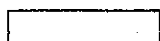


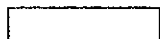
Cuadro 4-3-7 CONTAMINACION ESTIMADA EN AREAS AGRICOLAS

Departamento de Potosí, Provincia Tomás Frías

N°	Comunidad	Cultivos (H)					
		Papa	Haba	Cabado	Trigo	Milca	Hortaliza
1	San Juan	0	0	0	0	0	0
2	San Cristóbal	0	0	0	0	0	0
3	San Pedro	0	0	0	0	0	0
4	San Benito	0	0	0	0	0	0
5	Cantumarca	0	0	0	0	0	0
6	Jesus Valle	0	0	0	0	0	0
7	Cebadillas	0	0	0	0	0	0
8	Agua Dulce	0	0	0	0	0	0
9	Secc. Jaya Mayu	2 (c,e)	0	1 (c,e)	0	0	0
10	San Antonio	6 (c,e)	11 (a,b,c)	6 (c,e)	5 (c)	0	0
11	La Puerta	0	0	0	0	0	0
12	La Palca	0	0	0	0	0	0
13	Santa Lucía	0	0	0	0	0	0
14	Cayara	0	0	0	0	0	0
15	Totora D	0	0	0	0	0	0
16	Totora Pampa	0	0	0	0	0	0
17	Yocalla	0	0	0	0	0	0
18	El Molino	0	0	0	0	0	0
19	Aroifilla	0	5 (a,c)	0	0	0	0
20	Tambo Pampa	0	0	0	0	0	0
21	Miraflores	0	0	0	0	0	0
22	Mondragón	0	3 (a,b,c)	2 (c,d,e)	0	5	0
23	Sulicari	1,5 (e)	1 (a)	5 (c,d,e)	0	7 (d)	0,5 (c)
24	Palka	0	0	0	0	0	0
25	Juicuni	0	0	1 (e)	0,5 (c)	0,5 (d)	0
26	Capilla Rosario	0	0	0	0	0	0
27	Tacuara	0	0	0	0	0	0
28	Talula	0	0	0	0	0	0
	Sub total rivera	7,5	20,0	14,0	5,5	7,5	0,5
	Sub total listado	9,5	10,0	15,0	5,5	7,5	0,5



Comunidades de rivera



Comunidades a más de 1Km del río

- (a) Clorosis después del brotamiento
- (b) Necrosamiento en hojas y tallo secundario
- (c) Disminución de la productividad
- (d) Enanización de plantas
- (e) Efecto radicular por suelos contaminados debido a la actividad minero-metalurgica
- (f) Baja germinación

Departamento de Potosí, Provincia Cornelio Saavedra

N°	Comunidad	Cultivos (Ha)					
		Papa	Haba	Cebada	Tiogo	Maiz	Hortaliza
29	Ancoma	0	0	0	0	0	0
30	Huerta Khasa	0	0	0	0	0	0
31	Kholu	0	0	0	0	0	0
32	Oyora	0	0	0	0	0	0
33	Chalama	0	0	0	0	0	0
34	Aczulipampa	0	0	0	0	0	0
35	Quebrada	0	0	0	0	0	0
36	Km. 127	0	0	0	0	2 (d)	5 (c,f)
37	San Antonio	0	0	0	0	2 (d,f)	6 (a,c,f)
38	Viña Pampa	0	2 (a)	0	0	3 (d,f)	5 (c,f)
	Sub total rivera	0	2	0	0	7	16

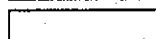
Departamento de Chuquisaca, Provincia Oropeza

N°	Comunidad	Cultivos (Ha)					
		Papa	Haba	Cebada	Tiogo	Maiz	Hortaliza
39	Talula	0,5 (e)	0	0	0	1,5 (d)	3 (a,c,f)
40	Tasa Pampa	0	0	0	0	0	0
41	Tuero	0	0	0	0	2 (d)	30 (a,c,f)
42	Puente Mendez	0	0,2 (a,c)	0,1 (c)	0	0,7 (d)	4 (a,c,f)
	Sub total rivera	0.5	0.2	0.1	0.0	4.2	37.0

	TOTAL RIVERA	8.0	22.2	14.1	5.5	18.7	53.5
	TOTAL LISTADO	10.0	12.2	15.1	5.5	18.7	53.5



Comunidades de rivera



Comunidades a más de 1Km del río

- (a) Clorosis después del brotamiento
- (b) Necrosamiento en hojas y tallo secundario
- (c) Disminución de la productividad
- (d) Enanización de plantas
- (e) Efecto radicular por suelos contaminados debido a la actividad minero-metalúrgica
- (f) Baja germinación

Cuadro 4-3-8 Areas de pastoreo por población

Departamento de Potosí, Provincia Tomás Frías

N°	Comunidad	Área de Pastoreo (Ha)
		Mediana
1	San Juan	0
2	San Cristóbal	0
3	San Pedro	0
4	San Benito	0
5	Cantumarca	0
6	Jesus Valle	120
7	Cebadillas	115
8	Agua Dulce	67
9	Secc. Jaya Mayu	25
10	San Antonio	224
11	La Puerta	50
12	La Paica	300
13	Santa Lucía	291
14	Cayara	320
15	Totora D	177
16	Totora Pampa	158
17	Yocalla	157
18	El Molino	164
19	Aroifilla	130
20	Tambo Pampa	160
21	Miraflores	15
22	Mondragón	80
23	Sulcari	90
24	Pallka	45
25	Juicuni	95
26	Capilla Rosario	125
27	Tacuara	78
28	Talula	200
	Sub total rivera	1 556
	Sub total listado	3 186

Comunidades de rivera

Comunidades a más de 1Km del río

Continuación

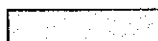
Departamento de Potosí, Provincia Cornelio Saavedra

N°	Comunidad	Áreas de pastoreo (Ha)
		Hectáreas
29	Ancoma	80
30	Huerta Khasa	15
31	Kholu	20
32	Oyora	60
33	Chalama	80
34	Aczulipampa	135
35	Quebrada	50
36	Km. 127	130
37	San Antonio	110
38	Viña Pampa	120
	Sub total rivera	800

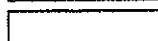
Departamento de Chuquisaca, Provincia Oropeza

N°	Comunidad	Áreas de pastoreo (Ha)
		Hectáreas
39	Talula	200
40	Tasa Pampa	60
41	Tuero	110
42	Puente Mendez	23
	Sub total rivera	393

	TOTAL RIVERA	2 749
	TOTAL LISTADO	4 379



Comunidades de rivera



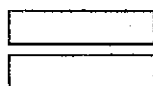
Comunidades a más de 1Km del río

Cuadro 4-3-9 ENFERMEDADES Y MORTALIDAD DE ANIMALES

(Expresado en % de ganado)

Departamento de Potosí, Provincia Tomás Frías

Nº	Comunidad	Malformac	Diarrea	Dermatitis	Mortalidad	Observaciones
1	San Juan	0	0	0	0	
2	San Cristóbal	0	0	0	0	
3	San Pedro	0	0	0	0	
4	San Benito	0	0	0	0	
5	Cantumarca	0	0	0	0	
6	Jesus Valle	0	0	0	0	Agua limpia
7	Cebadillas	0	0	0	0	Agua limpia
8	Agua Dulce	0	0	0	0	Agua limpia
9	Secc. Jaya Mayu	0	0	0	0	
10	San Antonio	0	0	0	0	
11	La Puerta	0	0	20	0	Cruzan el río / beben agua
12	La Palca	0	0	20	0	
13	Santa Lucia	0	0	0	0	Agua limpia
14	Cayara	0	0	0	0	Agua limpia
15	Totora D	0	0	0	0	Agua limpia
16	Totora Pampa	0	0	0	0	Agua limpia
17	Yocalla	0	0	0	0	
18	El Molino	0	10	0	0	Beben agua
19	Aroifilla	0	5	0	0	Beben agua
20	Tambo Pampa	0	15	10	0	Beben agua
21	Miraflores	0	0	5	0	Cruzan el río
22	Mondragón	0	40	0	7	Cruzan el río / beben agua
23	Sulcari	0	10	0	4	Beben agua
24	Palka	0	0	0	0	No afecta
25	Juicuni	0	8	0	0	Beben agua
26	Capilla Rosario	0	20	0	0	Beben agua
27	Tacuara	0	25	6	0	Cruzan el río / beben agua
28	Talula	0	0	0	0	No afecta
	Promedio rivera	0	7	3	1	
	Promedio listado	0	5	2	0	



Comunidades de rivera

Comunidades a más de 1Km del río

Departamento de Potosí, Provincia Cornelio Saavedra

N°	Comunidad	Malformac	Diarrea	Dermatitis	Mortalidad	Observaciones
29	Ancoma	0	40	0	0	Beben agua
30	Huerta Khasa	0	50	0	0	Beben agua
31	Kholu	0	50	0	0	Beben agua
32	Oyora	0	0	0	0	No afecta
33	Chalama	0	0	0	0	
34	Aczulipampa	0	10	0	20	Beben agua
35	Quebrada	0	0	0	0	
36	Km. 127	0	35	0	60	Beben agua
37	San Antonio	0	50	20	30	Beben agua
38	Víña Pampa	0	30	0	30	Beben agua
	Promedio rivera	0	27	2	14	

Departamento de Chuquisaca, Provincia Oropeza

N°	Comunidad	Malformac	Diarrea	Dermatitis	Mortalidad	Observaciones
39	Talula	0	30	0	0	Beben agua
40	Tasa Pampa	0	20	0	0	Beben agua
41	Tuero	1	50	0	50	Beben agua
42	Puente Mendez	0	100	0	40	Beben agua
	Promedio rivera	0	50	0	23	

	PROMEDIO RIVERA	0	28	2	12	
	PROMEDIO LISTADO	0	27	1	12	

Comunidades de rivera

Comunidades a más de 1Km del río

Matriz de Relaciónamiento Contaminación - Impacto

Clase	Fuente	Contaminante	Población	Situación de Contaminación				Aspecto Social
				Agricultura	Ganadería	Pesca	Forestal	
Items relacionados a actividad minera								
Water								
	Mining Activities Drainage	Heavy Metal, Arsenic, etc	Diarrhea, Stomach Ache, Increment of Heavy Metal in Blood	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	No Recreation at River Side
	Waste Rock Drainage	Heavy Metal, Arsenic, etc	Diarrhea, Stomach Ache, Increment of Heavy Metal in Blood	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	No Recreation at River Side
	Beneficiation Plant Drainage	Heavy Metal, Arsenic, Chemical, etc	Diarrhea, Stomach Ache, Increment of Heavy Metal in Blood	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	No Recreation at River Side
Air								
	Mining Site Activities, Drilling etc	Dust	Asthma				Less Productivity	
	etc	Dust	Asthma, Nose and Throat Pain				Less Productivity	No Adequacy for Housing
Soil								
	Mining Activities, Drainage, Solid Waste	Heavy Metal, Arsenic, etc		Less Productivity				
	Beneficiation Plant Activities, Drainage, Solid Waste	Heavy Metal, Arsenic, Chemical, etc		Less Productivity				No Adequacy for Housing
Noise & Vibration								
	Mining Site Facilities	Noise & Vibration by Rotating Machine	Deaf, Numbness					
	Beneficiation Plant Facilities	Noise & Vibration by Rotating Machine	Deaf, Numbness					No Adequacy for Housing
Solid Waste								
	Selection of Rock and Beneficiation Process	Waste Rock and Drained Waste Solid	Asthma, Nose and Throat Pain		Land Occupation			
		Waste Rock: 1,450t/day						
		Drained Waste Solid: 1,300t/day						
Sink								
	Beneficiation Plant Activities	Chemical Materials	Nose and Throat Pain					No Adequacy for Housing
Items diferentes a la actividad minera								
Water								
	Human/Kind Used Water	NO Treatment Facilities for 100liters/sec (8,640t/day) for City	Diarrhea, Stomach Ache, Increment of Heavy Metal in Blood					
	Industries Used Water (Including Beneficiation Plant)	NO Treatment Facilities for 50liters/sec(4,320t/day) for City	Diarrhea, Stomach Ache, Increment of Heavy Metal in Blood	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	No Recreation at River Side
	Hospital Used Water	NO Treatment Facilities for Possible Contamination	Diarrhea, Other Possible Contamination	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity	No Recreation at River Side
Air								
	Automobile	No lead gasoline but dust and diesel oil gas	Asthma, Nose and Throat Pain				Less Productivity	
	Exhaust from Industries and Home Furne	Diesel oil gas exhaust but no coal fume	Asthma, Nose and Throat Pain				Less Productivity	
Soil								
	Agricultural Chemicals for Insect Prevention	Chemical Materials	Diarrhea, Stomach Ache, Increment of Heavy Metal in Blood	Less Productivity	Less Productivity	Less Productivity		
Noise								
	Automobile	Crowded Transport	Deaf, Numbness					
Land Subsite								
	Underground Water Usage		Asthma, Nose and Throat Pain					
Solid Waste								
	Family Origin Solid Waste	18,000t/year for all Potosi with 120,000 population (about 0.5kg/day Person)	Asthma, Nose and Throat Pain		Land Occupation			

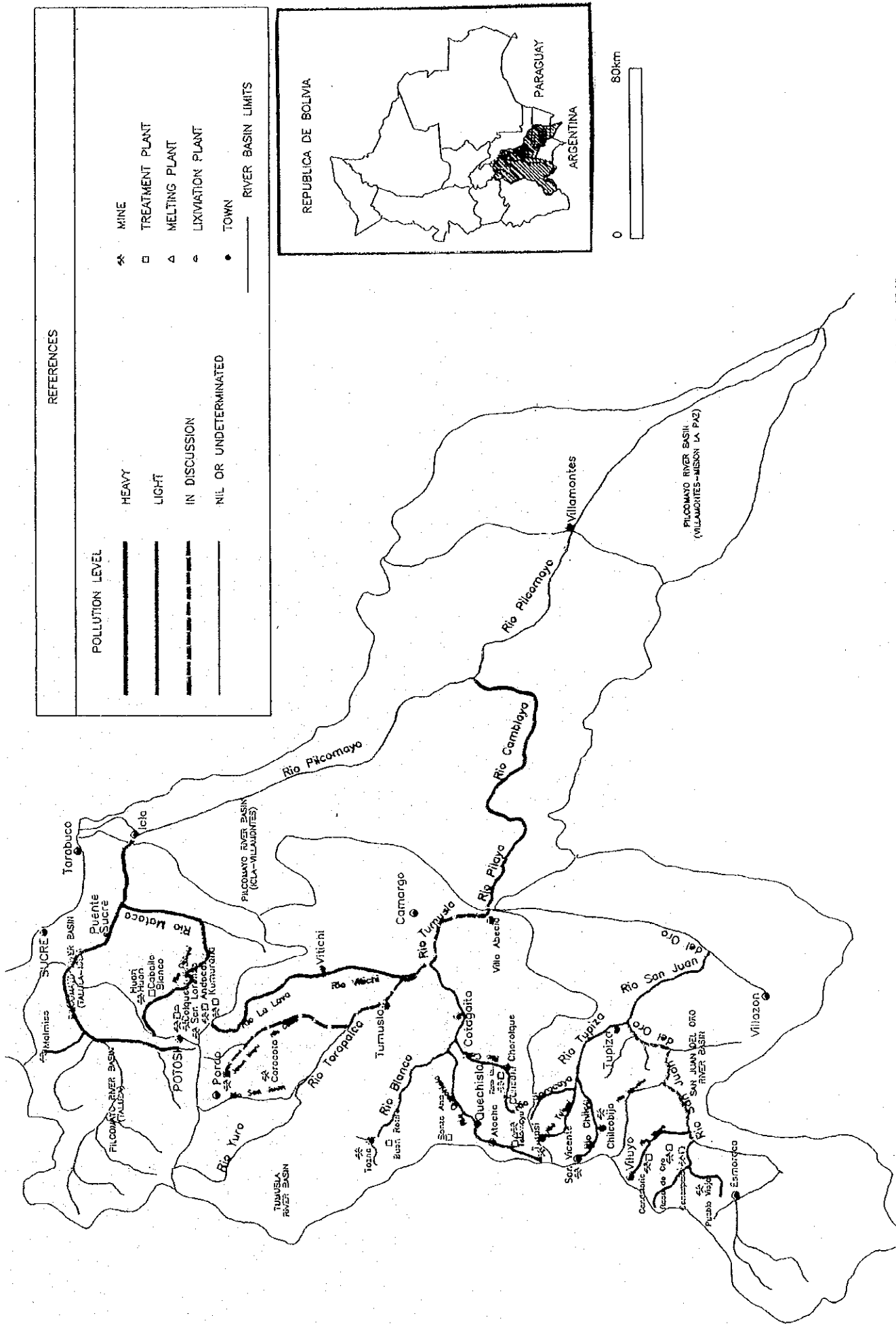


Figura 4-3-1 Información de contaminación y ubicación de centros mineros en la cuenca del río Pilcomayo

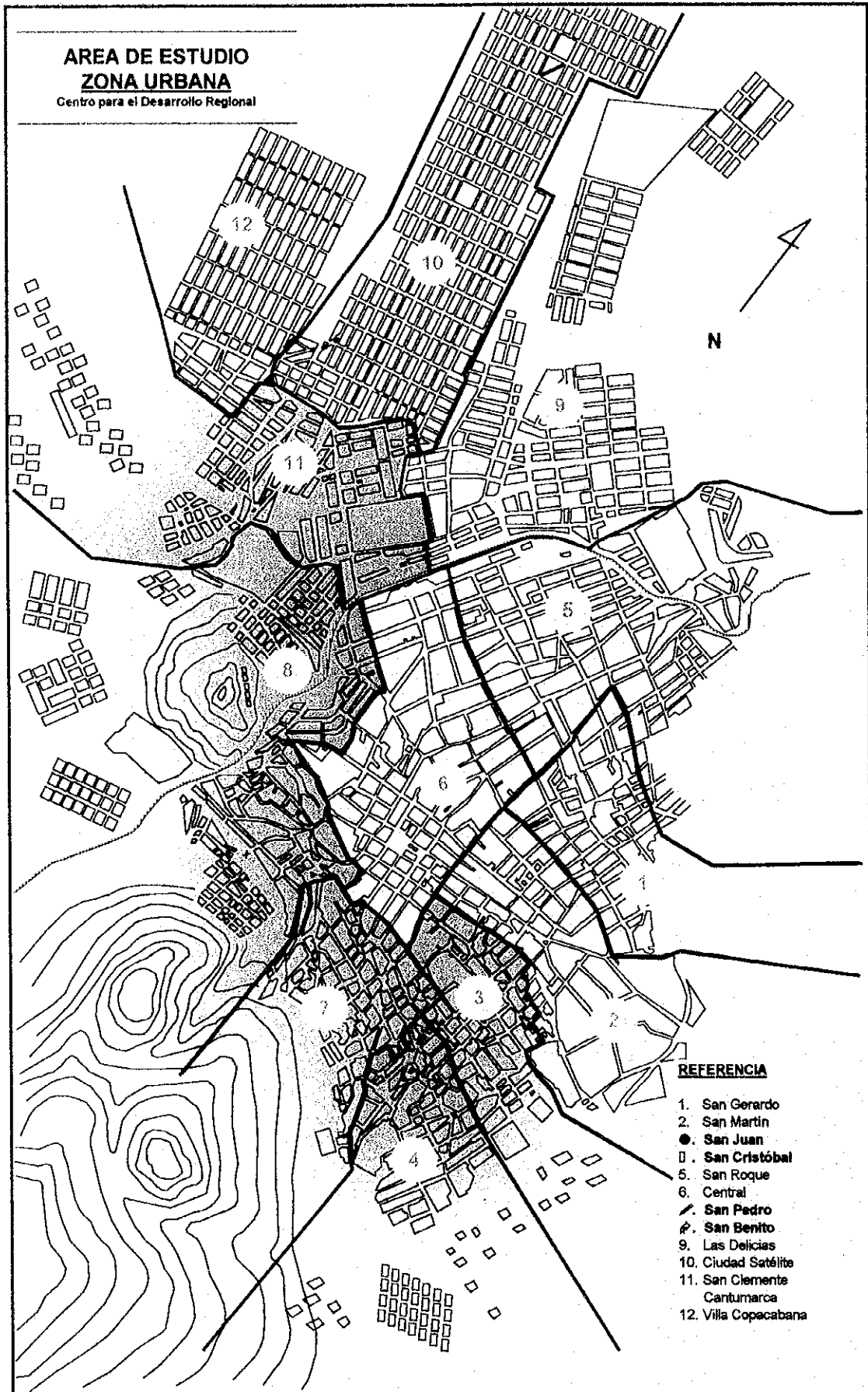


Figura 4-3-2 Zona Urbana de Potosí

Capítulo 5

Reconocimiento y Mecanismo de Contaminación Debida a la Actividad Minera

5-1 Reconocimiento de fuentes de contaminación

5-1-1 Aguas ácidas

(1) Fuentes de contaminación debida a aguas ácidas

Es posible clasificar en tres tipos las fuentes de contaminación de aguas de los tres cauces (Huaynamayu, Korimayu y quebrada Jayajmayu que fluye al río Agua Dulce) que se originan en el Cerro Rico de Potosí como sigue:

- ① Drenaje ácido de mina: drenaje de aguas provenientes de galerías de mina.
- ② Emanaciones de desmontes de minerales: aguas que emanan de cúmulos de desmontes de minerales de baja ley como producto de infiltración de aguas fluviales.
- ③ Emanaciones de depósito de colas de procesamiento de minerales: aguas que emanan de depósitos de colas de procesamiento de minerales como producto de infiltración de aguas fluviales. Estos se clasifican a su vez en:
 - ③-1: Emanaciones de sucus
 - ③-2: Emanaciones de depósito de colas de separación gravimétrica del estaño
 - ③-3: Emanaciones de depósito de colas de flotación de plomo y zinc
 - ③-4: Emanaciones de pilas de lixiviación de plata

(2) Características de posibles fuentes de contaminación (puntos de muestreo)

Con el objeto de reconocer el mecanismo de contaminación de aguas en las cuencas que nacen del Cerro Rico de Potosí, se procedió a seleccionar 30 puntos que son posibles fuentes de contaminación. En las laderas del Cerro Rico existen gran cantidad de cúmulos de minerales de diversa índole, que al contacto con agua de lluvias, generan aguas ácidas que mediante drenaje, filtraciones y emanaciones fluyen hacia los ríos. Por esta razón la selección de puntos de muestreo fue una tarea complicada. Como resultado se optó por tomar muestras sobre fuentes de contaminación evidentes y otros con posibilidad de serlo como riachuelos, emanaciones, manantiales, aguas estancadas y agua de pozos. Para la selección se hizo referencia a bibliografía existente (Department of

Cooperation and Development of Political University of CATALUÑA (Spain) and Tomas Frías University of Potosí (Mine Faculty)(1997), Determination of Piezometric Level and Possible Pollution of this Water Associated with Mining Activities in the city of Potosí).

La ubicación de estos puntos de muestreo se muestran en la figura 5-1-1 y su descripción en el cuadro 5-1-1.

(3) Resultados del muestreo

1) Metodología de muestreo y análisis

Los estudios de calidad de aguas se realizaron en periodo de lluvias y estiaje. Las tomas de muestras se realizaron desde fines de enero hasta febrero de 1998, con la finalidad de reconocer las características durante periodo de lluvias; y en el mes de junio del mismo año para periodo de estiaje. Sin embargo, debido a que a pesar de estar en época de lluvias, la falta de éstas ha dificultado en alguna medida la toma de muestras de algunos puntos representativos. Los análisis se realizaron siguiendo las normas ASTM. Por otro lado, en varios puntos de tomas de muestras se realizaron mediciones de secciones transversales y velocidad de flujo de aguas para calcular los caudales. Estas mediciones se realizaron de forma rudimentaria, debido a que los caudales y envergadura de los cauces eran pequeños.

2) Resultados de análisis y algunas consideraciones

Los resultados de análisis y medición de caudales de aguas para cada punto del muestreo se presentan en el cuadro 5-1-2. Las calidades de aguas en los potenciales fuentes de contaminación son como se detallan a continuación. Las emanaciones de desmontes de minerales clasificado como ② y emanaciones de sucus clasificado como ③-1 se presentan en muchos casos mezclados entre sí, de modo que existe dificultad en clasificarlos específicamente. Razón por la cual se ha optado por seleccionar puntos representativos para la toma de muestras. En general, no se ha observado gran diferencia entre época de estiaje y de lluvias. Asimismo, se observa contaminación debida a aguas servidas municipales. En los ríos, la cantidad de S.S. es alta debida a vertimiento de colas de los ingenios y desagüe municipal.

① Drenaje ácido de mina.

El más representativo es el punto 12. De los resultados obtenidos en época de lluvias y estío, su pH es bajo alrededor de 2,22 – 2,28 y su concentración de metales pesados es más alto que otros puntos: cobre 182 – 198mg/l, zinc 1.050 – 1.100mg/l, cadmio 16,4 – 24,0mg/l. Además, su concentración de sulfatos (SO_4), 31.000mg/l y la proporción ión férrico (Fe^{3+}) a hierro total son altos. De acuerdo a estas características se infiere una oxidación ácida en interior mina. Por otro lado, se observó altas concentraciones de arsénico en época de estiaje.

② Emanaciones de desmontes de minerales (minerales de baja ley).

El más representativo es el punto 13. Con características similares a drenaje ácido de mina, muestra una acidez de pH 1,86 y alto contenido de metales pesados: cobre 112mg/l, zinc 710mg/l, cadmio 4,6mg/l. También la concentración de sulfatos es alta registrando 19.600mg/l. De ello se infiere que ocurre oxidación ácida en contacto con agua.

③-1 Emanaciones de sucus

Los puntos representativos son 1 y 18. El grado de contaminación es menor que los puntos 12 y 13, sin embargo se observa comportamiento similar a éstos. La acidez registró pH entre 2,58 y 3,09. Cobre 4,40 – 60,0mg/l, zinc 144 – 916mg/l, cadmio 14,0 – 45mg/l. Además ha registrado valores de estaño entre 21,9 – 43,3mg/l.

③-2 Emanaciones de depósito de colas de separación gravimétrica de estaño

El más representativo es el punto 26 ubicado en el depósito de colas de San Miguel, donde se observa emanación de aguas freáticas. Los valores de pH 3,14 y 2,99; cobre 5,20 y 6,20mg/l; zinc 60,0 y 75,0mg/l son los correspondientes respectivamente a época de lluvias y estío. El valor de sulfatos disueltos ha sido 1.290mg/l en época de lluvias.

③-3 Emanaciones de depósito de colas de flotación de plomo y zinc

El punto representativo es el punto 16 en el depósito de colas de San Miguel. Durante época de estiaje no se observa presencia de agua. En época de lluvias pH 2,38, concentraciones de metales pesados: cobre 96,0mg/l, zinc 529mg/l, cadmio 1,50mg/l. La concentración de sulfatos: 9.690mg/l.

③-4 Emanaciones de pilas de lixiviación de plata

Una de las plantas de lixiviación de plata de Potosí es PLAHIPO, siendo el punto 27 la ubicación del lugar de toma de muestras; sin embargo, por la inactividad de la planta y siendo su área de influencia fuera de las cuencas del estudio, se ha determinado excluir su observación.

(4) Distribución de fuentes de contaminación

Los ríos de Potosí, son diariamente contaminados por vertimiento de tres tipos de efluentes: drenaje ácido de minas, colas de ingenios y desagües municipales. Por otro lado, se tienen emanaciones de aguas en depósitos de colas de minerales y desmontes de minerales de baja ley de los alrededores del Cerro Rico, que en época de lluvias contaminan los ríos.

Debido a que en las minas se extraen principalmente minerales sulfurados, al cierre de ellas aún permanecen minerales como pirita, calcopirita, esfalerita y galena, los cuales reaccionan oxidándose en contacto con aguas freáticas y oxígeno del aire generando efluentes de aguas ácidas con contenido de metales pesados. Los desmontes extraídos de la mina también se convierten en fuentes de contaminación minera debido a la disolución de metales por lluvias. Además, los minerales en los depósitos son transportados por la acción del viento, causando contaminación ambiental (Metal Mining Agency of Japan Technical Development Department, Technical Development of Mine Pollution Control in Japan). Estos son los constituyentes de contaminación debida a efluentes ácidos de mina.

En la parte Este, Noreste y Sudeste del Cerro Rico existen grandes y variados cúmulos de desmontes de minerales denominados "sucos". La magnitud de éstos son 32.000, 400.000 y 90.000Km² respectivamente. Además, en las laderas del Cerro observan depósitos de desmontes de minerales y colas de minerales procesados. Estos se pueden clasificar en: 1) depósito de desechos de minerales óxidos en las laderas del Cerro por encima de la cota 4.400m; y, 2) depósito de desechos de minerales sulfurados por debajo de esta cota (Bo Lundberg (1996) CORPORACION MINERA DE BOLIVIA Environmental audit of the Cerro Rico Project, Potosi). Por otro lado, de la bocamina denominado Real Socavón drena aguas ácidas del interior de la mina. Del mismo modo, al lado Este del Cerro Rico existe una planta de lixiviación de minerales de plata que no se encuentra en funcionamiento. Más alejado, en la zona denominada San Miguel, existen grandes depósitos de desechos mineros; de éstos emanan aguas infiltradas y manantiales que drenan hacia los ríos. Del mismo modo las aguas de lluvias en contacto con todos estos depósitos y desmontes fluyen hacia los ríos, ya sea en forma superficial ó infiltrándose.

Muestras de este tipo de contaminación son los obtenidos de los puntos 12 (efluente de interior mina), 24 (aguas de Jayajmayu) y 26 (manantial colindante al depósito de desechos mineros de San Miguel). Este último es el mayor representante de entre las fuentes de contaminación debida al arrastre de aguas de lluvias. La naturaleza de estos efluentes son su acidez debida a generación de ácido sulfúrico y su alto contenido de metales pesados tóxicos como arsénico en disolución. Estos efluentes de origen minero, al tomar contacto con las colas de procesamiento de minerales de naturaleza alcalina, generan compuestos hidroxilados que precipitan en forma de hidróxidos de metales pesados.

(5) Descripción de fuentes de contaminación

En la figura 5-1-1 se muestra la ubicación de cada tipo de fuente de contaminación del Cerro Rico de Potosí; y en el cuadro 5-1-3 la descripción de las mismas. Los principales afectan a los ríos Huaynamayu, Korimayu y quebrada Jayajmayu. Además, aguas arriba del río Vilacomayu existen posibles fuentes de contaminación.

5-1-2 Aguas alcalinas y sólidos en suspensión (S.S.) / colas de ingenios

Todos los ingenios (total 42) vierten sus colas a los ríos de la zona, principalmente el río De la Ribera, ocasionando severa contaminación. La composición de estas colas consisten de S.S. y aguas alcalinas, que son las materias contaminantes de los ríos, del mismo modo que la contaminación por aguas ácidas de origen minero. Ultimamente, está avanzando la contaminación de ríos debido a colas que vierten los ingenios. A continuación se describe su proceso.

Hasta antes de la caída de precios del estaño en 1985, los ingenios de Potosí procesaban estaño mediante el método gravimétrico, tratando minerales óxidos de estaño (casiterita: SnO_2). Posteriormente, inician el proceso de recuperación de minerales de plomo y zinc mediante flotación de minerales sulfurados de plomo (galena: PbS) y zinc (esfalerita: ZnS). Este cambio de proceso trajo como consecuencia lo siguiente:

- ① Reducción de tamaño de partícula: en función a las especificaciones del proceso, la recuperación de metales por flotación requiere una mayor reducción de partícula de minerales. Es decir de lo que se tenía como costumbre para la separación gravimétrica de unos milímetros a 0,5mm, se redujo entre 0,3 a 0,05mm.
- ② Uso de reactivos químicos: el proceso de separación mediante flotación requiere de una serie de reactivos, cada una con fines específicos. En consecuencia se inició el uso de espumantes, colectores (compuestos orgánicos), depresores (compuestos cianurados entre otros), etc.; compuestos que forman parte de las colas que son vertidos a los ríos.
- ③ Cambio de pH: la flotación de sulfuros de plomo y zinc requiere de medio alcalino, y por ende las colas se han visto incrementado su pH.
- ④ Baja recuperación de metales: debido a la insuficiencia de tecnología de recuperación de metales mediante flotación, las colas contienen alta concentración de metales económicamente valiosos remanentes.

En la figura 2-2-4 se muestra la ubicación de los ingenios actualizada a octubre de 1998. En el cuadro 5-1-4 se muestran los resultados de análisis de muestras puntuales colas de 6 ingenios de Potosí. En éste es posible observar el altos grado de alcalinidad y contenido de metales como arsénico, antimonio, cadmio, cromo, plomo, zinc y estaño. En el cuadro 5-1-5 se muestran los resultados de análisis realizados con muestras representativas de

minerales crudos (de cabeza) y concentrados. A continuación se hace un análisis de calidad de colas comparando con los estándares de emisiones de Bolivia.

(1) Comparación con estándares de emisiones

La calidad de las colas (partes sólida y líquida) incumplen largamente los límites permisibles de emisión. Los parámetros como S.S. (sólidos de colas), pH y concentraciones de fierro, plomo, zinc, estaño, arsénico, cadmio y cianuros. En cuanto a cromo y mercurio no se evaluaron debido a la falta de disponibilidad de resultados de análisis.

(2) Carga contaminante debida a ingenios (las cifras entre paréntesis son estándares de emisión)

① S.S.

- Entre 31.800 y 97.300mg/l (menor a 60,0mg/l)
- Colas totales vertidos por los ingenios: 1.040 a 1.280t/d = 343.000 a 422.000t/año
- Contenido de metales:

Pb: 70 a 1.280mg/l (menor a 0,6mg/l)

Pb = 0,22%; 2,3 a 2,8t/d = 759 a 942t/año

Zn: 700 a 2.141mg/l (menor a 3,0mg/l)

Zn = 2,2%; 22,8 a 28,1t/d = 7.524 a 9.273t/año

Sn: 146 a 448mg/l (menor a 2,0mg/l)

Sn = 0,46%; 4,8 a 5,9t/d = 1.584 a 1.947t/año

As: 25 a 78mg/l (menor a 1,0mg/l)

As = 0,08% (estimado): 0,8 a 1,0t/d = 264 a 330t/año

Cd: 2,2 a 6,8mg/l (menor a 0,3mg/l)

Cd = 0,007% (estimado): 0,07 a 0,09t/d = 23 a 30t/año

② Agua alcalina

- pH: 11,4 a 12,4 (6,9)

- Iones de metales pesados en solución:

Fe disueltos:

32 a 135mg/l (menor a 1,0mg/l) = 328 a 2.222Kg/d = 108 a 733t/año

Pb:

0,5 a 2.2mg/l (menor a 0,6mg/l) = 5,4 a 40,1Kg/d = 1,8 a 13,2t/año

Sn:

22,6 a 87,7mg/l (menor a 2,0mg/l) = 232 a 1.443Kg/d = 77 a 476t/año

As: sin resultados

Cd:

0,04 a 0,09mg/l (menor a 0,3mg/l) = 0,40 a 1,49kg = 0,1 a 0,5t/año

CN:

0,04 a 0,22mg/l (menor a 0,2mg/l) = 0,40 a 3.63Kg/d = 0,1 a 1,2t/d

- (3) Carga contaminante de aguas debida a ingenios (ver cuadros 5-1-6 y 5-1-7)

La descripción del proceso de contaminación descrita arriba se muestra en la figura 5-1-2.

Cuadro 5-1-1 Descripción de los puntos de tomas de muestras de potenciales fuentes de contaminación

Punto	Descripción
1	Ubicado en el cruce de la quebrada Jayajmayu y la línea de tren. Existe un "Sucu" en su alrededor. El volumen de agua es bajo en la estación de estiaje.
2	Ubicado en el punto de cruce de la línea del tren y el río Huackajchimayu. Durante época de estiaje difícilmente se podrá encontrar agua.
3	Vertiente ubicada bajo el ferrocarril sobre el río Agua Dulce.
4	Desembocadura de arroyo que fluye al río Vilacollo Mayu. Aguas arriba existen bocaminas. No fluye agua durante la época de estiaje.
5	Río Vilacollo Mayu antes de mezclarse con aguas del arroyo del punto 4. Existe una pequeña corriente de agua por el canal de una represa para fines agrícolas.
6	Flanco oeste del cerro Juckuy Huakajchi sobre el valle de Canta Canta. Se observa agua durante la época de estiaje. Existen varios desmontes de minerales cerca del lugar.
7	Aguas abajo de la confluencia de aguas de los puntos 4 y 5.
8	Represa ubicada en el río Vilacollo Mayu.
9	Agua infiltrada aflorando del depósito de colas en el nacimiento del Huayna Mayu. Se puede observar presencia de agua incluso en época de estiaje.
10	Manantial ubicado junto al río Huayna Mayu.
11	Río Huayna Mayu aguas arriba del punto de vertimiento de desagüe doméstico proveniente del Campamento Pailaviri.
12	Al pie del Cerro Rico, junto a la galería principal, Real Socavón. Se puede observar agua durante todo el año. Este punto es típico efluente de mina.
13	Parte baja al nordeste del Cerro Rico, rodeado de desmontes de minerales de baja ley. Existen varios pozos de agua infiltrada en desmontes de los alrededores.
14	"Sucu" ubicado al norte del Cerro Rico, el más grande de los que existen en el área. Durante época de estiaje no existe infiltración de aguas. Cuando llueve, gran cantidad de corriente fluye al norte hacia el río Korymayu.
15	Zona central del río Korymayu. No existe agua durante época de estiaje excepto cuando los ingenios vierten sus colas.
16	Aguas infiltradas de poco caudal en épocas de estiaje de los depósitos de colas de San Miguel. Se caracteriza por tener dos tipos de colas: tipo descrito en ③-2 y el ③-3. En este lugar el agua infiltrada es del tipo ③-3.
17	Manantial que se encuentra a pocos metros del ferrocarril al oeste del Cerro Mojón Punta cerca de bocaminas.
18	Río Jayajmayu, debajo de las líneas de transmisión eléctrica. Durante época de estiaje se observa poca cantidad de agua infiltrada del "sucu" ubicado cerca del lugar.
19	Manantial ubicado a unos cientos de metros aguas arriba del punto 18. El agua fluye hacia el río Jayajmayu.
20	Manantial ubicado en el nacimiento del río Huackajchimayu.
21	Area pantanosa aguas arriba del punto 20.
22	Pozo en el pueblo de Cantu Marca. Se observa contaminación de tipo doméstico.
23	Manantial ubicado al pie del cerro Chapini Punta frente a los relaves de San Miguel cruzando el río. No se observa reboses de agua durante época de estiaje.
24	Al lado del puente sobre el Río Jayajmayu en la carretera hacia Uyuni. Se observa caudal durante todo el año.
25	Ingenio Taiton. No se observa infiltraciones.
26	Manantial ubicado al norte del depósito de colas de San Miguel. Se observa corriente durante todo el año.
27	Sistema de monitoreo subterráneo de la planta de lixiviación de PLAHIPO.
28	Al pie del lado sudeste del Cerro Rico en una nueva zona de actividad minera que genera efluentes de mina. Se observa una corriente de aguas de coloración grisácea causado por perforación de rocas.
29	Río de la Ribera en el punto de vertimiento de desagüe doméstico.
30	Confluencia del río De la Ribera con el río Aljamayu. Se observa contaminación causada por colas vertidas por los ingenios.

Cuadro 5-1-2 (1/2). Resultados de análisis de aguas de muestras tomadas en potenciales fuentes de contaminación (época de lluvias)

Punto	pH	DOO	DBO	SS	Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Hg	Sn	Cr-T	As	CN	SO ₄	Fe-T	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Caudal m ³ /seg
1	2,58	99	-	3,130	60,0	0,15	144	14,0	21,48	3,54	43,3	0,36	62,3	-	8,810	455	202	253	150
2	7,59	18	<1	0,5	<0,003	<0,03	0,42	<0,002	0,13	0,61	39,6	<0,005	39,1	-	27	6,98	5,23	1,75	13,0
3	7,94	14	<1	<0,2	<0,003	0,09	0,07	<0,002	0,18	3,89	-	<0,005	13,3	-	52	3,77	157	220	21,6
4	7,17	9	<1	482	0,04	0,01	0,13	<0,002	0,16	4,05	-	<0,005	39,8	-	215	15,9	14,8	1,05	64,8
5	8,50	9	<1	498	0,04	0,03	0,05	<0,002	0,14	6,76	-	<0,005	41,7	-	170	10,5	4,22	6,32	0,5
6	7,70	5	<1	66,5	<0,003	<0,03	1,05	<0,002	8,93	2,68	-	<0,005	78,7	-	262	3,49	-	-	39,0
7	7,92	4	<1	547	0,01	0,04	0,07	0,01	0,10	5,77	-	<0,005	3,94	-	170	15,7	9,49	6,32	86,4
8	6,75	9	<1	45,5	<0,003	<0,03	3,77	<0,002	0,78	2,88	-	<0,005	10,4	-	291	5,23	-	-	0
9	3,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,76
10	8,44	9	<1	21,5	<0,003	<0,03	0,15	<0,002	0,05	4,40	-	<0,005	63,5	-	144	0,03	-	-	0
11	3,17	5	<1	2,5	1,80	0,08	111	0,41	6,02	5,17	-	<0,005	31,9	-	1,230	17,5	10,5	6,98	188
12	2,28	257	<1	41,5	1,82	<0,03	1,050	16,4	0,78	3,59	-	<0,005	19,5	-	31,000	1,640	69,8	1,570	86,4
13	1,86	414	-	48,5	1,12	0,34	710	4,60	2,26	3,59	-	0,49	19,7	-	19,600	2,800	227	2,570	0
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	2,38	368	-	42,5	96,0	0,24	529	1,50	13,1	1,67	-	0,03	24,1	-	9,690	1,140	52,3	1,080	2,76
17	7,19	30	<1	556	0,10	0,05	0,36	<0,002	0,16	4,43	-	<0,005	20,6	-	37	26,3	8,47	17,9	0
18	3,09	9	<1	75,0	4,40	0,10	916	45,0	22,8	3,08	21,9	<0,005	7,81	-	4,900	12,2	5,23	6,98	147
19	6,91	5	<1	<0,2	0,02	<0,03	0,54	<0,002	1,23	5,06	21,2	<0,005	31,1	-	164	5,23	3,49	1,73	8,64
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,04
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
22	7,01	5	<1	17,0	0,03	<0,03	<0,002	<0,002	0,34	4,30	29,1	<0,005	8,68	-	951	6,98	5,23	1,75	0
23	6,92	5	<1	38,5	<0,003	0,20	0,31	<0,002	0,93	3,59	-	<0,005	34,4	-	103	0,70	-	-	0
24	4,00	4	<1	16,5	1,00	<0,03	245	0,99	0,46	2,07	38,4	<0,005	16,9	-	1,580	6,98	3,49	3,49	17,3
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	3,14	5	<1	45,5	5,20	0,22	60,0	0,43	3,56	7,33	-	<0,005	28,4	-	1,290	14,0	-	-	147
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	3,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,00
29	11,9	103	<1	413,000	0,06	0,80	0,36	<0,002	0,09	10,6	20,0	<0,005	26,3	<0,001	1,040	50,0	4,20	45,8	1,890
30	7,78	77	-	42,600	0,03	0,09	8,00	0,45	0,23	8,85	24,3	0,18	32,8	0,104	1,380	26,3	5,27	21,1	3,460

(Nota) 1) Las unidades para As y Hg en µg/L. El resto de los parámetros en mg/L excepto pH. 2) No hubo presencia de agua en los puntos 14, 15, 25 y 27.

Cuadro 5-1-2 (2/2). Resultados de análisis de aguas de muestras tomadas en potenciales fuentes de contaminación (época de estiaje)

Punto	pH	DOO	DBO	SS	Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Hg	Sn	Cr-F	As	CN	SO ₄	Fe-F	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Caudal m ³ /seg	
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6	7,72	-	0,12	176	0,033	0,19	0,40	0,01	0,06	3,81	<0,10	0,01	1,79	-	-	0,09	0,01	0,08	-	
7																				
8																				
9																				
10	8,11	39	0,23	140	0,03	0,15	0,08	0,01	0,41	0,1	7,27	0,06	4,02	109	-	0,12	<0,01	0,12	-	
11	3,11	34		160	2,70	0,22	96,0	0,43	22,0	0,1	2,97	<0,01	8,95	1,150	-	25,2	5,21	20,0	-	
12	2,22	250	2,32	160	198	0,69	1,110	24,0	21,0	<0,1	3,25	0,01	5,090	9,130	-	4,770	1,280	3,490	-	
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22	7,01	2	-	180	0,003	0,25	0,22	0,01	0,06	<0,1	1,28	<0,01	1,82	968	-	0,03	0,01	0,02	-	
23	7,00	-	0,18	178	0,08	0,15	0,20	0,002	0,56	<0,1	<0,1	0,01	3,87	63	-	0,05	0,01	0,04	-	
24	4,38	2	-	170	0,49	0,31	12,6	1,20	10,0	<0,1	<0,1	<0,01	1,66	1,710	-	<0,01	<0,01	<0,01	-	
25																				
26	2,98	-	0,01	180	6,20	0,31	75,0	0,54	17,0	<0,1	<0,1	0,01	10,74	-	-	7,7	0,6	7,1	-	
27																				
28																				
29	12,29	158	-	320,000	0,57	0,16	0,27	0,04	0,01	5,58	5,35	0,02	237	1,100	-	0,01	<0,01	0,01	-	
30	10,32	180	0,54	345,000	0,43	0,16	0,17	0,06	0,02	<0,1	9,05	0,01	15,7	1,300	-	0,07	<0,01	0,07	-	

(Nota) 1) Las unidades para As y Hg en µg/L. El resto de los parámetros en mg/L excepto pH. 2) No hubo presencia de agua en los puntos 14, 15, 25 y 27.

Cuadro 5-1-3 Distribución y Clasificación de Fuentes de Contaminación

No.	Receptora de contaminación	Grado de impacto		Observaciones
		Grande	Poco o desconocido	
1	Río Huaynamayu	Puntos de muestreo 9, 11, 12, 13 y 28. Aguas ácidas con metales pesados en solución	Puntos 10 y 27	Grandes cúmulos de desmontes de minerales esparcidos en las laderas del Cerro Rico. Drenaje ácido de nuevas galerías de extracción de minerales (Punto28)
2	Río Korumayu y Río De la Ribera	Puntos 14, 15, 16 y 26. Aguas ácidas con metales pesados en solución	Puntos 22	En la parte alta se encuentra el sucú más extenso. Emanación del sucú (puntos 14 y 15). Emanación del depósito de colas (puntos 16 y 26). El punto 26 fluye al río De la Ribera.
3	Quebrada Jayajmayu	Puntos 1, 18 y 24. Aguas ácidas con metales pesados en solución	Puntos 19	En la parte superior se encuentra una bocamina y sucus.
4	Río Vilacomayu (contaminación latente)	Puntos 5, 6, 7 y 8. Metales pesados	Punto 4	Existen desmontes en la parte superior del punto 6. En los resultados de análisis no se ha detectado contaminación, sin embargo son potenciales fuentes de contaminación.
5	Río De la Ribera	Puntos 29 y 30. Aguas alcalinas con metales pesados contenido en S.S.		Efecto de vertimiento de colas altamente alcalinas de los ingenios.

Cuadro 5-1-4 Analisis de colas de Ingenios: '98.2.9,10

			Ingenio A	Ingenio B	Ingenio C	Ingenio D	Ingenio E	Ingenio F
Ore	Sn	%	0.17	0.68	0.55	0.24	0.66	0.27
	Pb	%	1.10	0.10	4.57	0.15	0.19	0.11
	Ag	g/t	171.90	14.00	666.70	152.90	130.90	56.90
	Zn	%	3.90	0.62	6.34	0.48	0.92	0.60
	Ca	%	0.18	0.02	0.006	0.19	0.04	0.01
	Fe	%	15.90	7.84	21.08	17.75	7.61	4.74
Water	SS	mg/l	152,000.00	97,300.00	31,800.00	75,200.00	79,500.00	95,800.00
	P.D. *1	%	13.9	9.1	3.1	7.2	7.6	9.1
	pH *2		12.09	11.39	6.01?	12.40	11.66	7.24?
	As	μ g/l						
	Sb	μ g/l	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
	Cd	mg/l	0.03	0.04	32.00	0.09	0.09	0.57
	Cu	mg/l	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.19
	Cr	mg/l	<0.005	0.041	0.207	0.467	0.429	<0.005
	Fe	mg/l						
	Fe(II)	mg/l	85.40	17.92	69.95	79.08	59.05	42.20
	Fe(III)	mg/l	9.49	13.71	70.14	43.42	55.93	34.43
	Hg	μ g/l	4.55	2.21	1.47	0.61	1.59	6.14
	Mn	mg/l	0.43	0.54	14.66	0.44	0.34	3.55
	Pb	mg/l	1.45	0.52	2.70	2.44	0.68	0.67
	Zn	mg/l	0.78	0.10	1.45	0.73	0.27	15.50
	Sn	mg/l	99.22	87.73	31.59	23.32	22.59	15.54
	CN	mg/l	0.146	0.22	0.059	0.186	0.043	0.018
	SO ₄ ²⁻	mg/l						
	COD	mg/l	159.00	60.00	26.00	120.00	47.00	34.00
	BOD	mg/l	Non	0.06	0.76		0.67	1.14

Note *1: Pulp Density, *2: 14.5~17.0 °C

○ Investigated by Itoh: analysis of samples obtained by shot-sampling

Cuadro 5 - 1 - 5 Evaluacion de calidad de colas de ingenios con estandares de emision de Bolivia

1. Head(Run of Mine Ore)/Concentrate/Tailing : Solid Division							
	Grade %	Quantity of Ore or Metal t/d			Standards of Discharge of Effluent(*1)		
	assumption	assumption : Min.	assumption : Max.	assumption : range	judgement(*2)	value of day mg/l	value of month mg/l
Run of Mine Ore	/	1,300	1,600	1,300-1,600	/	/	/
Concentrate	/	262.6	323.2	260~320	/	/	/
Pb Conc.	/	22.1	27.2	22~27	/	/	/
Zn Conc.	/	240.5	296.0	240~300	/	/	/
Tailing(*3)	/	1,037	1,277	1,040~1,280	/	/	/
Pb	0.22	2.3	2.8	2~3 70~214mg/l	×	0.6	0.3
Zn	2.2	22.8	28.1	23~28 700~2,141mg/l	×	3.0	1.5
Sn	0.46	4.8	5.9	5~6 146~448mg/l	×	2.0	1.0
As	0.08	0.8	1.0	0.8~1 25~78mg/l	×	1.0	0.5
Cd	0.007	0.07	0.09	0.07~0.09 2.2~6.8mg/l	×	0.3	0.15

2. Tailing(Soluble, etc.) : Liquid Division				
	Measured Values except unusual values(*4)	Standards of Discharge of Effluent(*1)		
		judgement(*2)	value of day mg/l	value of month mg/l
SS	31,800~97,300mg/l	×	60mg/l	/
PD	7.2~9.1%	/	/	/
pH	11.4~12.4	×	6.9	6.9
As	None of analysis(μ g/l)	----	1.0mg/l	0.5mg/l
Sb	<0.10 μ g/l	○	1.0mg/l	/
Cd	0.04~0.09mg/l	○	0.3mg/l	0.15mg/l
Cu	0.04~0.05mg/l	○	1.0mg/l	0.5mg/l
Cr	0.041~0.467mg/l	△	Cr(III)1.0mg/l Cr(VI)0.1mg/l	Cr(III)0.5mg/l Cr(VI)0.05mg/l
Fe Total	31.63~135.01mg/l	×	1.0mg/l	0.5mg/l
Fe(II)	17.92~79.08mg/l	/	/	/
Fe(III)	13.71~55.93mg/l	/	/	/
Hg	None of analysis(μ g/l)	----	0.002mg/l	0.001mg/l
Mn	0.34~0.54mg/l	/	/	/
Pb	0.52~2.44mg/l	×	0.6mg/l	0.3mg/l
Zn	0.10~0.73mg/l	○	3.0mg/l	1.5mg/l
Sn	22.59~87.73mg/l	×	2.0mg/l	1.0mg/l
CN	0.043~0.220mg/l	×	CN 0.2mg/l	CN 0.1mg/l
COD	47.00~120.00mg/l	○	250mg/l	/
BOD	0.06~0.67mg/l	○	80mg/l	/

注) *1 : Limites Permisibles para Descargas Liquidas [Propuesta]

(Reglamentos a la Ley de Medio Ambiente: Bolivia), There is no standard in column with slant lines.

*2 : ○ : under the standard, △ hard to judge, × : over the standard, ---- none of analysis

*3 : The tailing corresponds to " SS " at 2. Tailing: Liquid Division

*4 : Refer to Table 5 - 1 - 4

Cuadro 5 - 1 - 6 Colas vertidas a los rios por los ingenios(porcion solida)

Section *1	Ingenio *2	Ores t/d*3	Pb		Zn		Sn		As		Cd	
			%*3	t/d	%*3	t/d	%*3	t/d	%*3	t/d	%*3	t/d
1. The upper stream of Ribera river ~ Sampling point 1	None											
2. Sampling point 1 ~ Sampling point 5	No.1~15, 35, 39, 40 Total 18	411 ~ 507	0.22	0.9 ~ 1.1	2.2	9.1 ~ 11.2	0.46	1.9 ~ 2.3	0.08	0.33 ~ 0.41	0.007	0.03 ~ 0.04
3. The upper stream of Huaynamayu ri. ~ Sampling point 2	None											
4. Sampling point 2 ~ Sampling point 4	No.16~19, 36 Total 5	76 ~ 93	0.22	0.2	2.2	1.7 ~ 2.1	0.46	0.4	0.08	0.06 ~ 0.07	0.007	0.01
5. The upper stream of Korimayu ri. ~ Sampling point 3	None											
6. Sampling points 4 and 5 ~ Sampling point 6	No.20~22 Total 3	46 ~ 56	0.22	0.1	2.2	1.0 ~ 1.2	0.46	0.2 ~ 0.3	0.08	0.04 ~ 0.05	0.007	0.00
7. Sampling point 3 ~ Sampling point 13	No.23~25 Total 3	116 ~ 143		0.3		2.6 ~ 3.1		0.5 ~ 0.7		0.09 ~ 0.11		0.01
8. Sampling point 6 ~ Sampling point 11	No.26~31, 37, 38, 41, 42 Total 10	261 ~ 322		0.6 ~ 0.7		5.7 ~ 7.1		1.2 ~ 1.5		0.21 ~ 0.26		0.02
9. Sampling point 8 and 9 ~ Sampling point 10	No.34 Total 1	19 ~ 23		0.0 ~ 0.1		0.4 ~ 0.5		0.1		0.02 ~ 0.02		0.00
10. Sampling point 10 and 11 ~ Sampling point 12	No.32, 33 Total 2	108 ~ 133		0.2 ~ 0.3		2.4 ~ 2.9		0.5 ~ 0.6		0.09 ~ 0.11		0.01
Total	No.1~42 Total 42	1,037 ~ 1,277		2.3 ~ 2.8		22.9 ~ 28.1		4.8 ~ 5.9		0.83 ~ 1.02		0.07 ~ 0.09

注) *1 : As for sampling points, refer to Figure 1 - 2 - 4 and Figure 2 - 2 - 4.

*2 : As for number of Ingenios, refer to Table 2 - 2 - 3 and Figure 2 - 2 - 4.

*3 : Assumption. Refer to Table 5 - 1 - 5.

Cuadro 5-1-7 Colas vertidas a los rios por los ingenios (porcion liquida)

Section	SS g/l	PD %	Water m ³ /d	pH	As		Sb		Cd		Cu		Cr		Fe-Total		Fe(II)		Fe(III)		Hg		Mn		Pb		Zn		Sb		CN		COD		BOD																		
					Conc µg/l	Quanta kg/d	Conc µg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d	Conc mg/l	Quanta kg/d																	
1. The upper stream																																																					
Sampling point 1																																																					
2. Sampling point 1	32	7.2	4105	11.4	No ana-lysis	0.04	0.16	0.04	0.16	0.04	0.16	0.04	0.16	0.04	0.16	130	17.9	73	13.7	56	No ana-lysis	0.34	1.40	0.52	2.1	10.10	0.41	22.6	92	0.04	0.16	47	193	0.06	0.25																		
Sampling point 5	97	9.1	6535	12.4	0.10	0.09	0.59	0.05	0.43	0.47	3.07	882	79.1	1517	55.9	365						0.54	3.53	2.44	15.9	0.73	4.77	87.7	573	0.22	1.44	120	784	0.67	4.38																		
3. The upper stream of Huaynamayu ri.																																																					
Sampling point 2																																																					
4. Sampling point 2	32	7.2	759	11.4	No ana-lysis	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	31.6	24	17.9	14	13.7	10	No ana-lysis	0.34	0.26	0.52	0.4	0.10	0.08	22.6	17	0.04	0.03	47	36	0.06	0.05																					
Sampling point 4	97	9.1	1199	12.4	0.10	0.09	0.11	0.05	0.06	0.47	0.56	135	162	79.1	95	55.9	67		0.54	0.65	2.44	2.9	0.73	0.88	87.7	105	0.22	0.26	120	144	0.67	0.80																					
5. The upper stream of Korimayu ri.																																																					
Sampling point 3																																																					
6. Sampling point 4,5	32	7.2	459	11.4	No ana-lysis	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	31.6	15	17.9	8	13.7	6	No ana-lysis	0.34	0.16	0.52	0.2	0.10	0.05	22.6	10	0.04	0.02	47	22	0.06	0.03																					
Sampling point 6	97	9.1	722	12.4	0.10	0.09	0.06	0.05	0.04	0.47	0.34	135	97	79.1	57	55.9	40		0.54	0.39	2.44	1.8	0.73	0.53	87.7	63	0.22	0.16	120	87	0.67	0.48																					
7. Sampling point 3			1159																																																		
Sampling point 13			1843																																																		
8. Sampling point 6			2607																																																		
Sampling point 11			4150																																																		
9. Sampling point 8,9			190																																																		
Sampling point 10			296																																																		
10. Sampling point 10, 11			1079																																																		
Sampling point 12			1714																																																		
[reference]			10358																																																		
Total			16450																																																		

Note As for sampling points, refer to Figure 1-2-4 and Figure 5-1-2. There is no ingenio in section 1, 3 and 5.

SS, pH and concentrations are values measured by shoe-sampling. Water quantity is calculated with ore quantity (assumption) and PD.

Values, particularly water quantity in total may be different from actual water quantity because major ingenios use a large quantity of water which is contained in tailing of the ingenio and previous ingenio as recycling water.

Range of Figure 2-2-4

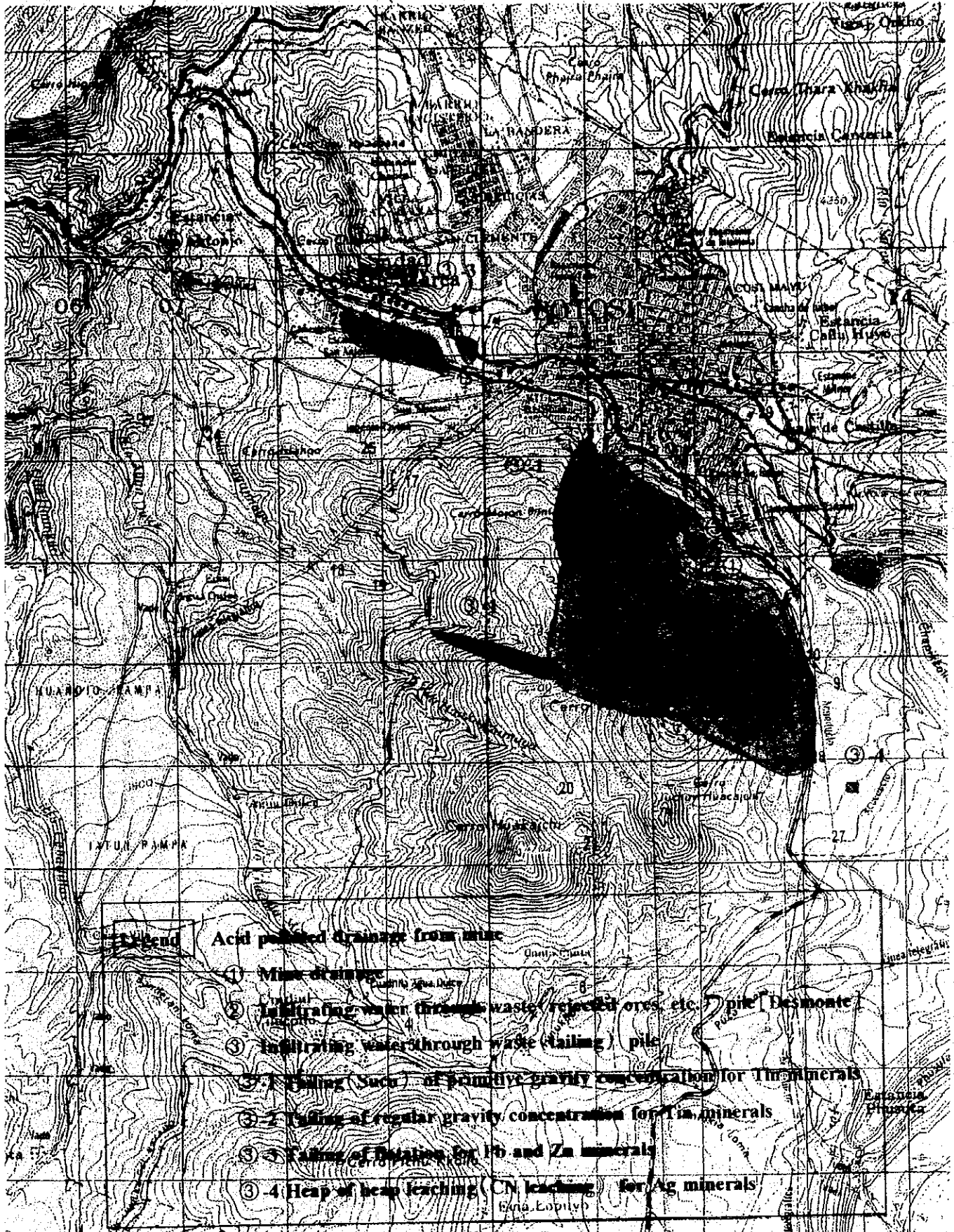
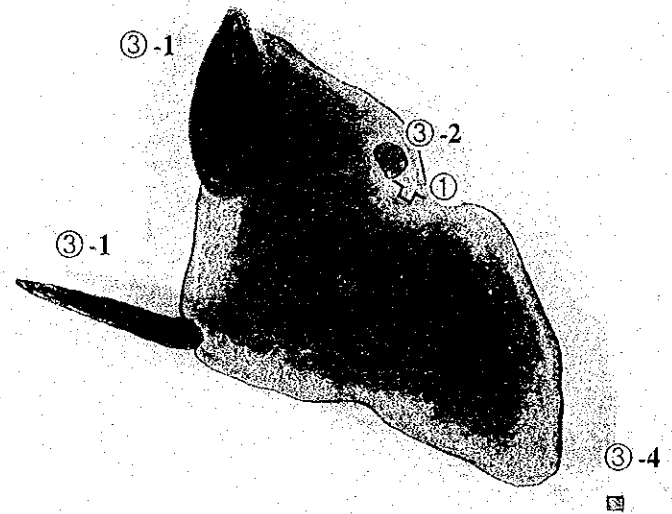
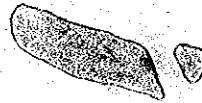


Figura 5-1-1 Ubicación de punto de tomas de muestra
(posibles fuentes de contaminación)

③-3
(D)

③-2
(partially ③-3)



Legend

Acid polluted drainage from mine

- ① Mine drainage
- ② Infiltrating water through waste (rejected ores, etc.) pile [Desmonte]
- ③ Infiltrating water through waste (tailing) pile
 - ③-1 Tailing (Sucu) of primitive gravity concentration for Tin minerals
 - ③-2 Tailing of regular gravity concentration for Tin minerals
 - ③-3 Tailing of flotation for Pb and Zn minerals
 - ③-4 Heap of heap leaching (CN leaching) for Ag minerals

Range of Figure 2-2-4

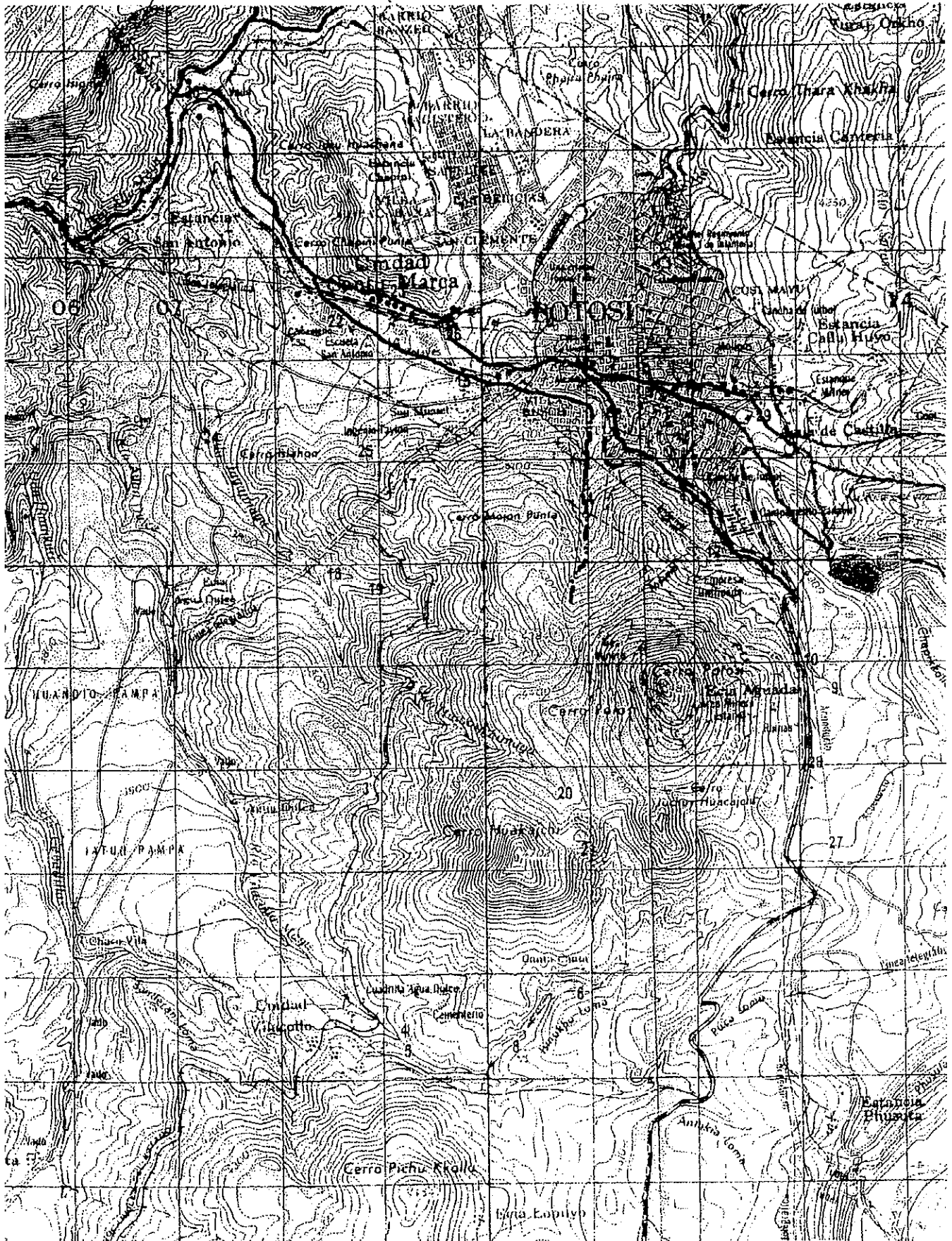


Figura 5-1-1 Ubicación de punto de tomas de muestra
(posibles fuentes de contaminación)

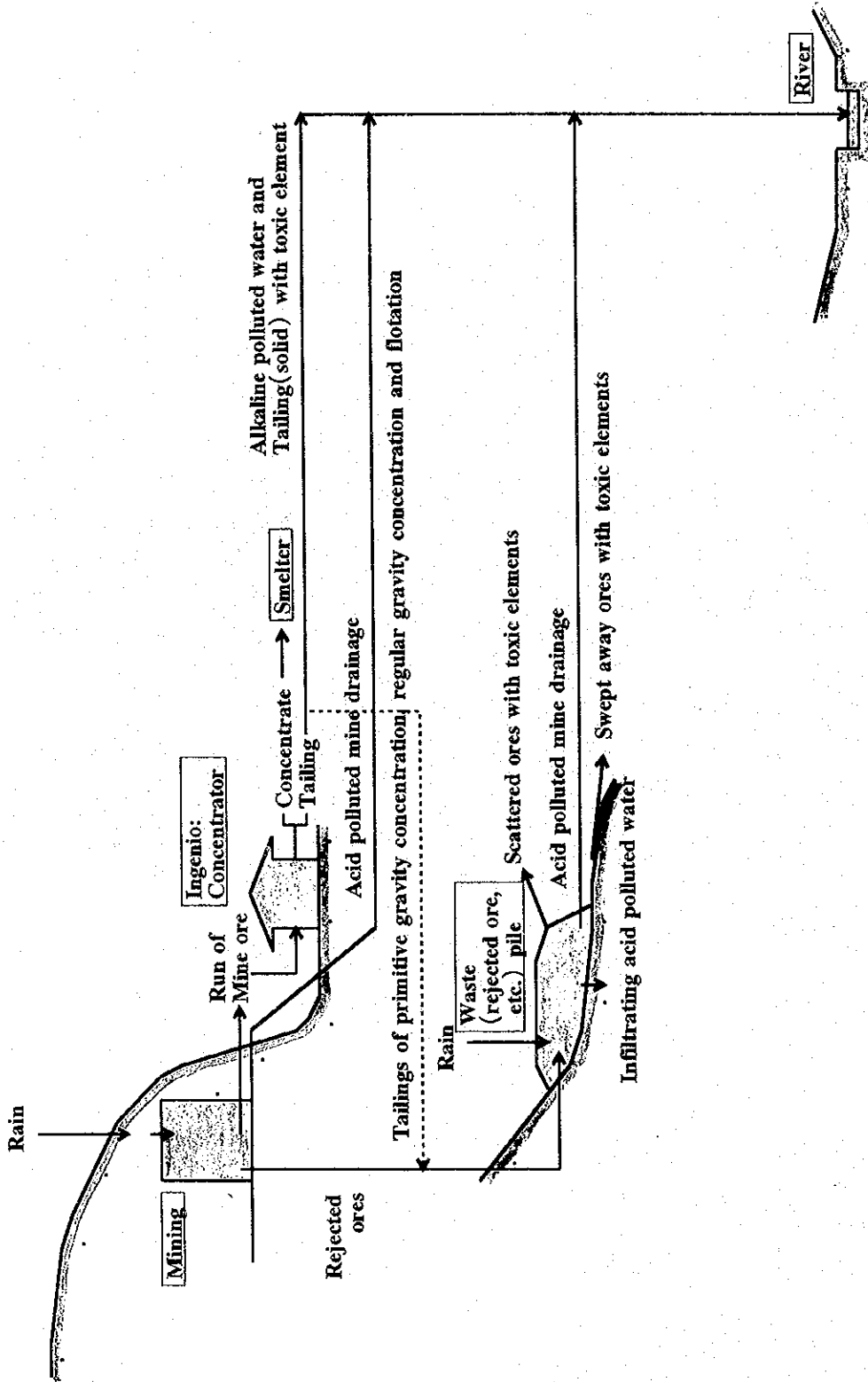


Figura 5 - 1 - 2 Proceso de contaminación en el region de Potosi [presente]

5-2 Mecanismo de contaminación de aguas

5-2-1 Contaminación de ríos

Como describiera en anterior acápite, la contaminación de aguas se deben por un lado a aguas ácidas conteniendo minerales pesados, originadas por drenaje ácido de mina y emanaciones de depósitos y desmontes de minerales. Por otro lado las colas que vierten los ingenios con alto contenido de S.S. (porcentaje de sólidos casi 10% y tamaño de partícula entre 0,3 y 0,05mm) con metales pesados remanentes y aguas alcalinas conteniendo reactivos de flotación. En este acápite se ha recopilado los mecanismos de estos contaminantes en los cauces de los ríos De la Ribera, Aljamayu, Tarapaya y Pilcomayo. Estos se muestran en el cuadro 5-2-1 y figuras 1-2-4 y 5-2-1.

5-2-2 Contaminación de los ríos De la Ribera, Tarapaya y Pilcomayo

(1) Comportamiento de S.S. y pH

Se observa una disminución paulatina de sólidos en suspensión aguas abajo desde el río De la Ribera hasta el río Tarapaya a través del río Alijamayu. Este comportamiento se observa en la figura 5-2-2. Desde aguas arriba en los ríos Huaynamayu, Jesús Valle (principal afluente Hualampaya) y Huancarani van aumentando su caudal que explica parcialmente la reducción de sólidos en suspensión; sin embargo, se puede inferir que gran parte de éstos se estén depositando en el fondo de los ríos.

En su totalidad, es posible observar la tendencia descrita arriba; sin embargo, al observar por separado cada punto de muestreo a través de los cambios estacionales, no se podría inferir lo mismo. Este comportamiento se muestra en las figuras 5-2-3 y 5-2-4. En comparación con el cauce del Tarapaya, el contenido de S.S. en el Pilcomayo es menor en un dígito. Además, el valor de S.S. que era uniforme hasta el mes de mayo, tuvo tendencia al incremento posteriormente. Por otro lado, luego de marzo se observa una tendencia decreciente. En condiciones normales los S.S. disminuyen con la disminución del caudal, sin embargo, la característica del cauce del Tarapaya es una excepción.

En el cauce del Tarapaya el pH varía bruscamente aguas abajo de la confluencia de los ríos De la Ribera y Huaynamayu; sin embargo, más hacia abajo su comportamiento es de estabilizarse alrededor de 8. Este comportamiento se muestra en la figura 5-2-5.

(2) Relación entre iones disueltos y S.S.

En el cauce de Tarapaya, de acuerdo a la dirección de la corriente, las aguas se van alcalinizando disminuyendo la concentración de metales disueltos. Simultáneamente se observa la tendencia de incremento del contenido de metales en los sólidos en suspensión. Un caso típico se muestra en el cuadro 5-2-2 que corresponden a los resultados de muestras tomadas en abril de 1998. Los resultados para suelos se presentan en el cuadro 4-2-2.

Aunque es un sólo ejemplo, la muestra en el punto 4 del río Huaynamayu tiene características ácidas y altas concentraciones de iones metálicos. Los puntos 11, 12 y 15 de los ríos De la Ribera y Aljamayu que son alcalinos, el contenido de metales pesados en S.S. es alto, especialmente fierro y zinc.

Se recomienda aplicar la norma ASTM D 1971 que consisten en realizar tratamiento ácido en condiciones de alta temperatura y baja presión de la muestra previa al análisis de aguas.

(3) Comportamiento de los componentes presentes en el agua

Se pudo observar la correlación existente entre pH del medio y comportamiento de metales pesados en los casos de fierro, zinc, manganeso, cadmio, plomo y cobre dentro del tramo De la Ribera - Tarapaya. Esta correlación se muestra en las figuras del 5-2-6 al 5-2-14.

Con el incremento de pH, disminuye notablemente la solubilidad de cadmio, fierro, manganeso y zinc. Se muestran en escala semi-logarítmica la relación de solubilidad con pH. Los compuestos oxidados de metales muestran bajas solubilidades a valores altos de pH.

Para los casos de arsénico, cobre y plomo, se observa inicialmente baja solubilidad con el incremento de pH; sin embargo, a valores de pH aún mayores tienen tendencias a solubilizarse nuevamente. Este último fenómeno se presenta entre pH 8 y 9. Es posible que estos elementos estén formando iones complejos. A pesar que de los resultados irregulares, el plomo se disuelve nuevamente a pH tan bajo como 1 a 2. Para los casos de cadmio y zinc es difícil observar este fenómeno. Por otro lado, el caso del cobre es relativamente notorio. Como se observa en las figuras 5-2-8 y 5-2-14, es notoria la solubilidad de cadmio y zinc precipitado a determinados valores altos de alcalinidad.

No ha sido posible confirmar el fenómeno para los casos de mercurio y antimonio. A pesar que el antimonio es poco soluble en agua, se ha podido observar su presencia en los S.S. Sin embargo, el comportamiento del arsénico y mercurio no se pudieron definir.

En los otros elementos no se ha podido encontrar correlaciones. En los casos de plomo y cobre se observa que no existe una correlación lineal entre sus concentraciones y valor de pH. A partir del rango de pH entre 8 y 9 se observa nueva disolución de éstos. Esta disolución aparentemente está desfasado entre 1 y 2 unidades de pH sobre sus comportamientos ordinarios. Se podría inferir que la disolución se da en forma de iones complejos.

Los ríos Huaynamayu, Korimayu y la quebrada Jayajmayu de características ácidas tienen en disolución considerables cantidades de arsénico. Por una parte las concentraciones de arsénico disuelto son bajas en los ríos con características alcalinas. Por otro lado, en cada cauce se ha detectado gran cantidad de arsénico en sus sólidos en suspensión y sedimentos. Existen ciertas diferencias, sin embargo, el comportamiento del arsénico presenta similitudes con los metales pesados.

En los cuadros 4-2-1 y 4-2-2 no se observan presencia de cromo ni cianuro libres. La no presencia de cromo debe ser que los minerales de la región no los contiene. En consecuencia, no habría contaminación por cromo en el cauce.

A pesar que en los Ingenios se utiliza compuestos de cianuro para procesamiento de minerales, no se ha detectado en forma de cianuros libres ni asociado a metales formando complejos. Este comportamiento no se ha podido dilucidar en el presente estudio.

El parámetro de correlación de contaminación orgánica, la demanda química de oxígeno ha sido muy alto en los ríos De la Ribera y Hualampaya. Notoriamente más alto en De la Ribera, que debe recibir influencia de reactivos orgánicos usados en procesamiento de minerales remanentes en las colas de ingenios. Este parámetro ha registrado valores bajos aguas arriba, zonas que carecen de población.

(4) Relación entre elementos/compuestos presentes en agua y sedimentos

Durante época de estiaje, que es poco probable los cambios drásticos de caudal y aludes, estarían depositándose los sólidos en suspensión entre los ríos De la Ribera y Aljamayu con las características similares a las colas de los ingenios, bajo la hipótesis de que son las principales fuentes de vertimiento de sólidos a los ríos. Al analizar la relación entre concentraciones de metales en S.S. y sedimentos entre los ríos De la Ribera y Pilcomayo. Los resultados se pueden observar en las figuras del 5-2-15 al 5-2-19, para arsénico, cadmio, plomo y zinc.

Se puede apreciar que se presentan los mismos elementos/compuestos tanto para los S.S. como para los sedimentos. Siendo sus concentraciones altas. En los sedimentos del río Pilcomayo bajo el puente Méndez se presentan altas concentraciones de arsénico y metales pesados. En el cauce del río Tarapaya las concentraciones expresadas en ppm son como sigue: arsénico cientos; cadmio decenas; plomo miles; y, zinc decenas de miles. Especialmente, la concentración de zinc es muy cercana a leyes de minerales de zinc en minas del Japón. El estaño también en el orden de miles de ppm. En el Pilcomayo bajo el puente Méndez, la situación de contaminación es similar durante estío, a pesar la disminución es muy pequeña.

Los valores de concentraciones entre los de S.S. y sedimentos no son coincidentes. Relativamente los resultados en los sedimentos son más fluctuantes. Razones por los cuales se recomienda continuar con los programas de monitoreo con el objeto de reconocer en detalle el comportamiento de los ríos.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el contenido de metales en los S.S. del río Pilcomayo son: arsénico: 220ppm, cadmio: 50 a 60ppm, plomo: 1.500ppm, zinc: 15.000 a 20.000 ppm y estaño: 2.000ppm.

Cuadro 5-2-1 Mecanismo de Contaminación de Ríos

Clasificación	Fuentes de Contaminación		Contaminante	
	Efluentes de origen	Drenaje ácido de mina		
Característica del fuente	Efluentes de origen minero	Emanaciones de infiltraciones en desmontes	Acidez, metales pesados en solución	
	Efluentes residuos de ingenios	Emanaciones de infiltraciones en depósito de colas	Acidez, metales pesados en solución	
		Efluentes alcalinos		Acidez, metales pesados en solución
		Sólidos de colas		Alcalinidad, S.S.
Comportamiento del río	Fenómeno químico	Reacciones de neutralización (disminución de acidez, neutralización ó ligeramente alcalino)	Partículas minúsculas de hidróxidos de metales pesados	
		Generación de precipitados de neutralización	S.S. y sedimentos de metales pesados	
	Fenómeno físico	Sedimentación/precipitación de sólidos	Acumulación de metales pesados	
		Transporte de S.S. y sedimentos por arrastre	Transporte de metales pesados	

Cuadro 5-2-2 Comparación de contenido de iones en solución y en S.S.

Punto de monitoreo	pH	As mg/L	Sb μg/L	Cd mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Hg μg/L	Mn mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
No.4 (Ciudad Potosí) (Huaynamayu)	Solución 2,8	0,001	0,001	2,7	25	568	0,39	18,2	3,39	408
	S.S.	0,186	0,337	0,048	0,517	64,9	0,67	0,02	2,23	9,1
No.5 (Ciudad Potosí) (De la Ribera)	Solución 11,6	0,088	0,001	0,002	0,43	0,08	0,23	0,01	0,1	0,38
	S.S.	12,8	34,0	8,23	36,5	3675	49	7,7	272	1010
No.6 (Ciudad Potosí) (De la Ribera)	Solución 5,0	0,019	0,001	1,2	0,05	11,8	1,07	8,9	0,23	159
	S.S.	7,8	18,4	2,94	29,0	2650	27,9	1,84	128	496
No.11 (Fuera Potosí) (De la Ribera)	Solución 8,4	0,022	0,001	0,05	0,16	0,02	0,13	0,03	0,03	0,16
	S.S.	11,6	15,0	2,42	33,7	3520	31,0	20,6	120	626
No.12 (San Antonio) (Aljamayu)	Solución 8,7	0,02	0,001	0,05	0,15	0,06	<0,10	0,33	0,03	0,21
	S.S.	6,94	26,5	2,48	30,3	4260	26,1	20,3	141	625
No.15 (La Puente) (Aljamayu)	Solución 8,1	0,01	0	0,1	0,02	5,12	0,55	5,7	0,03	36
	S.S.	11,6	40,9	2,31	19,7	4410	33,0	23	313	881

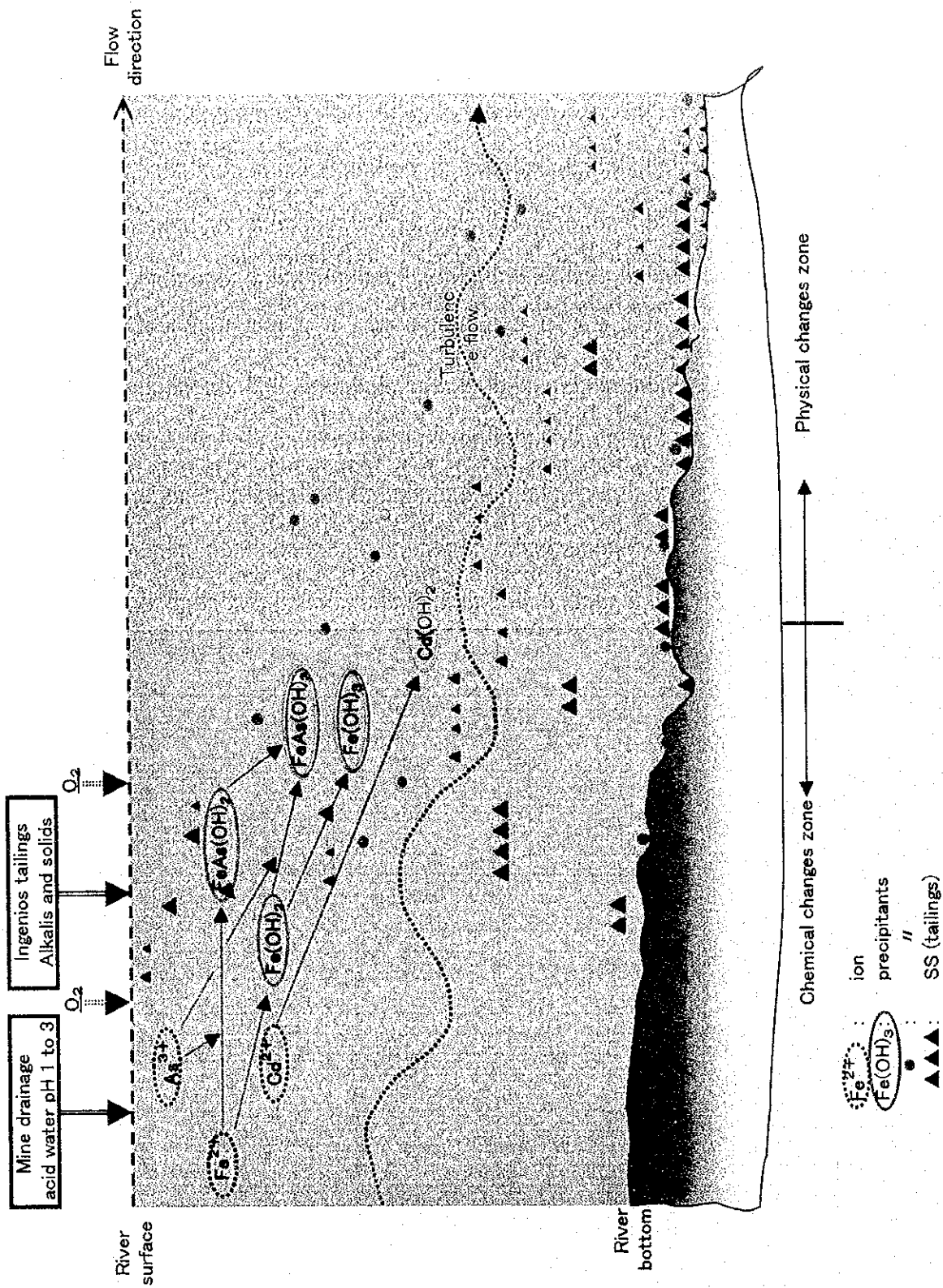


Figura 5-2-1. Mecanismo de Contaminación de Aguas

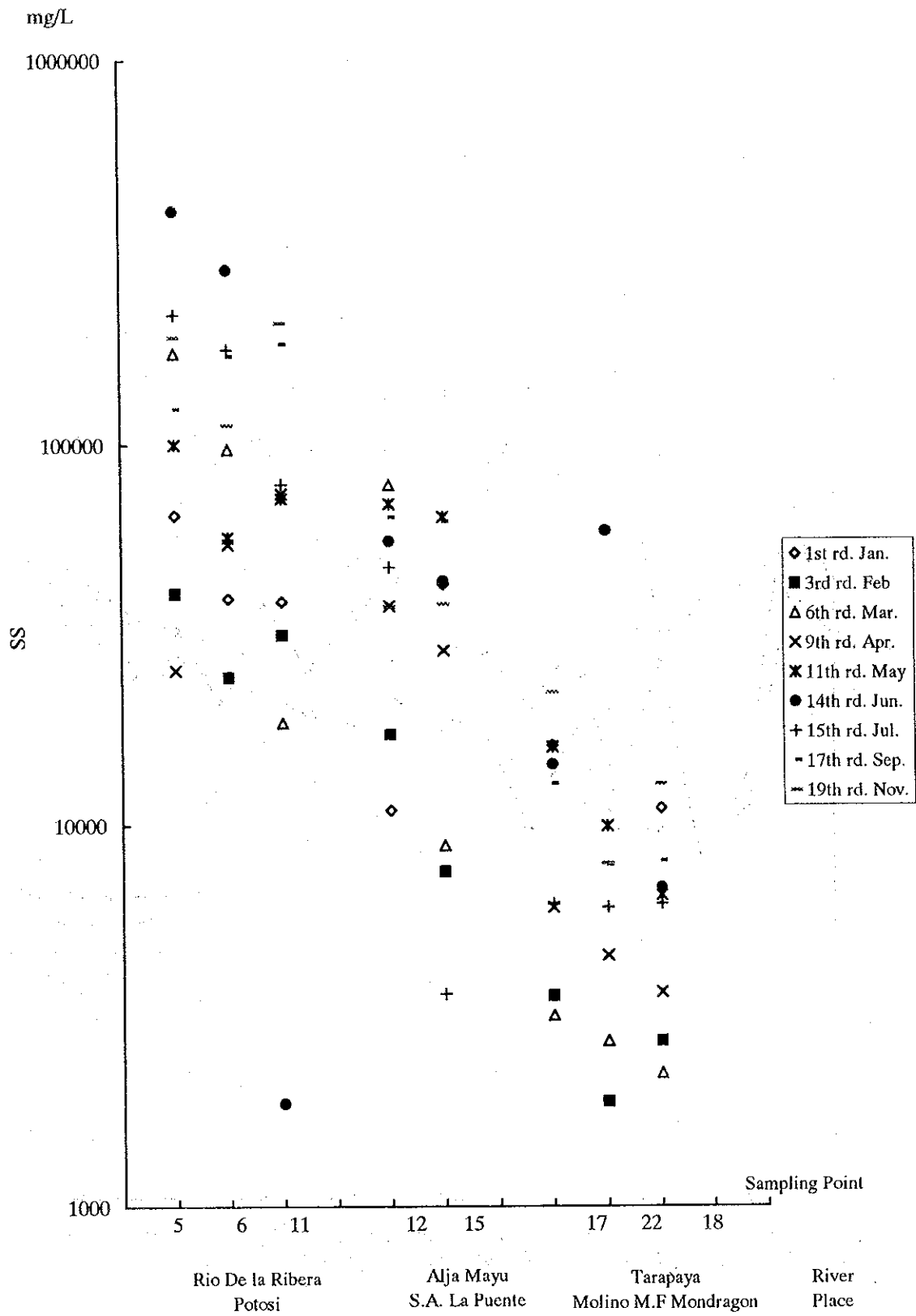


Figura 5-2-2 Variación del Contenido de S.S. através del Cauce (Tarapaya)

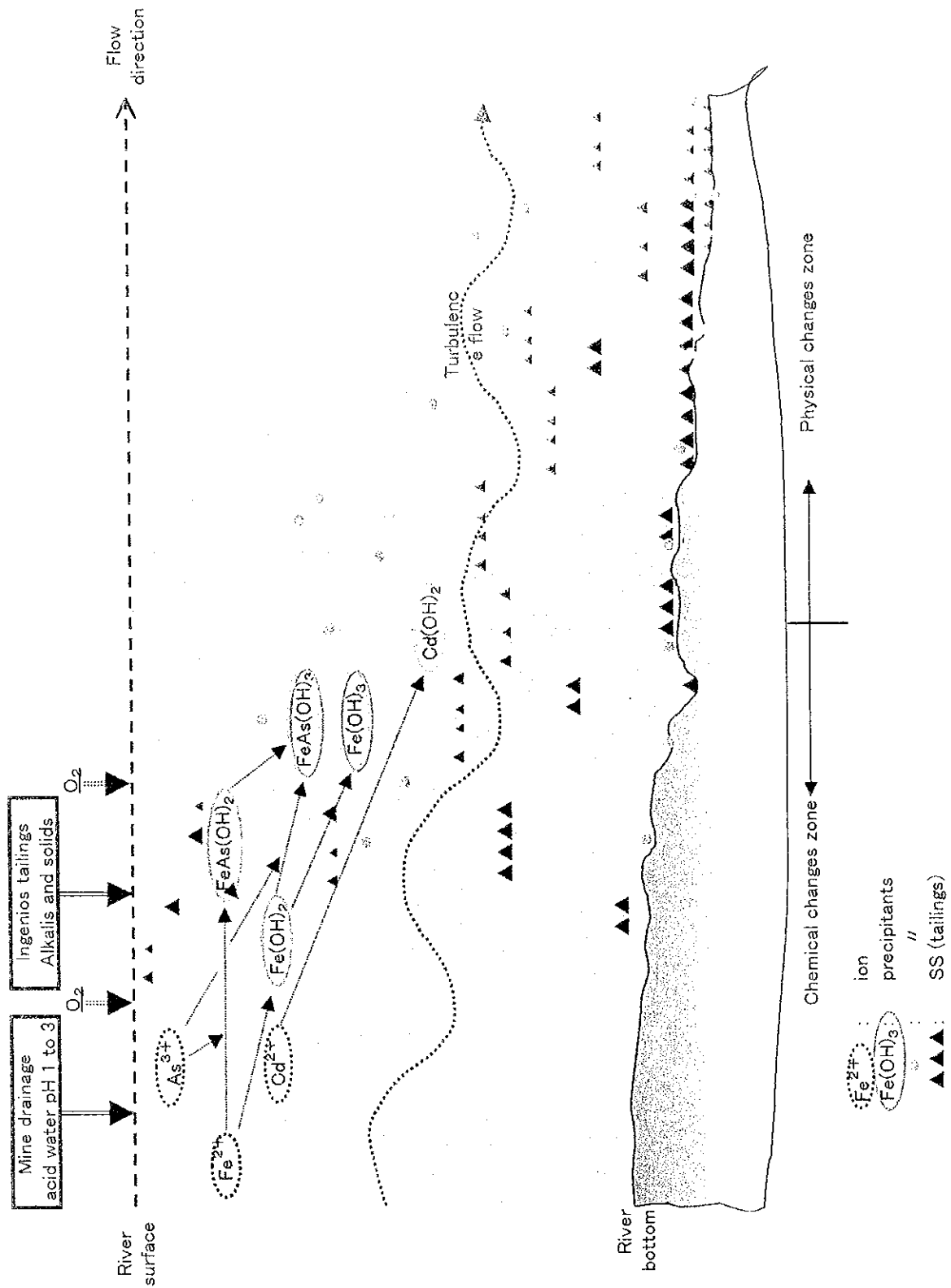


Figura 5-2-1. Mecanismo de Contaminación de Aguas

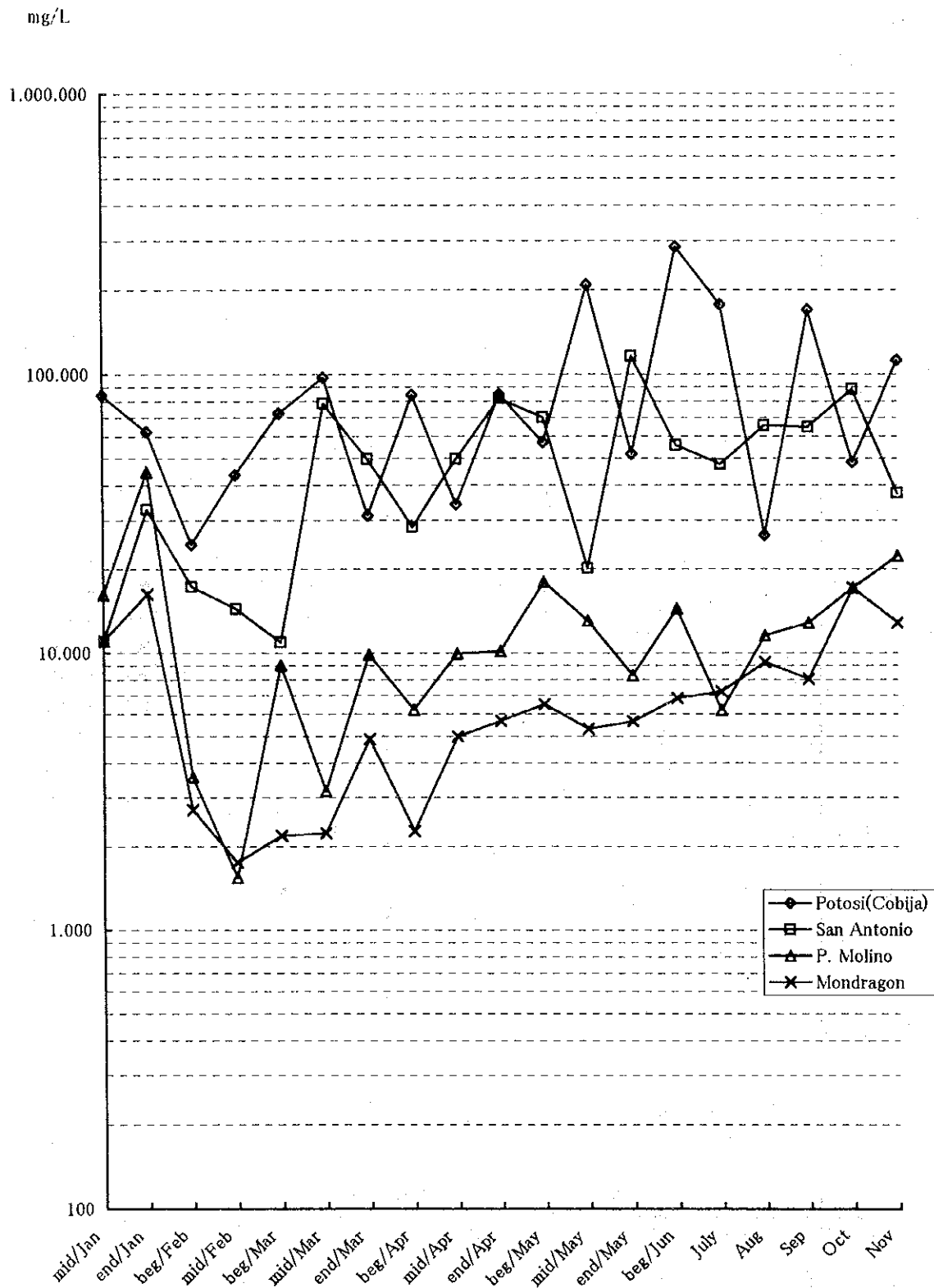


Figura 5-2-3 Variación de S.S. por épocas (Tarapaya)

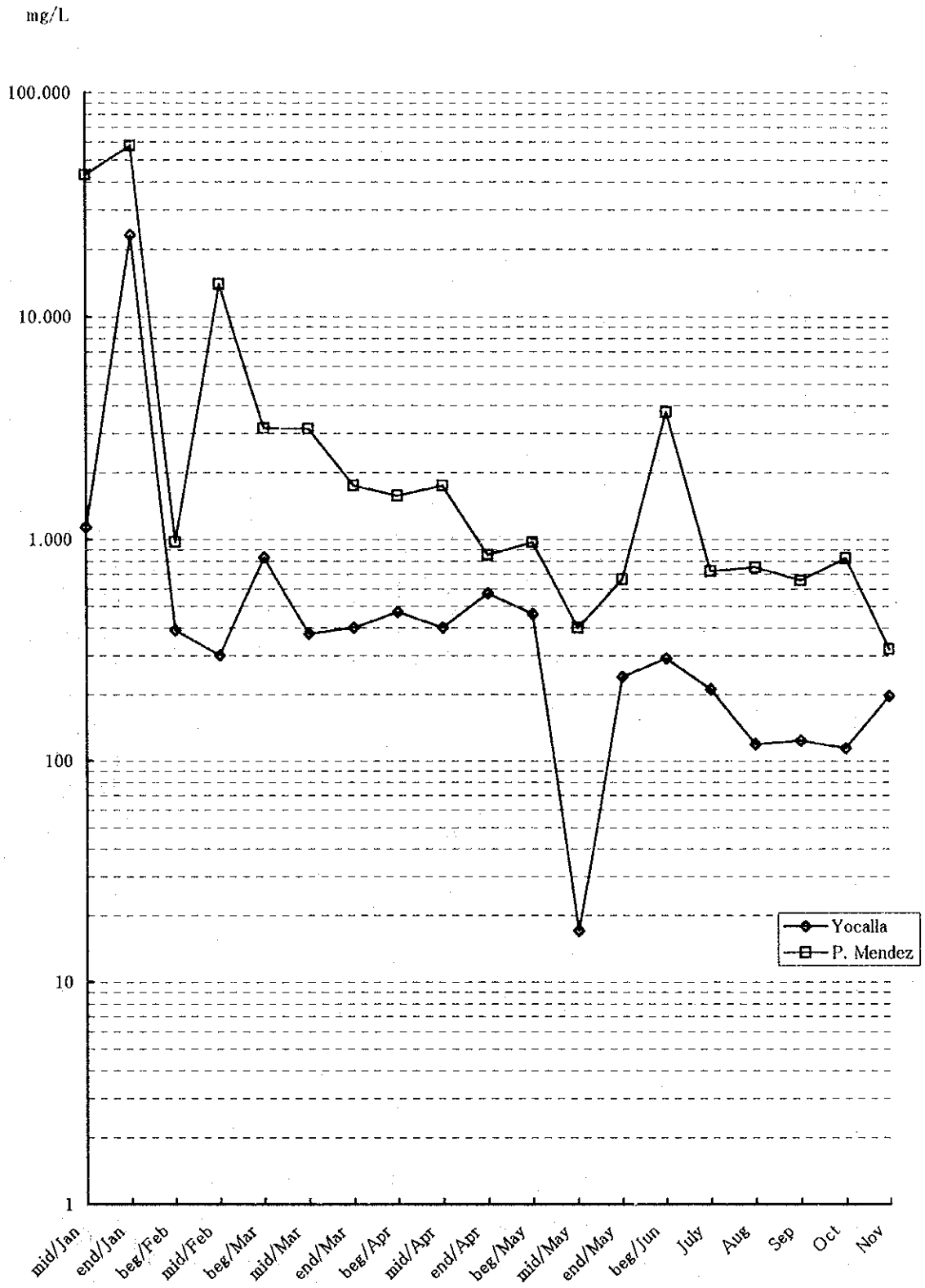


Figura 5-2-4 Variación de S.S. por épocas (Pilcomayo)

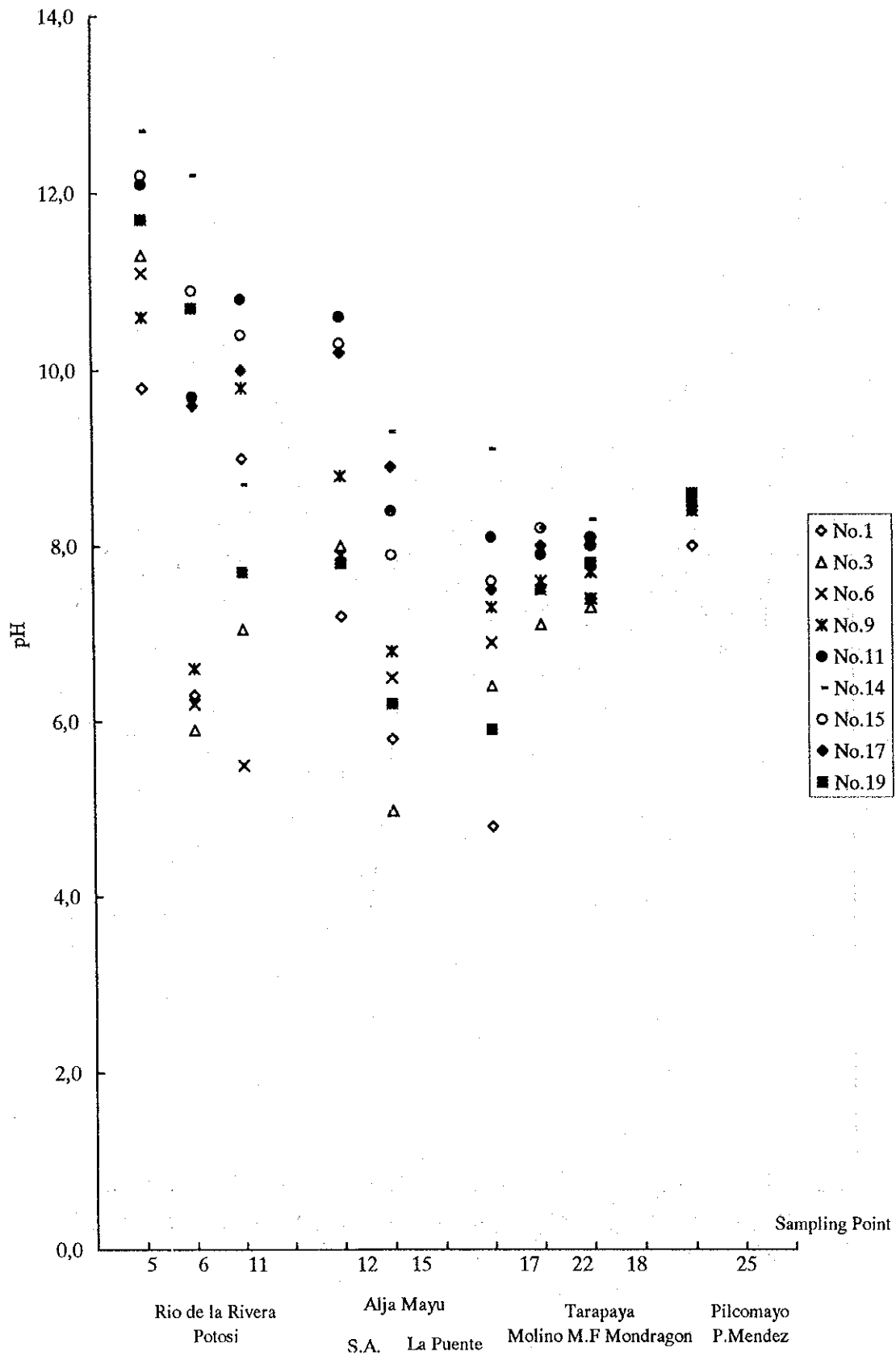


Figura 5-2-5 Variación de pH entre De la Ribera y Pilcomayo

pH vs. Concentration of As

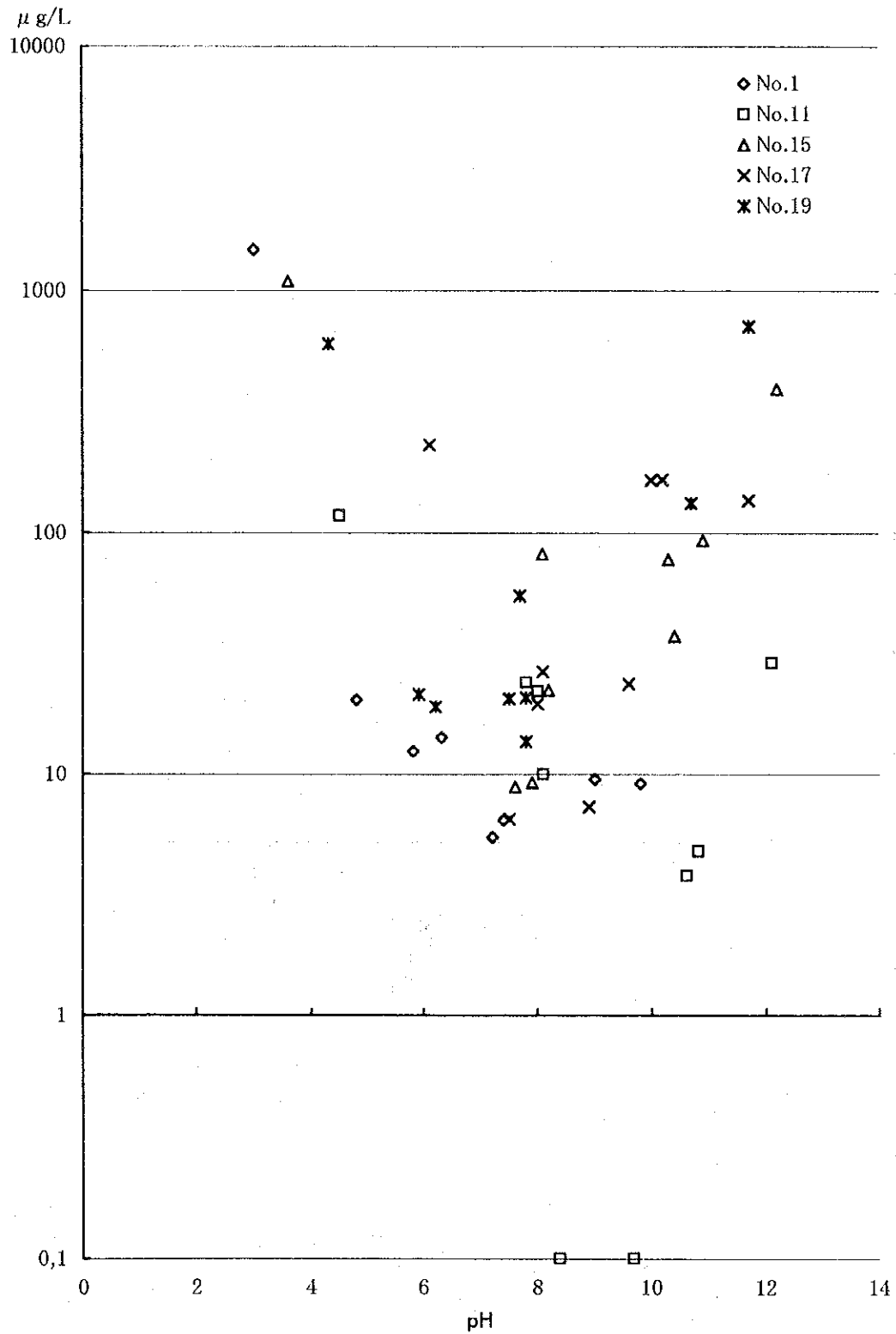


Figura 5-2-6 pH vs. concentración de As

pH vs. Concentration of Sb

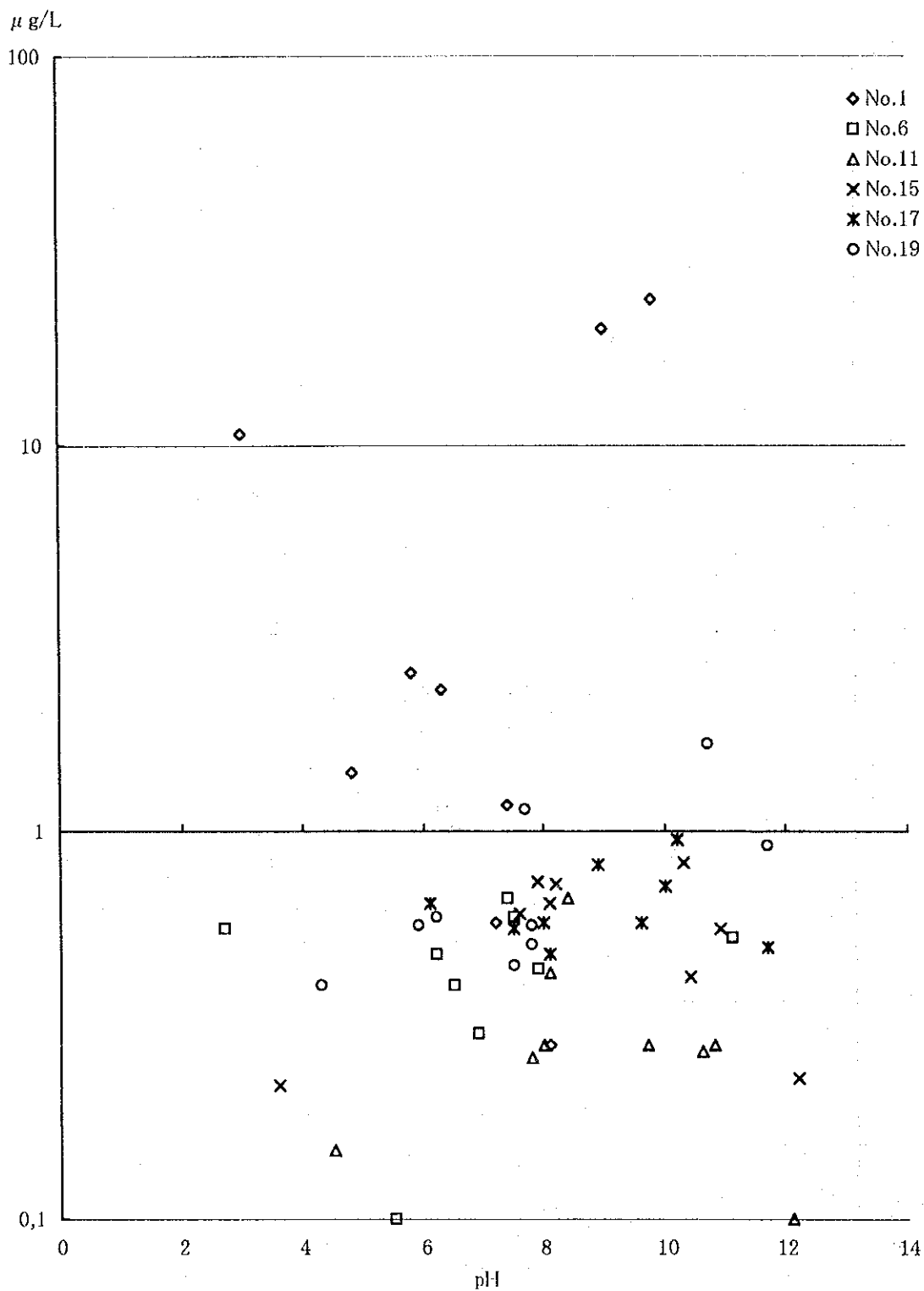


Figura 5-2-7 pH vs. concentración de Sb

pH vs. Concentration of Cd

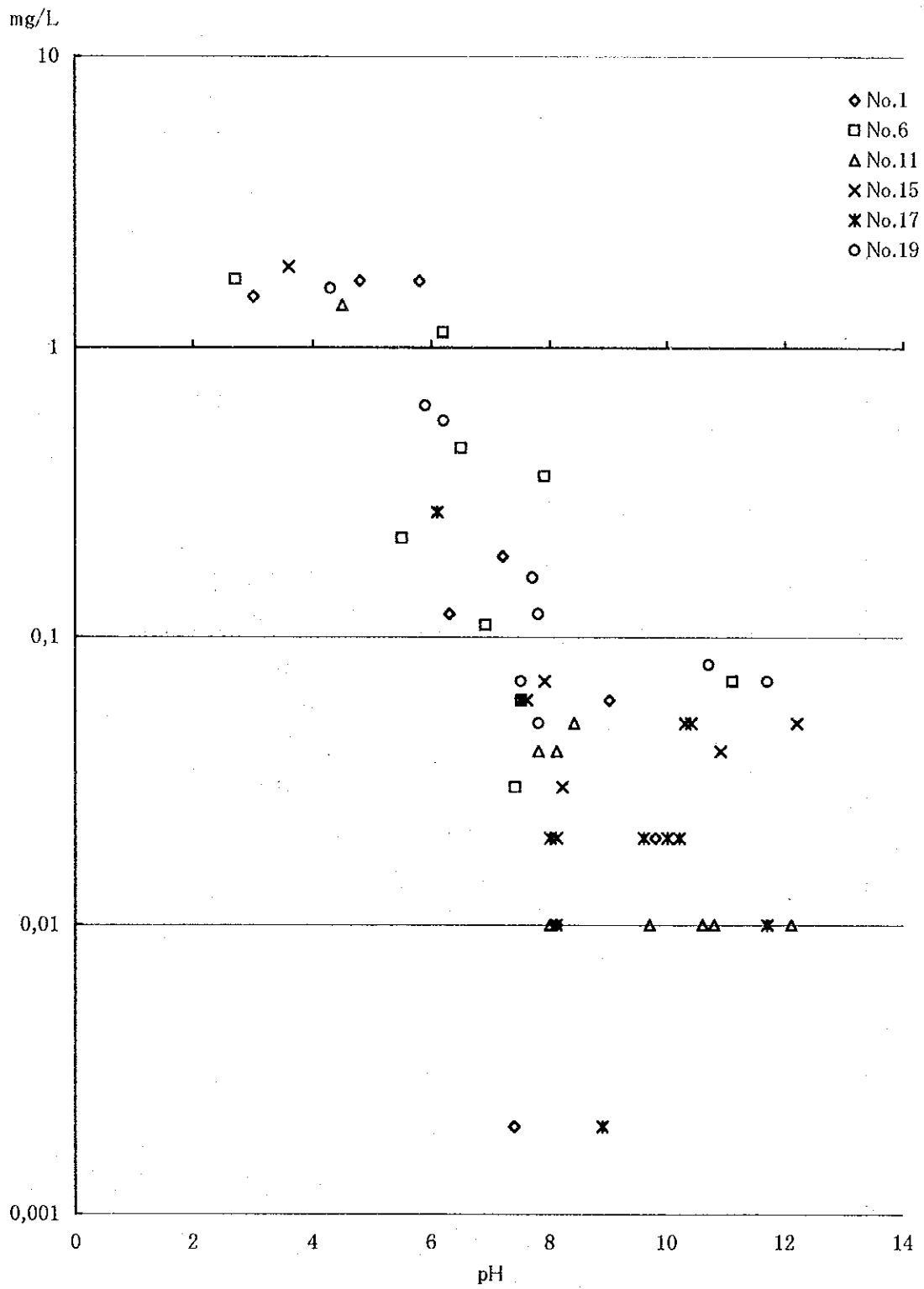


Figura 5-2-8 pH vs. concentración de Cd

pH vs. Concentration of Cu

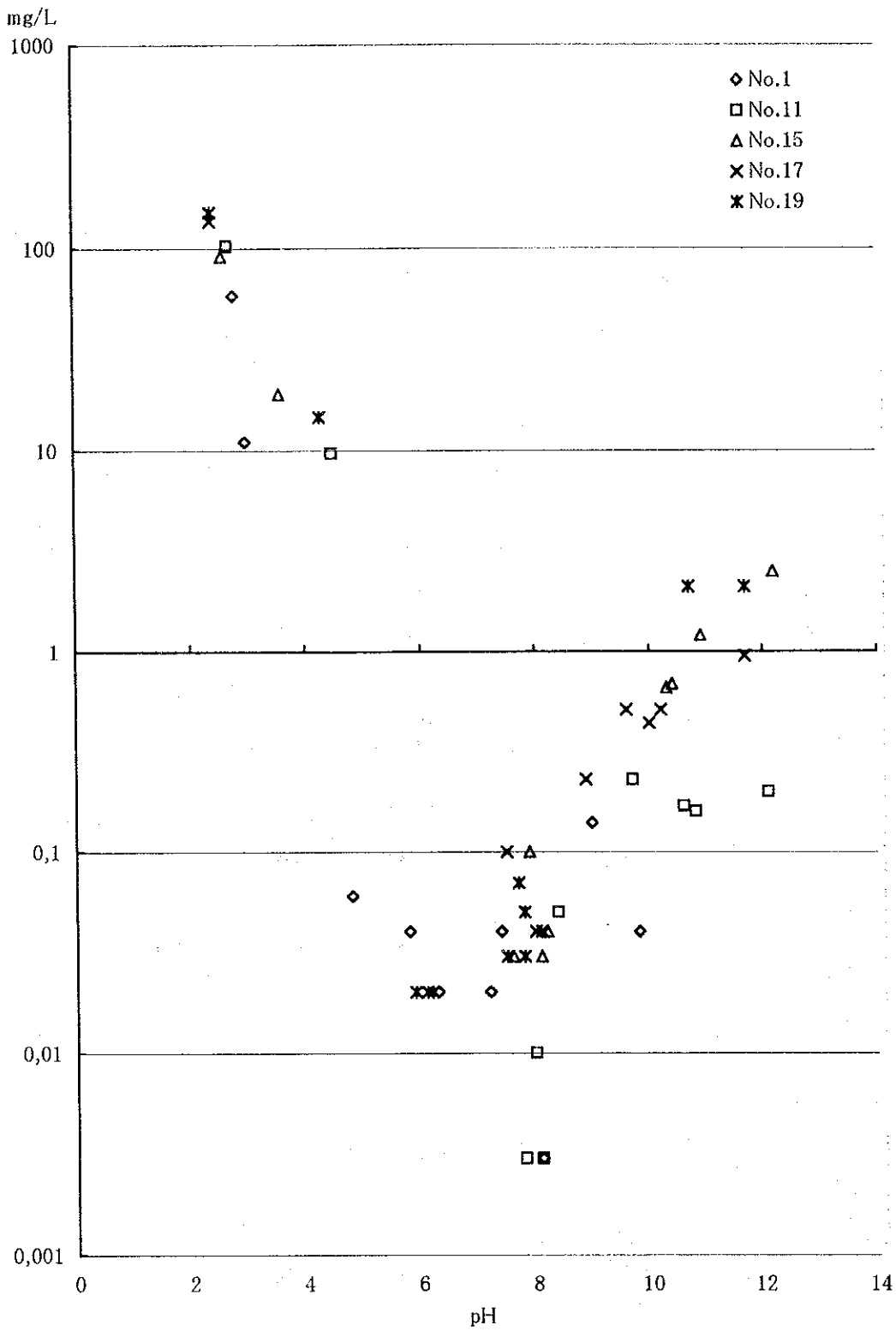


Figura 5-2-9 pH vs. concentración de Cu

pH vs. Concentration of Fe

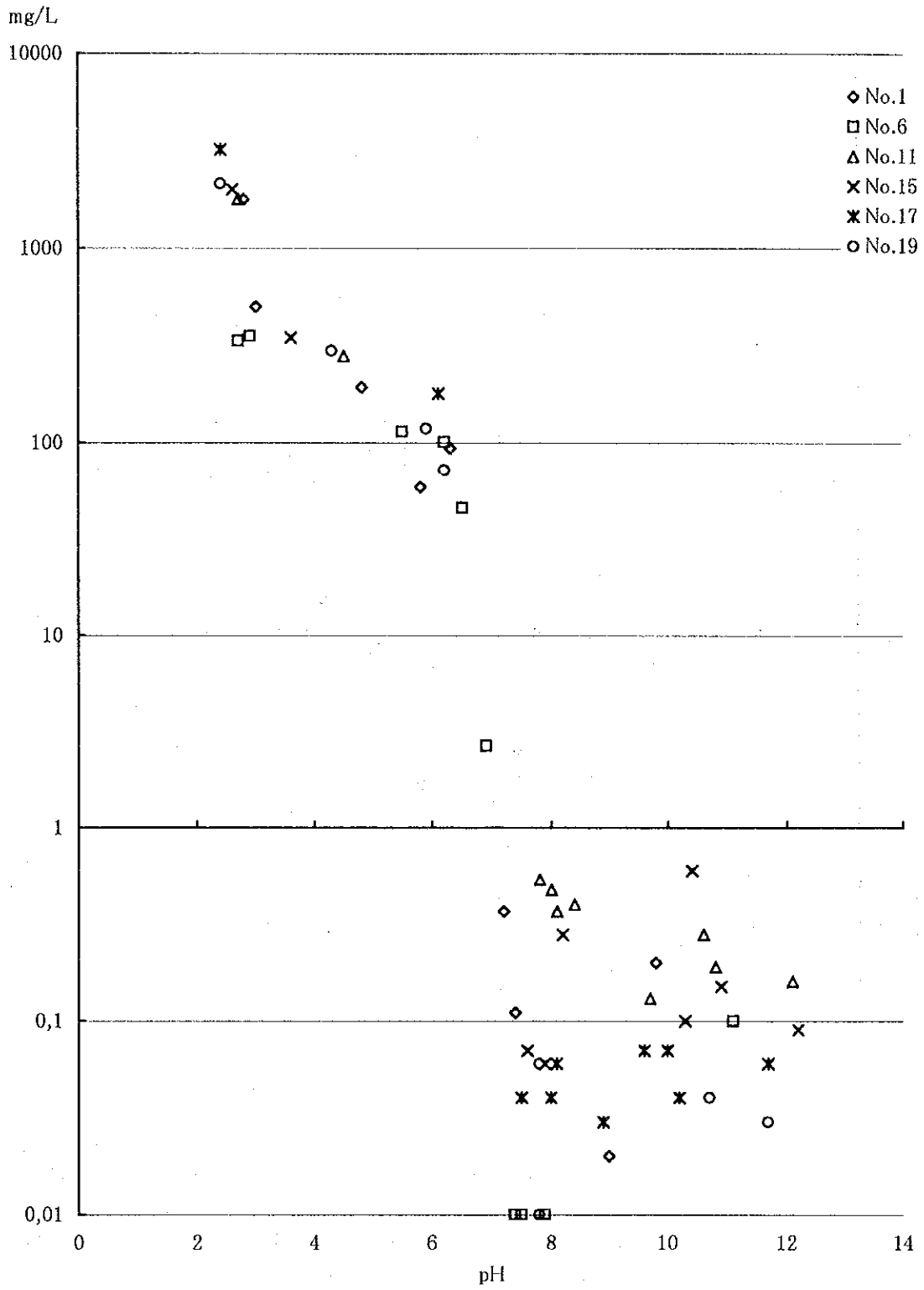


Figura 5-2-10 pH vs. concentración de Fe

pH vs. Concentration of Hg

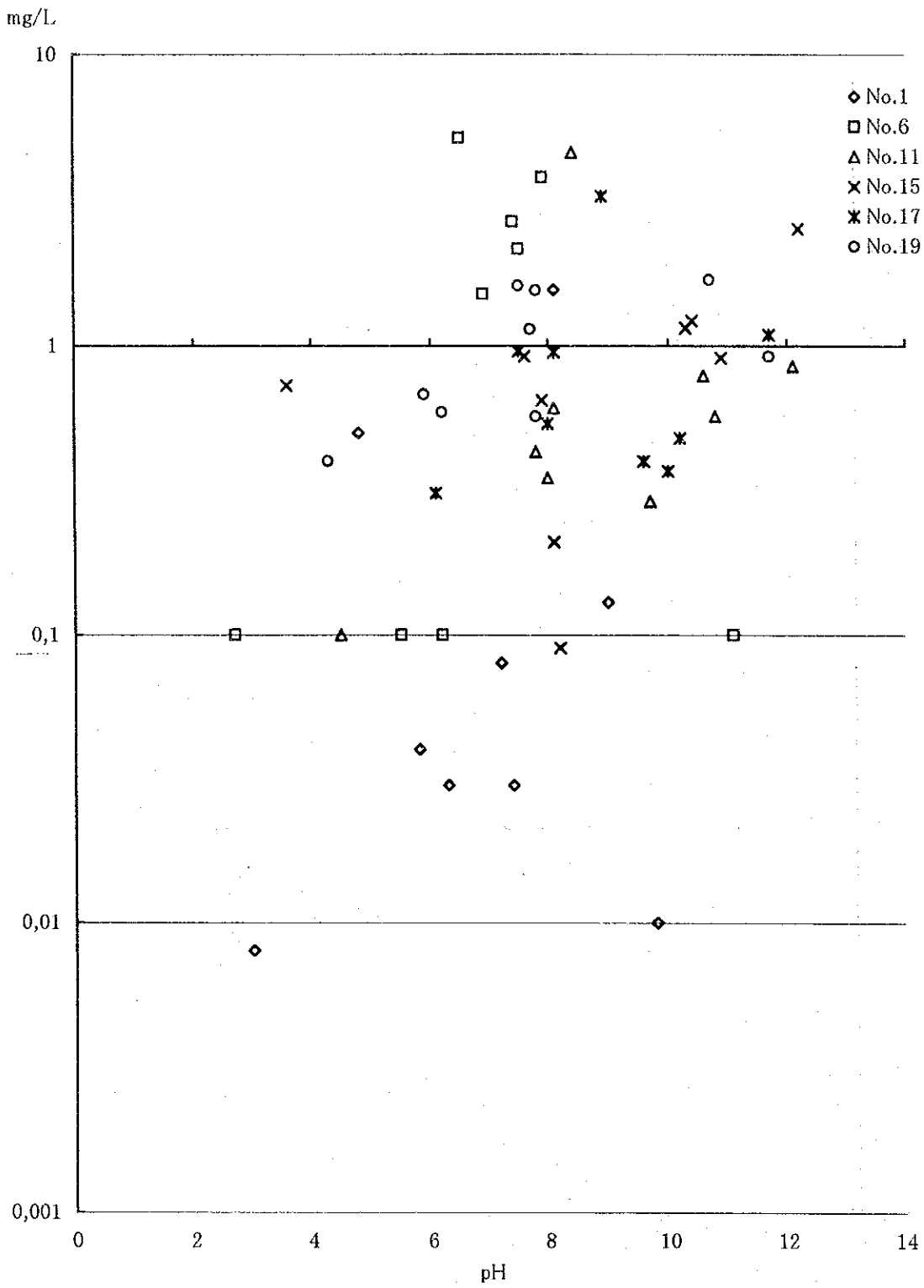


Figura 5-2-11 pH vs. concentración de Hg

pH vs. Concentration of Mn

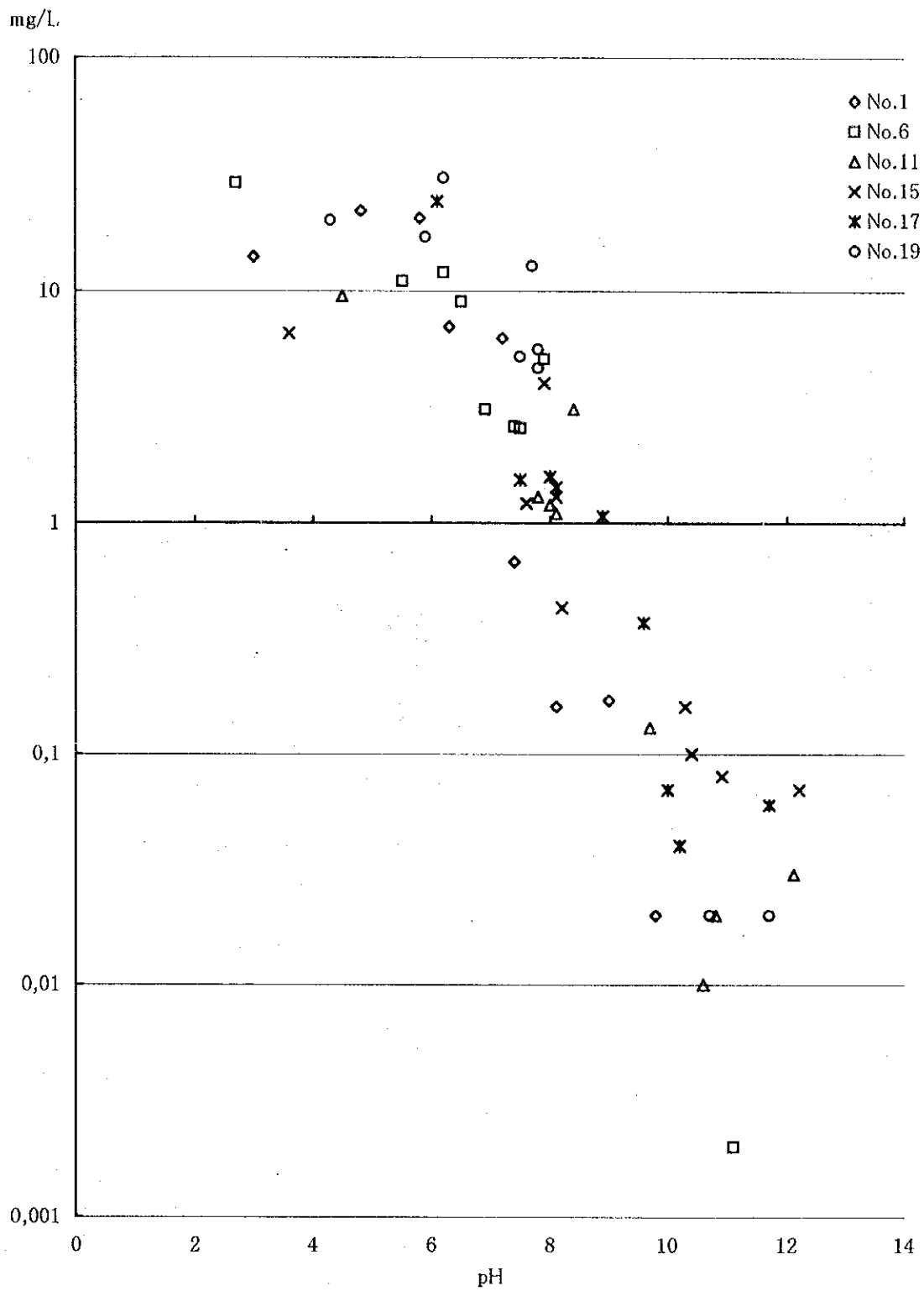


Figura 5-2-12 pH vs. concentración de Mn

pH vs. Concentration of Pb

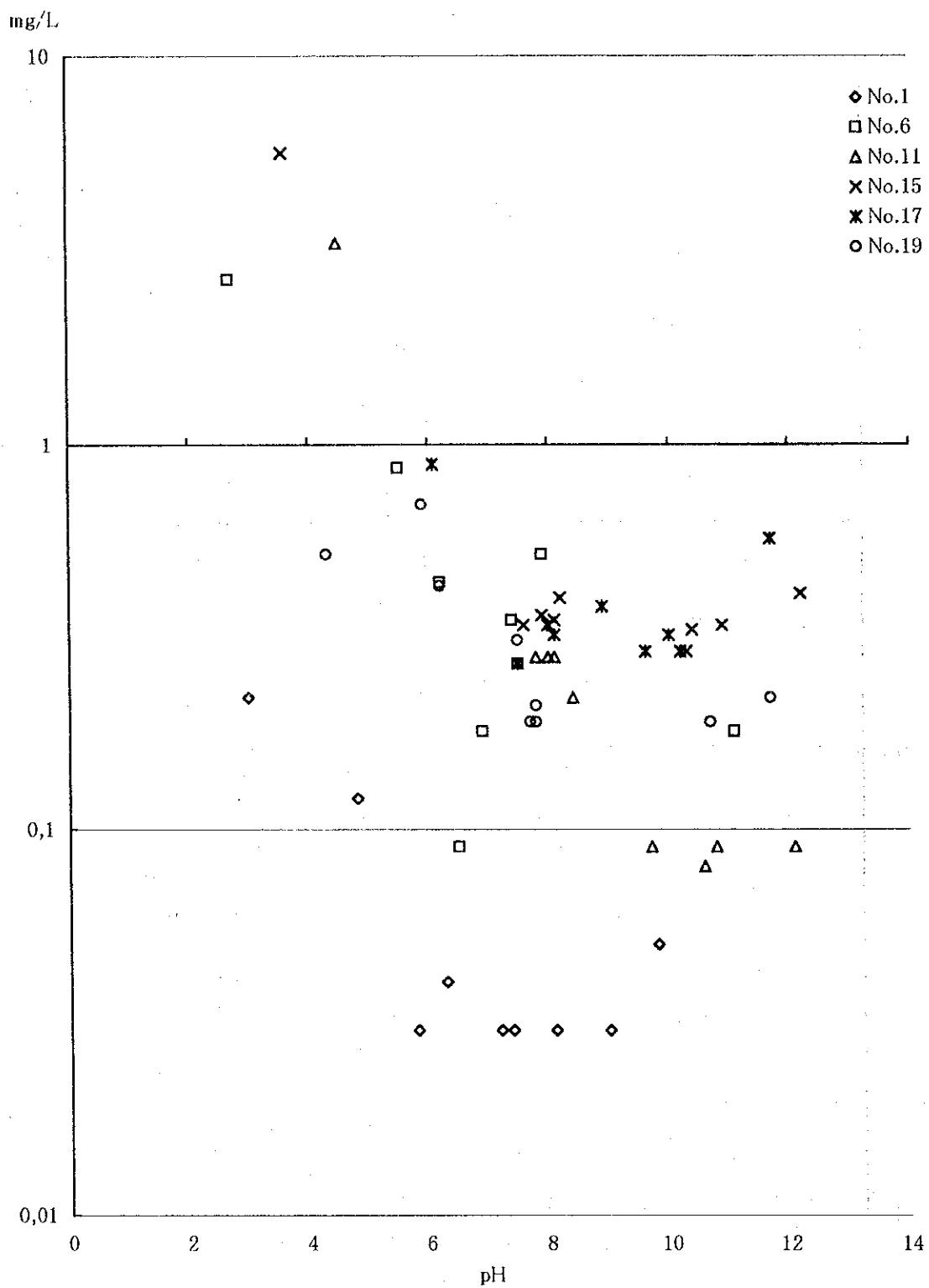


Figura 5-2-13 pH vs. concentración de Pb

pH vs. Concentration of Zn

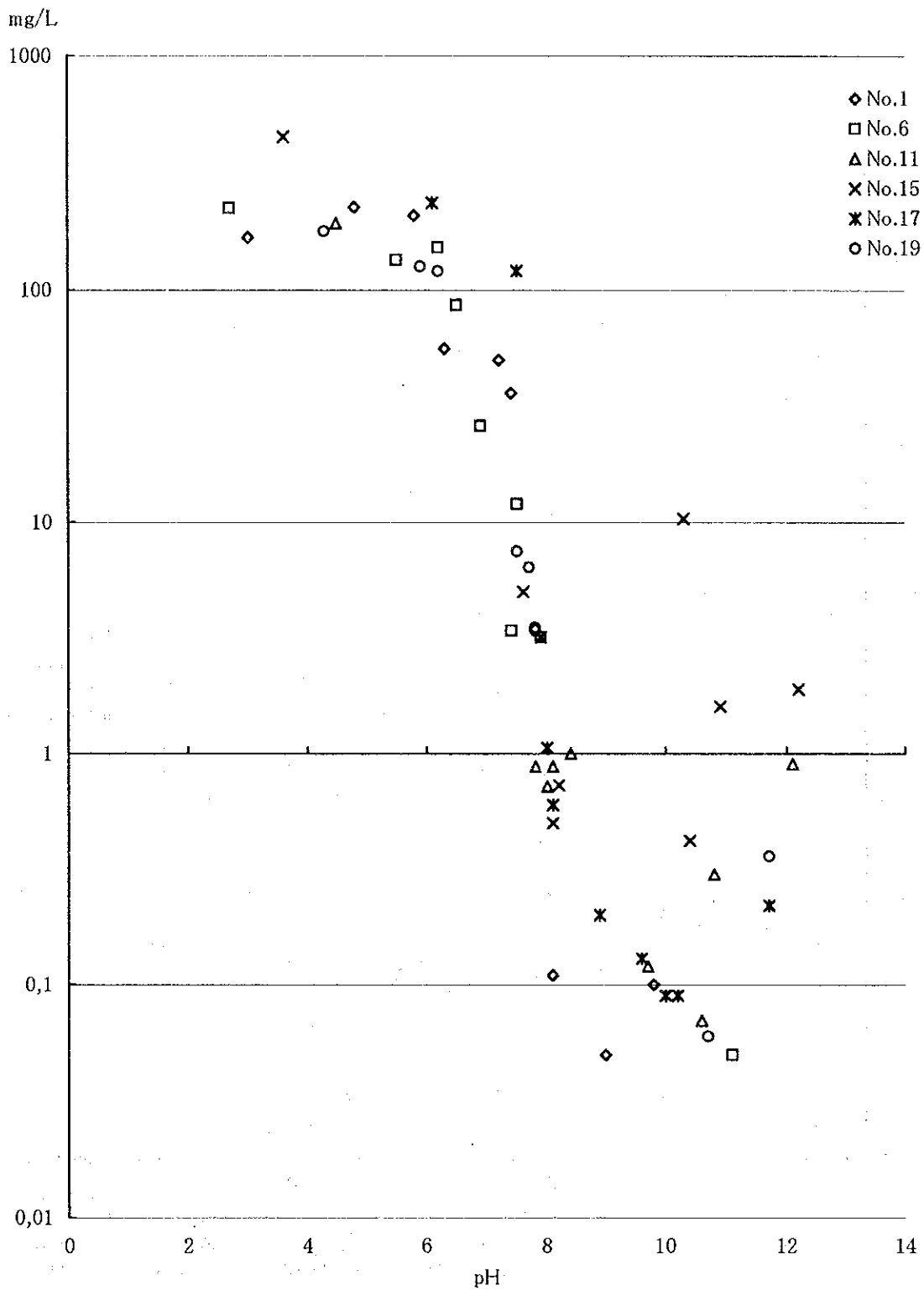


Figura 5-2-14 pH vs. concentración de Zn

As in SS

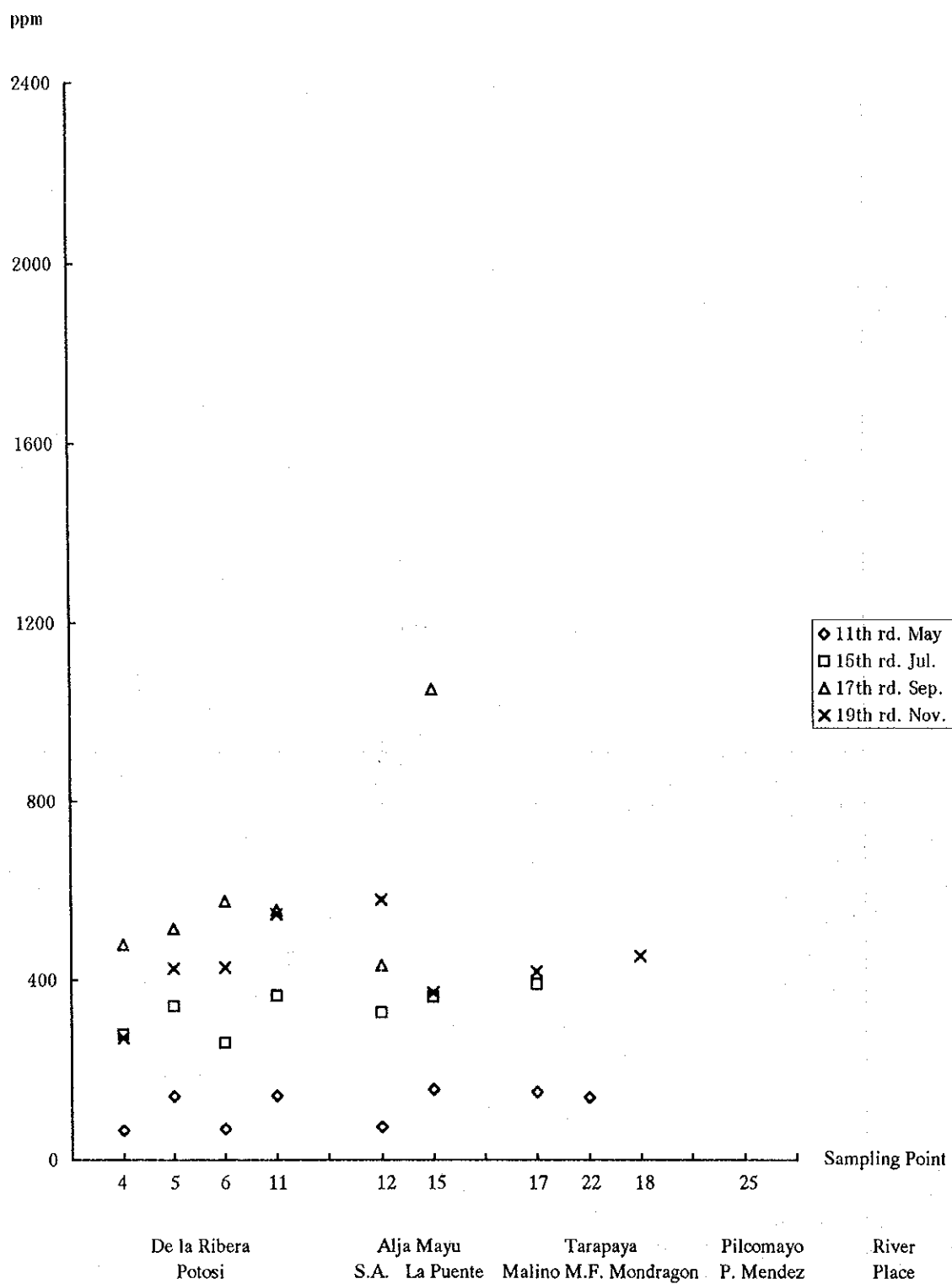


Figura 5-2-15a Contenido de arsénico en S.S.

As in Sed.

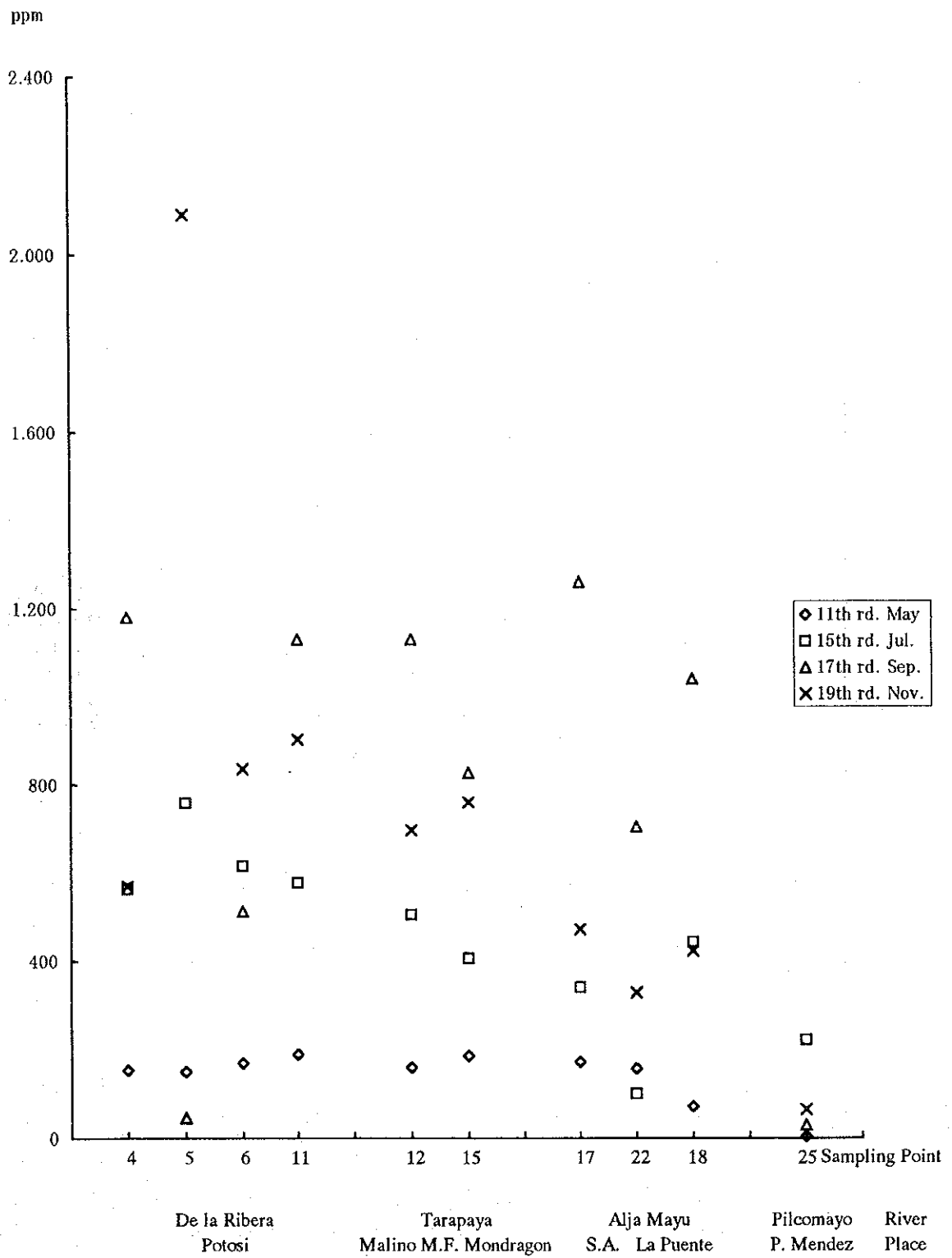


Figura 5-2-15b Contenido de arsénico en sedimentos

Cd in SS

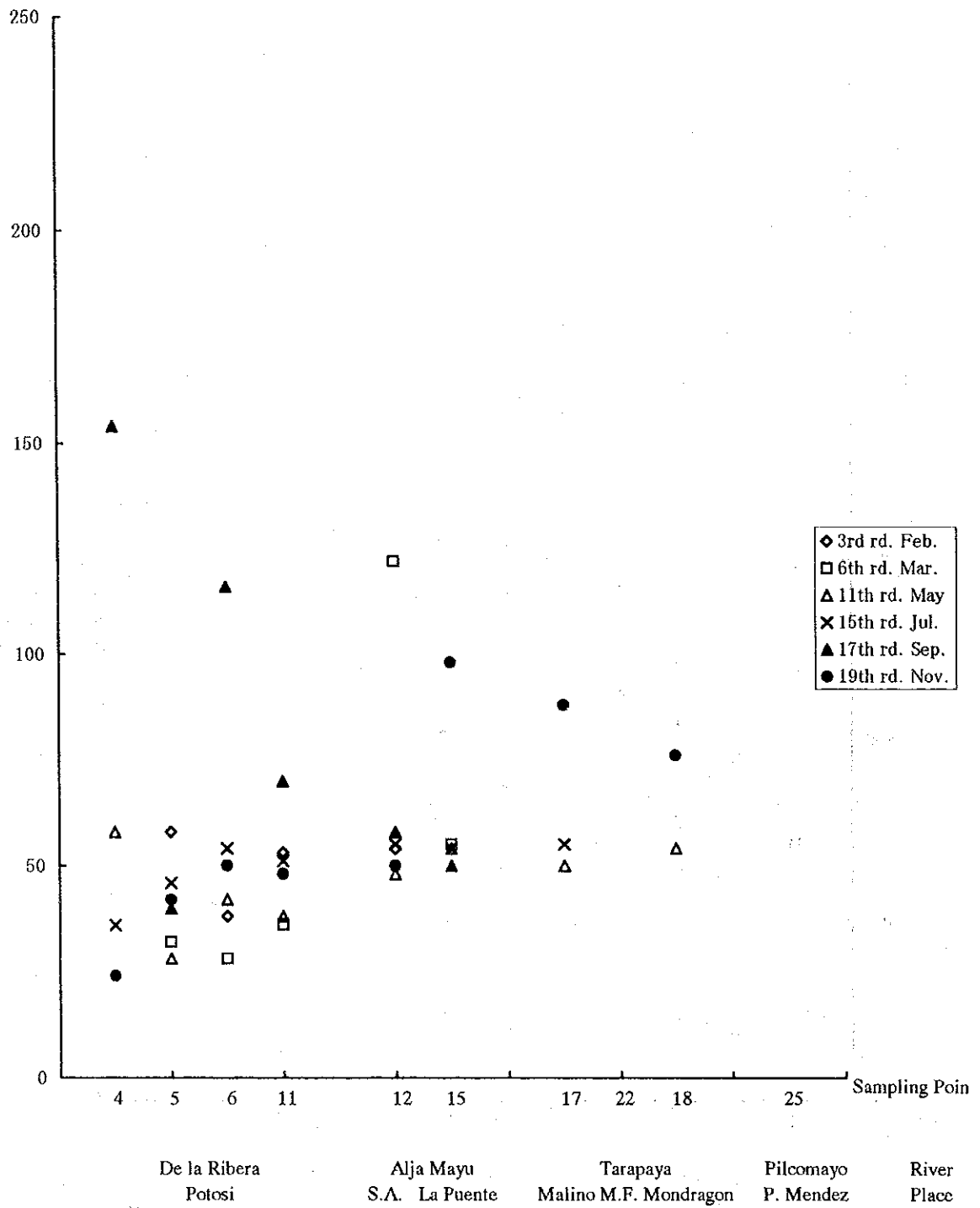


Figura 5-2-16a Contenido de cadmio en S.S.

Cd in Sed.

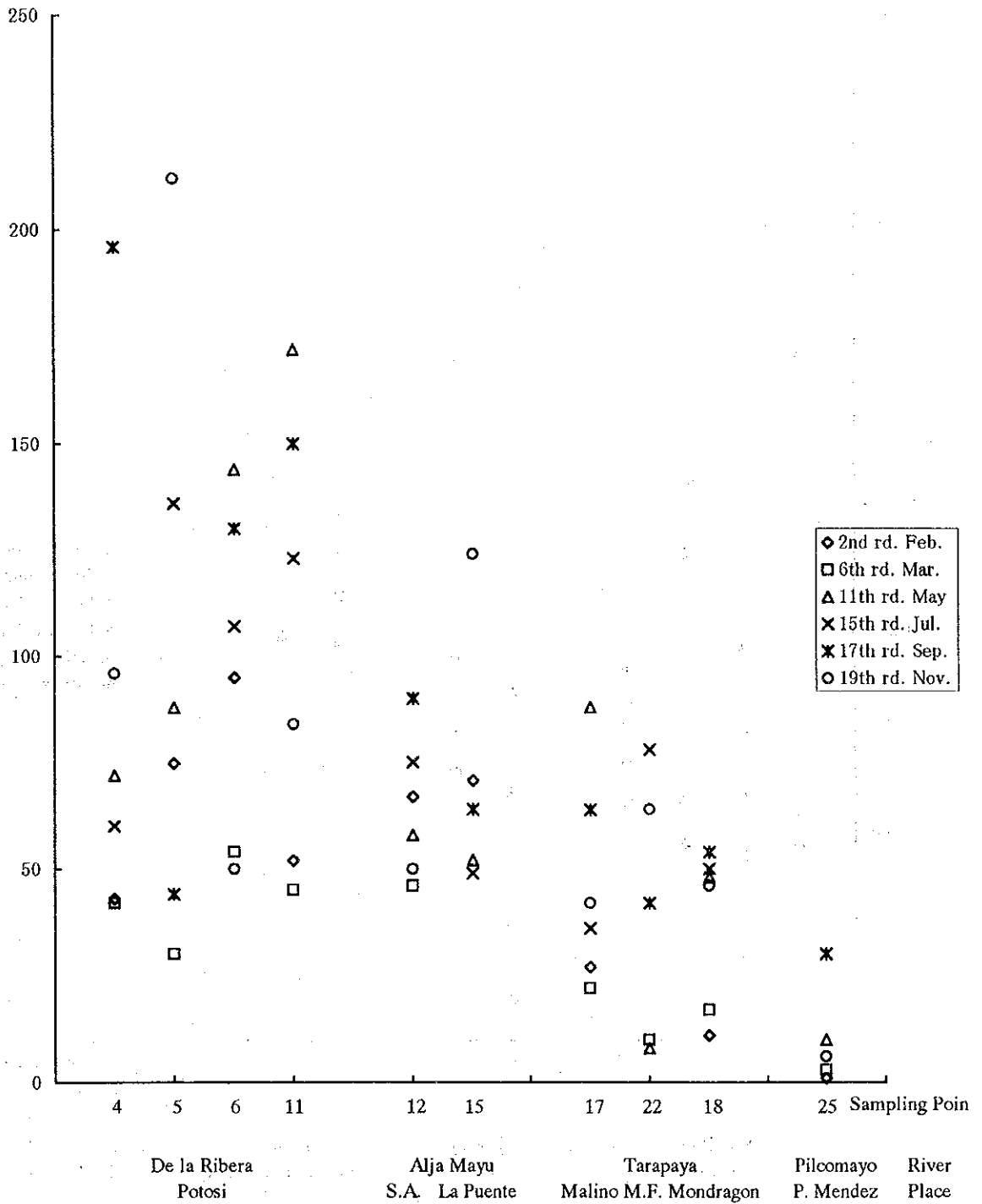


Figura 5-2-16b Contenido de cadmio en sedimentos

Pb in SS

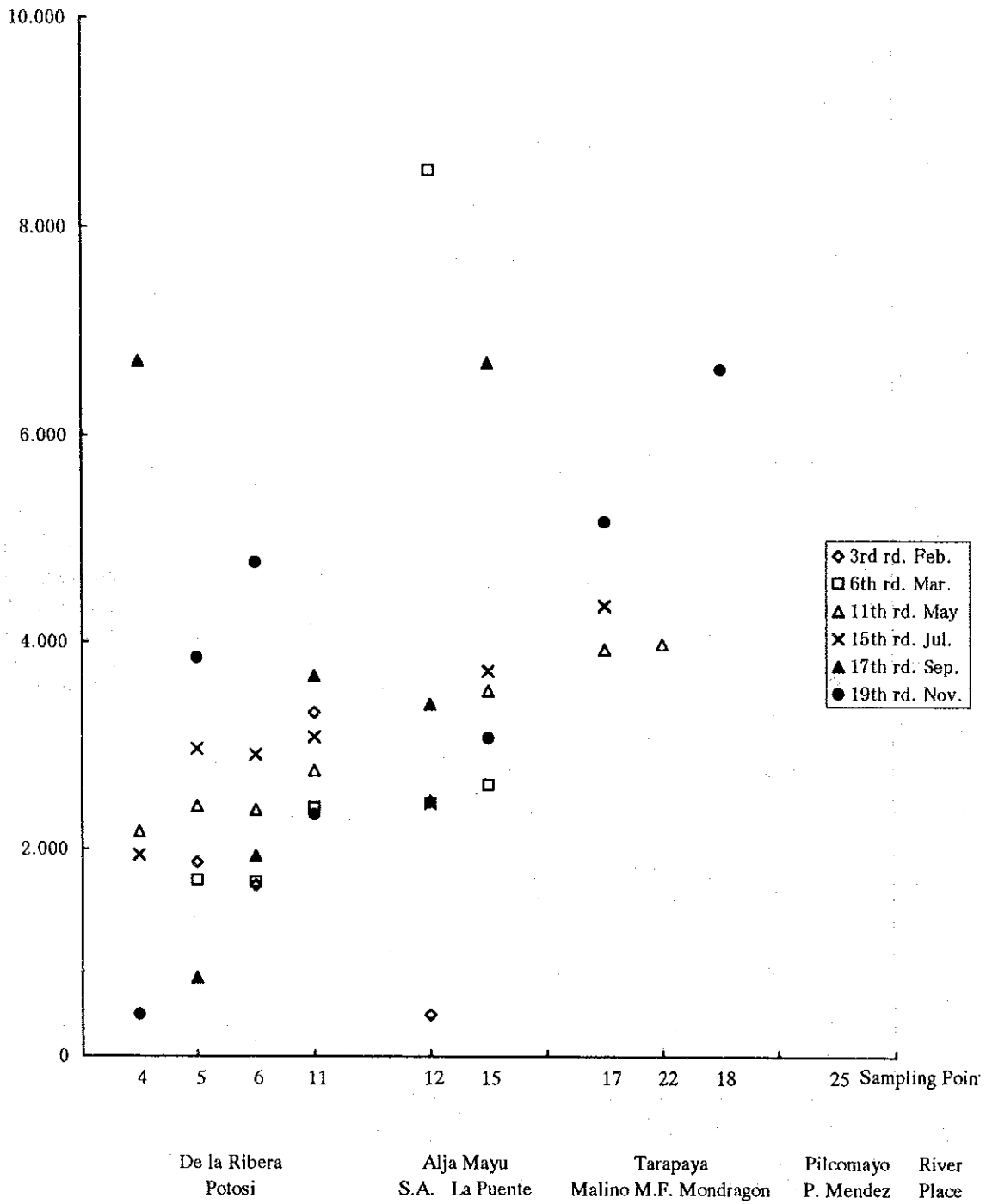


Figura 5-2-17a Contenido de plomo en S.S.

Pb in Sed.

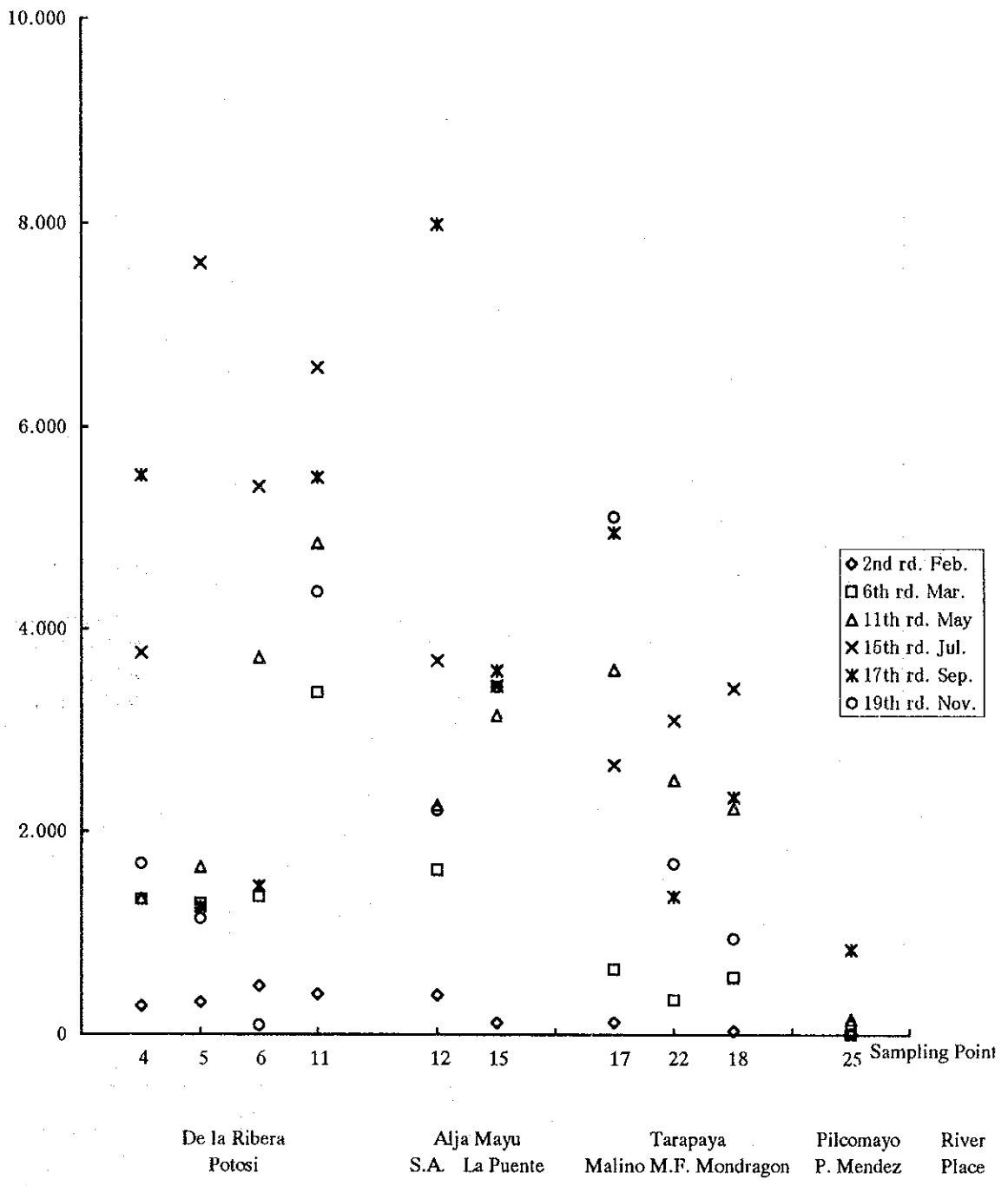


Figura 5-2-17b Contenido de plomo en sedimentos

Zn in SS

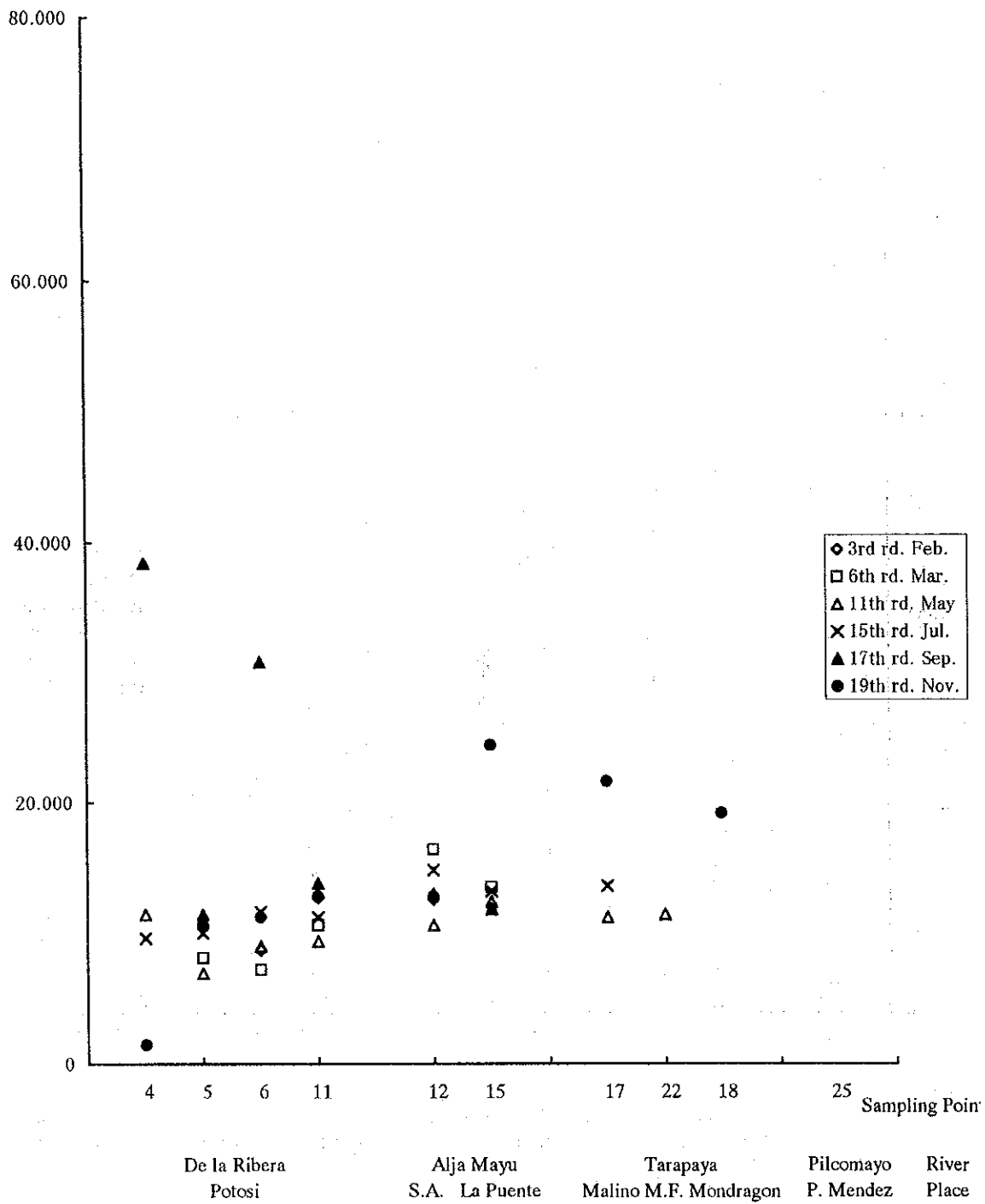


Figura 5-2-18a Contenido de zinc en S.S.

Zn in Sed.

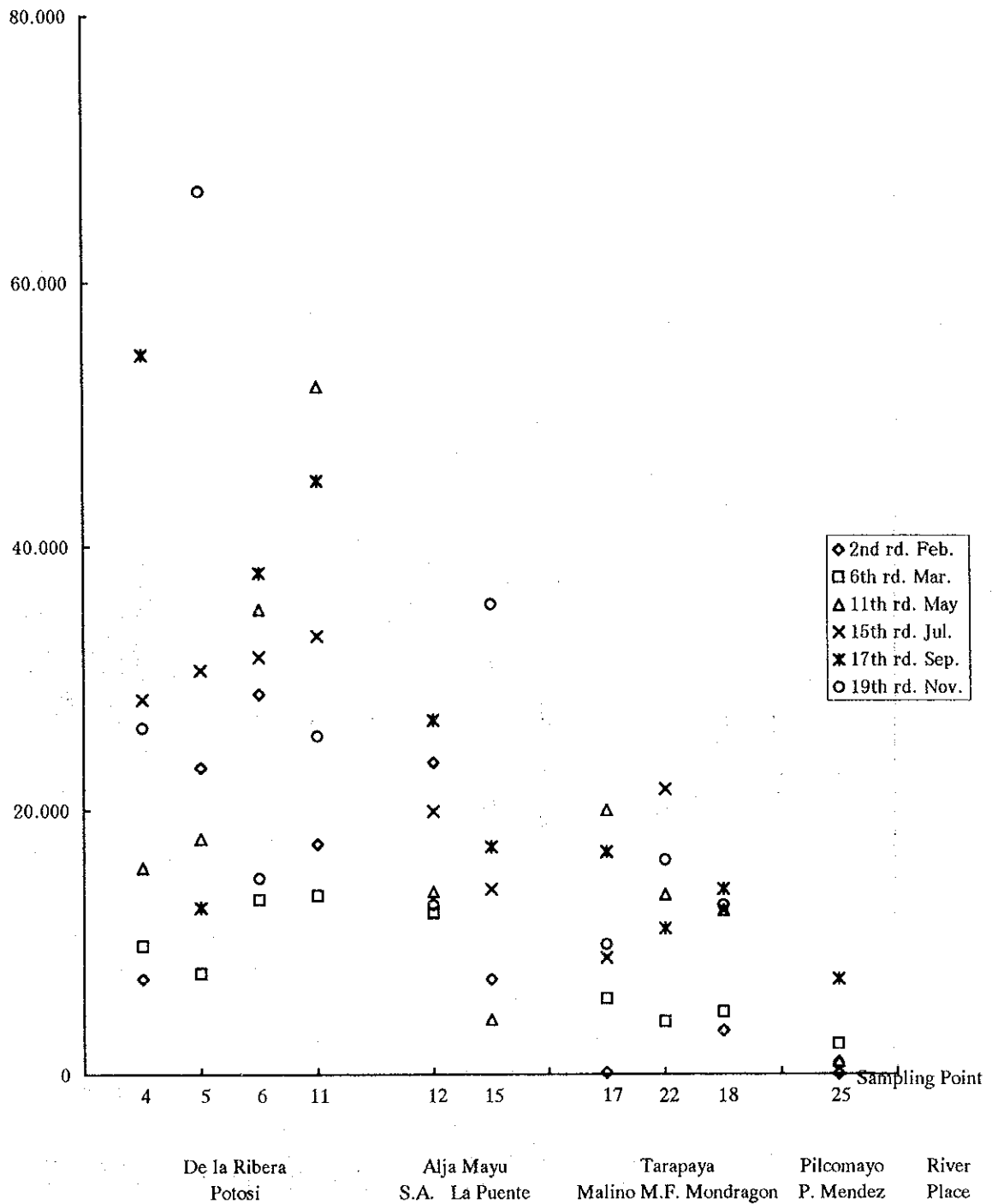


Figura 5-2-18b Contenido de zinc en sedimentos

Sn in SS

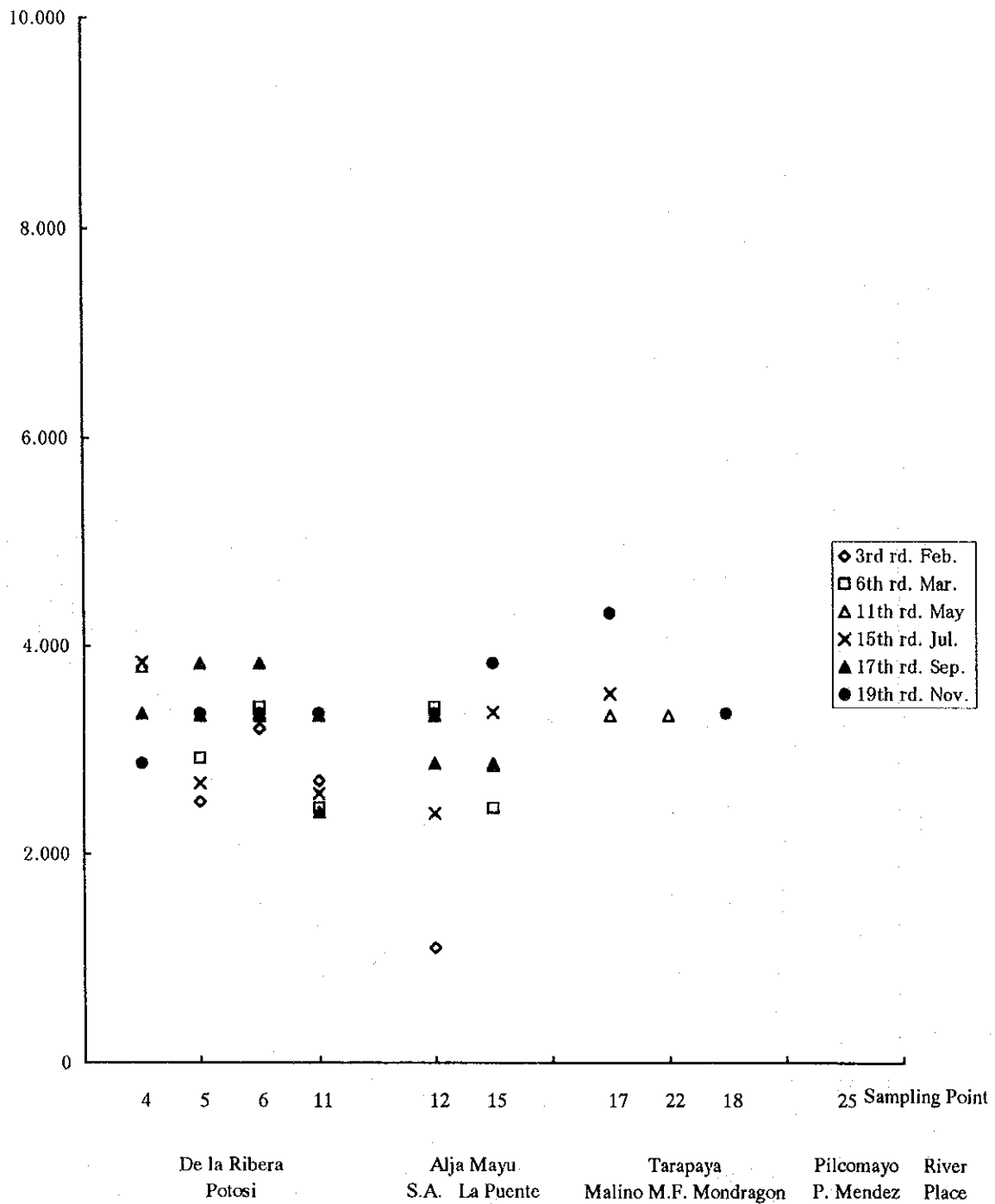


Figura 5-2-19a Contenido de estaño en S.S.

Sn in Sed.

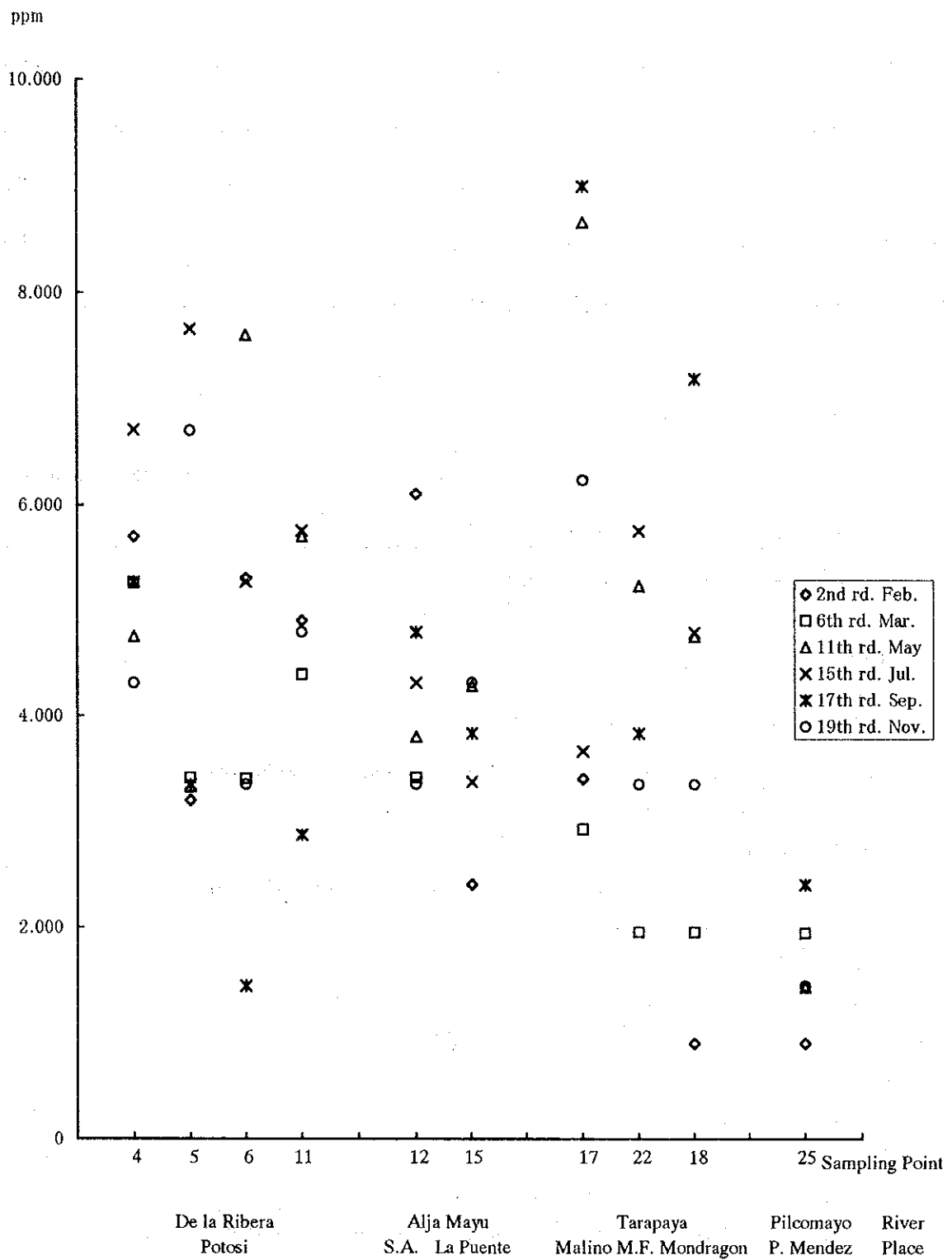


Figura 5-2-19b Contenido de estaño en sedimentos

Capítulo 6

Análisis de Propuestas

Se realizó el análisis de propuestas para aspectos relacionados a planes de prevención de contaminación debida a la actividad minera, de gestión ambiental y capacitación/educación de recursos humanos. En lo relacionado a prevención de contaminación, se plantea tomar medidas correctivas directas y medidas indirectas mediante aumento de eficiencia en el uso de recursos naturales, asegurando la cobertura de costos ambientales. Asimismo, en lo relacionado a gestión ambiental, se plantean propuestas para el mejoramiento ambiental sostenido.

6-1 Plan de prevención de contaminación minera

En el cuadro 6-1-1 se muestran los fundamentos generales de prevención de contaminación minera. A continuación, se detalla el caso específico para la zona de estudio.

Medidas directas de prevención de contaminación minera

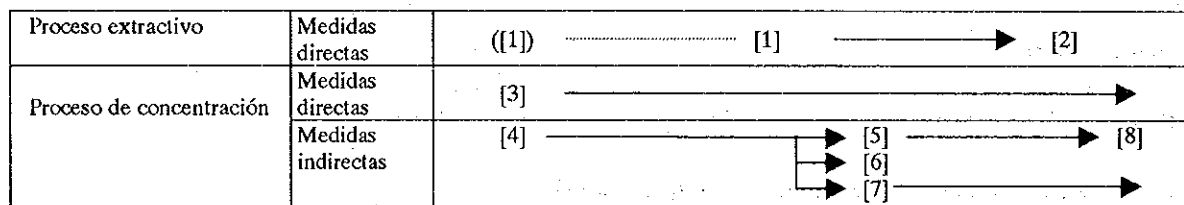
- ① Proceso extractivo
 - ①-1 Mina:
 - Drenaje ácido:
 - Tratamiento de aguas (neutralización, tratamiento de precipitados de neutralización) (A)
 - ①-2 Desmontes y depósito de minerales:
 - Emanaciones ácidas:
 - Tratamiento de aguas (neutralización, tratamiento de precipitados de neutralización) (A)
 - Reforestación sobre desmontes y depósito de minerales (B)
 - Sedimentos tóxicos:
 - Construcción de diques y muros de contención (B)
 - Reforestación sobre desmontes y depósito de minerales (B)
- ② Proceso de concentración
 - ②-1 Ingenios (plantas concentradoras)
 - Colas (porción sólida: S.S.): deposición (dique de colas) (A)
 - Colas (porción líquida alcalina): neutralización, tratamiento de precipitados de neutralización (A)

Entre paréntesis la prioridad que requieren las medidas. Prioridad (A): urgente. Prioridad (B): medida a largo plazo.

Como primera medida indirecta se puede citar el mejoramiento de actuales procesos en los ingenios; sin embargo, ésta no es suficiente para cubrir en su totalidad los costos ambientales. Para ello, se recomienda la construcción de una planta integrada diseñada con el mejor proceso de tratamiento de minerales para obtener una eficiente recuperación de metales y tratamiento de efluentes para evitar la contaminación. Esta transición se puede realizar en forma progresiva, empezando por la instalación de una planta de tratamiento de colas para recuperar minerales con valor económico remanentes de actuales procesos y luego una ampliación de ésta. Por otro lado, la instalación de una planta de recuperación de metales valiosos remanentes en desmontes de minerales.

El principio de estas medidas consiste en lograr la compatibilidad entre la continuidad de producción y protección del medio ambiente, basado en uso eficiente de recursos naturales.

A continuación se muestra el diagrama de correlación de las medidas propuestas arriba.



Leyenda:

- [1] Control de efluentes de mina y de desmontes de minerales (medidas contra efluentes ácidos)
- [2] Reforestación de antiguos depósitos de desmontes y colas de procesamiento de minerales
- [3] Tratamiento de colas en dique y control de efluentes
- [4] Análisis de mejoramiento de procesos en ingenios
- [5] Instalación de planta de tratamiento de colas
- [6] Instalación de planta concentradora modelo/piloto
- [7] Recuperación de metales económicamente valiosos de desmontes y sucus
- [8] Construcción de zona industrial para instalación de planta concentradora integrada

A continuación se describen cada una de las propuestas del cuadro mostrado arriba.

6-1-1 Tratamiento de colas en dique y control de efluentes [3]

Actualmente, con la cooperación económica de Alemania (KfW), la Ciudad de Potosí planea la construcción de un dique para depositar y tratar las colas de los ingenios. La administración del proyecto está a cargo de la institución

de aguas y alcantarillado de Potosí (AAPOS) y se instruye a que los ingenios participen en él. Para el tratamiento de las colas lo más conveniente es el uso de un dique. La misión del presente estudio ha realizado intercambio de opiniones con los responsables de este proyecto, el cual recomendamos se ejecute cuanto antes.

Medidas:

- ① Colas totales de ingenios: derivación al dique de colas (al estabilizar el pH entre neutro a ligeramente alcalino es posible disminuir la concentración de metales pesados en solución por debajo de los límites permisibles dados por estándares de emisiones).
- ② Colas de procesamiento de minerales (porción sólida: S.S.): deposición en dique de colas.
- ③ Colas de procesamiento de minerales (porción líquida alcalina): tratamiento mediante neutralización en dique de colas (a valores de pH entre 4 y 6 ocurre la precipitación conjunta de fierro III y arsénico en forma de hidróxido; asimismo los cianuros y xantatos remanentes del proceso de flotación se descomponen mediante oxidación y acción fotoquímica); tratamiento de precipitados producto de neutralización; y, reciclaje de agua de rebose como agua de proceso para ingenios.

Al ejecutar estas medidas se lograría eliminar la contaminación debida a colas de ingenios.

Requerimientos:

- ① Tecnología de transporte de lodos desde los ingenios hasta el dique de colas
- ② Tecnología de control de operaciones de transporte de lodos
- ③ Tecnología de control de operaciones del dique de colas
- ④ Tecnología de separación sólido/líquido
- ⑤ Tecnología de tratamiento de efluentes alcalinos

6-1-2 Análisis de mejoramiento de procesos en ingenios [4]

La misión del presente estudio ha contactado con los propietarios y administradores de estos ingenios con la finalidad de apoyarles en el mejoramiento de productividad y transferencia de tecnología. En este tema se recomienda introducir técnicas que contemplen el cuidado del medio ambiente en cada uno de los ingenios.

A continuación se muestran las condiciones de operación de los ingenios en la actualidad:

- Tamaño de partícula (flotación): malla +65 (+0.208mm) 20~30%

- pH de flotación: 11,4~12,4
- Densidad de pulpa: 7,2~9,1%
- Plomo: ley de mineral: 0,22%, cantidad de metal tratado: 2,3~2,8t/d, precio ('97 LME Settlement): 624\$/tm
- Zinc: ley de mineral: 2,2%, cantidad de metal tratado: 22,8~28,1t/d, precio ('97 LME SHG): 1.317\$/tm
- Plata: ley de mineral: 111g/t, cantidad de metal tratado: 115~142Kg/d, precio ('97 H & H N.Y.): 489/oz-troy
- Estaño: ley de mineral: 0,46%, cantidad de mineral tratado: 4,8~5,9t/d, precio ('97 LME HG): 5.647\$/tm

La estannita (Cu_2FeSnS_4), mineral sulfurado de estaño, es objeto de penalidad en la transacción de concentrados de plomo y zinc.

La casiterita (SnO_2), óxido de estaño está presente en los concentrados de plomo y zinc.

Medidas:

- Mejoramiento de recuperación de plomo, zinc y plata
 - ① Incremento de grado de molienda: tamaño de partícula óptimo para flotación: el tamaño de partícula promedio en los ingenios de Potosí es aproximadamente 0,10mm. A este tamaño existe esfalerita no liberada. Por ello se recomienda mejorar el grado de molienda.
 - ② Incremento de tiempo de flotación: incremento de concentración de flotación: actualmente la concentración de flotación es muy baja entre 7 y 9%, y el tiempo de flotación corto. Se recomienda incrementar la concentración de flotación entre 20 a 25% e incrementar el tiempo de flotación, a más del triple actual.
 - ③ Revisión de reactivos de flotación: especialmente se recomienda revisar los colectores.

Con la aplicación de estas medidas existe la posibilidad de aumentar las tasas de recuperación (Pb: 4%, Zn: 2,5%, Ag: 3% aproximadamente) con la infraestructura actual.

- Recuperación de estaño

- ① Recuperación de estannita mediante separación del concentrados de plomo y zinc.
- ② Recuperación de casiterita liberada de las colas de flotación de plomo y zinc.

Es posible recuperar estaño (estannita: 70%, casiterita: 30% aproximadamente) con la introducción de mesas vibratorias (separación gravimétrica).

En el cuadro 6-1-3(1) se muestran las estimaciones descritas y sinopsis en la figura 6-1-3.

Requerimientos

- ① Tecnología de evaluación de recursos mineros (mineralogía, liberación de minerales, etc.)
- ② Tecnología de tratamiento de minerales
- ③ Tecnología para diseño de plantas concentradoras

6-1-3 Control de efluentes de mina y de desmontes de minerales (medidas contra efluentes ácidos) [1]

Los efluentes ácidos de minas en inactividad y de emanaciones de desmontes de minerales contienen componentes tóxicos como metales pesados. Estos drenan contaminando ampliamente a los ríos fluyendo aguas abajo con metales pesados en solución ó en forma de S.S.. Para estos casos, se requiere tomar acciones como retornar los efluentes al interior de mina ó tratarlos mediante neutralización/precipitación y verter al río previo aseguramiento de calidad.

En el proyecto del dique de colas se está analizado la factibilidad de tratar también estos efluentes ácidos, de modo que se neutralicen con aguas alcalinas contenidas en las colas que vierten los ingenios. Sin embargo, debido a que las opciones dependerán de fundamentos económicos, se recomienda realizar estudios de investigación incluyendo el proyecto de instalar un sistema de tratamiento de efluentes ácidos de forma independiente al dique de colas.

Por otro lado, se recomienda realizar un estudio de evaluación económica/financiera entre una planta de tratamiento de efluentes ácidos que los trate en forma integral contra varias plantas de menor escala.

Se recomienda también considerar el estudio de evaluación del impacto ambiental relacionado con la instalación de estas plantas de tratamiento de efluentes ácidos.

Medidas:

Tratamiento de aguas de mina y emanaciones ácidas.

Propuesta ①: tratamiento de neutralización de aguas ácidas con colas de ingenios (alcalinas).

Propuesta ②: tratamiento de aguas ácidas en forma independiente: tratamiento en 1 ó 2 etapas.

Para ambos casos se recomienda un pH entre 4 y 6, medio en el cual ocurre la precipitación conjunta de fierro III y arsénico.

Los flujogramas del tratamiento se muestran en la figura 6-1-4 y los métodos de tratamiento en el cuadro 6-1-1.

Requerimientos:

① Tecnología de neutralización de aguas ácidas

- ② Tecnología de tratamiento de precipitados de neutralización
- ③ Tecnología de diseño de plantas de tratamiento de efluentes mineros
- ④ Fundamentos de reacciones de neutralización y comportamiento de iones metálicos
- ⑤ Fundamentos de procesos de oxidación de cuerpos mineralizados

6-1-4 Instalación de planta de tratamiento de colas [5]

Actualmente las colas de los ingenios contienen cantidades importantes de plomo y zinc. Con el objeto de recuperar la mayor cantidad posible de metales económicamente valiosos, la misión del presente estudio ha realizado transferencia de tecnología al respecto. Sin embargo, aparte a que cada ingenio introduzca mejoras en sus procesos, se recomienda la instalación de una planta de tratamiento de colas integrándolo en su totalidad. Como lugar de instalación de esta planta se recomienda la parte superior del área designada para la construcción del Dique de Colas de San Antonio, tal como se menciona posteriormente en el acápite.

Con las medidas de mejoramiento de procesos en los ingenios es posible la óptima recuperación de plomo, zinc, minerales sulfurados de estaño y parcialmente los óxidos de estaño. Los óxidos de estaño remanentes se requieren ser tratados en esta planta. Con la introducción de mesas vibratorias es posible que los ingenios recuperen aproximadamente un tercio de óxidos de estaño gruesos; sin embargo, las dos terceras partes de óxidos finos (aproximadamente decenas de micrones) no son recuperables.

Medida:

Los óxidos de estaño (casiterita) finos se deben someter a remolienda y separación gravimétrica.

El diagrama de flujo se muestra en la figura 6-1-5.

Con la aplicación de esta medida es posible recuperar hasta 40% de casiterita. Los resultados de aplicar esta medida adicionalmente al mejoramiento de procesos en ingenios descrito en el acápite 6-1-2 se muestran en el cuadro 6-1-3(2). El diagrama de flujo, producto de pruebas en laboratorio, se muestra en la figura 6-1-5.

Requerimientos:

- ① Tecnología de tratamiento de minerales de estaño
- ② Tecnología de diseño de plantas concentradoras de estaño

6-1-5 Instalación de planta concentradora modelo/piloto [6]

Aparte a las sugerencias para mejora en actuales ingenios, se recomienda la construcción de una planta concentradora modelo diseñado con tecnología moderna. Asimismo, la construcción de una concentradora continua de laboratorio previo a la construcción de planta modelo.

La planta concentradora modelo que se diseñe con tecnología moderna, tendría como objetivos la eficiencia económica y el beneficio para el medio ambiente. Desde el nivel de modelo, la planta concentradora sería competitiva y tendría como objetivo final servir como modelo para diseño de planta, con inversión de los propietarios de actuales ingenios.

El objetivo de la concentradora continua de laboratorio serviría para realizar investigación del procesamiento de minerales para que con sus resultados se obtengan los parámetros de diseño de la planta concentradora modelo (200t/d). Esta planta modelo serviría para escalar la planta integrada (1.500t/d). El diagrama de flujo en función a los resultados de pruebas en laboratorio se muestra en la figura 6-1-6. Los cálculos del presupuesto están basados en información obtenida de nueve empresas de maquinarias y equipos de Bolivia y siete empresas constructoras locales en Potosí.

El costo de la planta modelo se estima en US\$11,92 millones (1.430 millones de yenes). En el cuadro siguiente se muestran los detalles.

Items	Costo de instalación (Millones de yenes)
Instalaciones/maquinaria	820
Sistema eléctrico	350
Obras civiles	240
Prueba y regulación	20
Total	1.430

Los costos de construcción se han calculado en función a turnos; sin embargo, debido a que no se ha realizado estudio del terreno, no se han considerado costos de movimiento y habilitación de tierras. Además, las fuentes de energía eléctrica y agua se encuentran cerca a la planta. Los otros factores se presentan en el diagrama de flujo, diagrama P&I y lista de equipos.

Se estimó un presupuesto para la instalación de planta con precios puestos in situ, con un tipo de cambio 120 yenes/dólar. No se han considerado incremento de precios ni variación del tipo de cambio.

6-1-6 Recuperación de metales económicamente valiosos de desmontes y sucus [7]

En los alrededores del Cerro Rico existen cúmulos de desmontes de minerales denominados "sucus" que son en su mayoría colas de procesamiento de minerales para la recuperación de estaño. Se estima que existen alrededor de cien millones de toneladas. Por ello, se recomienda la recuperación de metales económicamente valiosos de estos desmontes (desmonte Cerro Rico: 5,6 millones toneladas con $Ag=213,1g/t$ y $Sn=0,27\%$) en forma selectiva.

Medidas:

Propuesta ①: trituración y lixiviación en pilas con cianuro para recuperar plata.

Propuesta ②: trituración, molienda y separación gravimétrica (mesa vibratoria) para recuperar estannita gruesa; sobre el resto someter a remolienda para tratarlo mediante flotación con el objeto de recuperar estannita. Sobre las colas de éste aplicar lixiviación en tanque con cianuro para recuperar plata.

La descripción se detalla en la figura 6-1-7.

Requerimientos:

① Tecnología de lixiviación con cianuro

② Tecnología de lixiviación en pilas

③ Tecnología de recuperación de metales mediante método de polvo de zinc, carbón en pulpa, etc.

6-1-7 Construcción de zona industrial para instalación de planta concentradora integrada [8]

En otros acápites del presente informe se tratan sobre la problemática de actuales ingenios en la Ciudad de Potosí. Debido a que los tamaños de éstos son pequeños, perderían competitividad internacional si mantienen su actual situación y asumieran los costos ambientales. Se recomienda la construcción de una zona industrial para procesamiento de minerales, con la finalidad de instalar la planta concentradora integrada (1.500t/d), diseñada escalando la planta modelo, que tenga la capacidad de asumir los costos ambientales.

Para ello se requiere que sea instalado cerca al dique de colas y la planta de tratamiento de colas propuesta en anterior acápite. Como lugar de ubicación se recomienda la parte superior del lugar planeado para la construcción del Dique de Colas de San Antonio, propuesto por cooperación de Alemania. El diagrama de flujo de esta planta es el mismo descrito en el acápite 6-1-5 y se muestra en la figura 6-1-6.

La inversión se estimó escalando los costos estimados para la planta modelo (200t/d) con factor exponencial de 0,65.

La eficiencia de esta planta se muestra en el cuadro 6-1-3 (2). Nótese que la ley de mineral crudo se ha disminuido con respecto al actual, tal como se estima serán las reservas mineras. Se procedió a incrementar la cantidad de mineral a tratar y mantener el nivel de producción de concentrados. Con ello es posible lograr la economía de escala. Adicionalmente al proceso óptimo se ha introducido la microflotación ácida de estaño (columna de flotación de microburbujas), con la finalidad de recuperar partículas finas de casiterita. Con ello se estima un gran incremento de eficiencia en la tasa de recuperación. Para plomo: de 60 a 72%; zinc: de 81,9% a 89,3%; plata: de 74,8 a 83,8%; y, estaño: de 0% a 70%.

Requerimientos:

- ① Tecnología de diseño de planta concentradora a gran escala
- ② Tecnología de operaciones de planta concentradora a gran escala

6-1-8 Reforestación de antiguos depósitos de desmontes y colas [2]

Los desmontes de minerales y colas de procesamiento de minerales que no son materia de recuperación de metales económicamente valiosos mediante técnicas actuales, seguirán siendo fuentes de contaminación debido a generación de aguas ácidas con contenido de metales pesados. A pesar que irrogarán altos costos, se recomienda la reforestación de estas zonas con participación de la población, aunque tome tiempo en cubrirla completamente.

Medidas:

- ① Construcción de muros de contención sobre depósitos de minerales
- ② Reforestación sobre depósitos de minerales

En la figura 6-1-1 se muestra la descripción.

Para aplicar estas medidas se requiere estudiar la existencia de minerales que originan aguas ácidas como pirita, con el objeto de definir cuáles áreas son materia de tratamiento.

Requerimiento:

- ① Fundamentos de reforestación
- ② Fundamentos de panorama ambiental
- ③ Control de obras civiles

Cuadro 6 - 1 - 1

Tecnología de prevención de contaminación debida a la actividad

: Adoption judgement ○ Suitable, △ It is necessary to study the most suitable method, × Unsuitable

Measures and Purpose	Target Area	Target Pollution	Mine Pollution Prevention Technology	Adoption to Potosi					
1. Measures against pollution sources: Polluted drainage, and ore or waste containing toxic materials must not be discharged to public water area (river, lake : groundwater, etc.) from mines, refuse/slug piles and mineral processing tailing dams.	1.1 Mine: Prevention or reduction of effluence of polluted drainage	1.1.1 Polluted drainage (acid) 1) Mine drainage	1) Sealing ore bodies						
			① Separating clean water from polluted water	○					
			② Separation of gallery walls from mine drainage	×					
			③ Covering deposit	×					
			④ Sealing mineralized zone	×					
			2) Closure of level						
			① Zero discharge type which bears pressure	×					
			② Over flow type which bears pressure	×					
			③ Air-seal type which bears no pressure	×					
			④ Mixed type which bears pressure	×					
1.2 Rejected ore or slag pile/dam: prevention or reduction of flowing out of infiltrating acid polluted water; prevention of flowing out and scattering of ores with toxic elements	1.2 Rejected ore or slag pile/dam: prevention or reduction of flowing out of infiltrating acid polluted water; prevention of flowing out and scattering of ores with toxic elements	2) Infiltrating drainage (open pit, the remains, crop, etc.)	1) Maintenance and plantation for open pit, the remains, etc.	×					
			1.2.1 Polluted drainage: acid	1) Sealing ore bodies	×				
				2) Plantation: covering with soil, plantation, etc.	○				
			1.2.2 Waste with toxic element	1) piled ores	1) Banking and plantation	○			
					2) Stabilization of dam	×			
			1.3 Concentrator (Ingenio): Prevention of discharge of tailing (waste)	1.3 Concentrator (Ingenio): Prevention of discharge of tailing (waste)	1.3.1 Polluted discharge: acid/alkaline	1) Treatment at final treatment area: tailing dam	○		
						2) Putting tailing into under ground mining caves	×		
						1.3.2 Waste with toxic element	1) Tailing: solid	1) Treatment at final treatment area: tailing dam	○
								2) Putting tailing into under ground mining caves	×
						2. Treatment of polluted water to be not toxic before the water may be discharged into public water area	2.1 Mine, rejected ore or slag pile/dam and concentrator (Ingenio)	2.1.1 Polluted drainage (acid) and Polluted discharge (acid/alkaline)	1) Neutralization treatment
2) Treatment of neutralized sludge	○								
① Neutralized sludge without dehydration	△								
· Piling at tailing dam									
· Piling at neutralized sludge dam									
· Returning into under ground mining caves									
② Neutralized sludge with dehydration	△								
· Densification of sludge, thickening, hydration and piling at the dam									
· Densification of sludge, thickening, hydration, making hard with a little cement and piling									
3) The others	×								
3. Measures against soil	4. The others: Installation of water pipe/canal		① Metal recovery: ferrite or hematite method	×					
			② Biological treatment: with sulfate-reducing bacteria, etc.	×					
			③ Deep underground injection	×					
			④ Catalytic oxidation with chelating resin	×					
				△					

Cuadro 6 - 1 - 2 Plan basico de prevencion de contaminacion debida a procesamiento de minerales

Production : Measures (Steps) to Secure Funds for Environmental Costs of Ingenios		Run of Mine Ore of "Cerro Rico de Potosi"		Rejected Ore Left out of Mine
Items	Environment	Pb, Zn : Ag	Sn	Sn, Ag
Present	<ul style="list-style-type: none"> Tailing : Waste Discharge of all tailing to rivers: occurrence of mining pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: existing Ingenios [concentrators] (total 42 plants: cap. \$-370t/d/plant [27 plants: cap. \leq 50t/d/plant]) Treatment rate: total 1,300-1,600t/d Mineral processing treatment: individual Mineral processing results: insufficient 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: no recovery (but, a little recovery at only one Ingenio) 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: one cyanide leaching process plant Recovery object: only Ag
Future in short-term	<ul style="list-style-type: none"> Treatment of all tailing at DCSA (*1) constructed by KFW of Germany: prevention of mining pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: existing Ingenios: process improvement Treatment rate: total 1,300-1,600t/d Mineral processing treatment: individual Mineral processing result: a little improvement Improvement items: particularly for recovery of Pb and Zn both with Ag <ol style="list-style-type: none"> Improvement of grinding efficiency: optimum particle size suitably fine for flotation density Extension of flotation time: increase of pulp density Reconsideration on flotation reagents Economic effect: all effect \times 1/3 Construction of continuous plant for investigation (cap. several t/d) 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: existing Ingenios: process improvement Mineral processing result: new appropriation of Sn recovery Improvement items: particularly for recovery of Sn <ol style="list-style-type: none"> Separation and recovery of sulfide Sn (stannite) from Zn concentrate and Pb concentrate Separation and recovery of oxide Sn (cassiterite) from Pb, Zn flotation tailing \rightarrow adoption of shaking tables for ① and ② Economic effect: the same as left The same plant as left 	<div style="text-align: center;">/</div>
Future in medium-term	<ul style="list-style-type: none"> The same as above The same as above The same as above 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: construction of model plant (cap. 200t/d) Plant site: plateau above DCSA Circumstances of present Ingenios: scrap & build The same as same items of future in short-term 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: the same plant as left (*2) Treatment objects: tailing of Pb, Zn flotation Plant site: the same as left Mineral processing operation: construction of tailing reprocessing plant (*2) Treatment object: collected tailings of present Ingenios Recovery objects: (left Pb, Zn and) Sn Plant site: plateau above DCSA Economic effect: all effect 	<ul style="list-style-type: none"> The same plant as left Mineral processing operation: construction of model plant (cap. about 10t/d)
Future in long-term	<ul style="list-style-type: none"> The same as above 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: construction of integrated mineral processing plant Treatment rate: about 1,500t/d Mineral processing treatment: integration Mineral processing result: sufficient Plant site: plateau above DCSA Economic effect: all effect Circumstances of present Ingenios: abandonment & integration 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: the same plant as left: the same as item of construction of tailings reprocessing plant in future in medium-term (*3) Treatment object: Pb, Zn flotation tailing Mineral processing treatment: the same as left Mineral processing result: the same as left Plant site: the same as left Economic effect: the same as left 	<ul style="list-style-type: none"> Mineral processing operation: construction of mineral processing plant for rejected ore, etc. Treatment object: part of rejected ore (Desmonte, etc.) Recovery object: Sn, Ag or only Ag

Notc: *1 Dique de Colas (San Antonio), *2 Treatment facilities (1) for Sn: regrinding and Sn flotation and Sn flotation

for Sn: shaking table, regrinding

Cuadro 6-1-3 (1) Eficiencia de ingenios: actual y futuro

(1/2)

	Present	Future
1 Mined ore	Existing Ingenios (total 42): individual treatment	Integrated concentrator: integrated treatment
1 Run of mine ore		
1) Ore quantity	Research by the prefecture (1998) Facilities capacity (A) 2,365t/d Treatment scale (B) 1,702~1,742t/d Treatment ratio (B/A) 72~74% Annual operation days 330d/y [sup.] Operation ratio 75~90% [sup.] Treatment rate 1,277~1,568t/d :1,327t/d [sup.] 421~517 thousand t/y :438 thousand t/y [sup.]	→ Increase of treatment rate → × about 1.13 = 1,500t/d [sup.] → × about 1.13 = 495 thousand t/y [sup.]
2) Grade	Pb 0.85~2.50% (→ 1.1% [sup.]) Zn 8.0~17.0% (→ 11.6% [sup.]) Ag 125~700g/t (→ 350g/t [sup.]) Sn ? (→ 0.6% [sup.]) Deposit data: · Ag-Zn ore: 1994 COMIBOL Ag 644g/t (→ 350g/t) Zn 11.58% · Sn ore: 1986 COMIBOL Sn 1.01% (→ 0.6% [sup.])	Pb 1% [sup.] Zn 10% [sup.] Ag 310g/t [sup.] Sn 0.5% [sup.] → Decrease of grade → × about 87% → × // → × //
3) Metal quantity	Pb 1,327t/d × 1.1% = 15.0t/d Zn 1,327t/d × 11.6% = 150.0t/d Ag 1,327t/d × 350g/t = 464.5kg/t Sn 1,327t/d × 0.6% = 7.5t/d	Pb 1,500t/d × 1.0% = 15.0t/d Zn 1,500t/d × 10.0% = 150.0t/d Ag 1,500t/d × 310g/t = 464.5kg/t Sn 1,500t/d × 0.5% = 7.5t/d
2 Unit cost	1	0.7
3 Pb concentrate :Pb flotation	Recovery and concentrate grade: insufficient Evaluation objects: Pb, Ag	Recovery and concentrate grade: up Evaluation objects: Pb, Ag
1) Ore quantity	Ore distribution 1.1~2.9% → 1.7% [sup.] 1,327t/d × 1.7% = 22.6t/d	→ 1.6% [sup.] 1,500t/d × 1.6% = 24.0t/d
2) Grade	Pb (30)~52% (→ 40% [sup.]) (Zn 9~(20)% (→ 15% [sup.])) Ag (2,000)~6,000g/t (→ 4,500g/t [sup.])	Pb 45% [sup.]: objective 60% up (Zn 10% [sup.]) Ag 5,060g/t [sup.]
3) Metal quantity	Pb 22.6t/d × 40% = 9.0t/d (Zn 22.6t/d × 15% = 3.4t/d) Ag 22.6t/d × 4,500g/t = 101.7kg/d	Pb 24.0t/d × 45% = 10.8t/d (Zn 24.0t/d × 10% = 2.4t/d) Ag 24.0t/d × 5,060g/t = 121.4kg/d
4) Recovery	Pb (40)~65% [tests: 54~76%] → 60.0% Ag (23)~37% [tests: 18.5~72%] → 21.9%	Pb 72.0%: objective 85% up Ag 26.1%: objective 90% up (*1)
4 Zn concentrate :Zn flotation	Recovery and concentrate grade: insufficient Evaluation objects: Zn, Ag	Recovery and concentrate grade: up Evaluation objects: Zn, Ag
1) Ore quantity	Ore distribution 14.0~28.6% → 18.5% [sup.] 1,327t/d × 18.5% = 245.5t/d	→ 17.5% [sup.] 1,500t/d × 17.5% = 262.5t/d
2) Grade	(Pb 1.2~(3.1)% (→ 1.5% [sup.]) Zn (49.0)~53.5% (→ 50.0% [sup.]) Ag (300)~4,400g/t (→ 1,000g/t [sup.])	(Pb 1.0% [sup.]) Zn 51.0% [sup.]: objective 55% up Ag 1,020g/t [sup.]
3) Metal quantity	(Pb 245.5t/d × 1.5% = 3.7t/d) Zn 245.5t/d × 50.0% = 122.8t/d Ag 245.5t/d × 1,000g/t = 245.5kg/d	(Pb 262.5t/d × 1.0% = 2.6t/d) Zn 262.5t/d × 51.0% = 133.9t/d Ag 262.5t/d × 1,020g/t = 267.8kg/d
4) Recovery	Zn (83)~88% [tests: 58~83%] → 81.9% Ag (30)~48% [tests: 13.2~58.8%] → 52.9%	Zn 89.3%: objective 90% up Ag 57.7%: objective 90% up (*1)

Note sup.: supposition, Improvement effect in Pb, Zn flotation of existing Ingenios should be estimated to be 1/3 of effect in above table., *1: total recovery of Pb, Zn conc.

5 Sn concentrate	No recovery, evaluation object: Sn Sn grade: 0.3% of oxide Sn (Cassiterite: SnO ₂)/sulfide Sn (Stannite: Cu ₂ FeSnS ₃) = 1/1 [sup.]	New recovery, evaluation object: Sn Sn grade: 0.25% of oxide Sn+0.25% of sulfide Sn = total Sn 0.5%
5-1 Sulfide Sn concentrate with table	At present, ore containing sulfide Sn has been mined as hardly as possible, but, in case to mine it major of sulfide Sn should be contained in Pb, Zn concentrates. · Ore quantity 268.1t/d · Grade Sn 1.1% [sup.] · Metal quantity Sn 3.0t/d · Distribution 80% of sulfide Sn [sup.]	Separation of sulfide Sn from Pb, Zn concentrates with shaking tables · Ore quantity 17.3t/d · Grade Sn 15% [sup.] · Metal quantity Sn 2.6t/d · Recovery 70% of Sulfide Sn [sup.]
5-2 Oxide Sn concentrate with table	At present, oxide Sn has been insufficiently recovered a little at Ingenio 'Santa Catalina'.	Liberated coarse oxide Sn will be recovered with shaking table. · Ore quantity 5.5t/d · Grade Sn 20% [sup.] · Metal quantity Sn 1.1t/d · Recovery 30% of oxide Sn [sup.]
5-3 Oxide Sn concentrate with flotation		After 5-2, oxide Sn will be recovered with regrinding and flotation · Ore quantity 10.0t/d · Grade Sn 15% [sup.] · Metal quantity Sn 1.5t/d · Recovery 40% of oxide Sn [sup.]
6 Tailing		
1) Ore quantity	Calc. 1,327-22.6-245.5 = 1,058.9t/d : 349 thousand t/y	Calc. 1,500-24.0-262.5-17.3-5.5-10.0 = 1,181t/d: 390 thousand t/y
2) Grade	Pb 0.25~0.94% [sampling : 0.11~4.57%] (calc. 0.22%) Zn 0.5~3.0% [sampling: 0.48~6.34%] (calc. 2.2%) Ag 50~100g/t [sampling: 14~670g/t] (cal. 111g/t) Sn (calc. 0.46%)	Pb calc. 0.14% Zn calc. 1.2% Ag calc. 64g/t Sn calc. 0.19%
3) Metal quantity	Pb 15.0-9.0-3.7 = 2.3t/d Zn 150.0-3.4-122.8 = 23.8t/d Ag 464.5-101.7-245.5 = 117.3kg/d Sn 7.5-2.6 = 4.9t/d	Pb 15.0-10.8-2.6 = 1.6t/d Zn 150.0-2.4-133.9 = 13.7t/d Ag 464.5-121.4-267.8 = 75.3kg/d Sn 7.5-2.6-1.1-1.5 = 2.3t/d
4) Distribution	Pb calc. 15.3% Zn calc. 15.9% Ag calc. 25.3% Sn calc. 65.3%	Pb calc. 10.7% Zn calc. 9.1% Ag calc. 16.2% Sn calc. 30.0%
2. Rejected ore (Desmonte), etc.	At Present, Ag has been recovered with heap leaching (cyanide leaching process) at Conco plant.	Idea 1. After crushing, Ag will be recovered with heap leaching (cyanide leaching process). 1) Ore quantity 1,000t/d: 330 thousand t/y 2) Grade Ag 213g/t 3) Leaching rate Ag 60% 4) Metal recovery Ag: 1,000t/d × 213g/t × 60% = 127.8kg/d Idea 2. After crushing, oxide Sn will be recovered with grinding, table, regrinding and flotation, and after that Ag will be recovered with tank leaching (cyanide leaching process). 1) Ore quantity 1,000t/d: 330 thousand t/y 2) Grade Ag 213g/t Sn 0.27% 3) leaching rate Ag 90% recovery Sn 70% 4) Metal recovery Ag: 1,000t/d × 213g/t × 90% = 191.7kg/d Sn: 1,000t/d × 0.27% × 70% = 1.9t/d

Note *: Objective Desmonte: Cerro Rico 5,608 thousand t (Ag 213.1g/t, Sn 0.27%), etc.

Cuadro 6 - 1 - 3 (2) Eficiencia de ingenios: actual y futuro (2)

Note: As for integrated concentrator, reduction of run of mine ore → increase of quantity of run of mine ore → maintenance of quantity of metal of run of mine ore

Run of mine ore		Existing Ingenios at present : Total 42 concentrators with individual treatment		Existing Ingenios with improved processes		Existing Ingenios with improved concentrator + Tin recovery concentrator from tailing		Integrated concentrator : Total one concentrator with integrated treatment	
	1,300-1,600 → 1,327: assumption	1,300-1,600 → 1,327: assumption	1,300-1,600 → 1,327: assumption	1,300-1,600 → 1,327: assumption	1,300-1,600 → 1,327: assumption	1,300-1,600 → 1,327: assumption	1,300-1,600 → 1,327: assumption	1,500 : assumption	
Run of mine ore	Quan t/d	1.1: assumption	1.1: assumption	1.1: assumption	1.1: assumption	1.1: assumption	1.1: assumption	1.0: assumption	
	Pb %	11.6: assumption	11.6: assumption	11.6: assumption	11.6: assumption	11.6: assumption	11.6: assumption	10.0: assumption	
	Zn %	350 : assumption	350 : assumption	350 : assumption	350 : assumption	350 : assumption	350 : assumption	310 : assumption	
	Ag g/t	0.6: assumption	0.6: assumption	0.6: assumption	0.6: assumption	0.6: assumption	0.6: assumption	0.5: assumption	
	Sn %	100	100	100	100	100	100	100	
Metal dist-ribu.	Zn %	100	100	100	100	100	100	100	
	Ag %	100	100	100	100	100	100	100	
	Sn %	100	100	100	100	100	100	100	
	Quan Grad	22.6: assumption	24.1: assumption	24.1: assumption	24.1: assumption	24.1: assumption	24.1: assumption	24.0: assumption	
	Pb %	40 : assumption	40 : assumption	40 : assumption	40 : assumption	40 : assumption	40 : assumption	45 : assumption	
Conc.	Zn %	15 : assumption	15 : assumption	15 : assumption	15 : assumption	15 : assumption	15 : assumption	10 : assumption	
	Ag g/t	4,500 : assumption	4,500 : assumption	4,500 : assumption	4,500 : assumption	4,500 : assumption	4,500 : assumption	5,060 : assumption	
	Sn %	60.0: calculation	64.0: calculation	64.0: calculation	64.0: calculation	64.0: calculation	64.0: calculation	72.0: calculation	
	Re-co-very	21.9: calculation	23.3: calculation	23.3: calculation	23.3: calculation	23.3: calculation	23.3: calculation	26.1: calculation	
	Quan Grad	245.5: assumption	252.9: assumption	252.9: assumption	252.9: assumption	252.9: assumption	252.9: assumption	262.5: assumption	
Zn Conc.	Pb %	1.5: assumption	1.5: assumption	1.5: assumption	1.5: assumption	1.5: assumption	1.5: assumption	1.0: assumption	
	Zn %	50.0: assumption	50.0: assumption	50.0: assumption	50.0: assumption	50.0: assumption	50.0: assumption	51.0: assumption	
	Ag g/t	1,000 : assumption	1,000 : assumption	1,000 : assumption	1,000 : assumption	1,000 : assumption	1,000 : assumption	1,020 : assumption	
	Sn %	81.9: calculation	84.3: calculation	84.3: calculation	84.3: calculation	84.3: calculation	84.3: calculation	89.3: calculation	
	Re-co-very	52.9: calculation	54.4: calculation	54.4: calculation	54.4: calculation	54.4: calculation	54.4: calculation	57.7: calculation	
Sn Conc.	Quan t/d	1,058.9 : calculation	1,050.0 : calculation	1,050.0 : calculation	1,050.0 : calculation	1,050.0 : calculation	1,050.0 : calculation	1,180.7 : calculation	
	Pb %	0.22: calculation	0.15: calculation	0.15: calculation	0.15: calculation	0.15: calculation	0.16: calculation	0.14: calculation	
	Zn %	111 : calculation	98 : calculation	98 : calculation	98 : calculation	98 : calculation	102 : calculation	64 : calculation	
	Ag g/t	0.46: calculation	0.46: calculation	0.46: calculation	0.46: calculation	0.46: calculation	0.26: calculation	0.19: calculation	
	Sn %	15.3: calculation	10.7: calculation	10.7: calculation	10.7: calculation	10.7: calculation	10.7: calculation	10.7: calculation	
Tailing	Zn %	15.9: calculation	13.3: calculation	13.3: calculation	13.3: calculation	13.3: calculation	13.3: calculation	9.1: calculation	
	Ag %	25.3: calculation	22.3: calculation	22.3: calculation	22.3: calculation	22.3: calculation	22.3: calculation	16.2: calculation	
	Sn %	65.3: calculation	65.3: calculation	65.3: calculation	65.3: calculation	65.3: calculation	30.0: calculation	30.0: calculation	
	Quan Grad	15.8: assumption	15.8: assumption	15.8: assumption	15.8: assumption	15.8: assumption	15.8: assumption	15.8: assumption	
	Re-co-very	70.0: calculation	70.0: calculation	70.0: calculation	70.0: calculation	70.0: calculation	70.0: calculation	70.0: calculation	

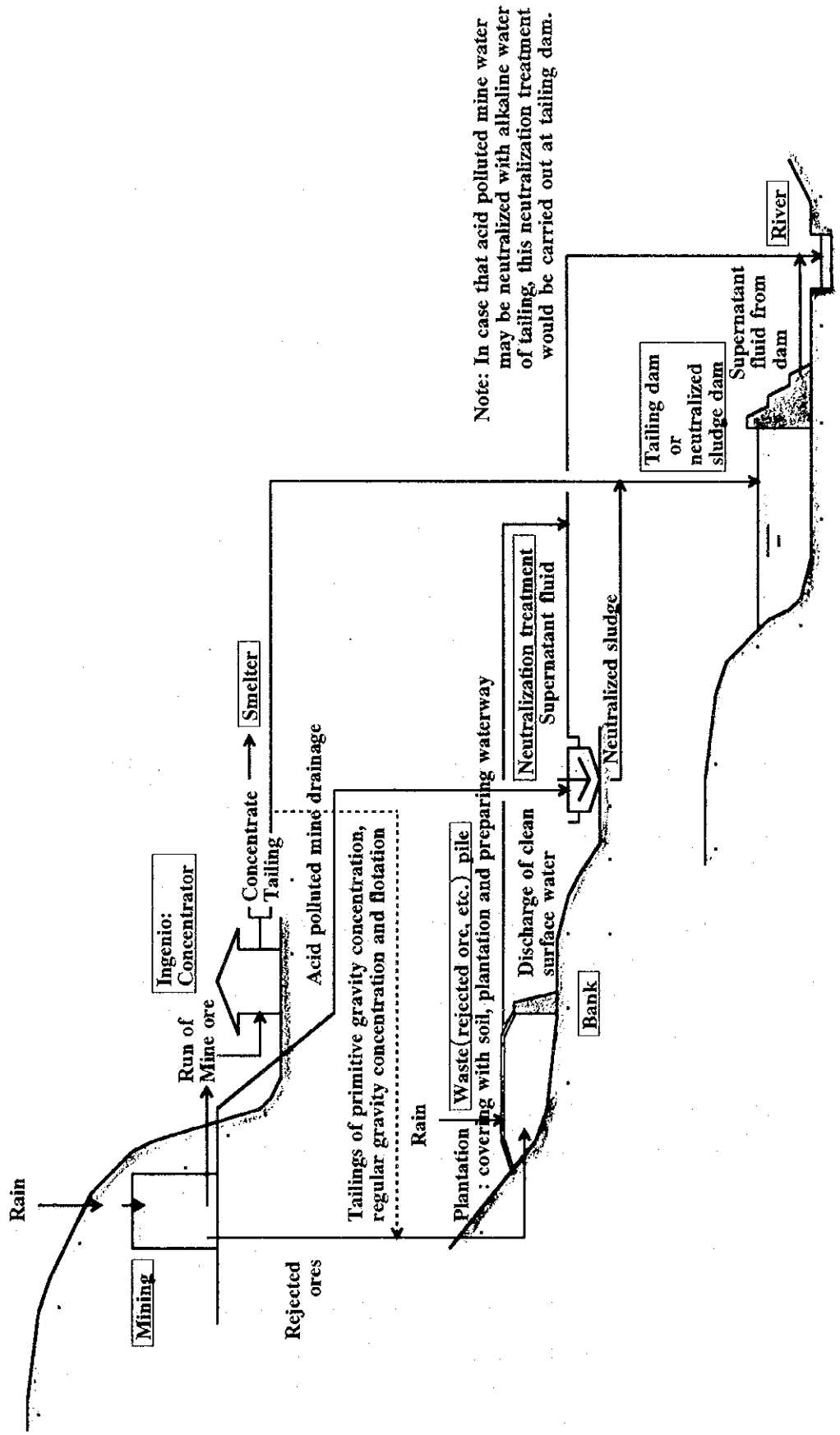


Figura 6 - 1 - 1 Tecnología de prevención de contaminación debida a la actividad minera requerido en Potosi

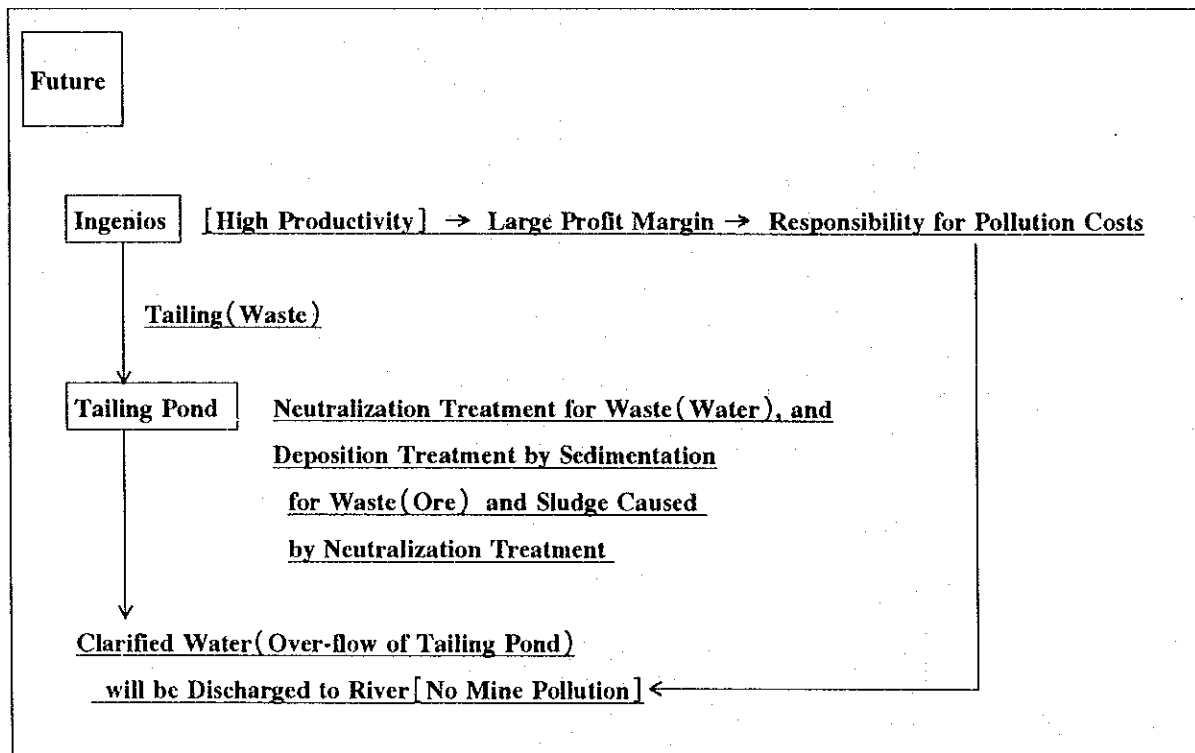
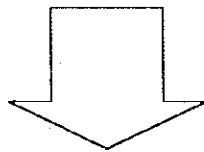
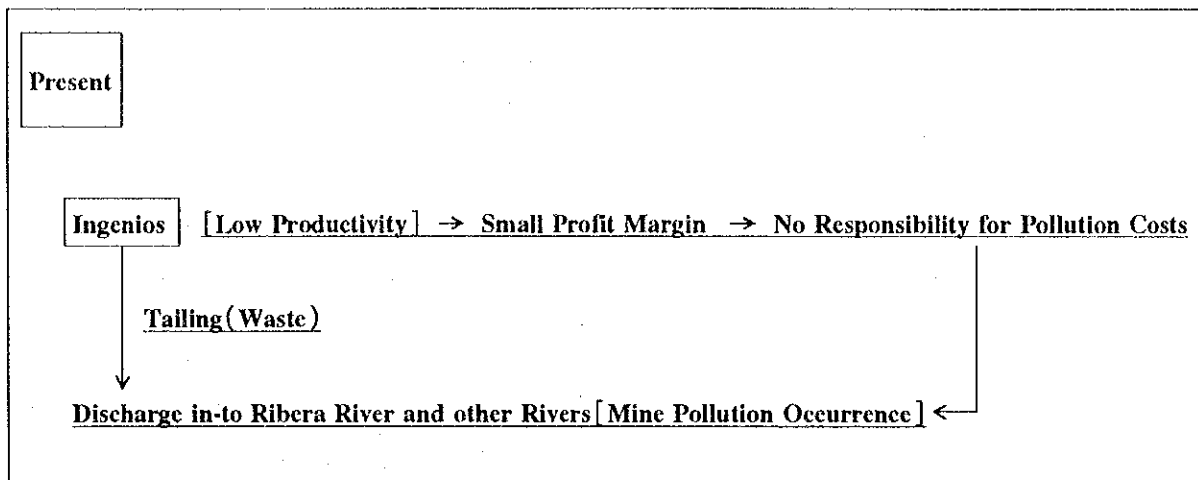


Figura 6 - 1 - 2 Política de prevención de contaminación debida a la actividad minera

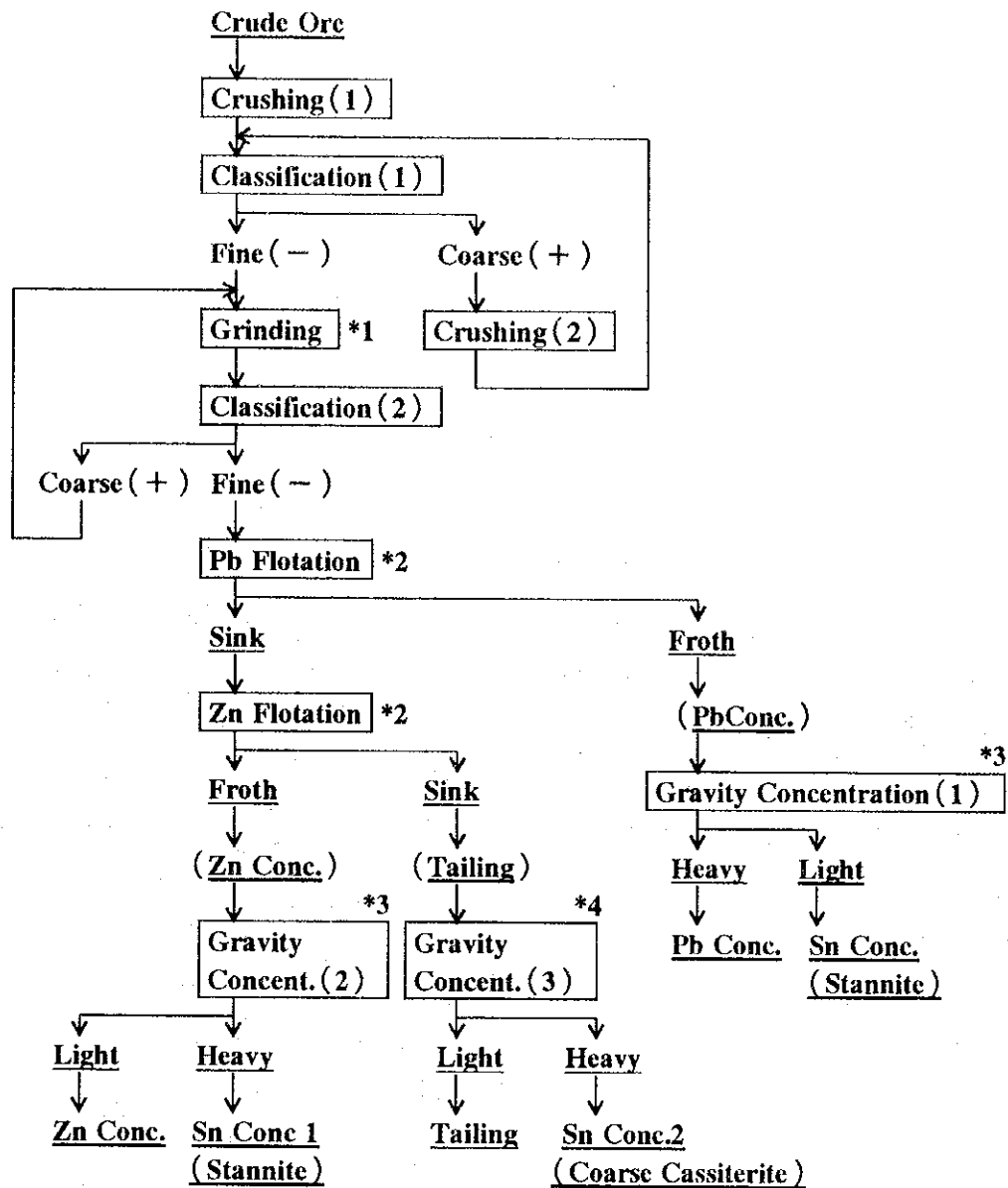


Figura 6 - 1 - 3 Medidas de mejoramiento de procesos en ingenios (Concept)

- As for recovery of Pb and Zn
 - *1 Improvement of grinding efficiency: making particle size of flotation optimum fine
 - *2 Extension of flotation time: increase of flotation pulp density, and revue of flotation reagents
- As for recovery of Sn
 - *3 Stannite may be recovered from Pb Conc. and Zn Conc.
 - *4 Liberated coarse size Cassiterite may be recovered from Pb/Zn flotation.

Mixed one stage neutralization
with mine acid water and
mineral processing alkaline water

or

One stage neutralization
with mine acid water

Two stage neutralization
with mine acid water

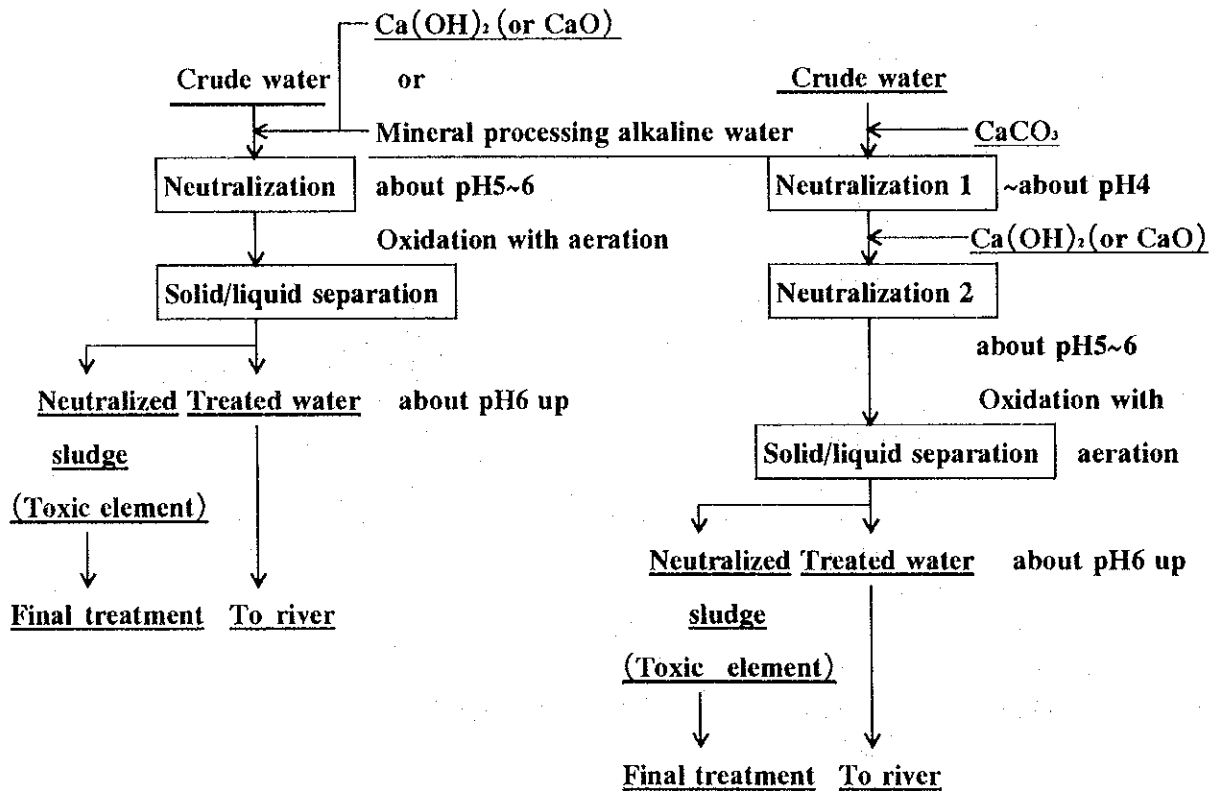


Figura 6 - 1 - 4 Neutralización de aguas acidas de origen minero

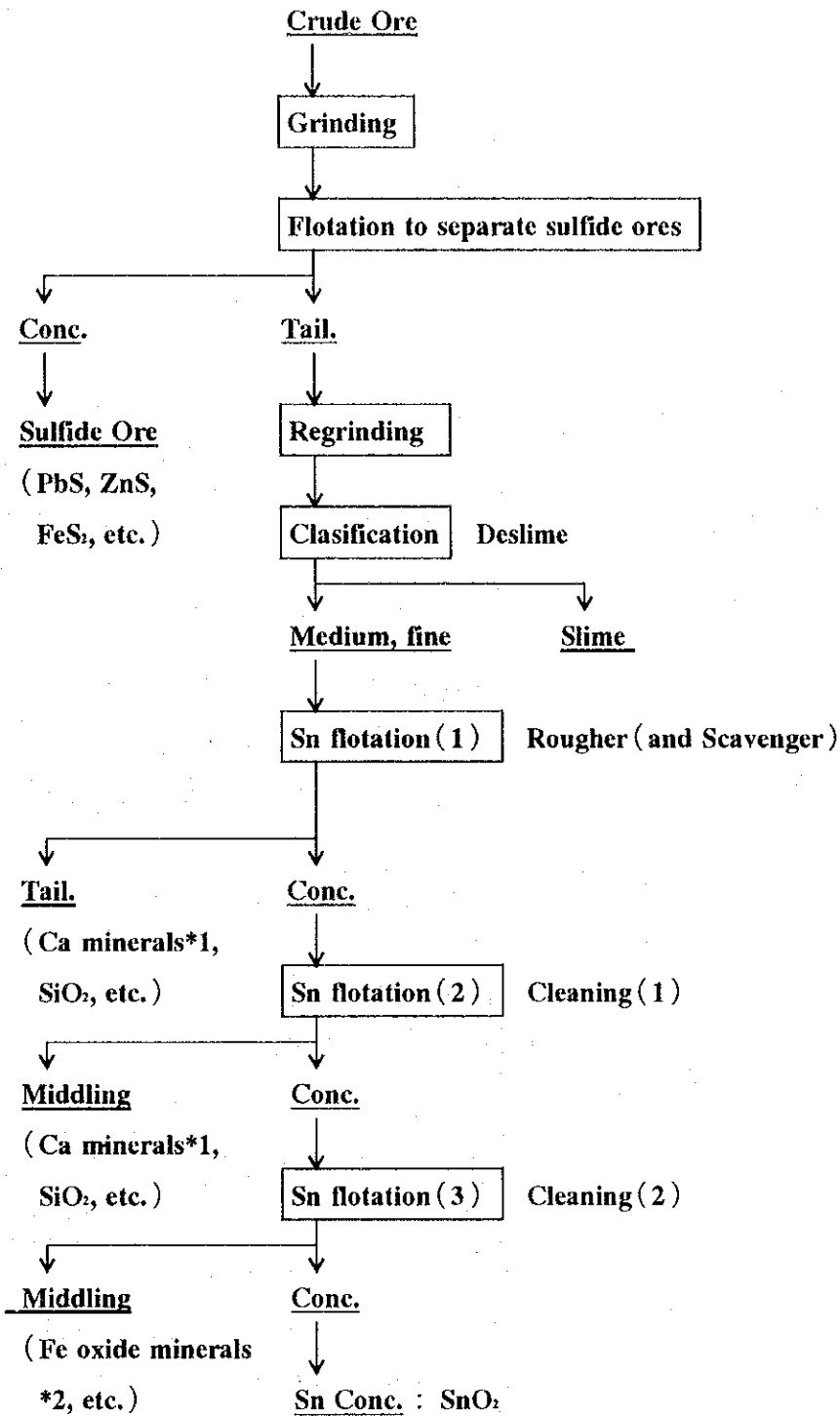


Figura 6 - 1 - 5 Diagrama de flujo para flotation de estano

Note *1: CaF, etc., *2: FeCO₃, etc.

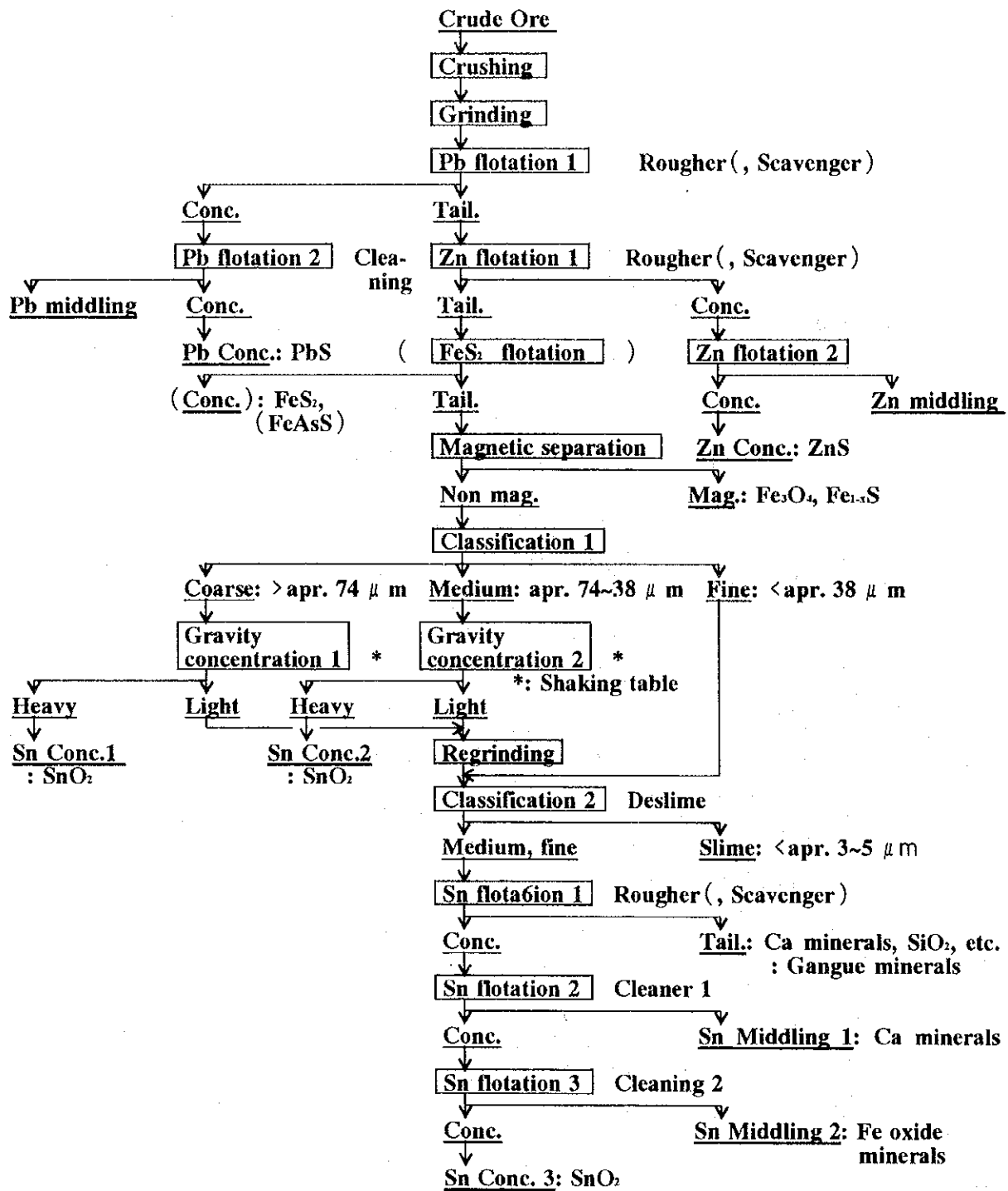
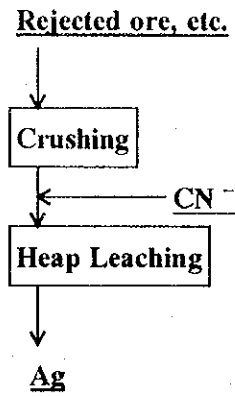


Figura 6 - 1 - 6 Diagrama de flujo de la planta concentradora modelo : Recovery of PbS, ZnS (both with Ag) and SnO₂

Proposal 1



Proposal 2

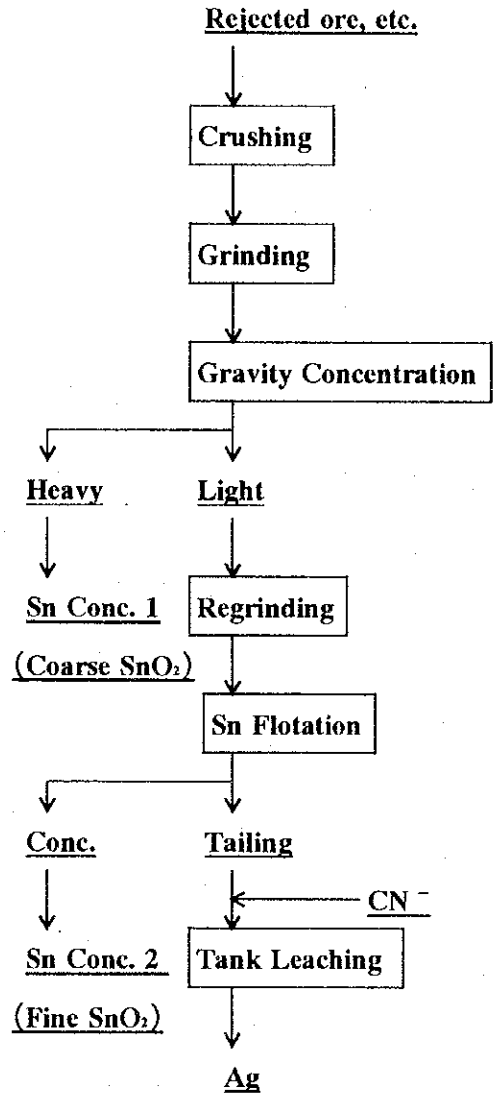


Figura 6-1-7 Recuperacion de metales valiosos de desmontes de minerales