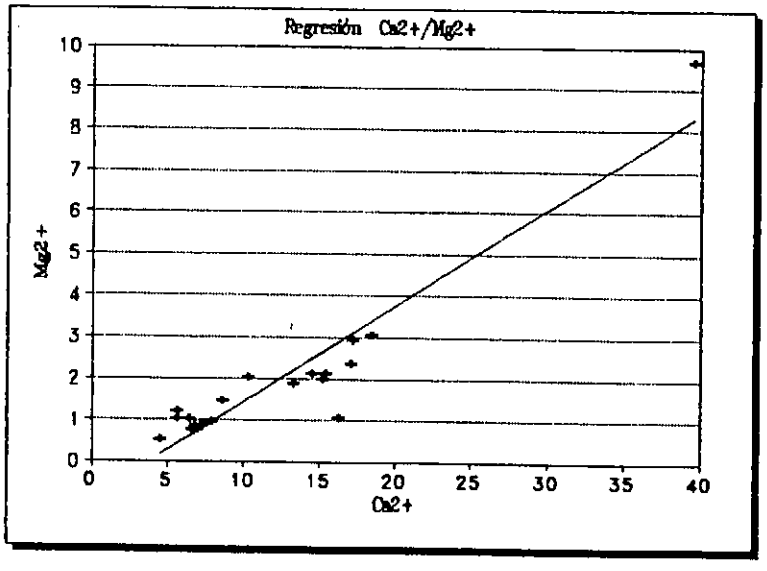


Fig. 5 Diagramas de dispersión y rectas de regresión



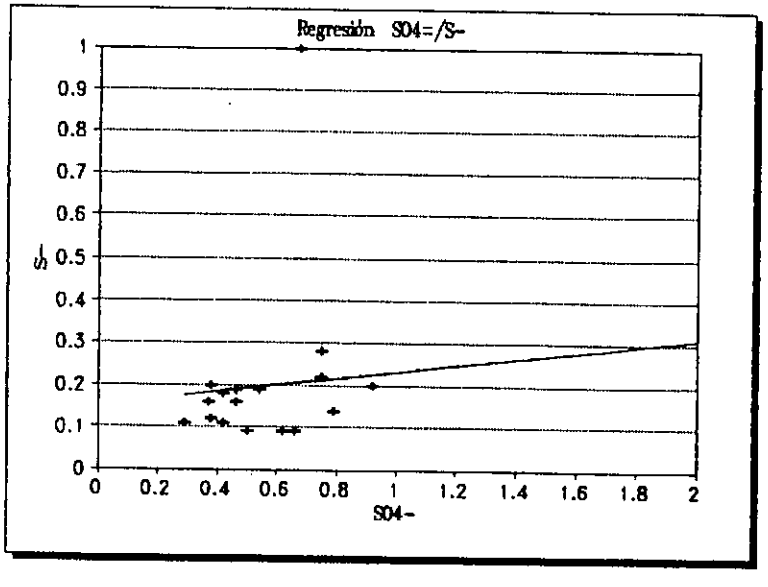


Fig. 6 Diagramas de dispersión y rectas de regresión

las aguas superficiales, que son de tipo oxidante (O), pertenencen al grupo V y VI de la clasificación de PAVLOV y SHEMYAKIN (1957).

Cuadro VIII. 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

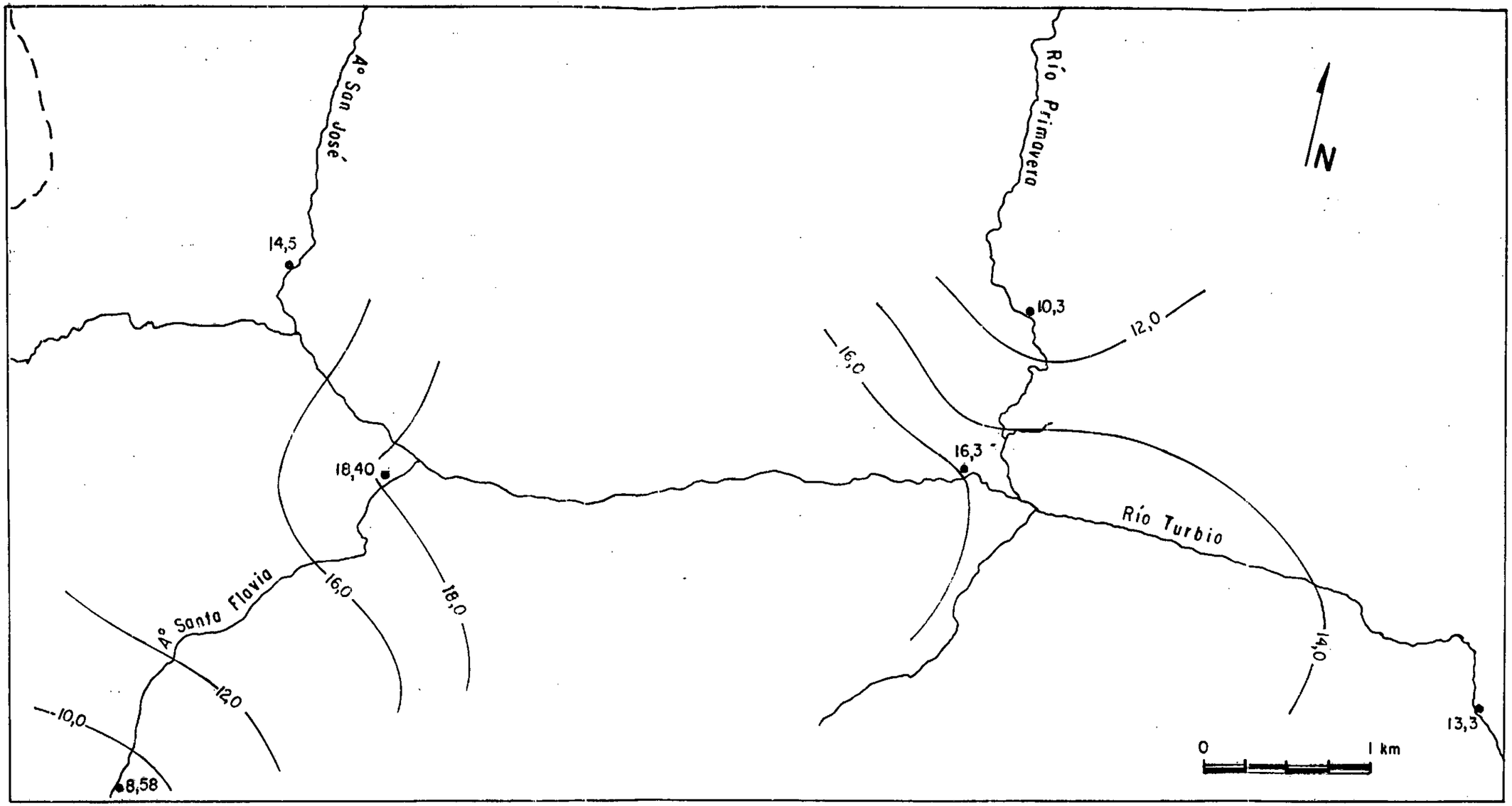
Sulfato/sulfuro

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 estádar estimado de los valores Y de la recta.

- Se realizaron análisis de muestras correspondientes al actual sistema de provisión de agua potable a Río Gallegos. Se trata de aguas **clorurado sódicas**, transcicionales (M), grupo X, XI y XII, según sus valores de potencial redox y de pH.



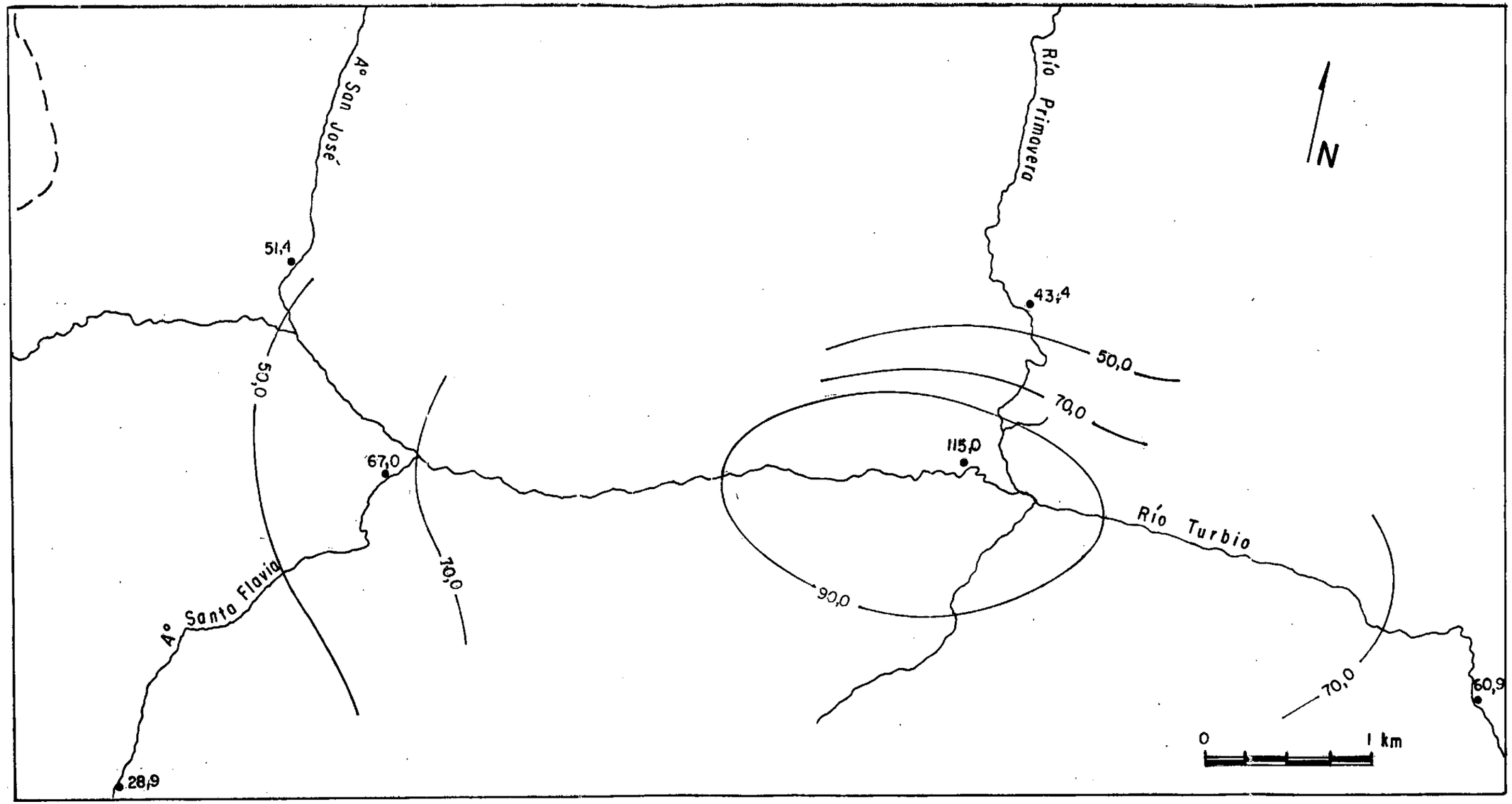
REFERENCIAS

Río o Arroyo

12,0 Curva de Isocontenido

12,0 Muestra y contenido en mg/l

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



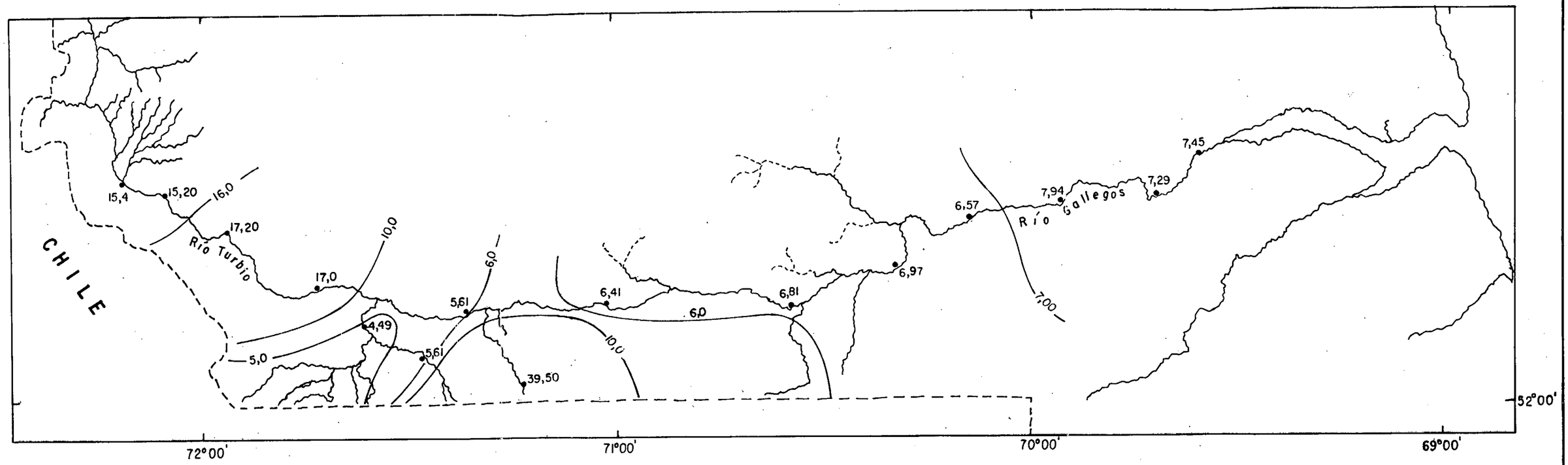
REFERENCIAS

Río o Arroyo

70,0 Curva de Isocontenido

43,4 Muestra y contenido en mg/l

Mapa Nº6 DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE HCO_3^-



REFERENCIAS

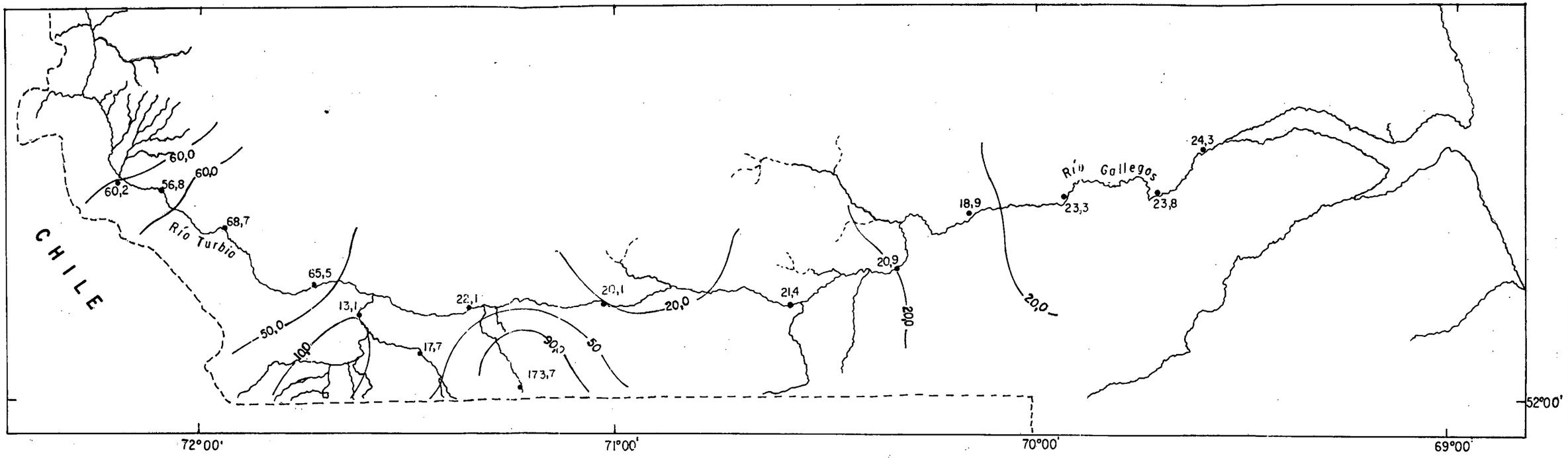
Río o Arroyo

5,0 Curva de Isocontenido

39,50 Muestra y contenido en mg/l

0 10 20 30 40 50 km

Mapa N° 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^-

- 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 coefientes de correlación de los pares de variables encontrándose correlaciones significativas, muy significativas y altamente significativas, entre la que se encuentra la de magnesio con cloruro y calcio con bicarbonato.

- Se ha observado una clara asociación entre algunos parámetros medidos. Así, por ejemplo, el pH presenta una mayor dependencia de las variaciones de contenidos de sodio y de 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, presentan una dependencia funcional directa con los contenidos de los aniones sulfuro y sulfato, con los que presenta 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 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 su contenido salino (TDS 52,0 mg/l) no ha aumentado 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, que generalmente proviene de las rocas ácidas, 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 sí, 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.

- La muestra 04, tomada cerca de la desembocadura del efluente de la planta de tratamiento del yacimiento de Río Turbio, posee caraterísticas particulares. Contiene el máximo valor de turbidez (999,0 ppm) debido a que el agua, proveniente de la planta de tratamiento, se arroja al río con un volumen excesivo de partículas en suspensión. También se diferencian significativamente la totalidad de los parámetros medidos, de los cuales llama la atención el 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 río Turbio (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 (TDS = 310,99 mg/l) con relación al valor medio en el área (TDS en el área = 98,7 mg/l). En los mápas de distribución geográfica (mapas 3 y 4) puede verse como el arroyo El Zurdo (muestra 13) juega un papel muy importante, en cuanto al aporte de sales solubles, en toda la cuenca.

- Es importante destacar que, las aguas de la cuenca del río Turbio-Gallegos en el momento de toma de muestras ya habían recibido los primeros aportes de caudal de la época de deshielo. En los parámetros medidos hasta el momento no se han encontrado valores que sobrepasen los límites considerados como perjudiciales para el consumo humano. Solamente se pone en evidencia que el material en suspensión que se aporta en forma antrópica a la cuenca produce un aumento en la turbidez del agua, una alteración sensible de los parámetros fisicoquímicos, y puede influir en la dinámica química de la cuenca, ya que el material en suspención posee, en general, una alta capacidad de intercambio catiónico. Para determinar su verdadero valor es necesario establecer las distintas especies de minerales de las arcillas y su proporción relativa. Esas determinaciónes permitirían evaluar la posibilidad de que se creen problemas que afecten a todo el ecosistema. En atención a lo expuesto se considera de primordial importancia realizar un estudio más detallado de los materiales en suspensión en futuras investigaciones geoquímicas en el área.

Dr. Hugo B. NICOLLI
M.P. No 522

Geól. Marcelo H. MERINO
M.P. No 2228

Bibliografía citada

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.

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.