

Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)

NO. 5

Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación  
República de Bolivia

**ESTUDIO DE EVALUACION DEL  
IMPACTO AMBIENTAL DEL  
SECTOR MINERO EN EL DEPARTAMENTO DE  
POTOSI, REPUBLICA DE BOLIVIA**

**INFORME FINAL  
(RESUMEN)**

**Septiembre, 1999**

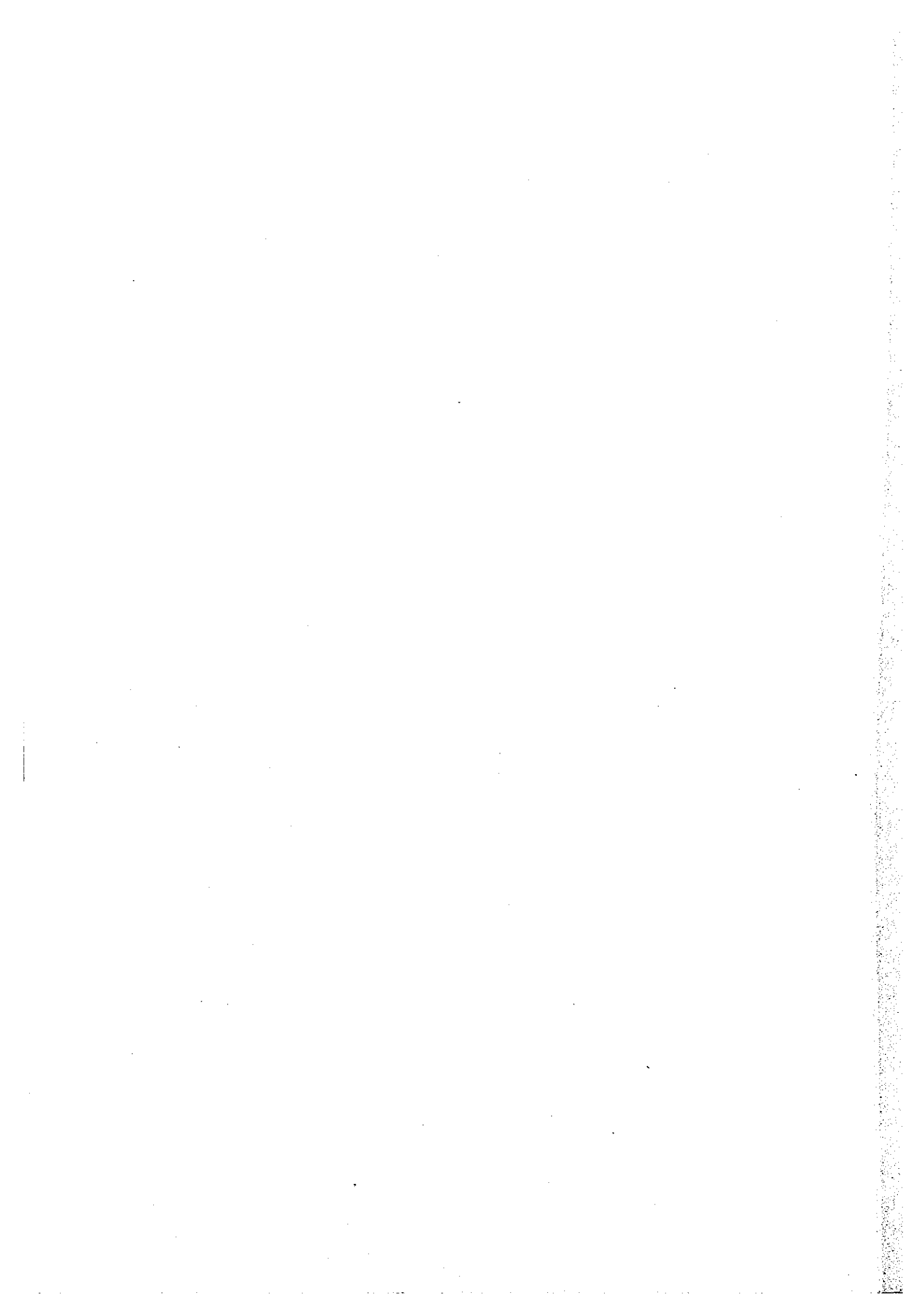
JICA LIBRARY



J 1152502 (9)

**mitsui mineral development engineering co., ltd.  
UNICO INTERNATIONAL CORPORATION**

MPN
JR
99-178



Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)

Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación  
República de Bolivia

ESTUDIO DE EVALUACION DEL  
IMPACTO AMBIENTAL DEL  
SECTOR MINERO EN EL DEPARTAMENTO DE  
POTOSI, REPUBLICA DE BOLIVIA

INFORME FINAL  
(RESUMEN)

Septiembre, 1999

MITSUI MINERAL DEVELOPMENT ENGINEERING CO., LTD.  
UNICO INTERNATIONAL CORPORATION



1152502 (9)

## INDICE

1.	Panorama	1
2.	Objetivos y Contexto del Estudio	1
2-1.	Objetivos y zona de estudio	1
2-2.	Contexto del estudio	2
3.	Aspectos Especiales de Potosí	3
4.	Situación de Contaminación	4
4-1.	Fuentes de contaminación	4
4-2.	Alcance y grado de daños ambientales	5
4-3.	Compilación de contaminación e impacto ambiental	5
5.	Fuentes de Contaminación y Mecanismo de Contaminación ...	6
5-1.	Fuentes de contaminación	6
5-2.	Mecanismo de contaminación debida a la actividad minera	8
6.	Análisis de Propuestas	9
6-1.	Plan de prevención de contaminación debida a la actividad minera	9
6-2.	Plan de gestión ambiental	10
7.	Capacitación y educación de recursos humanos	10
7-1.	Problemática	10
7-2.	Capacitación e instrucción	11
8.	Evaluación Económica y Financiera	11
8-1.	Evaluación financiera	11
8-2.	Evaluación económica	11
9.	Plan de Ejecución de Propuestas y Resultados Esperados	13
9-1.	Plan de Ejecución de Propuestas	13
9-2.	Resultados esperados al ejecutar las propuestas	14
	Agradecimientos	15
	Cuadros y Figuras	



## 1. Panorama

Por muchos años los recursos mineros han sido una fuente importante para la industria exportadora de la República de Bolivia. Durante épocas de bonanza de la actividad minera, alcanzó a existir más de mil minas en el país, concentrándose en las ciudades de La Paz, Oruro y Potosí. Sin embargo, a mediados de la década de los ochenta, debido a la brusca caída del precio del estaño y huelgas de los trabajadores del sector, gran parte de éstas debieron abandonar sus actividades.

Por otro lado, como consecuencia del insuficiente interés dedicado al tema del medio ambiente, la situación de la contaminación ambiental debida a la actividad minera se encuentra en una situación grave. Especialmente, dentro y zonas circundantes a la ciudad de Potosí, se observan cúmulos de desechos mineros y vertimiento de colas de minerales procesados, como producto de actividades en minas e ingenios. Adicionalmente, se observa el drenaje de aguas ácidas proveniente de galerías de minas en actividad e inactividad, contaminando los ríos que cursan por la ciudad, como De la Ribera y Huaynamayu; los cuales encausan hacia el río Pilcomayo, cuyo cauce abarca los países vecinos, Paraguay y Argentina, hasta desembocar al río de La Plata, siendo materia de problemas de contaminación de alcance internacional.

Ante esta situación, el gobierno boliviano solicitó asesoramiento al gobierno japonés para que realizara un estudio de evaluación de contaminación del sector minero en el departamento de Potosí.

Como respuesta a la mencionada solicitud, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) aceptó realizar el estudio teniendo como contraparte boliviana al Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, dentro de la zona que se muestra en la figura 1.

## 2. Objetivos y Contexto del Estudio

### 2-1. Objetivos y zona de estudio

#### 2-1-1. Objetivos del estudio

- ① Realización del estudio de impacto ambiental de la actividad minera en el departamento de Potosí.
- ② Propuesta de planes de monitoreo y gestión ambientales.
- ③ Propuestas políticas y técnicas para prevención y mitigación de contaminación debida a la actividad minera en la zona del estudio.

En forma particular, reconocimiento de la situación de contaminación de aguas debida a metales pesados y otros entre los ríos De la Ribera y Pilcomayo; asimismo, elaboración de propuestas de prevención de contaminación aplicando medidas sobre fuentes de contaminación. Adicionalmente, elaboración de un sistema de monitoreo ambiental y transferencia de tecnología relacionada a elaboración de medidas de prevención de contaminación debida a la actividad minera y planes de gestión ambiental, de modo que la parte boliviana pueda continuar la tarea de reconocimiento de la situación de calidad ambiental, así como elaborar y revisar las normas ambientales. (Ver figura 2)

## 2-1-2. Zona del estudio

La zona del presente estudio comprendió los cauces de los ríos De la Ribera desde su origen en la ciudad de Potosí, Aljamayu, Molino, Tarapaya y el río Pilcomayo desde la confluencia con el río Tarapaya hasta el punto bajo el puente Méndez, abarcando una distancia de 180 kilómetros aproximadamente. (Ver figura 3)

## 2-2. Contexto del estudio

### 2-2-1. Especialidades y miembros de misión del estudio

Hisamitsu Ooki	Jefe de Misión
Toshio Mori	Calidad de Aguas / Hidrología
Kiyoshi Nakamura	Geología Minera
Kenji Ito	Procesamiento de Minerales
Yoshihiro Tanaka	Tratamiento de Efluentes / Análisis Químicos
Ricardo Ortiz	Procesamiento de Datos / Estadística
Soichiro Kimura	Diseño de Planta
Yoshio Kosugi	Economía / Finanzas
Ken Yamauchi	Plan de Gestión Ambiental / Organización Ejecutiva

### 2-2-2. Contexto

#### 1) Calidad de aguas / hidrología

Reconocimiento de la contaminación de aguas; reconocimiento del mecanismo de contaminación; obtención de datos para la elaboración del modelo de simulación de calidad de aguas; y, transferencia de tecnología en métodos de monitoreo.

#### 2) Geología minera

Estudio de evaluación y estimación del potencial de recursos mineros del Cerro Rico de Potosí y recopilación de información relevante para el análisis económico financiero del sector minero en la zona.

#### 3) Procesamiento de minerales

Con el objeto de proponer alternativas que permitan la compatibilidad entre producción y protección ambiental; realización de pruebas de laboratorio en procesamiento de minerales para análisis pro mejoramiento de procesos que se aplican en la región; obtención de procesos óptimos para tratamiento de minerales del Cerro Rico de Potosí; recopilación de datos para diseño de plantas concentradoras modelo; y, transferencia de tecnología relacionada a pruebas de procesamiento de minerales en laboratorio e interpretación de resultados.



4) Tratamiento de efluentes / análisis químico

Estudio sobre fuentes de contaminación; pruebas de tratamiento de efluentes en función a mecanismos de contaminación reconocidos; y, transferencia de tecnología relacionada a métodos de tratamiento de efluentes y metodología de análisis de muestras de monitoreo ambiental.

5) Procesamiento de datos / estadística

Procesamiento de datos relacionados a la situación de contaminación y reconocimiento del mecanismo de contaminación; elaboración del banco de datos computarizado para el sistema de monitoreo ambiental; elaboración del modelo de simulación de calidad de aguas; y, transferencia de tecnología relacionada a procesamiento de datos estadísticos y manejo del modelo de simulación.

6) Diseño de planta

Diseño conceptual de planta concentradora modelo en función a los resultados de pruebas de procesamiento de minerales; estimación de presupuesto para construcción de: planta de tratamiento de colas para recuperación de estaño, planta concentradora integrada y planta de recuperación de metales económicamente valiosos remanentes en desmontes de minerales; y, transferencia de tecnología relacionada a diseño de planta y métodos de estimación de costos de construcción.

7) Economía / finanzas

Evaluación financiera para la construcción de planta concentradora modelo, planta de tratamiento de colas para recuperación de estaño, planta concentradora integrada y planta de recuperación de metales económicamente valiosos remanentes en desmontes de minerales; evaluación económica de la aplicación de medidas de mejoramiento ambiental; y, transferencia de tecnología relacionada a métodos de evaluación económica y financiera.

8) Plan de gestión ambiental / organización ejecutiva

Propuesta de gestión ambiental del sistema de monitoreo para la Prefectura del Departamento de Potosí; propuestas relacionada a estándares ambientales y de emisiones, así como organización ejecutiva para gestión ambiental; análisis económico ambiental; y, transferencia de tecnología relacionada a gestión ambiental y sistema de monitoreo.

3. Aspectos Especiales de Potosí

La estructura de la actividad minera en la zona del estudio del Departamento de Potosí es como se describe a continuación:

- ① Mina (extracción de minerales): Compañía Minera Pailaviri R.C., filial de COMIBOL de mediana escala y unas treinta pequeñas agrupaciones denominadas Cooperativas Mineras.

② Ingenios (procesamiento de minerales): Alrededor de 42 ingenios donde procesan minerales a mediana y pequeña escala.

#### 4. Situación de Contaminación

##### 4-1-1. Fuentes de contaminación

Como resultado de los estudios llevados sobre posibles fuentes de contaminación, se verificaron principalmente, la presencia de drenaje ácido de minas, emanaciones de aguas ácidas provenientes de infiltraciones sobre desmontes de minerales y sucus apilados en la superficie y vertimiento de colas alcalinas de procesamiento de minerales provenientes de ingenios.

El pH de aguas ácidas oscila entre 2 y 4, encontrándose gran variabilidad entre fuentes y siendo afectado estacionalmente por las lluvias que caen sobre ellas. (Ver figura 4)

##### 4-1-2. Situación de contaminación

En las zonas descritas arriba, se realizaron tomas de muestras durante el periodo de un año; estableciendo 25 puntos de monitoreo en la zona principal del estudio. De entre los cuales se habilitaron dos puntos para realizar monitoreo permanente. (Ver figura 5)

En el cauce del río Tarapaya la principal fuente de contaminación en este cauce son los S.S. conteniendo metales pesados, producto de vertimiento de colas de características alcalinas por los ingenios sin previo tratamiento. Por otro lado, los drenajes ácidos de mina y emanaciones de infiltraciones en desmontes de minerales y sucus. Estos contaminantes son aportados por el río De la Ribera al cual se vierten las colas los ingenios; y por otro lado, el río Huaynamayu entre otros que reciben drenaje ácido de minas y emanaciones de infiltraciones en desmontes de minerales y sucus.

Ha sido posible reconocer una zona donde prevalecen los cambios de tipo químico y otra de cambios físicos. Es decir, en la zona comprendida entre la naciente de los ríos que se originan en el Cerro Rico de Potosí y el punto de confluencia entre los ríos De la Ribera y Korimayu, se observan grandes cambios químicos debido a la mixtura de aguas con características opuestas originando una serie de reacciones químicas. Por otro lado, aguas abajo de esta confluencia hasta el río Pilcomayo bajo el puente Méndez, prevalecen los cambios de tipo físico, debido al transporte y arrastre de materiales sólidos por fuerzas hidráulicas. (Ver figura 6)

Los materiales contaminantes representativos detectados en el río De la Ribera son: cadmio en concentraciones aproximadas que oscilan entre 16 y 24ppm; zinc 1.000ppm; cobre 200ppm; y, iones sulfato 31.000ppm; entre otros en medios ácidos que varían entre 2,2 y 2,3 de pH. Por otro lado,

materiales sólidos con tamaño de partícula entre 25 y 200 micras, conteniendo metales pesados en medio alcalino, con una densidad de sólidos entre 10 y 15%.

El transporte de S.S. en el río De la Ribera es aproximadamente de 1.200 toneladas/día en la ciudad de Potosí y 1.700 toneladas/día en San Antonio. Este factor en Molino y Mondragón son 950 y 400 toneladas/día respectivamente. Como correlación a ello, se tiene que el vertimiento de colas de los ingenios entre 1.000 a 1.300 toneladas secas/día. De ello, es posible estimar que prácticamente los S.S. son originados por actividades de los ingenios.

De estas cifras se infiere que, entre San Antonio y Molino se acumulan 750 toneladas/día; y, entre Molino y Mondragón 550 toneladas/día de S.S. en el lecho de los ríos.

Por otro lado, durante periodo de estiaje disminuyen los caudales y contenido de S.S. en los ríos. En contraste, en periodo de lluvias, aumenta drásticamente la concentración de S.S. De ello se infiere que los sedimentos acumulados durante estiaje son arrastrados bruscamente por incrementos abruptos de caudal.

Cuantificando la carga de metales pesados en el cauce del río Tarapaya se tiene: arsénico: 300 Kg/día; cadmio: 80 a 100 Kg/día; plomo: 2 toneladas/día; zinc: 20 a 30 toneladas/día; estaño: 2 a 4 toneladas/día.

#### 4.2. Alcance y grado de daños ambientales

Ubicación	Observación	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Villamontes	Cerca de la Argentina	2,11	13,31
Puerto Margarita	Entre Villamontes y Yukimbía	7,76	35,64
Yukimbía	Cerca de Potosí	6,82	33,48

#### 4.3. Compilación de contaminación e impacto ambiental

Tomando en cuenta los antecedentes de impacto descritos arriba, se puede clasificar los principales impactos causados por la cuenca del río Pilcomayo como sigue:

##### 4-3-1. Impacto social

- Pobreza ocasionada por la dificultad o la imposibilidad de mantener las actividades productivas tradicionales.
- Migración ocasionada por la pobreza, principalmente en las épocas de invierno y primavera donde hay mayor escasez de agua y son mayores los riesgos de contraer serias enfermedades relacionadas con la digestión.
- Debilitamiento estructural de organizaciones sociales tradicionales debido a la pobreza y la migración.

#### 4-3-2. Impacto económico

- Disminución e inestabilidad de la capacidad productiva en pesca, agricultura y ganadería.
- Disminución de actividad económica debida a la escasez de recursos humanos.
- Disminución de importancia económica y política de los sectores agrícolas de la cuenca del río Pilcomayo.

#### 4-3-3. Impacto ambiental

- Acumulación de metales pesados, tóxicos y elementos químicos en los lechos de ríos y su influencia en la cadena alimenticia.
- Aumento de sólidos en suspensión en el río Pilcomayo.
- Incremento de inestabilidad del ecosistema por los factores de disturbio (naturales y humanos).

### 5. Fuentes de Contaminación y Mecanismo de Contaminación Debida a la Actividad Minera

#### 5-1. Fuentes de contaminación

A continuación se presentan las fuentes de contaminación reconocidas en el estudio. (Ver figura 7)

##### 5-1-1. 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 ( $\text{SO}_4$ ), 31.000mg/l y la proporción ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 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.

##### 5-1-2. 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.

##### 5-1-3. 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.

#### 5-1-4. 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.

#### 5-1-5. 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.

#### 5-1-6. Emanaciones de pilas de lixiviación de plata

Una de las plantas de lixiviación de plata de Potosí es PLAIHPO, 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.

#### 5-1-7. 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. Últimamente, 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:  $\text{SnO}_2$ ). Posteriormente, inician el proceso de recuperación de minerales de plomo y zinc mediante flotación de minerales sulfurados de plomo (galena:  $\text{PbS}$ ) y zinc (esfalerita:  $\text{ZnS}$ ). 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 un menor tamaño 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 vertidas 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 remanentes económicamente valiosos.

En el cuadro que se muestra a continuación se muestran los resultados. (Ver figura 8)

Clasificación	Fuentes de Contaminación		Contaminante
Característica del fuente	Efluentes de origen minero	Drenaje ácido de mina	Acidez, metales pesados en solución
		Emanaciones de infiltraciones en desmontes	Acidez, metales pesados en solución
		Emanaciones de infiltraciones en depósito de colas	Acidez, metales pesados en solución
	Efluentes residuos de ingenios	Efluentes alcalinos contenidos en colas de ingenios	Alcalinidad, reactivos químicos usados en flotación de minerales
Sólidos contenidos en colas de ingenios		Partículas sólidas de metales pesados	
Comportamiento del río	Fenómeno químico	Reacciones de neutralización (disminución de acidez, neutralización ó incremento de alcalinidad)	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

## 5-2. Mecanismo de contaminación debida a la actividad minera

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 debido a la disolución de metales por lluvias. Además, los minerales de los depósitos son transportados por la acción del viento, causando contaminación ambiental. Estos son los constituyentes de contaminación debida a efluentes ácidos de mina.

En la parte Este, Noreste y Sudeste del Cerro Rico de Potosí existen grandes y variados cúmulos de desmontes de minerales denominados "sucos". La magnitud de éstos son 32.000, 400.000 y 90.000Km<sup>2</sup> 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. Por otro lado, de la bocamina denominada Real Socavón dreña aguas ácidas del interior de la mina. Del mismo modo, al lado Este del Cerro 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.

#### 5-2-2. Mecanismo de contaminación de aguas de los ríos

Como describiera adelante, 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. con metales pesados remanentes y aguas alcalinas conteniendo reactivos de flotación.

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.

Al analizar la relación entre concentraciones de metales en S.S. y sedimentos de los ríos, se observa mayores valores para los sedimentos; del cual se infiere que ocurre sedimentación de precipitados producidos en la reacción de neutralización.

### 6. Análisis de Propuestas

#### 6-1. Plan de prevención de contaminación debida a la actividad minera

A continuación, se detalla el caso específico para la zona de estudio.

##### 6-1-1. Propuestas de prevención de contaminación debida a la actividad minera

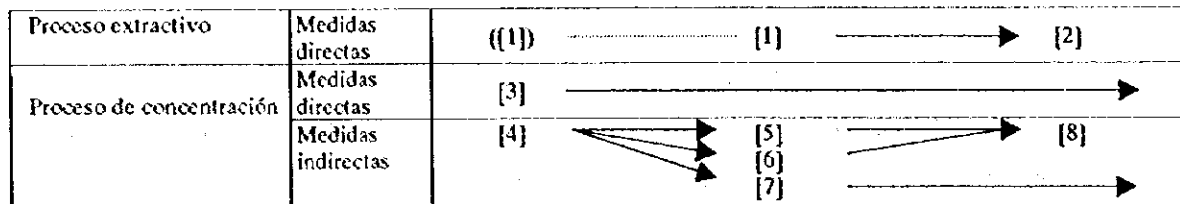
A continuación se presenta la lista de propuestas para prevenir la contaminación ocasionada por la actividad minera en Potosí.

- Suspensión de vertimiento de colas a los ríos por los ingenios
- Mejoramiento de procesos productivos en los ingenios
- Tratamiento de aguas ácidas de minas y emanaciones de desmontes de minerales y sucus
- Capacitación e instrucción de personal
- Tratamiento de colas de procesamiento de minerales y reciclaje de agua de procesos
- Instalación de planta de tratamiento de colas de los ingenios para recuperación de metales remanentes
- Instalación de planta concentradora modelo

- Recuperación de metales valiosos remanentes en desmontes de minerales y sucus
- Refuerzo del sistema de monitoreo
- Instalación de planta concentradora integrada
- Establecimiento de centro de investigaciones ambientales y de seguridad

### 6-1-2. Plan de acciones para prevención de contaminación debida a la actividad minera

A continuación se muestra el diagrama de correlación de las medidas propuestas en la sección 6-1.



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] 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

En la figura 9 se muestra el mecanismo de contaminación debida a la actividad minera y los métodos de su prevención/mitigación.

## 6-2. Plan de gestión ambiental

### 6-2-1. Mejoramiento del medio ambiente

Desde el punto de vista de gestión ambiental, se detalla a continuación, ítems básicos de ésta.

- (1) Elaboración de sistema de monitoreo para reconocimiento de la situación de contaminación.
- (2) Aplicación eficiente de legislación concerniente a emisión de residuos.
- (3) Refuerzo a organizaciones públicas, empresariales y privadas relacionadas con asuntos ambientales.
- (4) Establecimiento de índices ambientales con el objeto de fomentar la participación de la población.
- (5) Capacitación y educación de recursos humanos.

## 7. Capacitación y educación de recursos humanos

### 7-1. Problemática

- Falta de "conscientización" de la población sobre la contaminación ambiental debida a la actividad



minera en Potosí.

- Insuficiencia tecnológica para prevención de contaminación en los procesos productivos de minas e ingenios.
- Dificultad de asumir costos de prevención de contaminación debido a escaso margen de utilidad económica en ingenios.
- Insuficiencia del sector ejecutivo en asuntos ambientales para llevar a cabo programas de gestión ambiental y sistema de monitoreo.
- Escasa experiencia en la aplicación de tecnología relacionada a gestión ambiental.
- Insuficiente infraestructura para llevar a cabo un sistema de monitoreo integral.

## 7-2. Capacitación e instrucción

Con la finalidad de resolver la problemática descrita, es necesario ejecutar un programa de capacitación e instrucción involucrando a las siguientes instituciones:

- Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación
- Dirección de Recursos Naturales de la Prefectura del Departamento de Potosí
- Organismo ejecutivo de asuntos ambientales de la Municipalidad de Potosí
- Facultades de Minería y Química de la Universidad Autónoma Tomás Frías
- Empresas y Cooperativas Mineras, Asociación de Ingenios
- Organizaciones no gubernamentales relacionados a asuntos ambientales
- Otras instituciones y organizaciones vinculados a protección ambiental

## 8. Evaluación Económica y Financiera

### 8-1. Evaluación financiera

Se realizaron evaluaciones comparativas de casos "con" y "sin" proyecto para los siguientes proyectos caso.

#### Detalle de Proyectos Caso

Caso	Proyecto	Período de planeamiento
A	Mejoramiento de procesos en Ingenios existentes	Corto
B	Construcción de planta de recuperación de estaño	Mediano
C	Construcción de planta concentradora integrada	Largo

#### Resultados de Tasa Interna de Retorno Financiero (Unidad: %)

TIRF	Case A	Case B	Case C
Antes de impuestos	46,72	0,22	14,26
Después de impuestos	36,66	0,22	12,59

### 8-2. Evaluación económica

La evaluación económica se realizó tomando en cuenta los costos de oportunidad perdidos en los sectores agrario y ganadero.

Proyecto	Item
D-1	La cuenca del río Pilcomayo en su integridad para el Departamento de Potosí
D-2	La cuenca del río Pilcomayo limitado para el Departamento de Potosí
E-1	La cuenca del río Pilcomayo en su integridad incluyendo a los otros departamentos
E-2	La cuenca del río Pilcomayo limitado incluyendo a los otros departamentos

### 8-2-1. Cálculo del Costo de Oportunidad en el Sector Agrícola

	Potosi	Chuquisaca
<b>1) Wide Area of Pilcomayo River</b>		
-Arable Land (10 <sup>3</sup> ha)	116	149
-Difference of Agriculture Production (Bs/ha)	370	434
-Wide Arable Land of Pilcomayo (10 <sup>3</sup> ha)	42.2	89.1
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> Bs, 1993)	15,623	38,669
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1993)	3,659	9,056
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1998)	4,240	10,496
-Net Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1998)	1,060	1,312
(Contribution Rate)	(25%)	(12.5%)
<b>Limited Basin of Pilcomayo River</b>		
-Existing Arable Land (ha)	1,537 (81%)	3,246 (81%)
-Newly Available Land (ha)	361 (19%)	761 (19%)
Total of Basin	1,898 (100%)	4,007 (100%)
-Amounts of Opportunity Loss (1993)		
-Existing (10 <sup>3</sup> Bs)	569	1,409
-Newly (10 <sup>3</sup> Bs)	622	1,311
-Total (10 <sup>3</sup> Bs)	1,191	2,720
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1993)	279	637
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1998)	323	738
-Net Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1998)	162	185
(Contribution Rate)	(50%)	(25%)

### 8-2-2. Cálculo del Costo de Oportunidad en el Sector Ganadero

	Potosi	Chuquisaca	Tarija
<b>1) Wide Area of Pilcomayo River</b>			
-Annual Breeding Production (10 <sup>3</sup> Bs, 1993)	33,807	95,904	59,526
-Basin Area (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	43.0 (36.4%)	30.8	24.6
		(59.8%)	(65.4%)
Non-pollution	21.5 (18.2%)	15.4	12.3
		(29.9%)	(32.7%)
Pollution	21.5 (18.2%)	15.4	12.3
(Assumed as reduction of productivity by half)		(29.9%)	(32.7%)
-Out of Basin Area (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	75.2 (63.6%)	20.7	13.0
		(40.2%)	(34.6%)
-Available Area (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	96.7 (81.8%)	36.1	25.3
		(70.1%)	(67.3%)
-Average Breeding (Bs/km <sup>2</sup> )	350	2,657	2,353
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> Bs, 1993)	7,525	40,918	28,942
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1993)	1,762	9,583	6,778
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1998)	2,042	11,107	7,856
-Net Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1998)	511	1,388	982
(Contribution Rate)	(25%)	(12.5%)	(12.5%)
<b>2) Limited Basin of Pilcomayo River</b>			
-Polluted Basin (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	4.30	3.08	2.46
20% of item 1)			
-Average Breeding (Bs/km <sup>2</sup> )	350	2,657	2,353
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> Bs, 1993)	1,505	8,184	5,788
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1993)	352	1,917	1,356
-Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1998)	408	2,221	1,571
-Net Amounts of Opportunity Loss (10 <sup>3</sup> \$, 1998)	204	555	393
(Contribution Rate)	(50%)	(25%)	(25%)

### 8-2-3. Tasas Internas de Retorno Económico (TIRE)

El caso base (resultados al obtener mejoramiento integral de calidad de aguas) ha sido evaluado en función al área de alcance del impacto. Es decir, caso C: solamente instalación de planta concentradora integrada, caso D-1: impacto sobre cuenca total del departamento de Potosí, caso D-2: impacto sobre cuenca parcial del departamento de Potosí, caso E-1: impacto sobre cuenca total (tres departamentos) y caso E-2: impacto sobre cuenca parcial (tres departamentos).

#### 1. Base Case: Results in case water improvement is completely attained (Unit: %)

No.	Project Case	Overall Case (TIRE 1)	Single Case (TIRE 2)
C	Integrated Plant	14.26	—
D-1	Wide Area of Pilcomayo in Potosí	13.83	11.42
D-2	Limited Basin of Pilcomayo in Potosí	11.78	Negative
E-1	Wide Area of Pilcomayo in All the Prefectures	19.29	48.77
E-2	Limited Basin of Pilcomayo in All the Prefectures	13.69	9.12

El caso C es coincidente con la evaluación financiera del caso de construcción de planta concentradora integrada.

El "overall case" se refiere a los casos incluyendo la planta integrada y "single case" se refiere a los casos sin incluirla.

Del cuadro se concluye que los beneficios que se obtienen del proyecto de construcción de planta integrada hacen factibles los proyectos caso, siendo las tasas de retorno mayores al abarcar los tres departamentos en conjunto.

## 9. Plan de Ejecución de Propuestas y Resultados Esperados

### 9-1. Plan de Ejecución de Propuestas

Las medidas que deben adoptarse para el mejoramiento de la situación de contaminación debida a la actividad minera en el Departamento de Potosí, clasificando en corto (medidas que deben adoptarse urgentemente), mediano y largo plazo (medidas que deben adoptarse en forma permanente); de acuerdo al grado de urgencia y capacidad de financiamiento que se requieren. Estas medidas, si bien pueden adoptarse en forma independiente, debido a las relaciones mutuas que existen entre ellas, es posible obtener mejoramientos en forma integral. La consecución de éstos en forma sistemática será posible mediante la instalación del centro de investigaciones de asuntos ambientales y seguridad. (Ver cuadros 1 y 2)

#### 9-1-1. Acciones que se deberán tomar a corto plazo (urgente)

- Erradicación de vertimiento de colas de los ingenios a los ríos: ①
- Mejoramiento de procesos en los ingenios: ②
- Formación de Sistema de Monitoreo: ③

- Programa de capacitación e instrucción de recursos humanos: ④

#### 9-1-2. Acciones que se deben adoptar a mediano plazo

##### (1) Acciones que se deben adoptar durante la primera mitad del mediano plazo

- Medidas de prevención de contaminación por efluentes ácidos: ⑤
- Establecimiento de sistema de gestión ambiental, normas de calidad de emisiones y sanciones: ⑥
- Reforestación de antiguos depósitos de colas: ⑧
- Programa de capacitación e instrucción: ④

##### (2) Acciones que se deben tomar durante la segunda mitad de mediano plazo

- Instalación de planta de tratamiento de colas y planta de reciclaje de agua de rebose: ⑨

#### 9-1-3. Acciones que se deben adoptar a largo plazo

- Relleno de galerías con colas de ingenios: ⑨
- Instalación de planta concentradora integrada: ⑩
- Establecimiento de sistema de monitoreo para la cuenca del río Pilcomayo: ③
- Programa de capacitación e instrucción: ⑫

#### 9-1-4. Establecimiento de centro de investigaciones

Con el objeto de ejecutar de modo sistemático y eficiente las propuestas de prevención y mitigación de contaminación debida a la actividad minera; elaboración de plan de gestión ambiental y sistema de monitoreo integral; asimismo los programas de capacitación e instrucción relacionados a estos temas, se recomienda el establecimiento del centro de investigaciones, donde se puedan centralizar las actividades.

#### 9-2. Resultados esperados al ejecutar las propuestas

Un caso representativo para estimar el estado de mejoramiento al ejecutar las propuestas que se presentan en el presente informe es el caso del cadmio. (Ver figura 10)

Actualmente se vierten 36 toneladas de cadmio al año a la cuenca del río Tarapaya. Se estima que esta carga podría ser reducido por debajo de 4 toneladas al año al aplicar las medidas propuestas. Es decir una reducción del 89%.

Es posible estimar resultados similares para otros metales pesados. Por otro lado, el mejoramiento de pH a niveles neutros y la carga de sólidos en suspensión prácticamente a cero (por debajo de niveles permisibles de acuerdo a normas ambientales).

## Agradecimientos

Con la presentación del presente informe se ha culminado un estudio que abarcó desde septiembre de 1997 hasta septiembre de 1999. Como producto del mismo se ha presentado propuestas para mejoramiento ambiental clasificándolos en medidas que se deben adoptar a corto, mediano y largo plazo; siendo deseable el estado en que se cuente con una planta concentradora que integre en un punto las actividades de producción que se lleva a cabo en los ingenios, construida adyacente al DCSA que se encuentra en estado de proyecto; y que la viabilidad de éstos se plasme con los estudios que se lleve a cabo en el centro de investigaciones que se recomienda establecer.

Sin embargo, este estudio no hubiese sido satisfactorio de ser por a arduos apoyo y colaboración que recibimos de la Contraparte Boliviana compuesta por el Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación; Dirección de Recursos Naturales de la Prefectura del Departamento de Potosí; y la Universidad Autónoma Tomás Frías. Asimismo, de instituciones y organizaciones como Asociación de Ingenios; Cooperativas Mineras; Empresa Minera Unificada de Pailaviri R.C.; Corporación Minera de Bolivia; AAPOS; Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Potosí; Servicio Nacional de Geología y Minería; Empresa Metalúrgica Vinto; Programa Ex-PACC; entre otras que hayamos omitido sin intención de nuestra parte. Nuestros sinceros agradecimientos a todas ellas.

De modo especial presentamos nuestros agradecimientos a Sra. Neisa Roca, Viceministra de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación; Ing. Daniel Oropeza, Prefecto del Departamento de Potosí; Lic. Luis Salazar, Director de Recursos Naturales del Departamento de Potosí; Ing. Germán Lizarazú, Rector de la Universidad Autónoma Tomás Frías; y a los miembros ejecutivos de la Contraparte Boliviana: Ing. Douglas Davis, Ex-Prefecto del Departamento de Potosí y Director de COMIBOL; Ing. Edgar López, Ing. Salustio Gallardo e Ing. Víctor Arancibia de la Dirección de Recursos Naturales de la Prefectura del Departamento de Potosí; Ing. Heriberto Rizzo, Ing. Freddy Llanos, Ing. Waldo Aramayo; Ing. Iver Mita, Ing. Javier Flores, Ing. José Luis Delgado y de modo post mortum al Ing. Víctor Isla (Q.E.P.D.) de la Universidad Autónoma Tomás Frías; e ingenieros Ballón, Rioja y Rendón del VMRNMADE. Y demás personas que hemos pecado en omitir. Muchas gracias a todos. Del mismo modo, sin restarle méritos por referirnos al final, a las personas del Hostal Libertador, que nos sirviera de cobija y de vez en cuando como nuestro centro de labores durante nuestra estadía en Potosí.

Misión de Estudio  
Septiembre de 1999

Table 1. Proposals Execution Plan

	Proposal	Short Term	Mid Term	Long Term
1. Mining pollution prevention plan	① Tailings drainage suspension			↑
	② Process improvement at ingenios			↑
	③ Acid effluents treatment (mines and waste deposits)			↑
	④ Minerals waste deposits forestation			↑
	⑤ Tailings (from ingenios) treatment plant			↑
	⑥ Integrated concentration plant			↑
	⑦ Value metals recovery from mineral wastes			↑
	⑧ Monitoring system organization			↑
	⑨ Environmental laws and regulations review			↑
	⑩ Pileomayo basin monitoring system			↑
2. Environmental management plan	① Training and instruction program			↑
	② Activities related to mining pollution prevention plan	① Technical and financial analysis on tailing treatment plant and water recycling system	① Follow up and consulting	
		② Technical and financial analysis on mineral process items	② Follow up and consulting	
3. Research Center activities		③ Technical and financial analysis on effluents treatment	③ Follow up and consulting	
		④ Technical and financial analysis on forestation items	④ Follow up and consulting	
		⑤ Technical and financial analysis on tailings treatment	⑤ Follow up and consulting	
		⑥ Technical and financial analysis on integrated plant construction	⑥ Follow up and consulting	
		⑦ Technical and financial analysis on value metals recovery from mineral wastes	⑦ Follow up and consulting	
		⑧ Introduction of monitoring system and simulation techniques (progressive improvement)		
		⑨ Environmental law and regulation review, environment white paper formation, environment indexes application, environmental executive organization improvement, training and instruction program execution (progressive improvement)		
		⑩ Establishment of policy and progressive improvement of Pileomayo basin integral monitoring system		

Origin	Source	Mechanism	Contaminant	Flow	Cd Charge	Cd form	pH	Measurement
1. Concentration plants Tailings	Non liberated miners	Sludge with metals	6,000ton/d*1	67.5Kg/d*2	SS	11 a 12	1.Process improvement 2.DCSA (KfW)	
	Flotation reagents	Reagents and alkali	69lit/s				3.Environment analysis equip. 4.Monitoring equipment 6.Research center 7.Tailings treatment 8.Effluent recycling 11.Integrated plant	
2. Mine galleries	Rain, filtration	Generation of acids	Solved metals	777ton/d*3	7.8Kg/d*4	ion	1 a 2	5.Acid effluent treatment 2.DCSA (KfW)
	Metal leaching	Acid water	9lit/s	(10mg/lit)			3.Environment analysis equip. 4.Monitoring equipment 6.Research center	
3-1 Waste rocks	Rain	Generation of acids	Solved metals	Estiaje:4.320ton/d*5	9.5Kg/d*6	ion	2 a 3	5.Acid effluent treatment 9.Afforestation 10.Filling mines/tailings 2.DCSA (KfW)
		Metal leaching	Acid water	50lit/s	(2.2mg/l)			3.Environment analysis equip. 4.Monitoring equipment 6.Research center
	3-2 Old tailing deposits	Rain	Generation of acids	Solved metals	Rain			
		Gravimetry of Sn	Metal leaching	Acid water				
	3-3 Old tailing deposits	Rain	Generation of acids	Remanent metals				
		Flotation of Zn, Pb		Alkaline water				
	4. Population	Medius vivendi	Waste	Organics, bacteria Ammonium, etc.	13.478ton/d 156lit/s			
		Total (San Antonio)				99Kg/d*7 (2.53mg/l)	Principal. S.S.	6 a 12
	Environment standart					(0.005mg/l)		

Table 2. Pollution Situation at Potosi and its Solution Measurements

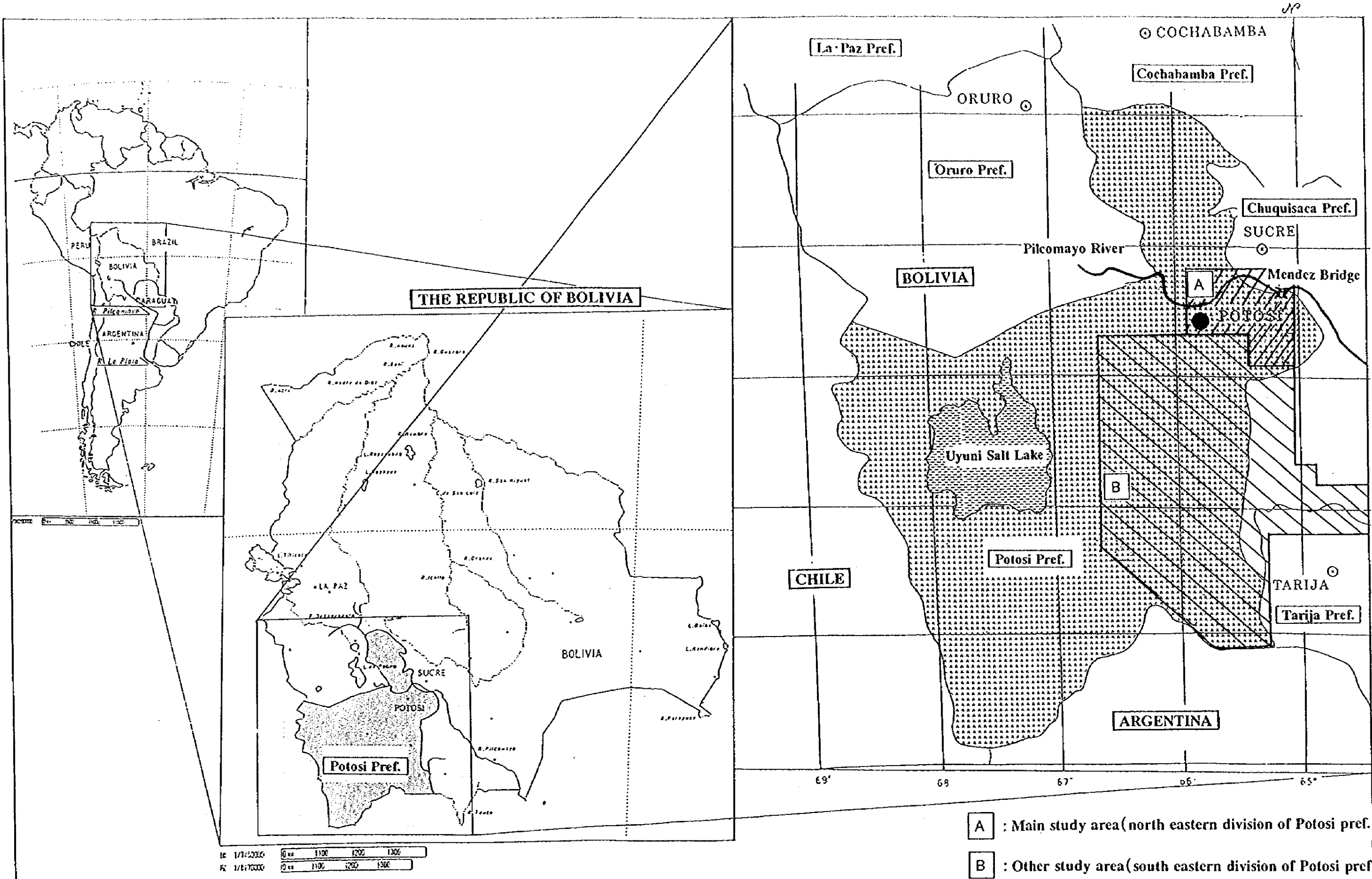


Figure 1 Location Map of The Study on Evaluation of Environmental Impact of Mining Sector in Potosi Pref.



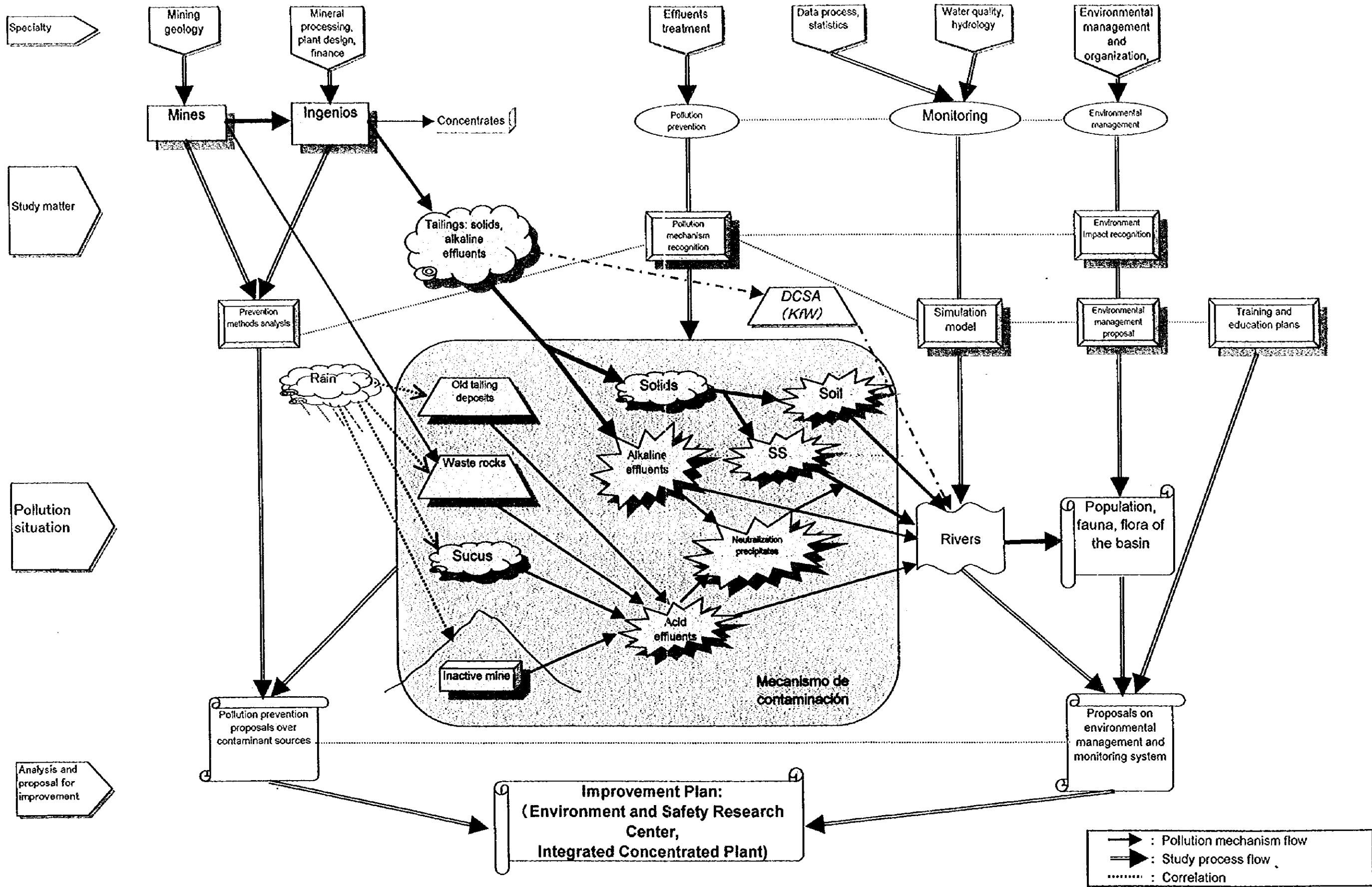


Figure 2. Study Context

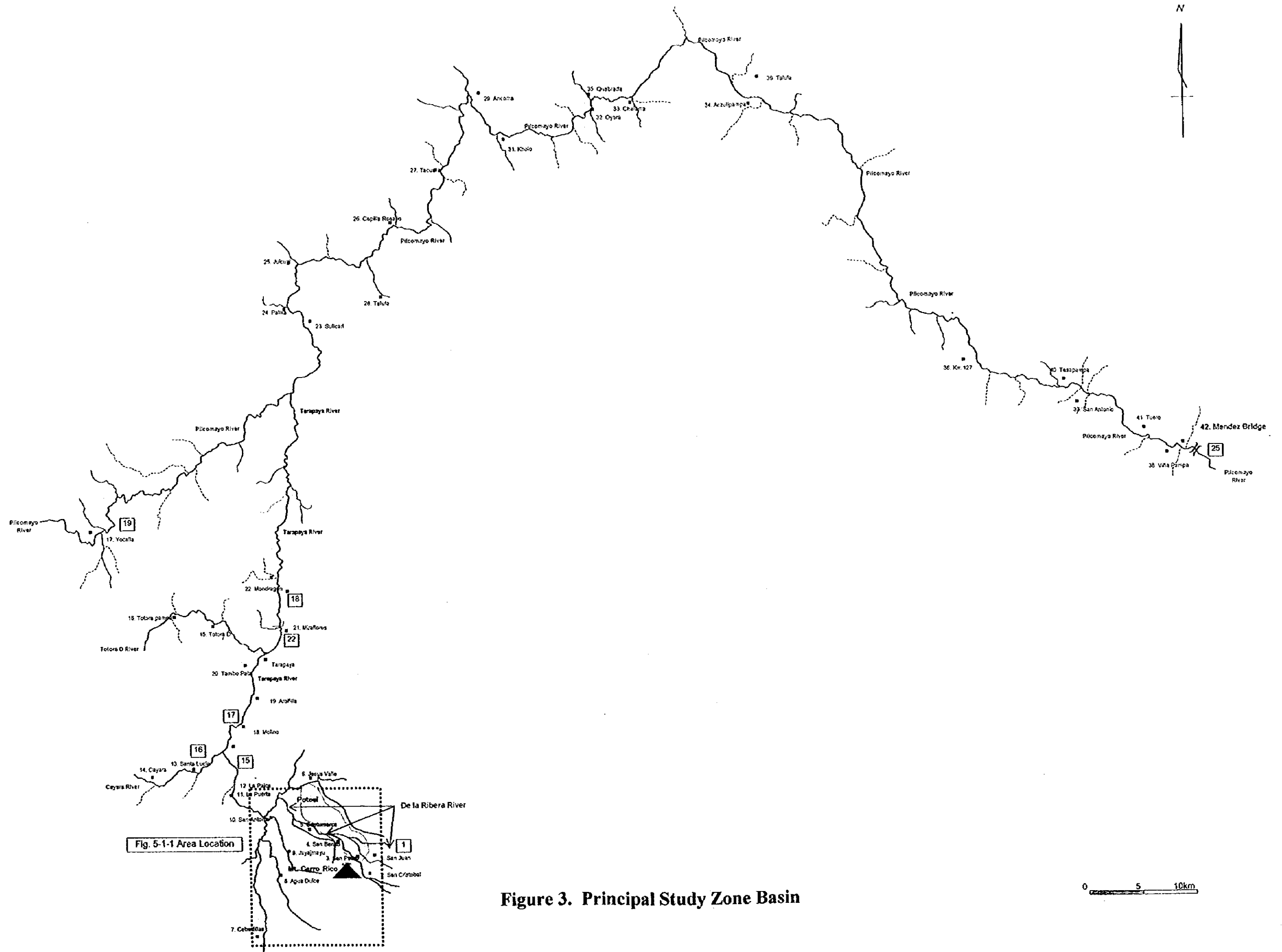
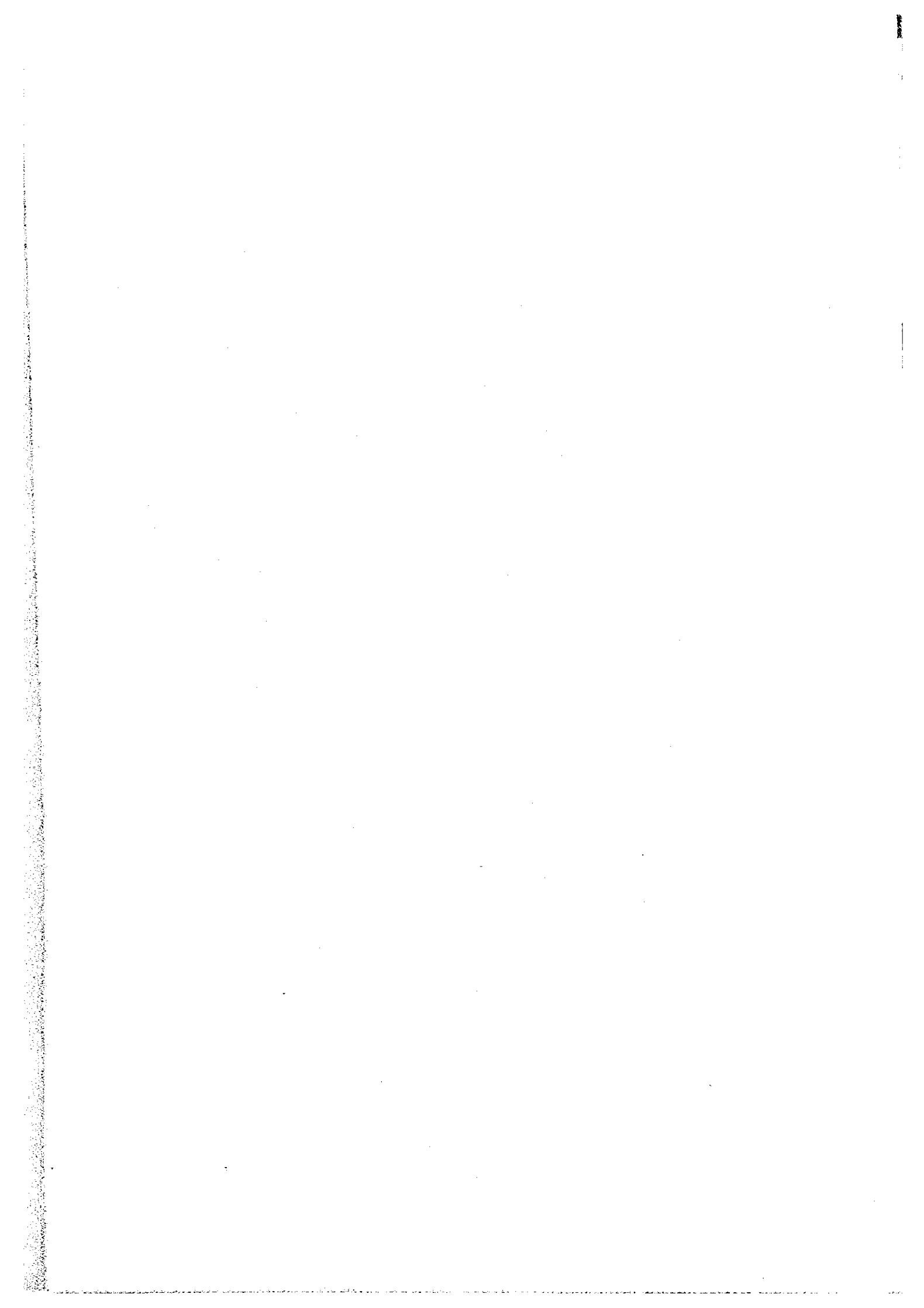


Figure 3. Principal Study Zone Basin





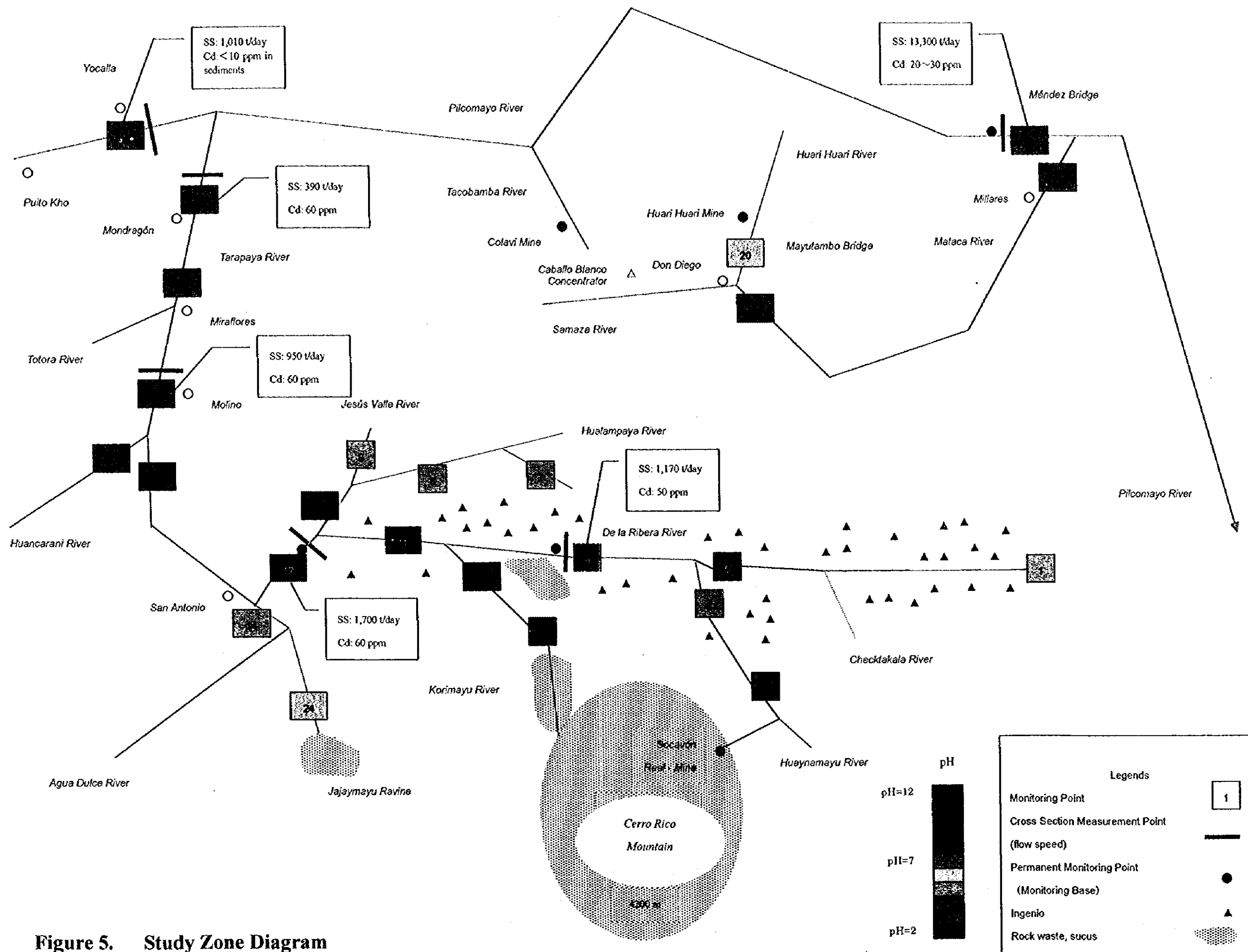


Figure 5. Study Zone Diagram

**Legends**

- Monitoring Point: [Square with '1']
- Cross Section Measurement Point (flow speed): [Horizontal line]
- Permanent Monitoring Point (Monitoring Base): [Circle]
- Ingenio: [Triangle]
- Rock waste, sucus: [Stippled area]

**pH**

- pH=12: [Dark grey bar]
- pH=7: [Light grey bar]
- pH=2: [White bar]

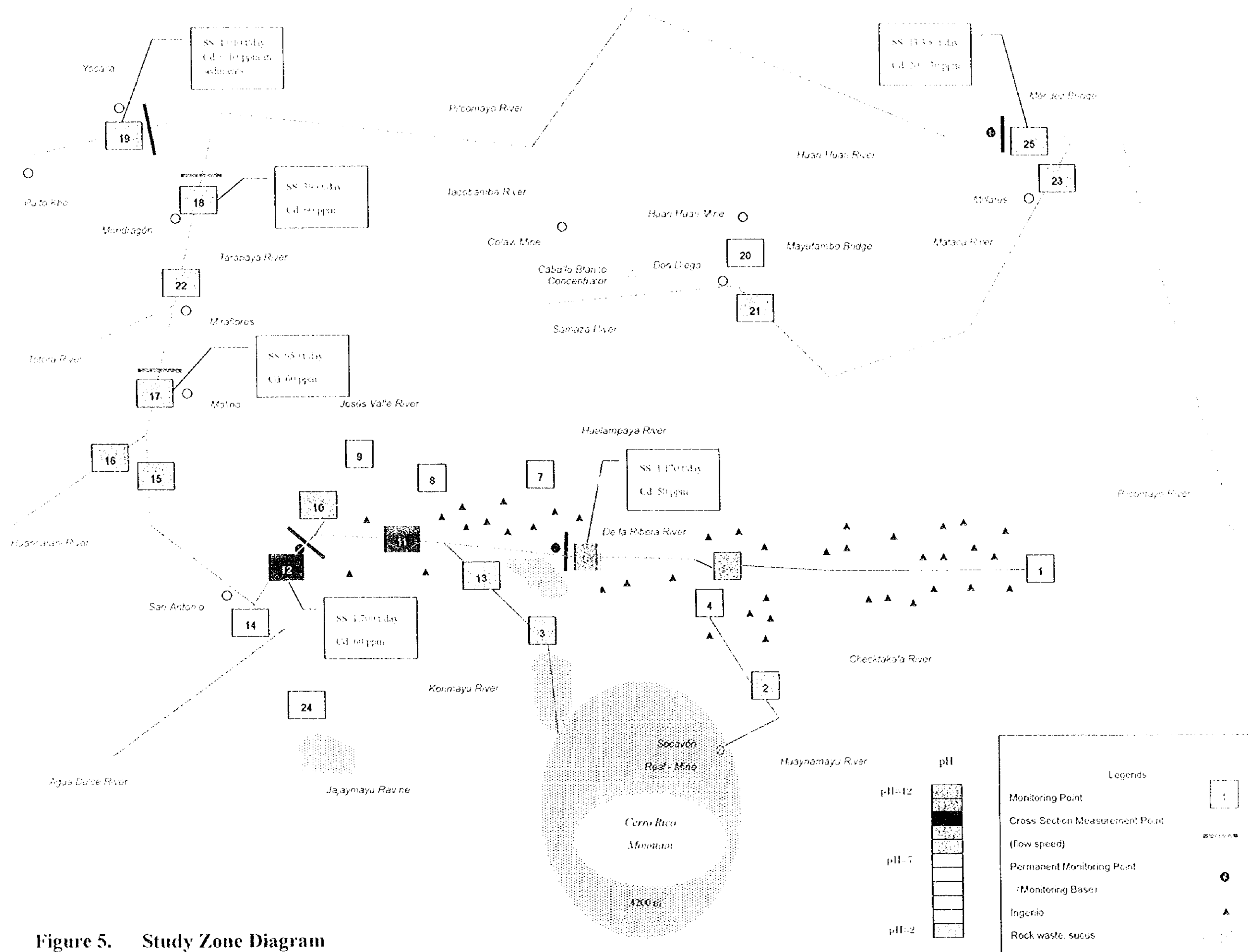


Figure 5. Study Zone Diagram

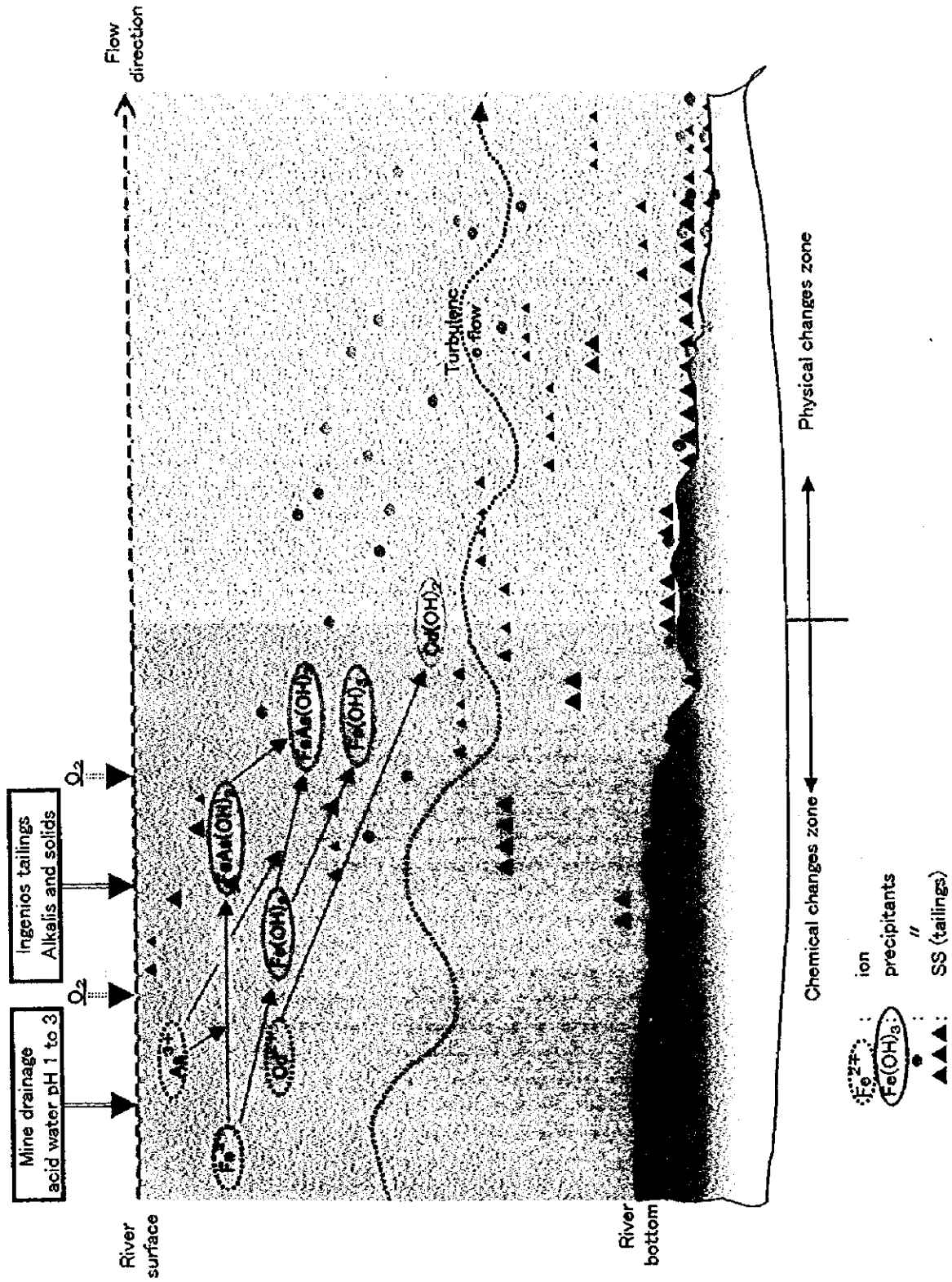


Figure 6. River Pollution Mechanism

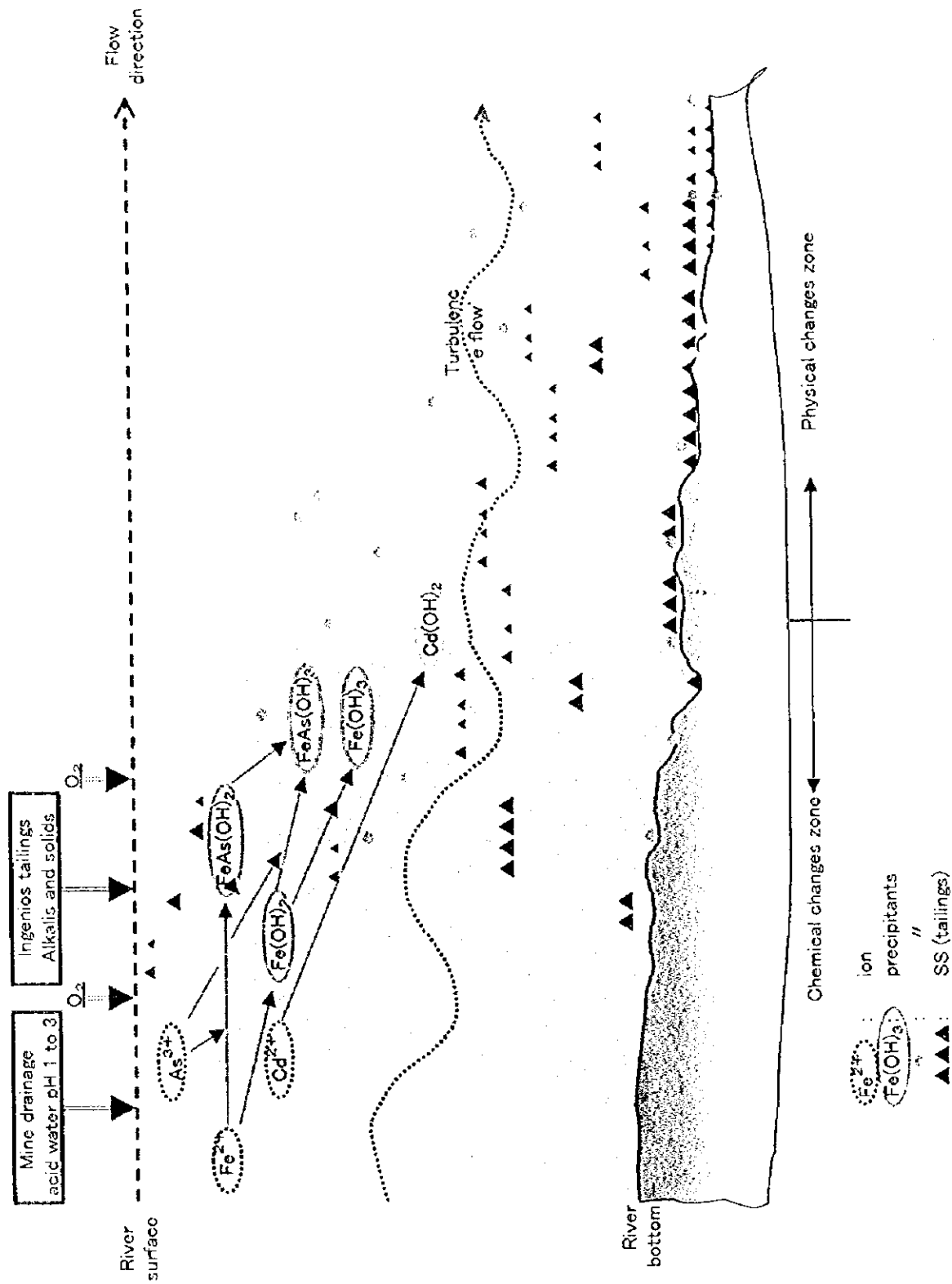


Figure 6. River Pollution Mechanism



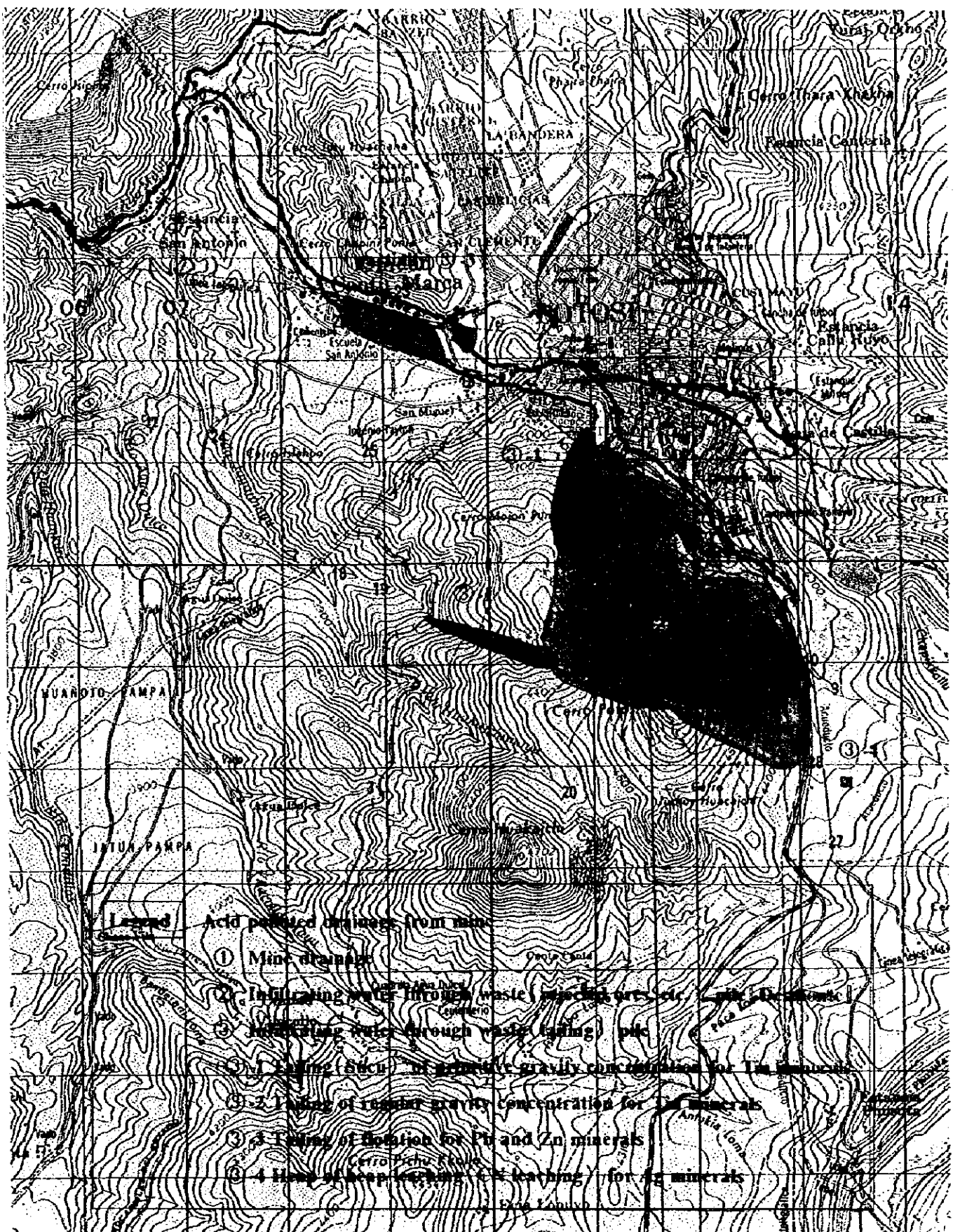


Figure 7. Sampling Points for Mining Pollution Division

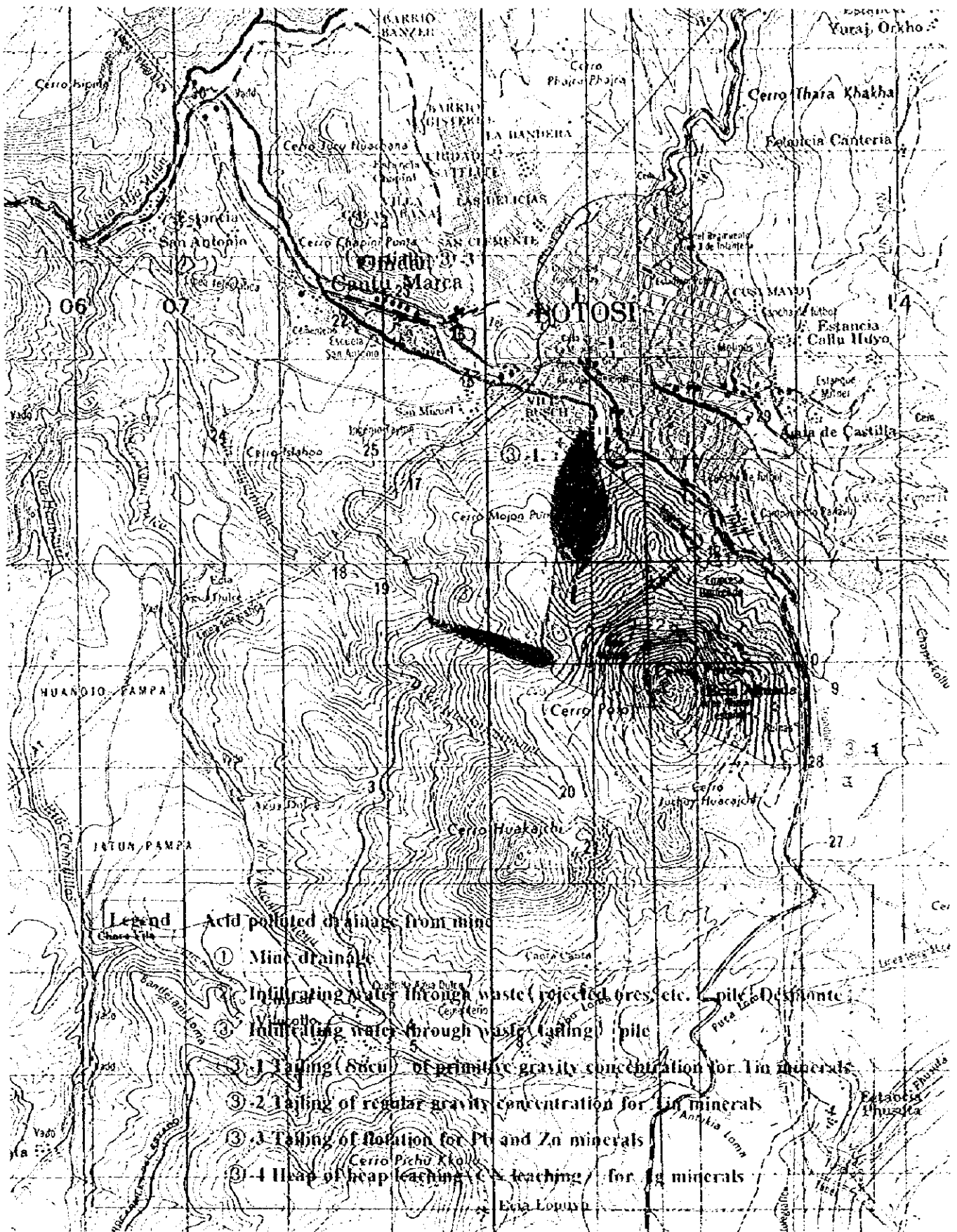
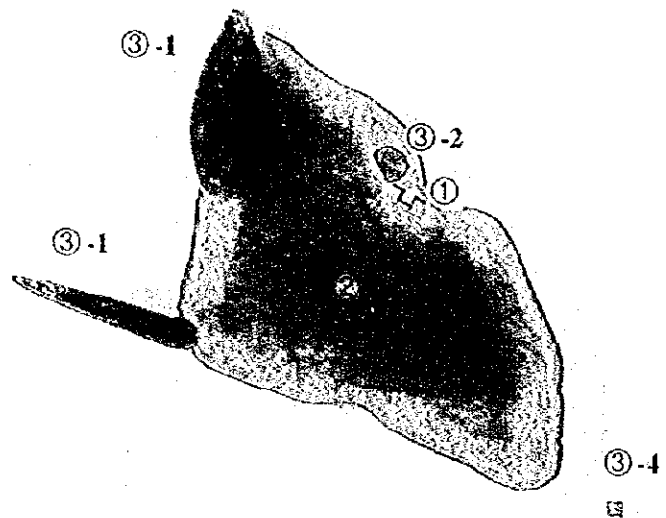


Figure 7. Sampling Points for Mining Pollution Division

③-3  
(.0)

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



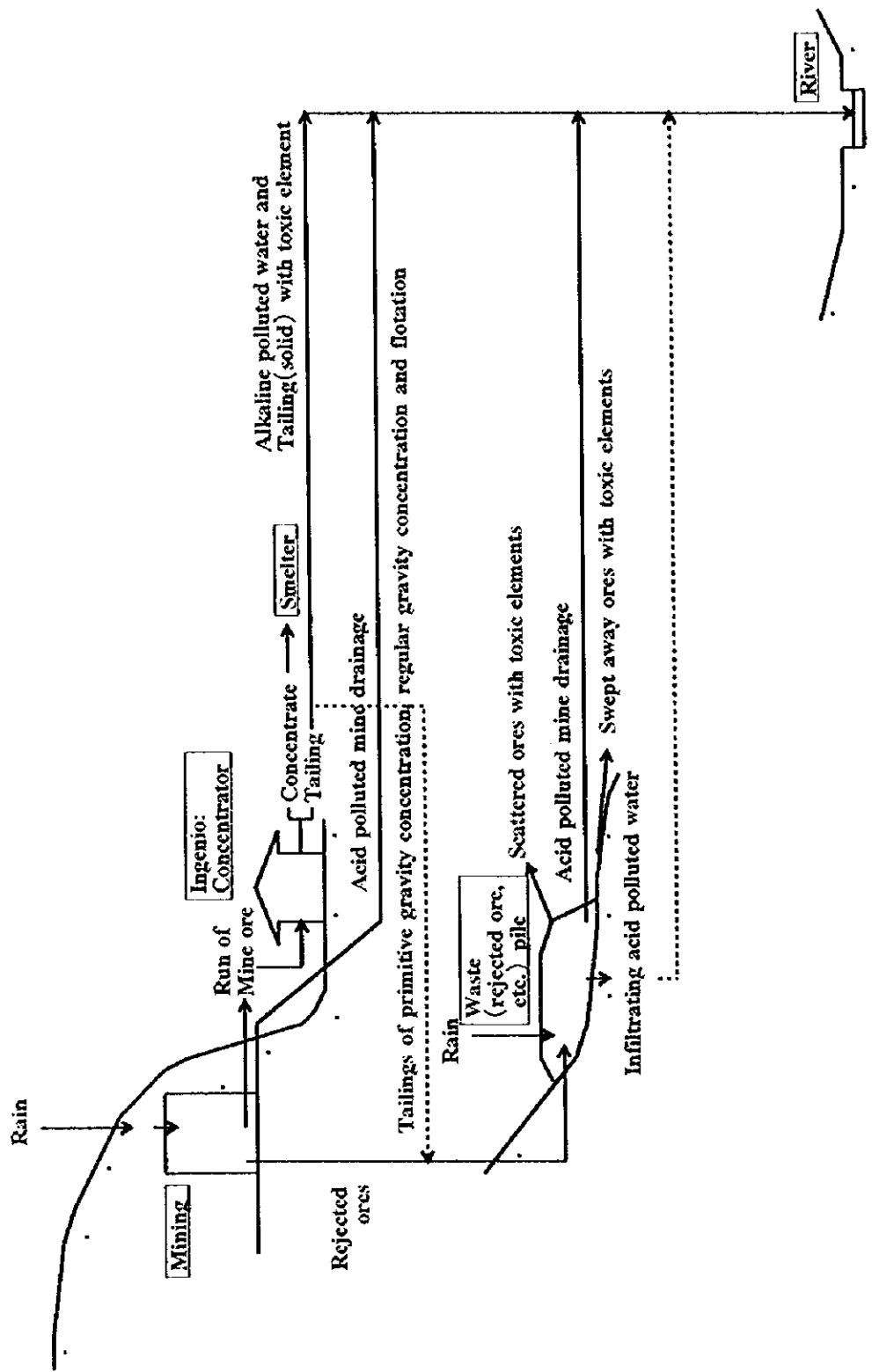
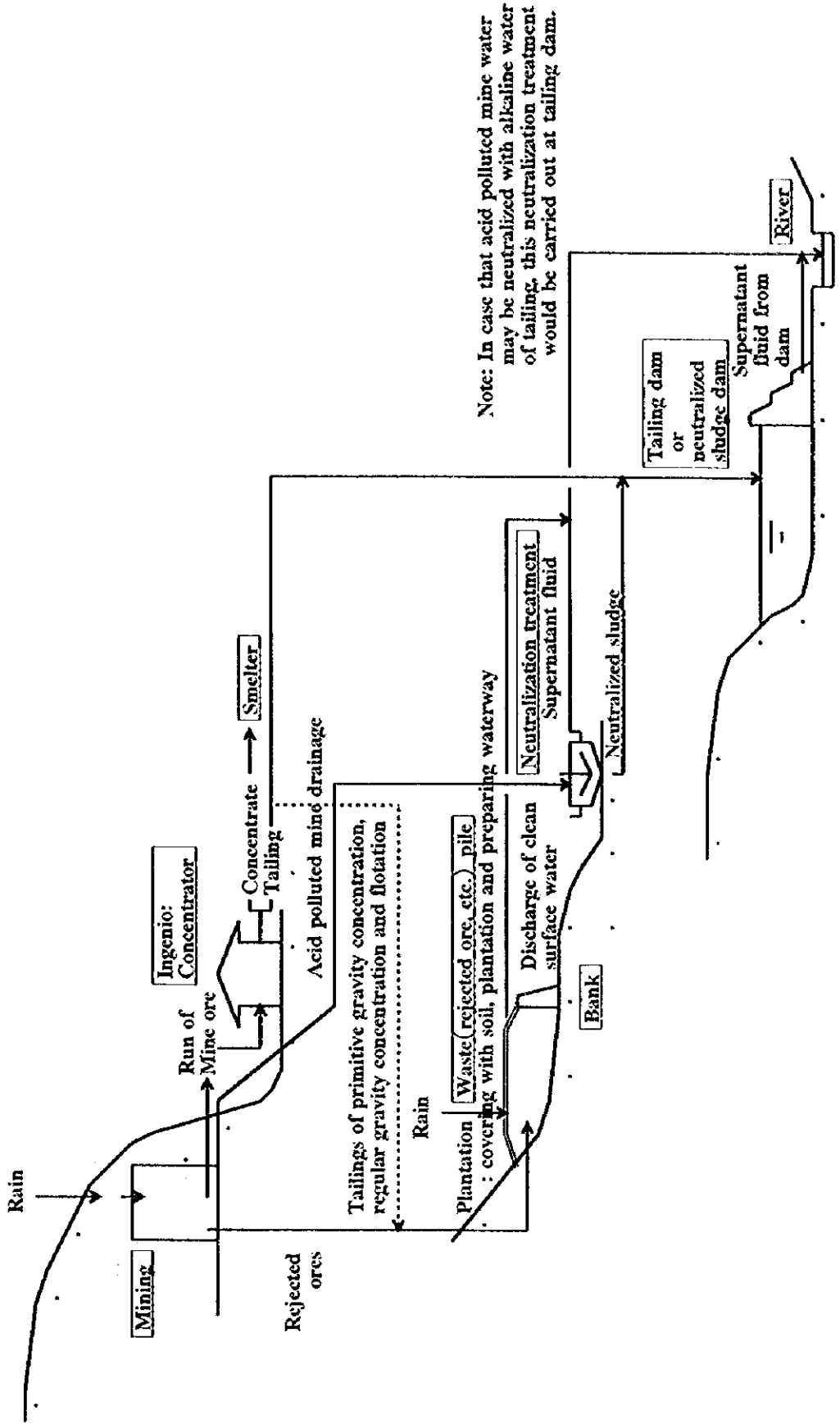


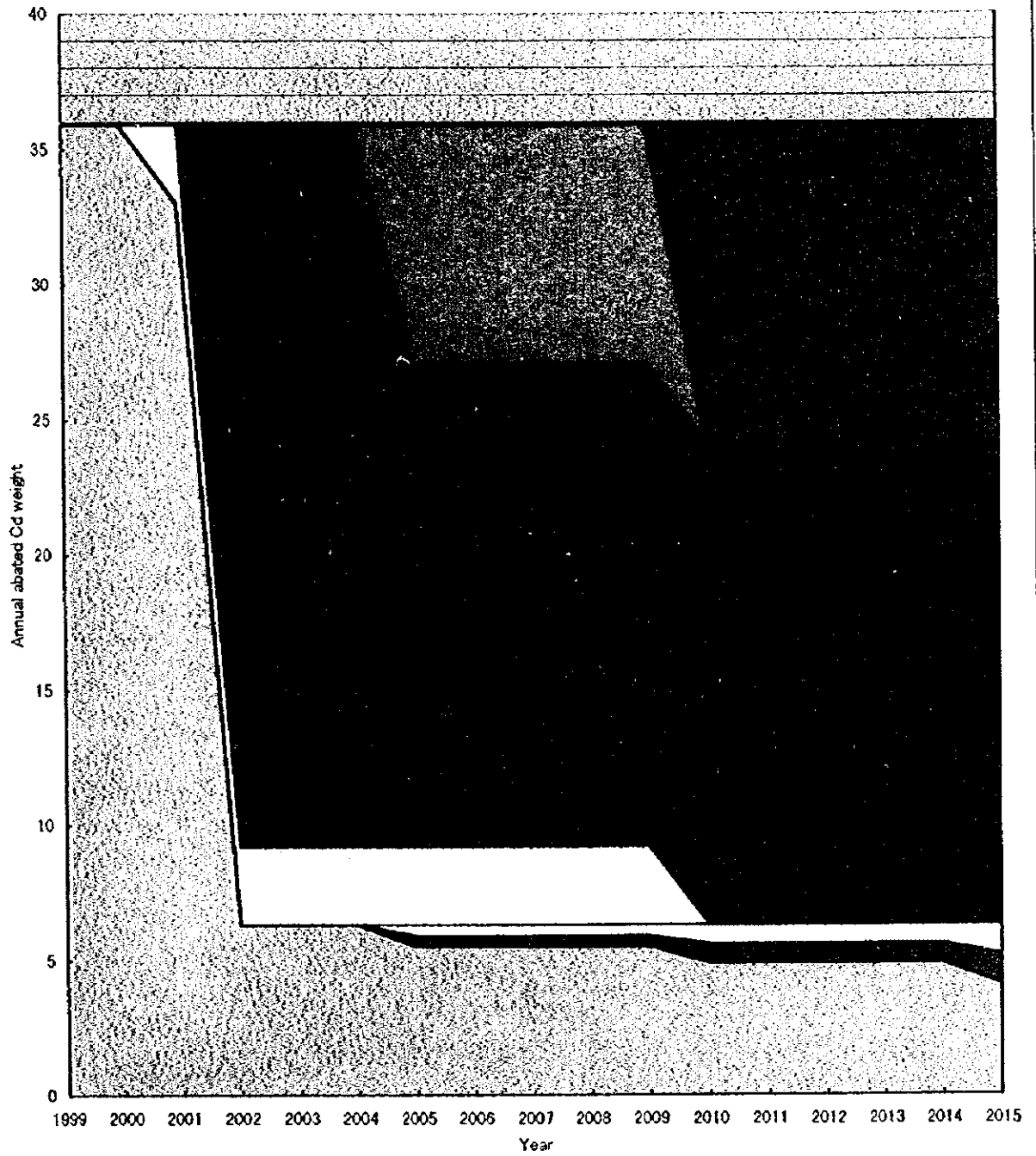
Figure 8. Pollution Mechanism Map in Potosi Area (Concept) [Present]  
 : Concept of pollution for river, etc. caused by mine and Ingenio with toxic elements



**Figure 9. Mine Pollution Control/Prevention Technology to be applied in Potosi Area (Concept)**  
 Note: Neutralization treatment for acid polluted mine drainage from waste (rejected ore, etc.) pile would be necessary, because acid polluted mine drainage still generated at waste (rejected ore, etc.) pile until plantation may be completed.



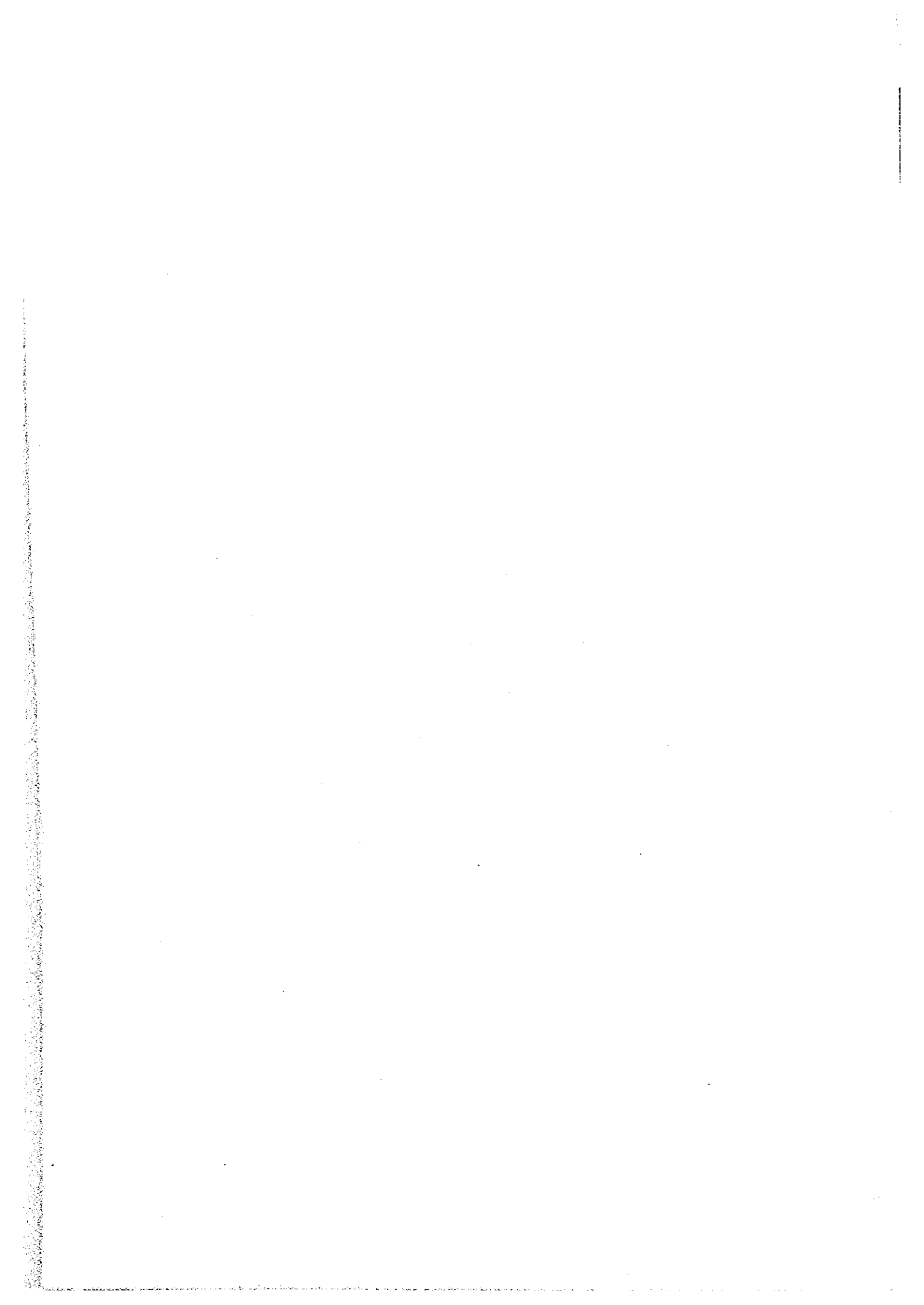
Figure 10. Abatement Effect of Cd contamination



- Annual abatement volume of Cd by Integrated Plan (M. of I. and T.T.P.)
- ▨ Annual abatement volume of Cd by Tailing Treatment Plant (2005year: 8.8t)
- Annual abatement volume of Cd by DCSA (2002year: 26.7t 2005year: 17.9t)
- Annual abatement volume of Cd by Modernization of Ingenio (2.9t)
- Annual abatement volume of Cd from Main Acid Water Drainage (2.8t)
- Annual abatement volume of Cd from Waste Rock & Tailing Drainage (3.5t)
- Cd annual abatement volume (t), (Total Cd annual production volume:35.9t)







JICA