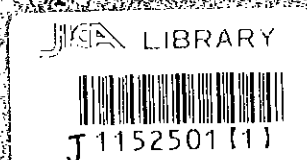


**ESTUDIO DE EVALUACION DEL  
IMPACTO AMBIENTAL DEL  
SECTOR MINERO EN EL DEPARTAMENTO DE  
POTOSI, REPUBLICA DE BOLIVIA**

**INFORME FINAL  
(PRINCIPAL)**

Septiembre, 1999



**MITSUBISHI MINERAL DEVELOPMENT ENGINEERING CO., LTD.  
UNICO INTERNATIONAL CORPORATION**

MPN
JR
99-175



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  
(PRINCIPAL)

Septiembre, 1999

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



1152501 [1]

## PREFACIO

En respuesta a la solicitud del Gobierno de Bolivia, el Gobierno del Japón decidió conducir y encargar la realización del estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).


JICA envió una misión de estudio liderado por el Sr. OOKI Hisamitsu de Mitsui Mineral Development Engineering Co., Ltd.(MINDECO) y organizado por MINDECO y Unico International Corporation a Bolivia seis veces entre Septiembre de 1997 y Agosto de 1999.

La misión realizó reuniones de discusión con los oficiales relacionados del Gobierno de Bolivia, y realizó estudios de campo afines. Luego de su retorno al Japón, la misión condujo estudios complementarios y compiló los resultados finales en este informe.

Creo que este informe contribuirá al mejoramiento de la situación del Sector Minero del Departamento de Potosí y al crecimiento de las relaciones amistosas entre nuestros países.

Quisiera expresar mis sinceros agradecimientos a los oficiales relacionados del Gobierno de Bolivia por su amplia cooperación durante el estudio.

Septiembre de 1999



Kimio FUJITA  
President  
Japan International Cooperation Agency



Septiembre de 1999

Sr. Kimio FUJITA  
Presidente  
Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)

COMUNICADO

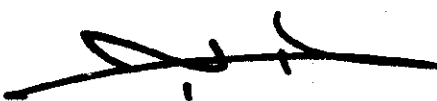
Mediante el presente acuso la presentación del informe del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental del Sector Minero en el Departamento de Potosí, República de Bolivia.

En el presente estudio, se presentan las propuestas técnicas y políticas relacionadas a prevención y mitigación de contaminación minera y plan de gestión ambiental; asimismo, opiniones de instituciones relacionadas del gobierno japonés y su Agencia. Además, se han tomado en consideración opiniones y comentarios recogidos en reuniones sostenidas con los oficiales de la contraparte boliviana; el Viceministerio de Recursos Naturales, Medio Ambiente y Desarrollo Forestal; Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Prefectura del Departamento de Potosí; Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo; Viceministerio de Minería y Metalurgia y Corporación Minera de Bolivia.

En este informe se proponen doce medidas para mejoramiento de calidad ambiental en el cauce del río Pilcomayo comprendido por sus afluentes De la Ribera y Tarapaya, degradado por contaminación ocasionada por la actividad minera que se lleva a cabo en el Cerro Rico de Potosí. Con el objeto de ejecutar activa y eficazmente las medidas de mitigación y prevención de contaminación, se propone la instalación de un centro de investigaciones ambientales y de seguridad.

La misión del presente estudio recomienda pronta instalación de este centro de investigaciones, de modo que sirva de nexo para la ejecución integral y sistemática de las propuestas de mitigación y prevención de contaminación ocasionado por el sector minero en la República de Bolivia; debiendo considerarse su instalación como proyecto de prioridad.

Aprovecho esta oportunidad para agradecer a la Agencia que dirige, al Ministerio de Relaciones Exteriores y al Ministerio de Comercio Internacional e Industria. Además, agradezco profundamente a los oficiales del Viceministerio de Recursos Naturales, Medio Ambiente y Desarrollo Forestal, Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Prefectura del Departamento de Potosí, demás instituciones y personas que cooperaron en la realización del presente estudio



OOKI Hisamitsu

Jefe de Misión

Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental del Sector Minero en el Departamento de Potosí, República de Bolivia





# INDICE

## Lista de Abreviaturas

### Capítulo 1

#### Préfacio

1-1 Panorama .....	1
1-2 Objetivos, políticas y contexto del estudio .....	9
1-2-1 Objetivos, zona de estudio y políticas .....	9
1-2-2 Contexto del estudio .....	11

### Capítulo 2

#### Información General y Situación de la Actividad Minera en Bolivia y Potosí

2-1 Información general de Bolivia y Potosí .....	29
2-1-1 Política y aspectos sociales .....	29
2-1-2 Sector productivo y energía .....	31
2-1-3 Aspectos económicos .....	34
2-1-4 Medio ambiente natural .....	37
2-1-5 Aspectos especiales de Potosí .....	40
2-2 Situación de la Actividad Minera en Bolivia y Potosí .....	41
2-2-1 Minería de Bolivia .....	41
2-2-2 Actividad minera en Potosí .....	42

### Capítulo 3

#### Administración Pública de Medio Ambiente en Bolivia

3-1 Administración pública de medio ambiente .....	60
3-1-1 Organización .....	60
3-1-2 Administración ambiental en el ámbito nacional .....	61
3-1-3 Administración ambiental en el ámbito de Prefecturas y Municipios .....	62
3-1-4 Organización administrativa de asuntos ambientales del sector minero .....	62
3-2 Legislación y normas ambientales de Bolivia .....	72
3-2-1 Legislación de medio ambiente .....	72
3-2-2 Reglamentos de la ley de medio ambiente .....	73
3-2-3 Estándares .....	73
3-2-4 Sanciones .....	74
3-2-5 Incentivos .....	75
3-2-6 Política de protección del medio ambiente en el sector minero .....	75

3-2-7 Legislación minera .....	76
3-2-8 Reglamentos ambientales para actividades mineras .....	77

#### Capítulo 4

##### Situación de Contaminación

4-1 Zona objeto del estudio .....	81
4-1-1 Programa de monitoreo de calidad de aguas en los ríos .....	81
4-1-2 Estudio hidrológico de los ríos .....	82
4-2 Contaminación de aguas superficiales .....	84
4-2-1 Evaluación de contaminación en la zona del estudio .....	84
4-2-2 Alcance y grado de contaminación .....	86
4-3 Alcance y grado de daños ambientales .....	106
4-3-1 Descripción de la zona del estudio .....	106
4-3-2 Investigación de daños ambientales .....	110
4-3-3 Compilación de contaminación e impacto ambiental .....	119
4-3-4 Reconocimiento de fuentes y estimación del grado de impacto .....	120

#### Capítulo 5

##### Reconocimiento y Mecanismo de Contaminación Debida a la Actividad Minera

5-1 Reconocimiento de fuentes de contaminación .....	145
5-1-1 Aguas ácidas .....	145
5-1-2 Aguas alcalinas y sólidos en suspensión (S.S.) / colas de ingenios .....	150
5-2 Mecanismo de contaminación de aguas .....	163
5-2-1 Contaminación de ríos .....	163
5-2-2 Contaminación de los ríos De la Ribera, Tarapaya y Pilcomayo .....	163

#### Capítulo 6

##### Análisis de Propuestas

6-1 Plan de prevención de contaminación minera .....	194
6-1-1 Tratamiento de colas en dique y control de efluentes .....	195
6-1-2 Análisis de mejoramiento de procesos en ingenios .....	196
6-1-3 Control de efluentes de mina y de desmontes de minerales .....	198
6-1-4 Instalación de planta de retratamiento de colas .....	199
6-1-5 Instalación de planta concentradora modelo/piloto .....	200
6-1-6 Recuperación de metales económicamente valiosos de desmontes y sucus .....	201
6-1-7 Construcción de zona industrial para instalación de planta concentradora integrada .....	202
6-1-8 Reforestación de antiguos depósitos de desmontes y colas .....	203

6-2	Plan de gestión ambiental	216
6-2-1	Mejoramiento del medio ambiente	216
6-2-2	Sistema de monitoreo (modelo de simulación de calidad de aguas)	216
6-2-3	Aplicación eficiente de legislación	227
6-2-4	Propuesta para sistema y organización ejecutiva de administración ambiental	231
6-2-5	Indices ambientales	236
6-2-6	Evaluación de impacto ambiental	240
6-3	Capacitación y educación de recursos humanos	256
6-3-1	Problemática ambiental del Departamento de Potosí	256
6-3-2	Items técnicos a ser tratados en el centro de investigaciones	257
6-3-3	Plan de acciones/actividades del centro de investigaciones	258
6-3-4	Resultados esperados del centro de investigaciones	262

## Capítulo 7

### Evaluación Económica y Financiera

7-1	Evaluación financiera	263
7-1-1	Introducción	263
7-1-2	Metodología de evaluación	264
7-1-3	Condiciones previas	265
7-1-4	Resultados de la evaluación	269
7-2	Evaluación económica	281
7-2-1	Metodología de evaluación	281
7-2-2	Materia de evaluación	281
7-2-3	Consideraciones	281
7-2-4	Cálculo de beneficios	281
7-2-5	Cálculo de costos	283
7-2-6	Resultados de la evaluación	284

## Capítulo 8

### Plan de Ejecución de Propuestas

8-1	Acciones que se deberán tomar a corto plazo	289
8-2	Acciones que se deben adoptar a mediano plazo	290
8-3	Acciones que se deben adoptar a largo plazo	293
8-4	Sumario	294

### Relación de Cuadros y Figuras

### Anexo (Compendio aparte)



## Lista de Abreviaturas

### 1. Organizaciones

AAPOS	Administración de Agua Potable y Saneamiento
ASTM	American Society for Testing and Materials
CDR	Centro para el Desarrollo Regional
COMIBOL	Corporación Minera de Bolivia
INE	Instituto Nacional de Estadística
ITC	International Tin Council
LIBOR	London Interbank Offered Rate
LME	London Metal Exchange Market
MDSP	Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación
MEDMIN	Programa: Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería
ONG	Organización No Gubernamental
UATF	Universidad Autónoma Tomás Frías
VMRNMADF	Viceministerio de Recursos Naturales, Medio Ambiente y Desarrollo Forestal

## 2. Términos generales

CCA	Control de Calidad Ambiental
D.B.O.	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DCSA	Dique de Colas de San Antonio
DAA	Declaratoria de Adecuación Ambiental
DIA	Declaratoria de Impacto Ambiental
D.Q.O.	Demanda Química de Oxígeno
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
FA	Ficha Ambiental
IPR	Impacto – Proceso - Respuesta
MA	Manifiesto Ambiental
SNEIA	Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental
SNCCA	Sistema Nacional de Control de la Calidad Ambiental
S.S.	Sólidos en Suspensión
TIRE	Tasa Interna de Retorno Económico
TIRF	Tasa Interna de Retorno Financiero

## Capítulo 1.

### Prefacio

#### 1-1 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, a consecuencia de 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, debido al 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.

Con el objeto de solucionar esta situación, se han iniciado labores de apoyo por parte de organismos internacionales como el Banco Mundial. Sin embargo, los resultados obtenidos son apenas haber logrado despertar el interés por parte de instituciones gubernamentales y organismos internacionales, mas no de los principales sectores conformados por los propietarios de actividades mineras y la población en general, que deberían asumir responsabilidad de modo inherente. Asimismo, es reciente la práctica ejecutiva en asuntos ambientales por parte del Estado, encontrándose en etapa de implantación y pruebas.

En estas circunstancias, acaeció el derrame accidental del depósito de colas, de la mina Pórco en septiembre de 1996, contaminando al río Pilcomayo; cuyo efecto se confirmó aguas abajo en la República Argentina.

A continuación se detallan las posibles fuentes de contaminación de aguas en la ciudad de Potosí.

- ① Colas conteniendo metales pesados (S.S. y álcalis) vertidas por ingenios en operación.
- ② Aguas ácidas que se originan en interior de minas activas e inactivas.
- ③ Aguas ácidas que se originan de la lixiviación en depósitos de colas y desmontes de minerales.
- ④ Partículas de arrastre mediante erosión de depósitos de colas y desmontes de minerales por precipitaciones fluviales.

Ante esta situación, el gobierno boliviano procedió a crear una agencia que velara por asuntos ambientales en 1992 y estableció sus políticas y normas. Actualmente, el órgano a cargo de normas y ejecución de políticas ambientales es el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (MDSP), con el apoyo del Viceministerio de Recursos Naturales, Medio Ambiente y Desarrollo Forestal (VMRNMADF) que se encarga de organizar la legislación pertinente entre otras funciones.

El MDSP y el VMRNMADF han venido tratando la problemática ambiental de Potosí; sin embargo, debido a una serie de limitaciones tienen dificultades para resolverla. Por ende, el gobierno boliviano asumiendo el compromiso social de esta situación, 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) realizó un estudio de evaluación preliminar en octubre de 1996, siendo resultado de ello, la suscripción de los términos de referencia entre MDSP y JICA. En función a los términos de referencia, se ha venido



realizando el presente estudio teniendo como contraparte boliviana al VMRNMADE, dentro de la zona que se muestra en las figuras 1-1-1 y 1-1-2.





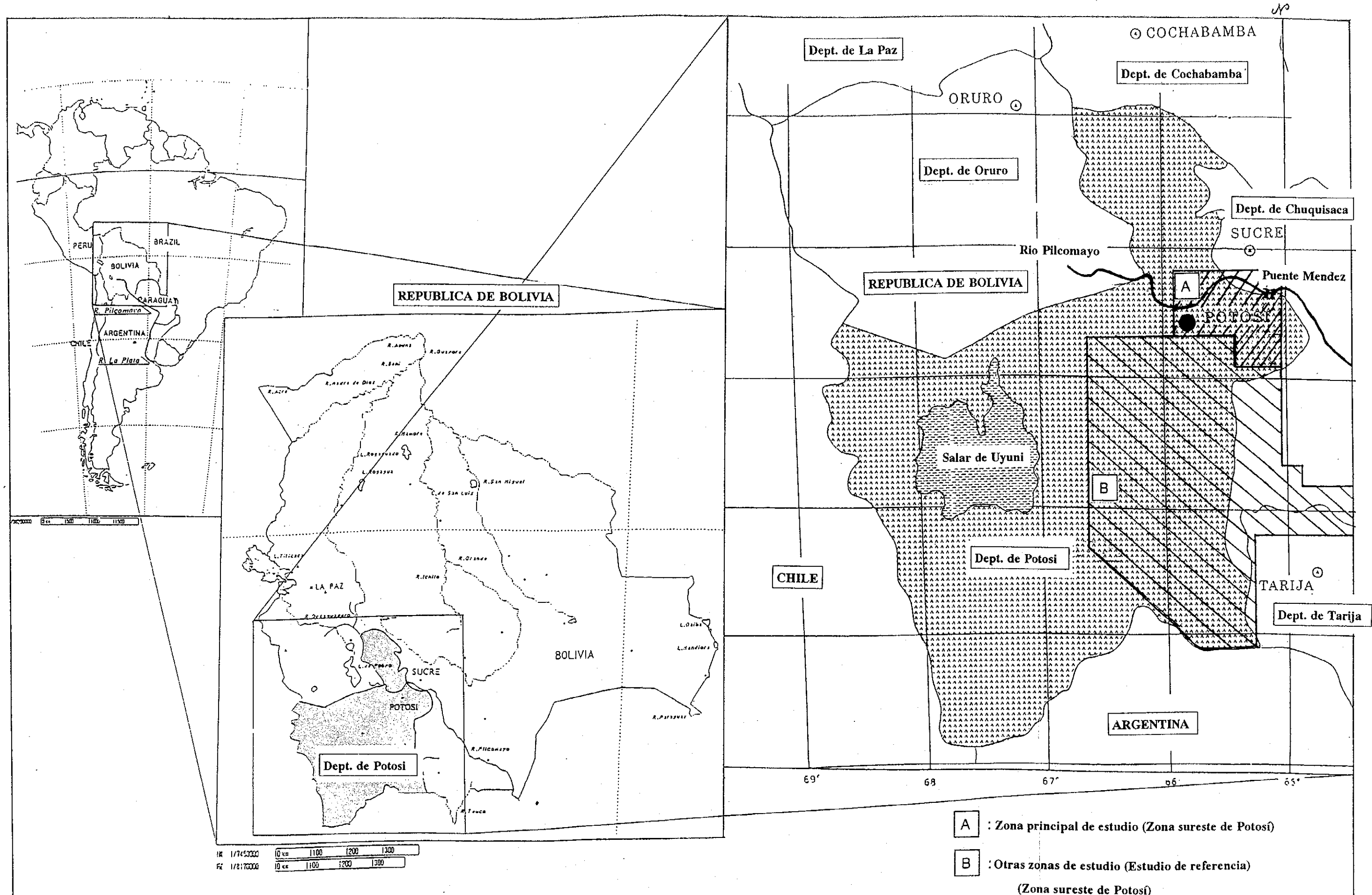
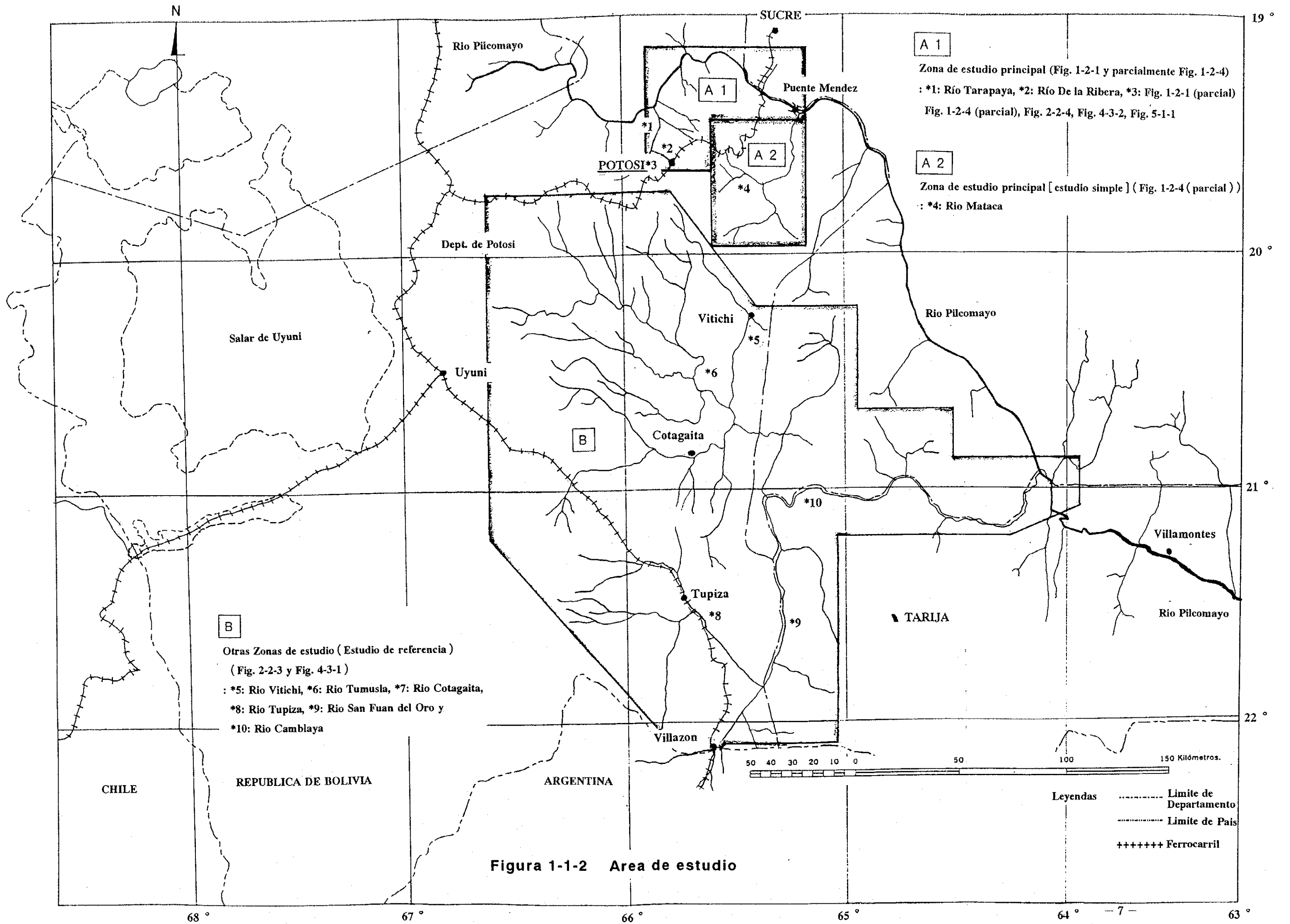


Figura 1-1-1 Ubicación de la zona de estudio

- A** : Zona principal de estudio (Zona sureste de Potosí)
- B** : Otras zonas de estudio (Estudio de referencia)  
(Zona sureste de Potosí)











## 1-2 Objetivos, políticas y contexto del estudio

### 1-2-1 Objetivos, zona de estudio y políticas

#### (1) Objetivos del estudio

Los objetivos del presente estudio, tal como se fijaron en los términos de referencia y la minuta de reunión suscritos en febrero de 1997, son como se describen a continuación:

- 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.

#### (2) Zona del estudio

La zona del presente estudio comprende 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 figuras 1-1-2 y 1-2-1).

El sistema hidrológico de la zona del estudio es complejo, sin embargo es menester describirlo para los propósitos del estudio.

El río De la Ribera tiene tres afluentes en la ciudad de Potosí: Checktakala, Huaynamayu y Korimayu; luego, aguas abajo toma la denominación de río Aljamayu que fluye en dirección noroeste. Más adelante confluye con la quebrada Jayajmayu que cursa el flanco occidental del Cerro Rico de Potosí y el río Agua Dulce cuyo afluente es el río Huacacchimayu.

Los ríos De la Ribera, Aljamayu, Molino y Tarapaya son partes de la misma cuenca que se inicia con el primero y toma varias denominaciones según la localidad que atraviesa. Observando la cuenca del río Tarapaya desde aguas arriba, la denominación De la Ribera se le da dentro de la ciudad de Potosí hasta su confluencia con el río Jesús Valle. A continuación, la denominación Aljamayu corresponde desde esta última confluencia hasta la confluencia con el río Huancarani. Más adelante toma la denominación de Molino en las cercanías del poblado del mismo nombre; y finalmente aguas abajo, la denominación Tarapaya corresponde hasta la confluencia con el río Pilcomayo.

Resumiendo, nacen tres cuencas en el Cerro Rico de Potosí que son los ríos Huaynamayu, Korimayu y quebrada Jayajmayu. Los primeros dos fluyen al río De la Ribera y el último al río Agua Dulce, el mismo que encausa al río Aljamayu.

En el presente estudio también se realizó un estudio somero sobre la cuenca del río Mataca y su afluente Samaza que fluyen en las afueras de la ciudad de Potosí en la zona norte del Departamento.

### (3) Política del estudio

El presente estudio se basó en los siguientes procedimientos:

- ① Reconocimiento del mecanismo en las fuentes de contaminación debida a la actividad minera.  
Reconocimiento de mecanismos elaborando una matriz de contaminación versus impacto.
- ② Reconocimiento del alcance y grado de impacto ambiental. Reconocimiento del alcance y grado de impacto ambiental mediante sistema de monitoreo.
- ③ Elaboración del modelo de simulación de calidad de aguas relacionada a la actividad minera.
- ④ Análisis y propuesta de métodos de prevención de contaminación debida a la actividad minera (incluido diseño conceptual de planta concentradora modelo y análisis financiero).
- ⑤ Análisis y propuesta de plan de gestión ambiental (incluido organización de sistema de monitoreo, normas ambientales y de emisiones, índices ambientales, propuesta de organización ejecutiva de asuntos ambientales y análisis económico).
- ⑥ Programa de capacitación e instrucción de recursos humanos.

Los procedimientos descritos arriba se ejecutaron en las siguientes cuatro etapas:

- ① Etapa de estudios preliminares
- ② Etapa de estudios en detalle
- ③ Etapa de análisis y diseño
- ④ Etapa de propuestas técnicas y políticas

El flujograma de estas cuatro etapas comprendiendo seis estudios in situ y seis sesiones de trabajo en Japón se muestran en el cuadro 1-2-1.

#### 1-2-2 Contexto del estudio

##### (1) Especialidades del estudio

Las especialidades del estudio comprendieron: calidad de aguas e hidrología, geología minera, procesamiento de minerales, tratamiento de efluentes (incluido análisis químico), procesamiento de datos y

estadística, diseño de planta (ingeniería y presupuesto), plan de gestión ambiental y organización ejecutiva.

El esquema del presente estudio se muestra en la figura 1-2-3.

La misión de estudio fue conformado por los siguientes especialistas.

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

El contexto de cada especialidad ha sido como sigue:

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.

(2) Metodología de estudio de cada especialidad

1) Calidad de aguas / hidrología

Realización de monitoreo de aguas y suelos de los ríos en 25 puntos establecidos en la zona central del estudio durante un año. Asimismo, estudio hidrológico de la región. Interpretación de ambos estudios con el propósito de reconocer el grado de contaminación.

A continuación los parámetros analizados:

- Análisis de aguas (14 parámetros): pH, sólidos en suspensión (S.S.), arsénico, antimonio, cadmio, cromo, cobre, fierro, mercurio, manganeso, plomo, zinc, cianuro y demanda química de oxígeno (D.Q.O)
- Análisis de suelos (15 parámetros): plata, arsénico, antimonio, cadmio, cromo, cobre, fierro, mercurio, manganeso, estaño, plomo, zinc, cianuro, azufre, y pérdida por ignición.

Asimismo, mediciones de secciones transversales de los ríos en 5 puntos para el cálculo de caudales.

En la figura 1-2-4 se muestra el diagrama de la zona del estudio.

Además, con el fin de estudiar la influencia de otras cuencas del río Pilcomayo, se estudiaron las cuencas de la zona sudeste del Departamento de Potosí en forma complementaria.

## 2) Geología minera

Recopilación de información relacionada a yacimientos, geología y métodos de extracción de COMIBOL, mina Pailaviri y revisión bibliográfica. Además, recolección de cuestionarios, entrevistas con el fin de obtener datos para cálculo de reservas.

## 3) Procesamiento de minerales

Inventario de ingenios mediante cuestionarios, entrevistas y visitas a ingenios. Prueba de procesamiento de minerales en laboratorio con minerales del Cerro Rico, e interpretación de resultados para determinación de proceso óptimo. Además, elaboración de medidas de prevención de contaminación debida a colas de ingenios.

4) Tratamiento de efluentes / análisis químico

Estudio sobre fuentes de contaminación durante periodo de lluvias y estiaje. Análisis químicos de acuerdo a normas de American Society for Testing and Materials (ASTM). Además, en algunos puntos se realizaron mediciones de caudales.

Además, pruebas de tratamiento de efluentes en laboratorio con muestras representativas, bajo métodos de neutralización de una y dos etapas.

5) Procesamiento de datos / estadística

Elaboración de una base de datos para almacenamiento de datos de monitoreo. Además, elaboración de un modelo de simulación de calidad de aguas.

6) Diseño de planta

Investigación de ingenios con el fin de obtener información relacionada a: capacidad instalada, años de operaciones; equipos y maquinaria; grado de instrumentación; servicios y facilidades; grado de seguridad y ambiente laboral entre otras.

Diseño conceptual de planta concentradora modelo con resultados de prueba de procesamiento de minerales.

7) Economía / finanzas

Evaluación financiera para la viabilidad de propuestas de mejoramiento de ingenios (procesamiento de minerales y diseño de planta), analizando tres casos: mejoramiento de procesos en ingenios, instalación de planta de tratamiento de colas e instalación de planta concentradora integrada.



Evaluación económica de la aplicación de medidas de mejoramiento de calidad de aguas en la cuenca del río Pilcomayo.

8) Gestión ambiental / organización ejecutiva

Estudio mediante revisión bibliográfica, entrevistas y visitas relacionadas a gestión ambiental, dentro el marco de políticas establecidas por el Viceministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (VMDSMA).

Estudio de impacto ambiental sobre la población, fauna y flora de la región ocasionada por la contaminación de aguas y suelos debida a la actividad minera.





Cuadro 1-2-1 Programa de Actividades (1/2)

Format-5 WORK PLAN

**TABLE OF WORK SCHEDULE (1)**

Fiscal Year: Japanese Fiscal Year

Working Items	Fiscal Year Calendar Month	1997												1998												1999											
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
<b>1. Domestic Preparatory Work in Japan</b>																																					
(1) Collection and review of data and information				-																																	
(2) Preparation and submission of Inception Report				-																																	
(3) Preparation of technical transfer plan				-																																	
(4) Procurements of equipments and materials (for domestic procurement)				-																																	
(5) Preparation and submission of questionnaire				▲																																	
<b>2. The First Site Investigation in Bolivia</b>																																					
(6) Presentation of Inception Report					■																																
(7) Collection and review of data and information					■																																
(8) Site investigation					■																																
(9) Preparation of domestic contractor					■																																
(10) Procurements of equipments (for site procurement)					■																																
(11) Collection of questionnaire					■																																
<b>3. The First Domestic Work in Japan</b>																																					
(12) Analysis of data and information collected in the first site investigation						□																															
(13) Examination of mine pollution with Impact Process Response model (IPR model): the dry season / the rainy season						□																															
(14) Examination of elements and techniques of environmental management						□																															
(15) Selection of elements and techniques of environmental management						□																															
(16) Examination of elements and techniques of mine pollution protection						□																															
(17) Selection of elements and techniques of mine pollution protection						□																															
(18) Preparation of total system plan of environmental management and mine pollution protection						□																															
(19) Preparation of manuscript for Progress Report						□																															
<b>4. The Second Site Investigation in Bolivia</b>																																					
(20) Investigation of domestic contractor (1)																																					
(21) Basic investigation of environmental management																																					
(22) Basic investigation of mine pollution protection techniques																																					
(23) Preparation, submission, presentation and discussion of Progress Report																																					
<b>5. The Second Domestic Work in Japan</b>																																					
(24) Examination of the site investigation																																					

Legend:  Preparatory work,  Site investigation in Bolivia,  Domestic work in Japan, ▲ Submission of reports







Cuadro 1-2-1 Programa de Actividades (2/2)

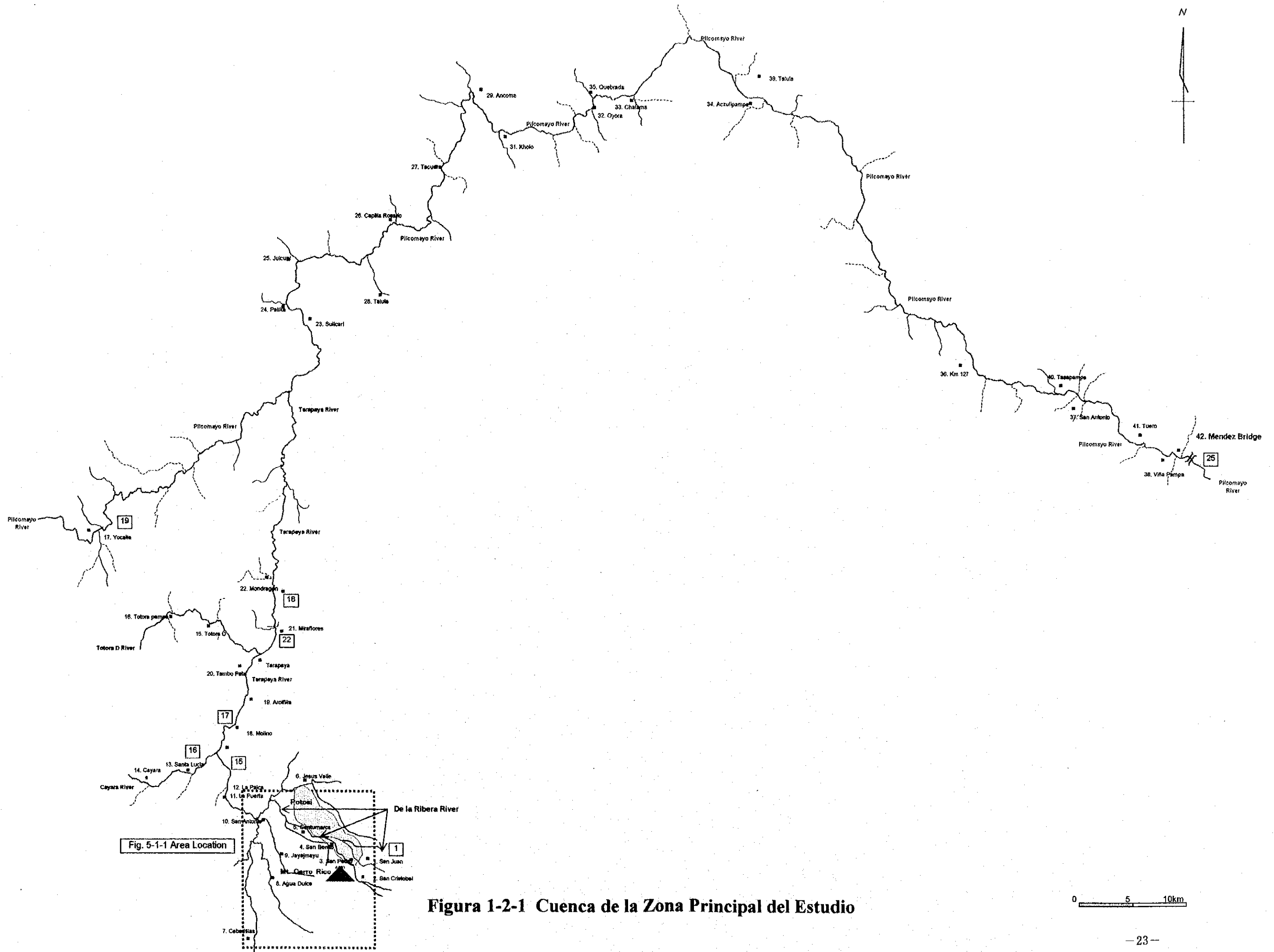
TABLE OF WORK SCHEDULE (2)

Fiscal Year: Japanese Fiscal Year

Working Items	Fiscal Year Calendar Month	1997												1998												1999								
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
6. The Third Site Investigation in Bolivia																																		
(25) Investigation of domestic contractor (2)																																		
(26) Investigation of environmental management (1)																																		
(27) Investigation of mine pollution protection																																		
7. The Third Domestic Work in Japan																																		
(28) Examination of the site investigation																																		
(29) Cost estimation of proposed measures																																		
(30) Preparation of the first technical transfer seminar																																		
(31) Preparation of Interim Report																																		
8. The Fourth Site Investigation in Bolivia																																		
(32) Presentation of Interim Report																																		
(33) Investigation of environmental management (2)																																		
(34) Presentation and discussion of mine pollution proposed measures to identify issues																																		
(35) Analysis of water quality forecast using river quality model																																		
(36) Hold the first technical transfer seminar																																		
9. The Fourth Domestic Work in Japan																																		
(37) Examination of the site investigation																																		
(38) Preparation of technical and political proposal (draft)																																		
10. The Fifth Site Investigation in Bolivia																																		
(39) Presentation and discussion of technical and political proposal: preparation of proposal																																		
11. The Fifth Domestic Work in Japan																																		
(40) Preparation of Draft Final Report																																		
(41) Preparation of the second technical transfer seminar																																		
12. The Sixth Site Investigation in Bolivia																																		
(42) Presentation and discussion of Draft Final Report																																		
(43) Hold the second technical transfer seminar																																		
(44) Preparation of Final Report																																		
(45) Submit Final Report																																		

Legend:  Preparatory work,  Site investigation in Bolivia,  Domestic work in Japan,  Submission of reports





**Figura 1-2-1 Cuenca de la Zona Principal del Estudio**





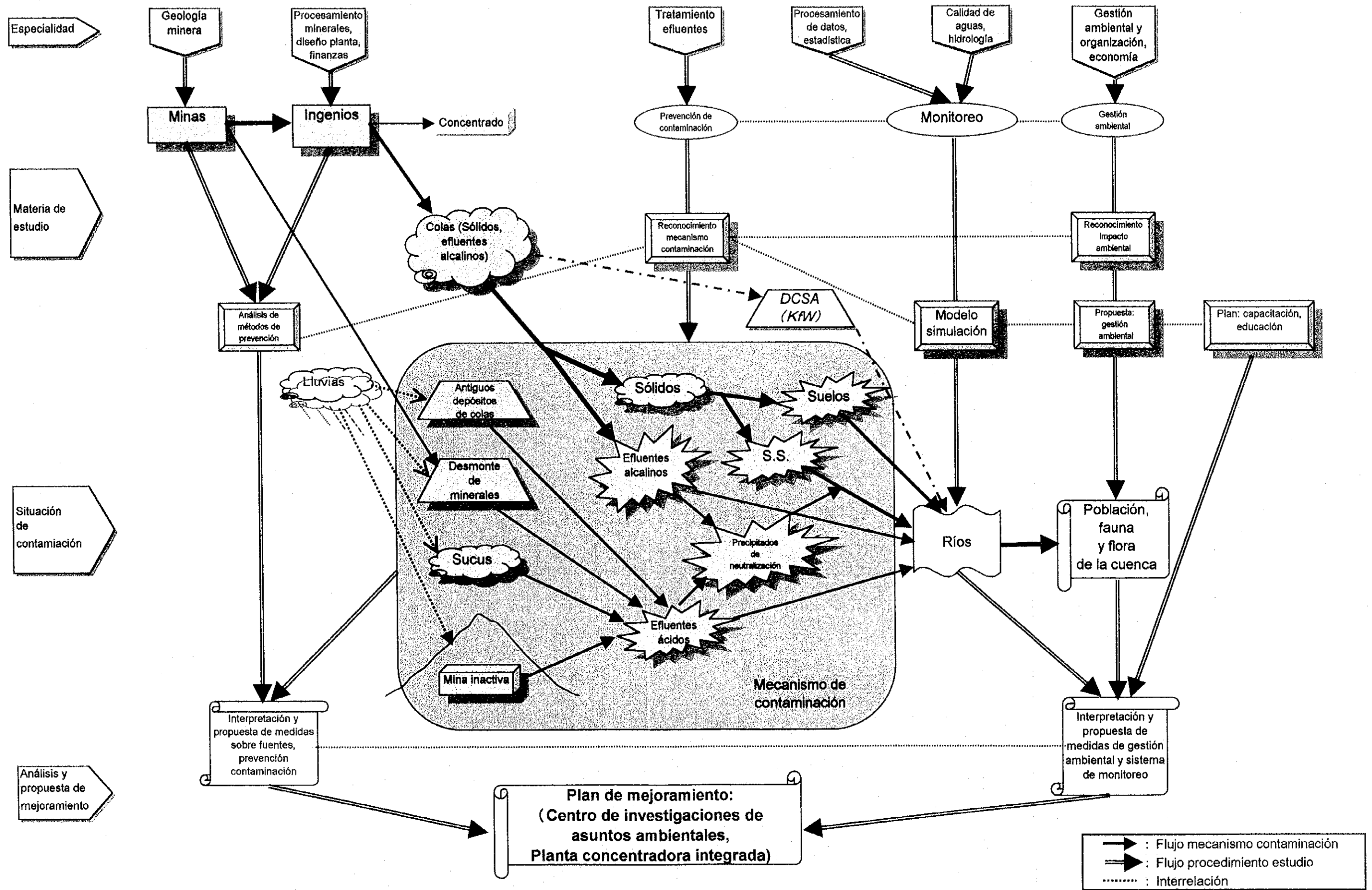


Figura 1-2-2 Contexto del Estudio



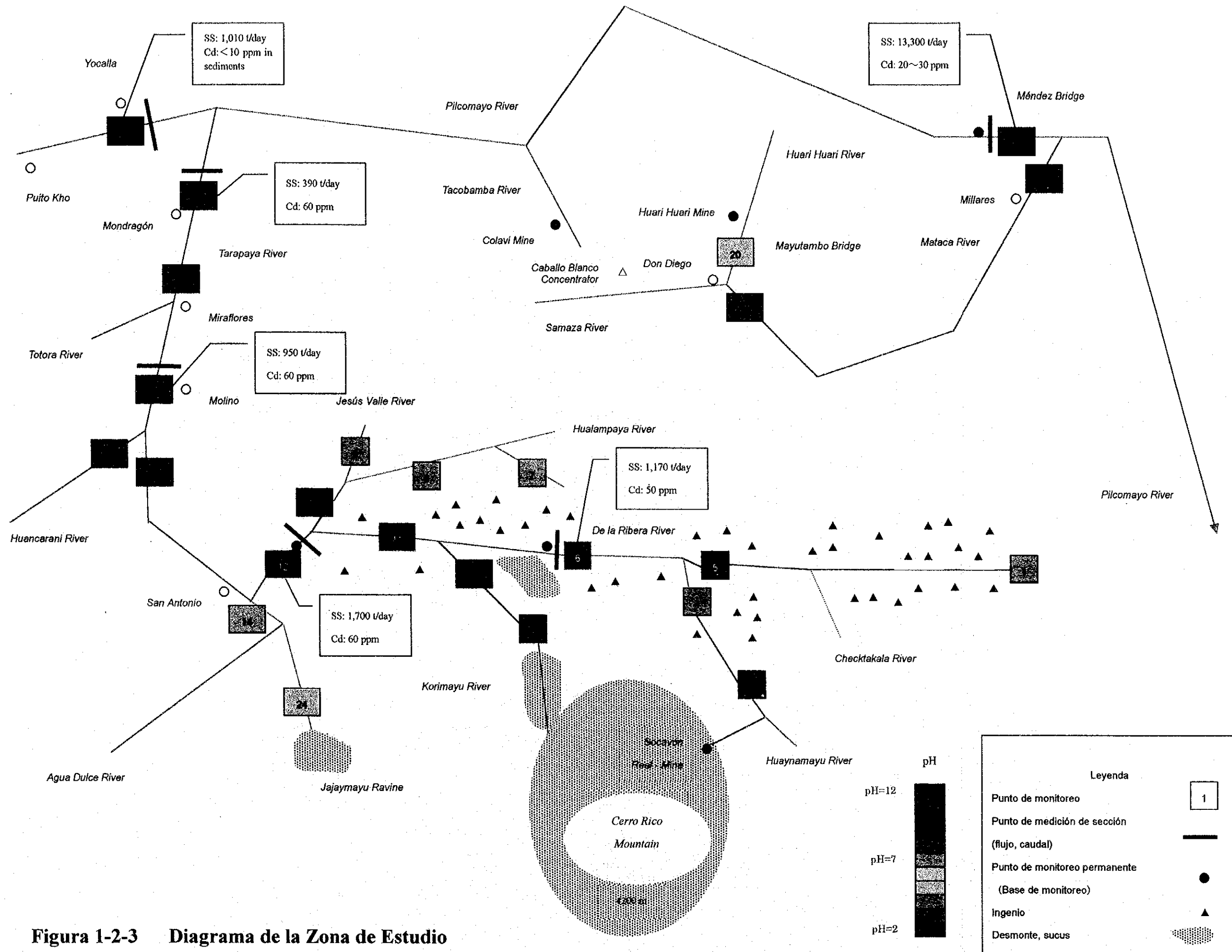


Figura 1-2-3 Diagrama de la Zona de Estudio

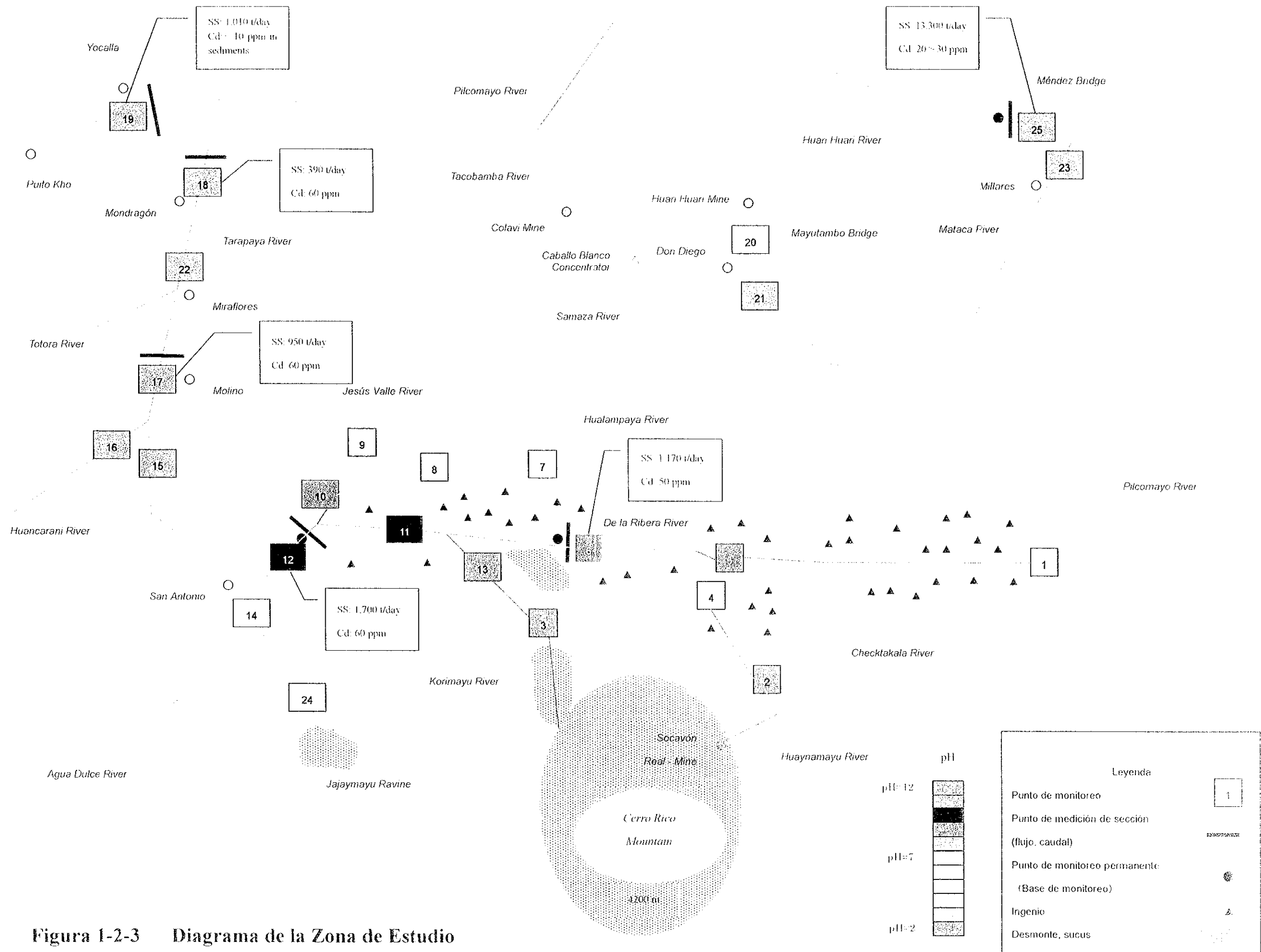


Figura 1-2-3 Diagrama de la Zona de Estudio





## Capítulo 2

### Información General y Situación de la Actividad Minera en Bolivia y Potosí

#### 2-1 Información general de Bolivia y Potosí

##### 2-1-1 Política y aspectos sociales

###### (1) Situación política

A continuación se presenta una breve reseña de la evolución política de Bolivia.

- 2000 años antes de Cristo: Establecimiento de la civilización Aymará a orillas del Lago Titicaca.
- 1000 años antes de Cristo: Llegada del Inca a esta región desde el Cusco.
- Finales del siglo XV: El Imperio Incaico logra conquista total de la Cultura Aymará.
- 1532: El Imperio Incaico es conquistado por los españoles.
- 1532: Se funda la ciudad de Sucre por españoles como centro de la colonia.
- 1545: Se descubren las minas de plata en Potosí.
- 1825: Bolivia logra su independencia de la Colonia española.
- 1879-1883: Guerra del Pacífico con Chile.
- 1904: Como consecuencia de la guerra, Bolivia pierde su región costera.
- 1964-1982: Epoca de régimen militar.
- Desde Agosto de 1997: Bolivia se encuentra bajo el régimen democrático del Presidente General (r) Hugo Banzer Suárez.

###### (2) Aspectos sociales

En el cuadro que se muestra a continuación se muestran algunos indicadores sociales extraídos del cuadro 1 del anexo 4.



## Indicadores sociales de Bolivia y Departamento de Potosí

Item	Unidad	País	Departamento de Potosí
Población en 1995	1.000 habitantes	7.414	728
Población en 2000 (estimado)	1.000 habitantes	8.329	774
Tasa de crecimiento de la población	%, promedio del periodo 1995-2000	2,3	1,2
Tasa de natalidad	%, promedio del periodo 1995-2000	3,3	3,4
Tiempo de vida promedio	años, promedio del periodo 1995-2000	61,4	56,3
Número de camas en hospitales por cada mil habitantes	Unidades en 1995	1,5	1,4
Tasa de analfabetismo	%, población mayor de 15 años en 1995	20	38
Número de egresados de universidades	Número de egresados en 1995	4.132	132

El crecimiento anual de la población se muestra en el cuadro 2 del anexo 4.

De estos cuadros es fácil notar que el promedio de vida y el número de jóvenes en el departamento de Potosí son los más bajos de Bolivia. La distribución racial en Bolivia se muestra en el cuadro 3 del anexo 4.

En cuanto a la religión, de acuerdo a encuestas públicas, en 1992 un 85% de la población es católica, 1% evangélica y 3% entre otras religiones y ninguna. La mayor parte de personas devotas a la religión evangélica pertenecen a comunidades rurales, siendo un 13 % de los habitantes rurales.

El número de camas per cápita en los hospitales y el porcentaje de enfermos que acuden a dichas instituciones por enfermedades comunes se muestra en el cuadro 4 del anexo 4; al respecto, Bolivia que cuenta con solo 1,4 camas por cada 1.000 habitantes, está en desventaja con respecto a países vecinos que cuentan con 3,1 y 1,5 camas por cada 1.000 habitantes en Chile y Perú respectivamente. En Potosí el número de camas por habitante ha ido aumentado considerablemente, sin embargo, también tiene el más alto porcentaje de enfermos en Bolivia; aunque, la malaria y el cólera no se presentan con frecuencia, del mismo modo que en Oruro, debido a la altura.

En el cuadro 5 del anexo 4 se muestran las tasas de analfabetismo y egresado de centros educativos superiores. Se puede observar la alta tasa de analfabetismo y bajo número de graduados en Potosí comparado con otros departamentos.

## 2-1-2 Sector productivo y energía

### Indicadores del sector productivo y energético de Bolivia y Potosí

Item	Unidad	País	Departamento de Potosí
Áreas de cultivo	Mil hectáreas en 1993	1.363	117
Producción agrícola unitaria	Bs. por hectárea en 1993	1.722	1.384
PIB agrícola nacional y participación departamental	Mil Bs., % en 1993	2.347.200	6,7
PIB agrícola comparado con PIB nacional	% en 1993	12,4	
PIB pecuario nacional y participación departamental	Mil Bs., % en 1993	1.044.266	4,3
PIB pecuario comparado con PIB nacional	% en 1993	5,5	
PIB forestal nacional y participación departamental	Mil Bs., % en 1993	259.013	0,5
PIB forestal comparado con PIB nacional	% en 1993	1,4	
Producción de estaño	Mil toneladas en 1992	16,5	3,6
Participación mundial en producción de estaño	%	8,4	
Producción de zinc	Mil toneladas en 1992	143,9	80,1
Participación mundial en producción de zinc	%	2,0	

#### (1) Agricultura

Bolivia tiene una extensión de 1.098.581Km<sup>2</sup>, sin embargo, las áreas de cultivo solo abarcan 14.000Km<sup>2</sup> lo que significa que sólo un 1,3 % del total del territorio es utilizado para la agricultura. En el cuadro 6 del anexo 4 se muestran las áreas de producción agrícola en Bolivia y Potosí.

Potosí por ser una región muy alta, tiene muy limitada productividad agrícola. El área de cultivo es entre 1 a 2 hectáreas por campesino, mientras que en regiones más bajas alcanzan entre 5 a 10 hectáreas. Los métodos agrícolas son muy rudimentarios, ya que se limitan a la rotación de unos tres productos como papa, quinua y cebada principalmente. Se utiliza también el excremento de ovinos como fertilizante.

Desde la aplicación de la reforma agraria de 1953, muchos agricultores han emigrado a zonas más bajas, especialmente hacia Santa Cruz. Esta migración ha impulsado el aumento de la producción agrícola del país.

## (2) Ganadería

Bolivia cuenta con ganados vacuno, ovino, porcino y una variedad de camélidos. El número de ganados por especie se muestra en el cuadro 7 del anexo 4. En el caso de productores pecuarios de la región alta, utilizan a los animales para el trabajo por un período de 7 años y luego son puestos a la venta.

## (3) Recurso Forestal

Bolivia tiene una extensión de 564.684Km<sup>2</sup> en recursos forestales, con valor de producción anual ascendente a Bs.300 millones aproximadamente, como se muestra en el cuadro 8 del anexo 4. Las principales especies comerciales de madera de entre sus 40 especies son mara (50-57%), laurel (16-22%) y ochoa (8-16%) que son usados para minería 135.000 m<sup>3</sup>, durmientes 22.000m<sup>3</sup> y postes de telégrafos 14.800m<sup>3</sup>. Por otra parte cuenta con productos como látex, carbón vegetal y leña.

## (4) Pesca

Debido a que Bolivia no cuenta con mar ni buen sistema de transporte con refrigeración, es poco usual la dieta alimenticia basada en productos marinos. Se estima que el consumo per cápita de pescado de la población es 1,1 kilogramos, siendo éste alrededor 7.400 toneladas al año. De ello un 60% es suministrado por producción doméstica y el resto es de importación. Sin embargo, se dice que el área potencial para el cultivo de peces es de 14.192 Km<sup>2</sup>, cifra que equivale a una producción de 35.000 toneladas de pesca anuales. Es decir, con ello se podría incrementar del actual nivel de producción alrededor de 5.000 toneladas a 40.000 toneladas dando una capacidad de alimentación de 6 kilogramos anuales per cápita.

En la zona del estudio, el río Pilcomayo es el más importante para la producción pesquera, representando el 48% del total. Los otros de importancia son los ríos de la región amazónica abarcando el 38% y el lago Titicaca con 14%.

#### (5) Sector industrial (manufactura)

En 1993, la participación del sector industrial (excluyase minería, explotación de petróleo y gas natural, generación de electricidad y suministro de agua y gas) alcanzó el 18,8% del producto interno bruto. En el caso de Potosí el sector industrial fue de 6,7%. En el ámbito nacional, las industrias más importantes excluyendo minería, petróleo, electricidad, gas y agua, son refinación de petróleo, producción de neumáticos y tubos, procesamiento de alimentos, joyería, refinación de azúcar, industria de bebidas alcohólicas y aceites vegetal y animal.

En el caso de Potosí se tienen procesamiento de alimentos, producción de harina, bebidas alcohólicas, panificación y manufactura de plásticos.

En Bolivia existen tres refinerías de petróleo pertenecientes a Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) instalados en Cochabamba, Santa Cruz, y Sucre con una capacidad de 27.000 barriles, 15.000 barriles y 3.000 barriles al día respectivamente. Por otra parte se tienen industrias de cemento como: SOBOCE en Viacha, COBOCE en Cochabamba, FANCESA en Sucre, El Puente en Tarija y CAMBA en Santa Cruz cuya producción en 1995 alcanzó a 285.000, 204.000, 246.000, 43.000 y 90.000 toneladas respectivamente.

En Potosí las industrias más importantes son: la "Cervecería Nacional de Potosí", fábrica de harina y fideos "Industria Potosí" y "Embotelladora de Refrescos Centenario".

#### (6) Energía

En 1993, el consumo de energía de Bolivia por habitante alcanzó a 340 kilogramos equivalentes en petróleo, lo que resulta ser un tercio del promedio en Latinoamérica que es de 1.000 kilogramos. Especialmente en las regiones

rurales de Bolivia tienen consumo de solo 262 kilogramos equivalentes en petróleo, debido a la baja densidad poblacional.

La producción de energía en 1992 alcanzó a 53.869 mil barriles equivalentes en petróleo; el 26,5 % de ésta se exportó principalmente a Argentina como gas natural y el restante ha sido usado para la generación de energía primaria domésticamente.

La distribución del suministro de energía fue de 40,2%, 34,4%, 1,3%, 23,7% y 0,4 % para residencias, comercio, transporte, agricultura, industria y otros respectivamente. El cuadro 9 del anexo 4, muestra a las compañías que suministran electricidad, la cual es producida a través de energía hidráulica, gas, diesel y otros en 56 %, 37 %, 5 % y 2 % respectivamente.

La actividad de suministro de electricidad ha sido administrada por varias empresas. La empresa ENDE, la mayor empresa con la mitad del accionariado en poder del Estado, fue vendida a tres compañías norteamericanas de electricidad en julio de 1996.

### 2-1-3 Aspectos económicos

#### Indicadores económicos de Bolivia y Potosí

Item	Unidad	País	Departamento de Potosí
PIB	Millón Bs. en 1993	21.941	1.207
Participación de la minería en PIB	%	3,5	20,9
PIB per cápita	Dólar norteamericano de 1993	737	400
PIB per cápita en países vecinos Dólar norteamericano de 1993	Argentina	5.571	
	Brasil	3.405	
	Chile	2.812	
	Perú	1.837	

## (1) Producto Interno Bruto

El PIB de Bolivia en 1993 fue de 21.941 millones de bolivianos (114,7% de la cifra correspondiente al año 1990 en valores reales). En el caso de Potosí las cifras correspondientes son de 1.207 millones de bolivianos (112,3% de la cifra del año 1990 en valores reales).

En comparación a los índices de 1990, se observa un incremento significativo en 1993, en los ítems de electricidad, gas, agua y construcción para Bolivia y de construcción para Potosí. En el ámbito nacional se observa una disminución en los sectores restaurantes, hoteles y otros. En Potosí en los sectores electricidad, gas, agua y servicio público. La participación de Potosí en el PIB nacional fue de 6,4 % en 1993. Sin embargo su participación en el PIB del sector minero abarcó 36,1% del total nacional. (Ver cuadro mostrado arriba y cuadro 10 del anexo 4.)

El PIB nacional fue de 31.840 millones de bolivianos en 1996 (125,5% del valor en 1990).

## (2) Política de Desarrollo Económico

Existe una explicación descriptiva del desarrollo económico reciente de Bolivia. Por otro lado, se puede decir que Bolivia ha iniciado su modernización con sus propios recursos y ayuda de organismos de cooperación internacional, abarcando el siguiente temario:

- Reforma del sistema financiero nacional
- Reforma en los procedimientos de comercio exterior
- Privatización de empresas del Estado
- Fomento a la participación de la población
- Descentralización del poder ejecutivo

### (3) Empleo

En el cuadro 11 del anexo 4, se muestran las clases de trabajos a los que está empleada la población. En el cuadro 12 del anexo 4 se muestra el nivel de ocupación y desempleo en Bolivia, clasificado por edad y sexo.

### (4) Precios y Salarios

La población de Potosí recibe el ingreso promedio más bajo de Bolivia (Ver cuadro 14 del anexo 4 donde se muestra la evolución anual per cápita del Departamento en dólares americanos). Por otro lado, la población de Bolivia tiene el más bajo poder adquisitivo en Sudamérica (Ver cuadro 16 del anexo 4). Sin embargo, en los últimos cinco años la inflación anual se ha controlado alrededor del 10% y se puede afirmar que la economía se ha estabilizado. El cuadro 15 del anexo 4 muestra el salario mínimo y la evolución de salarios en los últimos años.

### (5) Deuda externa y tipo de cambio

El cuadro 16 del anexo 4 muestra una devaluación anual del orden de 7% y balanza comercial negativa, sin embargo, esta diferencia es cubierta con créditos del exterior.

### (6) Comercio exterior

En los cuadros 17, 18, 19 y 20 del anexo 4 se muestran el balance anual de comercio exterior; valor anual de exportaciones por productos; valor de importación anual por productos; y, principales países de comercio exterior. En los últimos cinco años el balance comercial ha sido ligeramente negativo, razón por la cual la deuda fiscal está incrementando.

### (7) Aspectos históricos

Mediante la Ley de 1952 fue declarado que la propiedad de tierras de cultivo debe pertenecer a aquellos a que la trabajan. Esta ley fue promulgada con el objeto de mejorar y hacer eficiente el trabajo de cultivo en estas tierras. Para la irrigación de tierras, los campesinos deben obtener consentimiento de toda la comunidad para el uso de agua, y con frecuencia debe colaborar con la limpieza de canales y demás trabajos relacionados con la irrigación.

En Bolivia existen organizaciones como prefecturas y municipios elegidos por el presidente y los habitantes respectivamente. Por otra parte en el ámbito provincial existen organizaciones informales liderados por "curacas" (especie de líder en agrupaciones campesinas).

(8) Infraestructura ambiental

Cada departamento de Bolivia tiene su propia compañía de suministro de agua y saneamiento básicos. En el caso de Potosí, la Administración de Agua Potable y Saneamiento (AAPOS) es responsable de proveer agua potable y la Municipalidad está a cargo del alcantarillado. Actualmente AAPOS tiene contratos con 15.819 usuarios que corresponde a más de la mitad del requerimiento total de la población de la ciudad. El suministro de agua para zonas rurales está a cargo de UNASBA que cuenta con una cobertura del 26%. El plan de urbanización de la ciudad está a cargo del municipio que está preparando uno nuevo considerando aspectos ambientales.

2-1-4 Medio ambiente natural

(1) El Estado

El nombre oficial del país es: República de Bolivia, cuya capital oficial es Sucre, y la sede de Gobierno La Paz. La República de Bolivia obtuvo su independencia de la colonia española en 1825 como consecuencia de la Guerra de Independencia.

(2) Geografía

La República de Bolivia está situada en el centro de Sudamérica, con una extensión territorial de 1.098.591Km<sup>2</sup>, ubicada entre 69° 8' y 58° y 25' longitud oeste y 9° 38' y 22°53' latitud sur. El departamento de Potosí tiene una extensión territorial de 118.218Km<sup>2</sup>. Su capital de Potosí está ubicado en longitud 68°12'00" oeste y latitud 16° 40'30" sur.

En la figura 1 del anexo 4 se muestran las altitudes del territorio. El país se divide en tres regiones considerando características geográficas como montañas, valles y planicies cuya proporción son respectivamente 16%, 19% y



65%. Los 9 departamentos del país pueden ser clasificados dentro de estas 3 regiones como se muestra en el cuadro 21 del anexo 4. En este cuadro también se muestran a las 16 provincias de Potosí y su ubicación geográfica; y la figura 2 del anexo 4 muestra el mapa político del Departamento de Potosí.

### (3) Condiciones meteorológicas

Las características climatológicas del país pueden ser clasificadas como sigue:

- Clima de regiones altas: clima típico de las regiones altas; días calurosos y noches frías con pequeñas precipitaciones; con cultivo limitado de papa, haba, oca, etc.
- Clima de los valles: clima semi-tropical y el promedio de temperatura y precipitaciones son 15°-20°C y 697-790 mm respectivamente; lo cual ofrece un buen clima para vivir.
- Clima de los llanos de noreste: temperatura y precipitaciones muy altas. Típico clima tropical lluvioso.
- Clima de los llanos del sudeste: seca y considerada como clima de sabana.

Las figuras 3, 4 y 5 presentan el clima, condiciones de lluvia y la temperatura en el ámbito nacional. El cuadro 22 del anexo 4 muestra el promedio de temperatura y precipitaciones en la región desde hace 15 años.

### (4) Areas verdes

La extensión de bosques de Bolivia es el octavo más grande del mundo con una extensión de 564.684Km<sup>2</sup> que representa el 51,4% del territorio nacional (ver cuadro 23 del anexo 4). El recurso forestal en Bolivia es administrado por el Ministerio de Agricultura. La ganadería y el desarrollo rural se administran bajo la Ley General Forestal y con la colaboración del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

### (5) Hidrología

Los ríos y lagos son los principales recursos hidrológicos de Bolivia. En el cuadro 24 del anexo 4 se muestra la extensión de las cuencas referida a la superficie total de Bolivia. En el cuadro 25 del mismo anexo se muestra la extensión del río Pilcomayo, el cual es objeto del presente estudio. En Bolivia existen varios lagos de importancia como son el Titicaca, Poopo, Uru Uru, Lago del Salar de Uyuni, Lago del Salar de Coipasa cuyas superficies son

8.300Km<sup>2</sup>, 1.337Km<sup>2</sup>, 214Km<sup>2</sup>, 10.582Km<sup>2</sup> y 2.218Km<sup>2</sup> respectivamente (ver figura 6 del anexo 4). Los ríos y lagos de Bolivia son administrados por el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

#### (6) Fauna y flora

Los artículos del 52 al 57 de la Ley de Medio Ambiente, establecen normas sobre la protección, conservación y recuperación de animales y plantas silvestres. En Bolivia existen 2.342 especies de animales vertebrados incluyendo 1.274 especies de aves, 282 especies de mamíferos, 250 especies de reptiles, 110 especies de anfibios y más de 500 especies de peces de las cuales 50 especies solo se pueden observar en este país. Además existe gran variedad de especies de plantas. En Bolivia, la llama, alpaca, vicuña y guanaco son los animales más importantes por razones económicas (ver cuadro 26 del anexo 4). La administración de estas especies está mencionada por la Ley. Existen 21 áreas protegidas en Bolivia y animales que requieren protección y plan de manejo para conservación. Los animales, plantas selváticas y áreas protegidos de Bolivia son administrados por el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

En el departamento de Potosí existen 4 áreas protegidas, una de ellas es "Eduardo Avaroa" el cual tiene un área de 714.475 Has y su posición geológica entre 22° 00', 25°53' y 22°00', 22°56' de latitud sur y 66°56', 68°02' y 67°58', 68°40' de longitud oeste; donde 2 especies de camélidos (vicuña y guanaco) y 4 especies de flamencos (chilence, andino, james y ñandú petizo) son las especies de mayor protección.

#### (7) Suelo

En la Ley de Medio Ambiente se establece la protección del suelo para la forestación y la agricultura, especialmente en la región de Potosí que tiene la característica de crear tierra arenosa debido a la erosión ocasionado por fuertes vientos y clima seco. Uno de los movimientos de prevención fomentado por la administración es el programa nacional contra la sequía y la desertificación de PRONARDE. La administración de suelos en Bolivia está a cargo del Ministerio de Agricultura. La ganadería y el desarrollo rural se administran bajo la Ley Forestal con la colaboración del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

#### 2-1-5 Aspectos especiales de Potosí

Por el aspecto geográfico de Cerro Rico y la historia propia de la ciudad, el 7 de Diciembre de 1987 la UNESCO lo declaró Patrimonio Natural y Cultural de la Humanidad.

Debido a próspera historia de la ciudad y la explotación minera del cerro, después del cierre de COMIBOL, el desarrollo de actividades mineras en general en el Cerro Rico se han convertido en un aspecto delicado, sobre todo aquellas que puedan afectar la estructura original del cerro producen susceptibilidad en la población Potosina.

## 2-2 Situación de la Actividad Minera en Bolivia y Potosí

### 2-2-1 Minería de Bolivia

Una de las actividades más importantes de Bolivia es la minería, siendo las exportaciones de zinc, plomo, estaño, petróleo y gas natural más de la mitad del valor total. El sector de minería ha sido la más importante de Bolivia histórica y económicamente.

El desarrollo de minas se inició antes de la colonización española. Los españoles llegaron en el siglo XVI. En 1545 fue descubierta la plata y se inició la producción a gran escala. Sin embargo, actualmente se encuentra en era de metales no ferrosos. En el siglo XVIII, Potosí se sumió a una depresión debida a problemas ocasionados por las guerras de independencia de España, que afectaron el comercio de plata; sin embargo durante el siglo XIX la demanda mundial de estaño mejora notablemente la actividad económica en Potosí. En 1952 el Estado inició las actividades de la empresa COMIBOL. Al mismo tiempo, se proclamó como la empresa minera de estaño más grande del mundo. Sin embargo, con el colapso del mercado de estaño en 1985, las operaciones de COMIBOL tuvo que cambiar drásticamente. Fue disuelta la producción de la compañía en diferentes divisiones, siendo puestas en venta los derechos mineros de explotación a empresas de riesgo compartido y otros arrendados a pequeños mineros. Su disolución originó también la reducción de oferta laboral de 30.000 trabajadores a la vigésima parte para fines de 1996.

Luego de la caída del precio del estaño, las empresas mineras inician la explotación de minerales polimetálicos, asimismo la introducción de capitales extranjeros y modernización mediante privatización de empresas del Estado, entre otras. COMIBOL no fue la excepción; el agotamiento de yacimientos y grandes pérdidas fueron causales de disociación y privatización. Bajo estas circunstancias, la tendencia del sector es invertir en minas de oro.

Por otro lado, instituciones de apoyo a la actividad minera como el Banco Minero y Fondos para la actividad minera no pudieron continuar prestando sus servicios y actualmente se encuentran en procesos de liquidación. En estas circunstancias la administración de pequeñas y medianas empresas se ha tornado aún más difícil.

Por otro lado, la larga trayectoria de la actividad minera caracterizada por haber dado prioridad a la producción, ha originado la acumulación de contaminantes afectando el ecosistema. Como se mencionó en el capítulo anterior, el Estado creó la agencia de asuntos ambientales en 1992 y luego el Viceministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (Actualmente Viceministerio de Recursos Naturales, Medio Ambiente y Desarrollo Forestal) del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (MDSP) para tratar los temas que afectan al medio ambiente. Siendo una de sus tareas más importantes lograr la compatibilidad entre desarrollo económico y la protección ambiental.

#### 2-2-2 Actividad minera en 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.

A continuación se describen la geología, el yacimiento minero y aspectos relacionados a extracción y beneficio de minerales.

##### (1) Geología

El yacimiento de Potosí, está ubicado en la parte central del cinturón de mineralización de estaño al este de la cordillera de Bolivia. La geología de este yacimiento consiste en formación Ordovicio, Mioceno en presencia de dacita del Cerro Rico (ver figuras 2-2-1 y 2-2-2).

Los yacimientos de las minas en Potosí, están compuestos por vetas hidrotermales rellenas de innumerables fisuras originadas en lutitas de Ordovicio, tufas dacíticas, tufas tipo brecha y domo de dacitas intrusivas. Las vetas

de estaño, que frecuentemente son de solo 5 centímetros de ancho, aparecen en pórfidos de dacita, mientras que vetas de plata/zinc de 0,5 a 1,5 metros de ancho aparecen en los alrededores de brechas, tufas y eventualmente en los pórfidos. Las vetas de plata/zinc cuentan en promedio entre 500 y 600 gramos/tonelada de plata y 10% de zinc. Sin embargo, debido a deposición a bajas temperaturas, la plata está finamente diseminada en la roca madre; el promedio de ley de la plata en las vetas principales es de 100 gramos/tonelada.

La cima del Cerro Rico está intensamente silicificada por tipos aporcelanados. En niveles inferiores son comunes encontrar sílica, sericita, y arcillas como principales minerales, desplazando a las dacitas y cuarzo. La turmalina se presenta en profundidades. Hacia el centro de la formación del intrusivo, son minerales de alta temperatura como la casiterita, pirita, wolframita y arsenopirita. En la parte externa se encuentran los minerales de plata de bajas temperaturas y sulfosales de plomo/zinc/plata. La mineralogía es extremadamente compleja, con pirargirita, esfalerita, galena, tetraedrita, jamesonita, boulangerita, estanita, y otros. Estos minerales aparecen en íntima asociación con gangas de cuarzo, turmalina, alunita, caolinita, sericitas, fosfofilita, siderita, etc. En el cuadro 2-2-1 se muestra la lista de minerales presentes en el Cerro Rico de Potosí.

(2) El yacimiento

1) Depósito de minerales tipo veta de zinc (actualmente en extracción)

COMIBOL ha calculado las reservas de tipo veta de plata/zinc incluyendo reservas proyectadas en marzo de 1993 en 1.017.721 toneladas con 644 gramos/tonelada de plata y 11,58% de zinc; sin embargo, luego de esta fecha no ha realizado exploraciones. Además, este cálculo de reservas se limita al yacimiento correspondiente a la Compañía Minera Pailaviri. Con estas cifras es posible estimar que la vida útil es entre 11 a 17 años contados desde 1994, si la Compañía Minera Pailaviri continuara el mismo nivel de extracción actual (60 a 90 toneladas/día). Con la finalidad de elongar la vida útil de la mina, es necesario disminuir el cut off (ley mínima de mineral económicamente factible para explotar) con el objeto de aumentar la reserva de minerales, asimismo, realizar nuevas exploraciones en la zona. Con ello, poder asegurar la vida útil de la mina hasta el año 2015 ó 2020.

Por otro lado, sobre las operaciones de las Cooperativas Mineras no existe casi información de reservas. En este caso también se sugiere realizar las recomendaciones descritas arriba.

#### 2) Depósitos de minerales diseminados de plata (actualmente en extracción)

Bernstein (1989) ha estimado el potencial de reservas de minerales de plata diseminada en yacimiento como 441.000.000 toneladas con 105,6 gramos/tonelada de plata y entre 0,1 y 0,17% de estaño; y siendo la su zona más rica en 143.000.000 toneladas con 174,0 gramos/tonelada de plata y entre 0,1 y 0,25% de estaño; los cuales son materia de procesamiento mediante lixiviación en pilas. Se requiere explotarlo mediante extracción a cielo abierto, sin embargo, debido a que el Cerro Rico es considerado patrimonio de la humanidad, este tipo de operación estaría restringido.

#### 3) Depósitos coluvio-aluviales (actualmente, no son materia de explotación)

Bernstein (1989) estimó lo siguiente:

- ① Desmonte de minerales: 5,6 millones de toneladas (Ag: 213,1g/t, Sn: 0,1 a 0,25%)
- ② "Sucus": 100 millones de toneladas (Ag: 75,7g/t, Sn: 0,12%)

De entre estos, los de alta ley de plata y estaño son materia de explotación. El resto debe ser sometido a pruebas de recuperación en planta modelo con el fin de reconocer cuáles son materia de explotación.

#### 4) Depósitos estanníferos tipo veta

Se ha reportado reservas de 1.310.000 toneladas con 1,01% de estaño en yacimiento tipo veta, en el informe de COMIBOL más reciente (1986). Sin embargo, desde 1986 se ha abandonado el método de explotación sistemática en la mina. Es menester replantear el método de explotación, considerando métodos económicamente eficientes para ello.

### (3) Explotación

#### 1) Exploraciones

En años recientes, compañías mineras y grupos relacionados no han realizado exploraciones mediante perforación diamantina ni preparación de galerías y cruceros. Pocos geólogos realizan tomas de muestras y corte de frentes con la finalidad de elaborar mapas de ensayos en la mina Pailaviri, donde opera la empresa con misma denominación.

Por otro lado, en los yacimientos donde operan las cooperativas mineras, aparentemente no existen geólogos ni mapas subterráneos. En consecuencia, se infiere que los cálculos de reservas de minerales no son del orden que pueda cubrir un programa de extracciones a largo plazo.

#### 2) Extracción

En la figura 2-2-3 se muestra la ubicación de yacimientos, minas y plantas de beneficio de minerales de la cuenca del río Pilcomayo. La mayor parte de la actividad económica del Departamento de Potosí, consiste de la actividad minera; y, es el Cerro Rico el principal fuente de recursos mineros.

COMIBOL ha producido minerales crudos de estaño del Cerro Rico de Potosí desde 1952 hasta 1985. Debido a la caída del precio del estaño se ha explotado principalmente plata y zinc desde 1986. En 1994, COMIBOL cesa las operaciones en la mina y arrienda las concesiones a pequeños mineros. Previo al cese de operaciones de COMIBOL, las cooperativas mineras habían iniciado su extracción. En 1993 existían 28 cooperativas conformados por 10.000 trabajadores produciendo entre 1.000 y 1.500 toneladas de mineral crudo.

Existen alrededor de 50 concesiones mineras en el yacimiento. "La Boliviana", la más grande y propiedad de COMIBOL, abarca aproximadamente 6Km<sup>2</sup> del cerro. COMIBOL es propietaria de gran cantidad de depósitos aluviales, sin embargo el resto le pertenecen a terceros.



Pailaviri R.C. y unas 30 cooperativas mineras están explotando minerales de plata/zinc en los depósitos del Cerro Rico de Potosí. El tonelaje total de extracción se estima entre 1.300 y 1.600 toneladas/día, siendo la participación de Pailaviri R.C. de 300 toneladas/día y el resto correspondiente a las cooperativas mineras. En términos reales se estima un nivel de producción de 200 días de operación al año, por tanto unas 300 mil toneladas de extracción de mineral crudo anuales.

La evolución de explotación del Cerro Rico se muestra en el siguiente cuadro.

Producción en Cerro Rico de Potosí

Año	Cantidad (ton)		Leyes de mineral		
	COMIBOL	Otras	Sn (%)	Zn (%)	Ag (gr/ton)
1972	268.571				
1976	279.835		0,97		
1980	422.578		0,46		
1985	194.886		0,63		
1988	75.232	250.000*		3,20	271
1993	47.436	250.000*		6,82	328

(Fuente: COMIBOL, Informe Anual). Las leyes sólo para producción de COMIBOL

\* Producción estimada por Cooperativas Mineras

Por otro lado, los desmontes de minerales en la intemperie, con bajo contenido de estaño pero con plata entre 100 y 200 gramos/tonelada, son explotados por COMCO - filial de COMSUR - para ser tratados mediante lixiviación en pilas en su planta ubicada a 5 kilómetros al sur de la mina. La planta de COMCO procesó aproximadamente 300.000 toneladas/año de minerales con 150 gramos/tonelada de plata con una capacidad de 1.000 toneladas/día durante 1997. En los diez años de operaciones hasta inicios de 1997 ha tratado aproximadamente 2.700.000 toneladas de minerales.

El nivel Pailaviri a 4.205 m.s.n.m. se denomina el nivel cero. Las principales galerías se han construido en intervalos de 30 metros, siendo el nivel decimoquinto, el más bajo. Los niveles inferiores al décimo cuya cota es 3.900 metros están inundados por agua. Se han reconocido 437 bocaminas en 1993.

El corte y relleno con shrinkage stopping (explotación por cámara almacén) son los métodos utilizados en la Mina Pailaviri. Poseen dos cuadros (shafts) equipados con cables eléctricos, locomotoras trolley, perforadoras de aire comprimido, etc., sin embargo no cuentan con equipos de mayor envergadura.

Por otro lado, en el depósito de Potosí, las cooperativas mineras no aplican métodos sistemáticos y modernos de explotación, al contrario, su labor es complicada. Las operaciones manuales son la mayoría y se observan muchos aspectos que están fuera de las normas de seguridad.

Se ha explotado completamente la zona de los óxidos de estaño por encima de la cota 4.400 metros. A pesar que la mayor parte de minerales de estaño entre los niveles 4.200 y 4.400 metros son sulfuros, difíciles de procesar en plantas concentradoras, han sido extraídos.

Los minerales de plata por encima de la cota 4.400 metros han sido explotados hasta el siglo XIX. En el presente, las vetas de plata/zinc ubicadas en las tufas comunes y de tipo brecha entre las cotas 4.200 y 4.400 metros son explotadas activamente.

Las vetas en producción están ubicadas en la zona sudeste de la mina. Estas han sido descubiertas mucho tiempo atrás y están siendo minadas por muchos años. De ello se estima que no debe haber considerable cantidad de reserva de minerales. Sin embargo, la veta Plomo, descubierta hace poco, se estima que tiene grandes reservas de alta ley.

### 3) Procesamiento de minerales

Los minerales crudos extraídos del Cerro Rico son procesados en los ingenios de la zona. Al inicio del presente estudio, se reportaba la existencia de 34 ingenios; sin embargo, en el transcurso aumentaron a 39 y a fines del cuarto estudio in situ (octubre de 1998) se registraron 42 en total. A pesar que en forma individual, sufren

dificultades administrativas, existe tendencia a incrementar en forma conjunta. La capacidad instalada de la mayoría es por debajo de 50 toneladas/día, siendo su producción de pequeña escala; aún el mayor de ellos proyecta una capacidad instalada de 370 toneladas/día. Debido a ello su productividad es baja.

Capacidad instalada ton/día	Menores 50 ton/día	Entre 51 a 100 ton/día	Mayores de 100 ton/día
Número de ingenios	27	11	4

Nota: mínimo: 5 ton/día, máximo 370 ton/día.

La capacidad instalada integral excluyendo a 8 ingenios que se encuentran inactivas es de 2.365 toneladas/día; sin embargo, la producción efectiva se estima del orden entre 1.300 a 1.600 toneladas/día. La mayoría de los ingenios procesan minerales procedentes del Cerro Rico (minerales extraídos por la Empresa Minera Pailaviri R.C. y unas 30 Cooperativas Mineras), excepto algunos que tratan minerales de otras zonas (Minas Propias, Comparas, Animas, Porco, Oruro, San Lucas, etc.)

La mayoría de estos ingenios procesan sulfuros de plomo y zinc (un sólo ingenio procesa óxidos de estaño mediante separación gravimétrica sobre colas de flotación de plomo y zinc), siendo su proceso consistente en trituración – molienda – flotación (flotación directa selectiva plomo/zinc) para producir concentrados de plomo y zinc con contenido de plata. La eficiencia es baja y existe rango para mejoramiento. Un grupo de ingenios posee pozas de sedimentación de colas para reciclar el agua de proceso; sin embargo, no existe ingenio alguno que realice tratamiento de sus colas vertiendo residuos alcalinos a los ríos.

El cuadro 2-2-2 muestra una reseña histórica de procesamiento de minerales en Potosí; el cuadro 2-2-3 muestra los resultados de investigación en ingenios (actualizado a octubre de 1998); el cuadro 2-2-4 muestra la eficiencia de operaciones en ingenios (actualizado entre enero/marzo de 1998); el cuadro 2-2-5 se listan los reactivos químicos usados en flotación; en la figura 2-2-4 se muestran las ubicaciones de los ingenios (actualizado a octubre de 1998); en la figura 2-2-5 se muestra el diagrama de flujo de procesamiento de minerales; y, en el anexo se presentan fotografías de ingenios de Potosí.

**Cuadro 2-2-1 Nomenclatura de Minerales**

Formula	Nomenclatura
Au	oro nativa
Ag	plata nativa
Ag <sub>2</sub> S	argentita
Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>	pirargirita
Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>	proustita
AgBiS <sub>3</sub>	matildita
Ag <sub>3</sub> SbS <sub>4</sub>	estefanita
Cu	cobre nativo
CuFeS <sub>2</sub>	calcopirita
Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	enargita
Cu <sub>3</sub> FeS <sub>4</sub>	bornita
CuS	covelita, covelina
Cu <sub>2</sub> S	calcocina, calcocita
Cu <sub>2</sub> O	cuprita
CuO	tenorita
Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub>	malaquita
CuSiO <sub>3</sub> · 2H <sub>2</sub> O	crisocola
Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · (OH) <sub>2</sub>	azurita
(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	tetrahedrita
(Cu,Fe) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	tennantita
(Ag,Cu,Fe) <sub>12</sub> (Sb,As) <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	calcantita
PbS	galena
PbSO <sub>4</sub>	anglesita
PbCO <sub>3</sub>	cerusita
ZnS	esfalerita, zinc-blenda
(Zn,Fe)S	marmatita
ZnS	wurtzita
ZnCO <sub>3</sub>	smithsonita
Zn <sub>4</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (OH) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	hemimorfita
Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	willemita
ZnO	cincita
SnO <sub>2</sub>	casiterita
Cu <sub>2</sub> FeSnS <sub>4</sub>	estannita, estannina
FeO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	magnetita
α-FeO(OH)	goetita
FeCO <sub>3</sub>	: (limonita)
α-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	siderita
FeS <sub>2</sub>	hematita
FeS <sub>2</sub>	pirita
FeS <sub>2</sub>	marcasita
Fe <sub>1-x</sub> S	pirotina
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	estibina
Pb <sub>2</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>	jamesonita
As	arsenico nativo
AsS	rejalgar
As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	oropimente
FeAsS	arsenopirita
Bi	bismuto nativo
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	bismutinita
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	bismita
SiO <sub>2</sub>	cuarzo
CaCO <sub>3</sub>	calcita
CaCO <sub>3</sub>	piedra caliza
K-Al-SO <sub>4</sub>	alunita
CaF <sub>2</sub>	fluorita
CaAl <sub>2</sub> (F,OH) <sub>8</sub>	
S	asufre nativo

Pasado

Minerales de Ag: recuperación de Ag con minerales de alta ley.



Minerales de SnO<sub>2</sub>: recuperación mediante separación gravimétrica simple



Colapso de ITC: Caída brusca de precios de Sn (Aproximadamente a la mitad) ¿No se pudo realizar cambios de tecnología para recuperación de SnO<sub>2</sub>?



Presente

- 1) Recuperación de concentrados de Pb y Zn con contenido de Ag: flotación de PbS, ZnS (con contenido de Ag).
- 2) Sin recuperar SnO<sub>2</sub>.
- 1) En estado de abandono grandes cantidades de desechos mineros en depósitos de relaves y alrededores de minas (especialmente colas de separación gravimétrica) con contenido de Sn y Ag.

**Cuadro 2-2-2 Reseña histórica de procesamiento de minerales**

Cuadro 2 - 2 - 3 Investigacion sobre ingenios:( '98.10.20)\*1

No.	Name of existing Ingenio	Ex-name of existing Ingenio	Facilities capacity t/d :this time deta (prefecture deta)	Remarks
1	Nanay		30 ( 60)	
2	San Jose	Petra Minerales	40 ( 60)	
3	OTTO:Vera Cruz OTTO	Star Yuntin Mineral Process	250 (100)	
4	San Miguel		45 ( 80)	
5	Bolivar		45 ( 75)	
6	San Juan		40 ( 40)	
7,8	E.M.C.A.	Vera Cruz I , II	130 ( 80)	
9	Denver		50 ( 45)	
10	Molino		40? ( 40)	*2
11	Santa Catalina I :Copacabana?	Santa Catalina	80 ( 80)	
12	San Silvestre?	Ingenio Mecanizado	20 ( 40)	
13	Candelaria	Don Quijote	15 ( 15)	
14	San Francisco		5 ( 5)	stopped
15	Zabaleta		40 ( 40)	
16	Ingenio Sagarnaga:EMPO		10 ( 10)	
17	Copacabana	Cortez	100 ( 50)	
18	Daniela	San Luis	50 ( 50)	
19	Palliris		20 ( 20)	Stopped
20	Dolores		30 ( 10)	
21	(Nova) Cruz del Sur		30 ( 15)	
22	Asuncion	Choque-Inclan( y Hnos)	60 ( 30)	
23	Velarde		250 (120)	
24	Andina	Alave	5 ( 10)	stopped
25	Thuru		50 (100)	
26	Gonzalez-Martinez		20 ( 10)	stopped
27	SOMIL(- La Chaca)	Tuntuco	250 (370)	
28	COMICEL	San Jorge	40 ( 30)	stopped
29	(Nova) Fortaleza	Tihuanacu	70 ( 50)	stopped
30	Compania Metalurgica Potosi		40 ( 80)	stopped
31	Mendoza	San Jose de Berque	60 ( 65)	
32	LAMBOL		200 (200)	
33	Santa Lucia		80 ( 60)	
34	Occidental		50 ( 40)	
35	IMSUR	Ingenio del sur	100 ( 60)	
36	Guadalupe		20 ( 20)	*3
37	Ingenio San Pedro Potosi		30 ( 35)	
38	Copacabana		25 ( 25)	
39	Santa Catalina II:San Cristobal?		40 ( 40)	*4
40	San Jorge		100 (120)	
41	SOMINKOR	INTI	100 ( 80)	
42	La Aliada		50 ( 60)	
total 42 Ingenios			2,710(2,520)	
(Reference : prefecture data) Except stopped Ingenios(No. 1,10,14,16,19,24,26,39) Facilities capacity(A) 2,365t/d Treatment scale(B) 1,702 ~ 1,742t/d Treatment ratio(B/A) 72 ~ 74% Operation ratio 75 ~ 90% (supposition) Treatment rate 1,277 ~ 1,568t/d(supposition)				

Note \*1: Ing. Itoh and Ing. Llanos : [reference data] other survey by the prefecture,  
\*2: only grinding, \*3 only crushing, \*4 under construction

Cuadro 2-2-4 Eficiencia de operaciones en ingenios : '98.1-3 y otros

Name of Ingenios	Run of mine ore						Pb concentrate						Zn concentrate						Tailing										
	Ore		Grade		Ore		Grade		Recovery		Grade		Ore		Grade		Recovery		Ore		Grade		Recovery		Ore		Grade		
	quant. t/y	Pb %	Zn %	Ag g/t	quant. t/y	Pb %	Zn %	Ag g/t	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	Ag g/t	quant. t/y	Pb %	Zn %	Ag g/t	Pb %	Zn %	Ag g/t	quant. t/y	Pb %	Zn %	Ag g/t	quant. t/y	Pb %	Zn %	Ag g/t	
1.Nanay *5	9,000																												
2.San Jose *5	12,000		9.0	200																									
3.OTTO *5	75,000																												
4.San Miguel *1	27,261	1.67	12.3	352	790	31.2	15.0	4,485	54.1	3.5	36.9		5,454	1.7	52.4	85.1	20.0												
5.Bolivar *5	13,500		17.0	500																									
6.San Juan *5	12,000																												
7.8.E.M.C.A. *5	39,000		13.0	200																									
9.Denver *5	15,000																												
10.Molino *5	12,000																												
11.Santa Catalina 1*2	24,000		15.0	400									6,840																
12.San Silvestre *5	6,000		15.0	620																									
13.Candelaria *5	4,500																												
14.San Francisco *5	1,500																												
15.Zabaleta *5 *5	12,000		12.0	250																									
16.Inheno Sagarnaga	3,000																												
17.Copacabana *5	30,000																												
18.Dantera *5	15,000																												
19.Palliris *5	6,000																												
20.Dolores *5	9,000																												
21.Cruz del Sur *5	9,000		15.0																										
22.Asuncion *5	18,000																												
23.Velarde *5	75,000																												
24.Andina *5	1,500																												
25.Thuru *5	15,000		9.0	700																									
26.Gonzalez-Martinez	6,000																												
27.SOMIL *3	111,000	1.30	8.0	125	975	52.0	9.0	2,000	65.0	1.8	26.0		8,448	1.2	50.0	30.1	13.0												
28.COMICEL *5	12,000		12.0	600																									
29.Fortaleza *5 *5	21,000		8.5	200																									
30.Comp.Meta.Fotosi	12,000		10.0	300																									
31.Mendoza *5	18,000		14.0	500																									
32.LAMBOL *5	60,000		11.0	250																									
33.Santa Lucia *5	24,000		15.0	300																									
34.Occidental *4	9,321	2.46	11.2	271	220	48.3	12.8	3,270	46.5	2.7	28.4		1,699	3.1	52.6	646	23.1												
35.IMSUR *3	23,640	0.85	9.0	300	263	30.0	20.0	6,000	40.2	2.5	22.8		3,583	2.0	49.0	950	35.7												
36.Guadalupe *5 *5	6,000		16.0	350																									
37.Ing.San Pedro Pot.	9,000		10.0																										
38.Copacabana *5	7,500		10.0																										
39.Santa Catalina 2*5	30,000																												
40.San Jorge *5	30,000																												
41.SOMINKOR *5	30,000		10.0																										
42.La Aliada *5	15,000		13.0	300																									

Note \*1: approximate calculation (estimated with result of '97.11: Ing. Itoh's investigation); \*2: approximate calculation (except above table, in '97, run of mine ore (Sn 1%), Sn concentrate (Sn 35%) 7.2t/y; Ing. Itoh's investigation); \*3: approximate calculation (300days operation); \*4: actual result (1996.11.01 ~ 1997.10.31: Ing. Itoh's investigation); Ore quantity of No.27 SOMIL is quantity after production increase; \*5: approximate calculation (300days operation [supposition]): Ore quantity was investigated by Ing. Itoh and Ing. Llanos in '98.10)  
 ○ No.4,27,34,35 investigated by Ing. Itoh ('98.1-3), others investigated by the prefecture ('97.1)

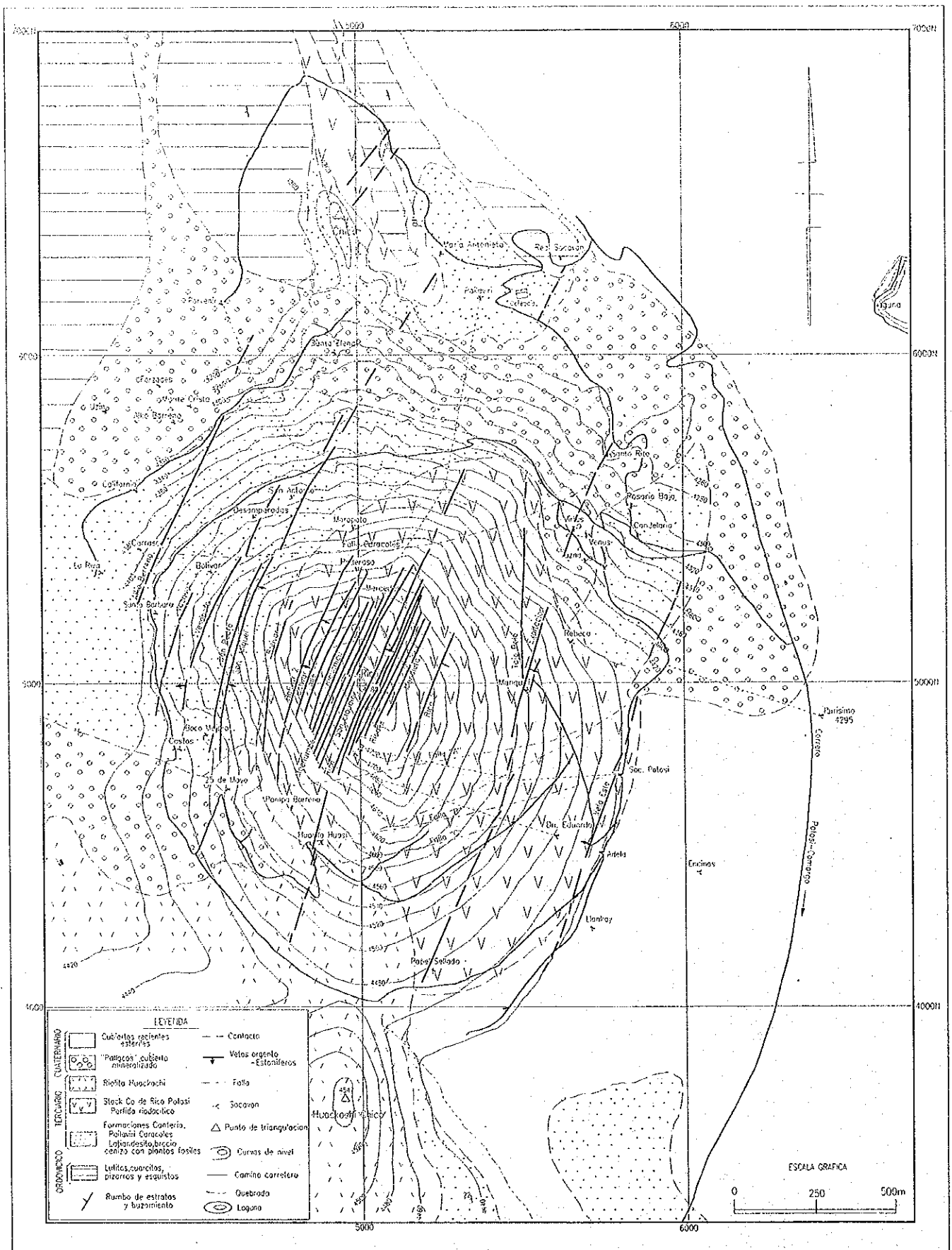
Cuadro 2-2-5 Reactivos usados en ingenios : '98.02.09

Item	1. SOMIL : ex- LA CHACA	2. LAMBOL	3. DEL SUR (SUD) : IMSUR	4. SANTA CATARINA	5. SAN MIGUEL	6. OCCIDENTAL
1. Installed Capacity	250t/d	200t/d	100t/d	80t/d	45t/d	30(50)t/d
2. Flotation Method	Pb-Zn St./Diff.	Pb-Zn St./Diff.	Pb-Zn St./Diff.	Pb-Zn St./Diff.	Pb-Zn St./Diff.	Pb-Zn St./Diff.
3. Particle Size of Feed of Flotation (Pb Flotation)	-48 mesh 100% : +65mesh 约 10%	-150 mesh 75% : +65mesh 13%	①-65 mesh 85% ②-100 mesh 75%	-60 mesh 80%	-65 mesh 85%	-100 mesh 80%
4. pH						
(1) Pb Flotation	6~7: Natural	8: Natural	7.5~8.5	8~10	7.5~9	7.5
(2) Zn Flotation	10~11	10.5~11	10~11.5	13~14	11~12	10~11
5. Flotation Reagent						
(1) Pb Flotation						
(1) pH Regulator	None*1	None*1	CaO*4(T 2,500)	CaO*4(T 5,500)	CaO*4(T 3,772)	CaO*4(T 6,790)
(2) Dep- resant to FeS;*2	NaCN 52 ZnSO <sub>4</sub> 15 NaSiO <sub>3</sub> 23	NaCN 50 ZnSO <sub>4</sub> 100	NaCN 25	NaCN 40	NaCN 34	NaCN*6 40 [+ZnSO <sub>4</sub> ]
(3) Colle- ctor to PbS	Z-14*3 about 3	Z-14*3 about 30	SF-113*5 ab. 30	SF-113*5 ab. 40	SF-113*5 ab. 36	Z-11*5 about 9
(4) Frother to Ag mineral	Aeroflot 242 17	Aeroflot 242 2.5				Aeroflot 208 17
	Dow Froth 1012, 250 ab.39 MIBC 37	Dow Froth 1012, 250 ab.15	Dow Froth 1012 about 50	Dow Froth 1012 about 35	Dow Froth 1012 about 40	Dow Froth 1012 about 35
(2) Zn Flotation						
(1) pH Regulator	CaO 1,915 (ditto)	CaO 10,000 (ditto)	CaO*2 (ditto)	CaO*2 (ditto)	CaO*2 (ditto)	CaO*2 (ditto)
(2) Depressant (to FeS)*2						
(3) Activator (to ZnS)	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O 566	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O 386	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O 600	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O 500	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O 380	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O 370
(4) Collector (to ZnS)	Z-14*3 about 73	Z-14*3 about 83	SF-114*3 ab.120	SF-114*3 ab.60	SF-114*3 ab.66	Z-14*3 about 51
(5) Frother	DowFroth 1012, 250 ab.9	DowFroth 1012, 250 ab.3	DowFroth 1012 about 10	DowFroth 1012 about 5	DowFroth 1012 about 7	DowFroth 1012 about 5
6. Remarks				Recovery of SnO <sub>2</sub> with shaking table from Zn flotation tailing		

注) ○ Investigation by Itoh. No information was obtained from EMCA (EX-VERA CRUZ ).

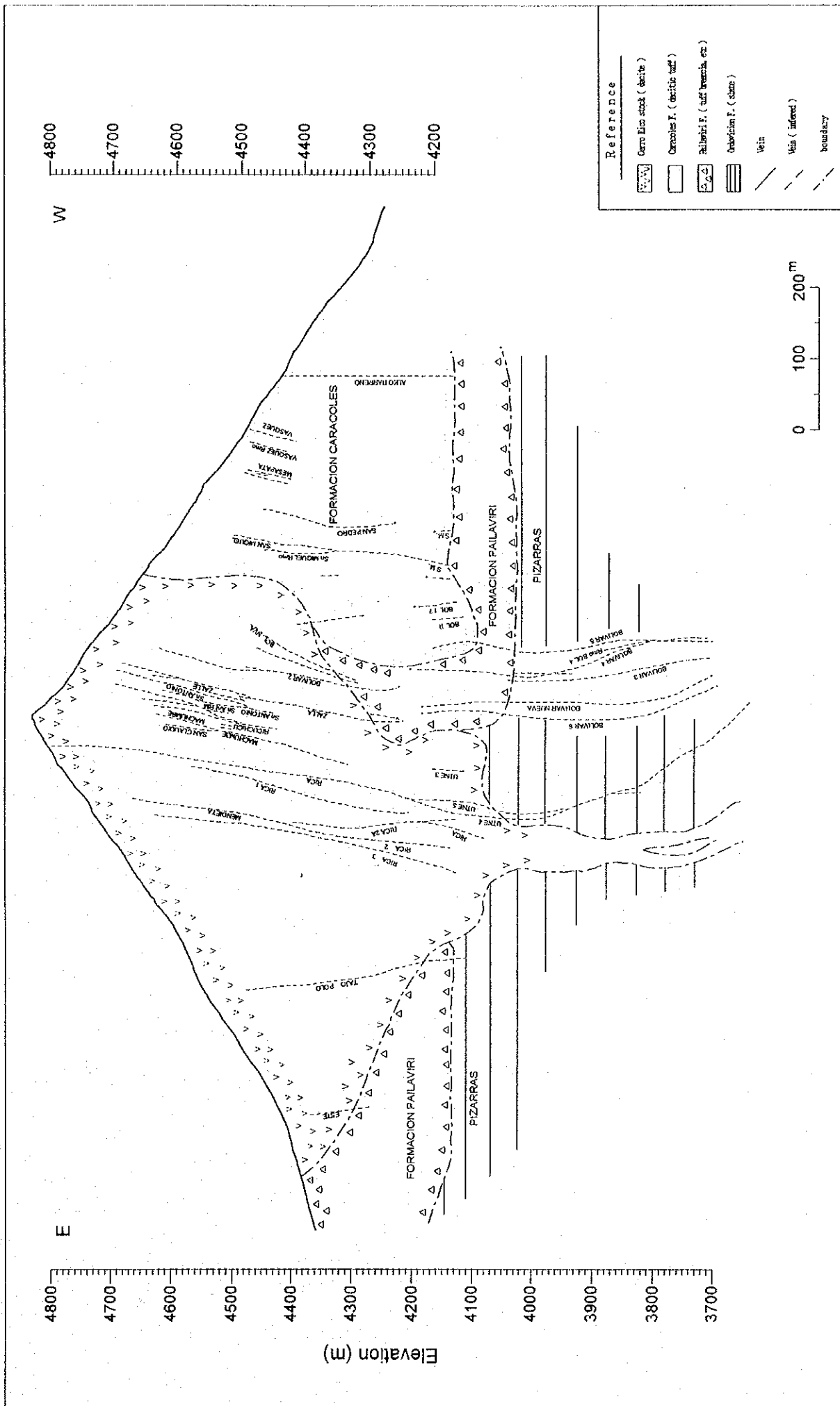
\*1: Factory water may contain calcic component. \*2: Depressant CaO, \*3: Z-14 = SF-114 = Isopropyl Xanthate, \*4: As for CaO, total of 5. (1) ①+5. (1) ②+5. (2) ①+5. (2) ② is showed in S. (1) ①, \*5: Z-11 = SF-113 = Isobuthyl Xanthate, \*6: In case of much quantity of PbS, only NaCN should be applied. In case of little quantity of PbS, NaCN[1]+ZnSO<sub>4</sub>[3] should be applied.





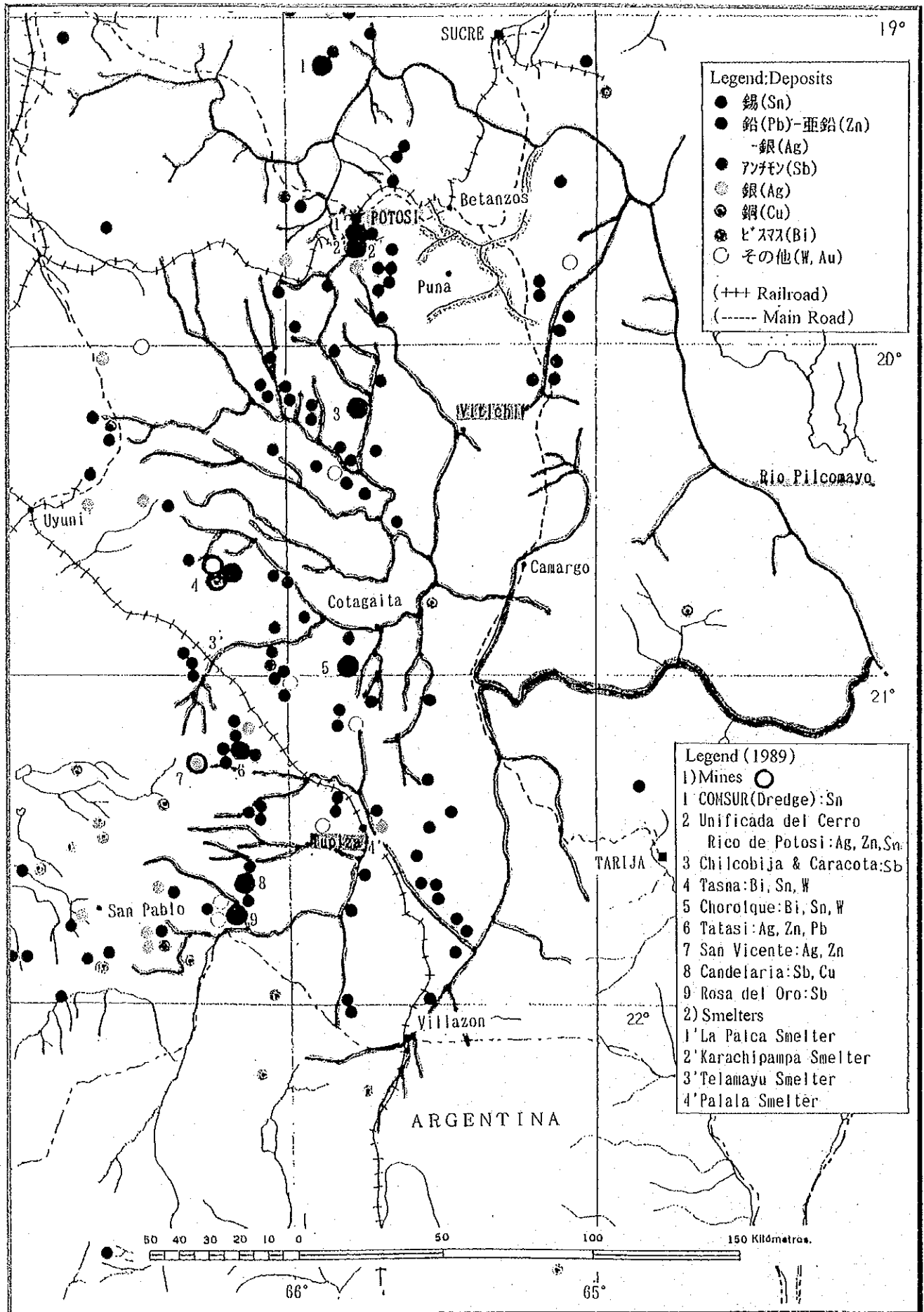
( after GEOBOL 1968 )

Fig.2-2-1 Geological Map of Cerro Rico de Potosi



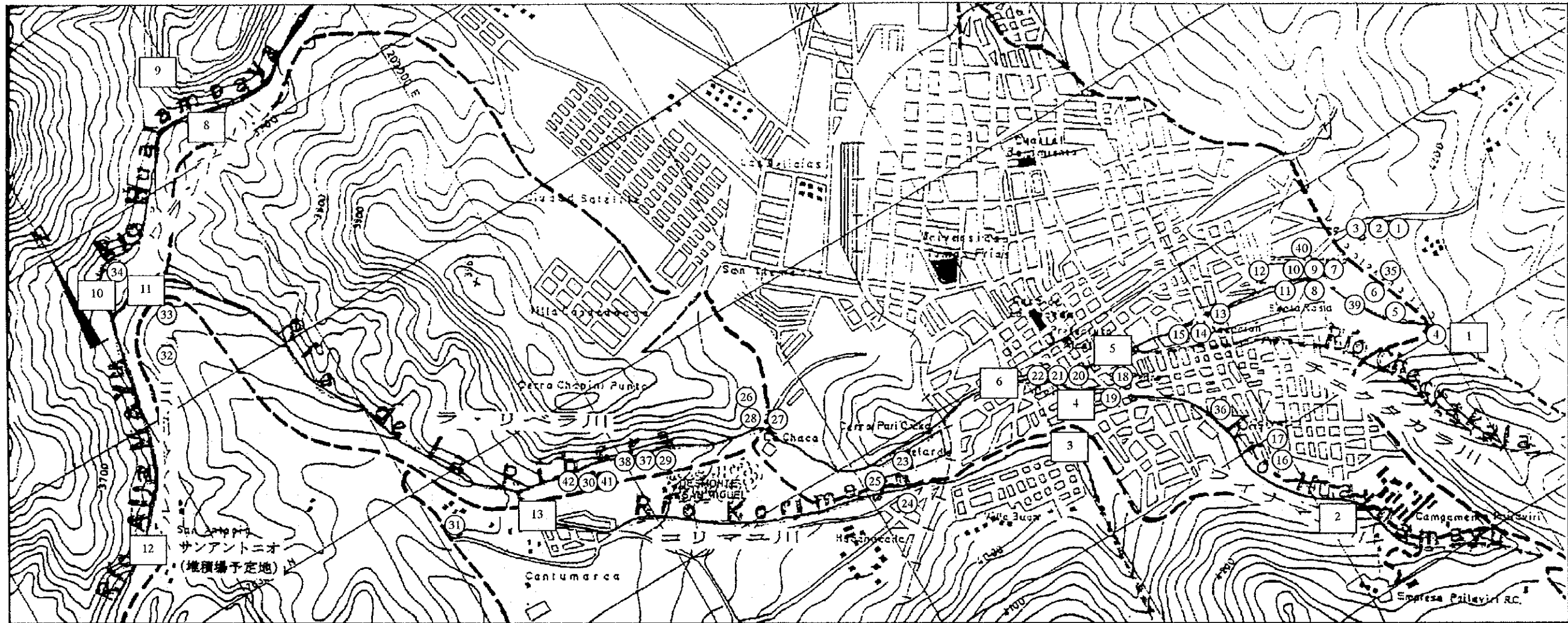
(after COMIBOL 1984.)

Fig. 2-2-2 Perfil Geológico del Cerro Rico de Potosí



**Figura 2-2-3 Ubicación de yacimientos, minas y plantas de beneficio en la cuenca del río Pilcomayo**





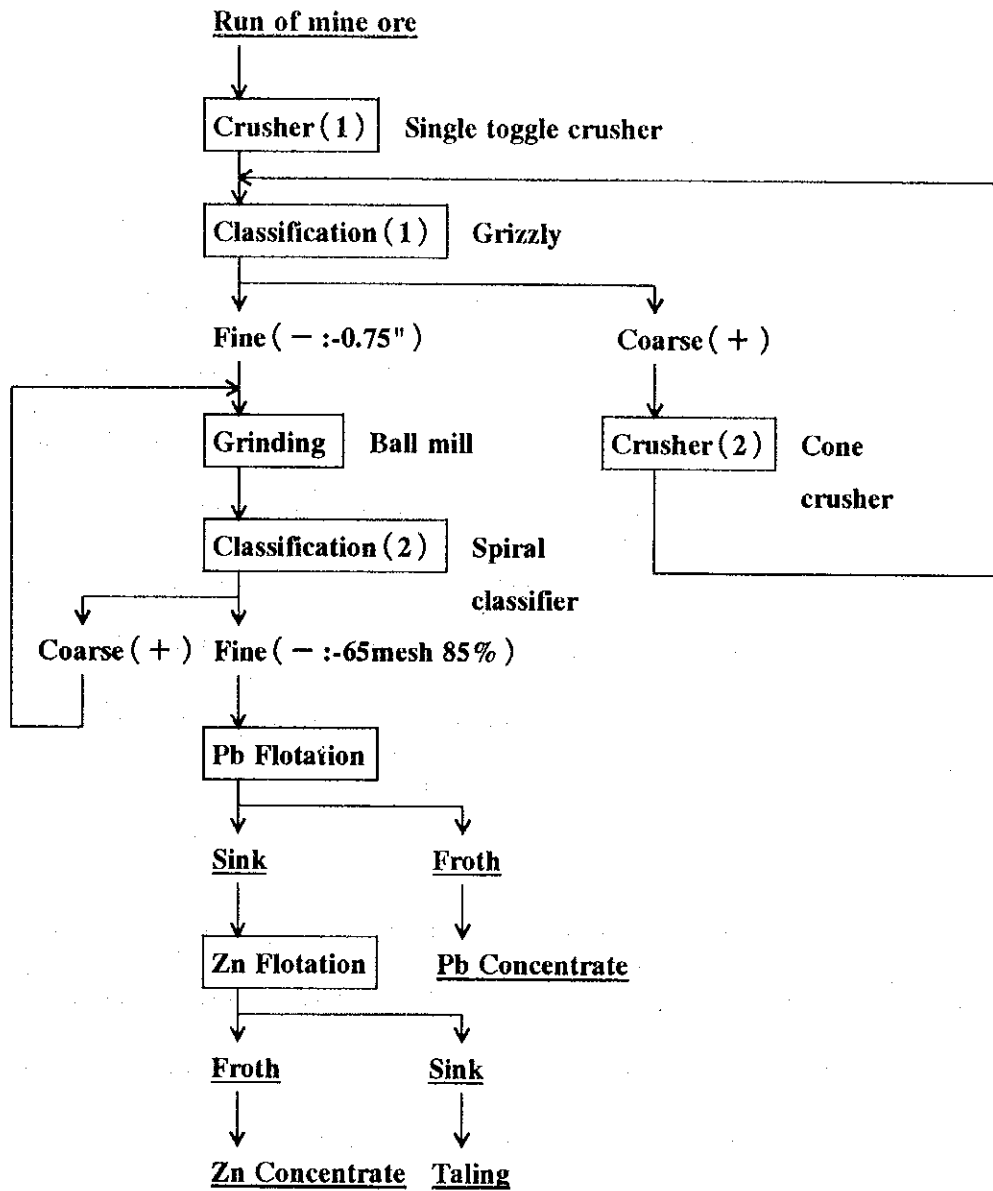
No.	Ingenio	No.	Ingenio	No.	Ingenio	No.	Ingenio
1	Nañay	12	San Silvestre	23	Velarde	34	Occidental
2	San José	13	Candelaria	24	Andina	35	IMSUR
3	OTTO: Vera Cruz OTTO	14	San Francisco	25	Thuru	36	Guadalupe
4	San Miguel	15	Zabaleta	26	González-Martínez	37	Ingenio San Pedro Potosí
5	Bolívar	16	Ingenio Sagárnaga: EMPO	27	SOMIL (- La Chaca)	38	Copacabana
6	San Juan	17	Copacabana	28	COMICEL	39	Santa Catalina 2
7	E.M.C.A.	18	Daniela	29	(Nova) Fortaleza	40	San Jorge
8		19	Palliris	30	Compañía Metalúrgica Potosí	41	SOMINKOR
9	Denver	20	Dolores	31	Mendoza	42	La Aliada
10	Molino	21	(Nova) Cruz del Sur	32	LAMBOL		
11	Santa Catalina 1	22	Asunción	33	Santa Lucía		

Leyenda	
(10)	Ingenio
~	Río
+	Ferrocarril
- - -	Caminos
12	Puntos de muestreo en ríos

Figura 2-2-4 Ubicación de Ingenios y Ríos en la Ciudad de Potosí (Actualización: '98.10)







**Figura 2 - 2 - 5 Diagrama de flujo de proceso en ingenio**  
 : Typical specimen SAN MIGUEL