



**UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR**

**SEDE CENTRAL**

**Sucre-Bolivia**

**CURSO DE MAESTRIA EN  
“INGENIERÍA AMBIENTAL MINERA”**

**IMPACTO AMBIENTAL EN LAS AGUAS DEL RIO TUMUSLA GRANDE  
“CHUQUISACA”, CONTAMINADA POR ACTIVIDAD MINERA EN POTOSI”**

**Tesis presentada para obtener el Grado  
Académico de Magíster en  
“Ingeniería Ambiental Minera”**

**ALUMNA: APOLONIA RODRIGUEZ GONZALES**

Sucre - Bolivia

2012



**UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR**

**SEDE CENTRAL**

**Sucre-Bolivia**

**CURSO DE MAESTRIA EN  
“INGENIERÍA AMBIENTAL MINERA”**

**IMPACTO AMBIENTAL EN LAS AGUAS DEL RIO TUMUSLA GRANDE  
“CHUQUISACA”, CONTAMINADA POR ACTIVIDAD MINERA EN POTOSI”**

**Tesis presentada para obtener el Grado  
Académico de Magíster en  
“Ingeniería Ambiental Minera”**

**ALUMNA: APOLONIA RODRIGUEZ GONZALES**

**TUTOR: MSc. Ing. NAPOLEON JACINTO EULATE**

Sucre - Bolivia

2012

## DEDICATORIAS

*Doy infinitas gracias...*

*A Dios, la vida que me dio y por el camino  
recorrido.....*

*A mis dos hijos, por ser mi fuerza y templanza...*

*A mi amado esposo, por su amor y apoyo  
constante...*

*A la Liga de Defensa del Medio Ambiente  
LIDEMA...*

*Por haber aceptado este reto y ser parte de él, y  
confiar en el trabajo desarrollado por mi persona..*

*A la Asociación Sucrense de Ecología (ASE), por  
ser una institución comprometida con la  
conservación del medio ambiente....*

## AGRADECIMIENTOS

- *por acogerme y permitirme ser parte de la búsqueda de soluciones a la problemática ambiental*
  
- *A mis profesores de la Universidad....*
- *Andina Simón Bolívar y Universidad Técnica de Oruro...*
- *por su ejemplo de profesionalidad que nunca olvidaré.*
  
- *A mi tutor...*
- *Por su guía*
  
- *A la Ing. Leonor Castro Mercado...*
- *por su amistad y guía constante*
  
- *A la Ing. Lucy Elizabeth Romero....*
- *por su amistad y colaboración prestada*
- *para el desarrollo de este trabajo*
  
- *A todas las instituciones públicas y privadas...*
- *Que aportaron con la conclusión de este trabajo*
  
- *A todos los habitantes de las comunidades de influencia del presente trabajo...*
- *por permitirme conocer su realidad...*

## INDICE

### CAPITULO I

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
2. Antecedentes.....	4
3. Problema.....	6
4. Justificación.....	7
5. Objetivos.....	8
5.1 Objetivo General.....	8
5.2 Objetivos Específicos.....	9
6. Preguntas de Investigación.....	9
7. Hipótesis.....	10

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO- CONTEXTUAL

2. Marco Teórico- Contextual.....	11
2.1 Control y Mitigación Ambiental Diques Colas Atocha-Telamayu.....	12
2.1.1 Introducción.....	12
2.1.2 Objetivo General del Proyecto.....	16
2.1.3 Seguimiento Ambiental.....	16
2.1.4 Medidas de Mitigación.....	17
2.1.4.1 Mantenimiento.....	18
2.3 Impacto de la Contaminación Minera en las Poblaciones de Chuquisaca Y Potosí.....	19
2.3.1 Impactos Socioeconómicos de la Contaminación Minera.....	25
2.3.2 El Vertido Minero en los Cauces y Suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo.....	27
2.4 Método de Explotación Minera.....	28
2.4.1 Explotación Minera y Medio Ambiente.....	28
2.5 Agua en las Actividades Mineras.....	28

2.5.1	Tipos de Contaminantes del Agua en la Fase de Operación.....	29
2.6	Drenaje Acido de Roca (DAR) o de Mina (DAM).....	29
2.7	Medidas de Mitigación.....	33
2.7.1	Eliminación de Sulfuros.....	33
2.7.2	Desulfuración Ambiental.....	33
2.7.3	Piscina inundada con agua.....	34
2.7.4	Coberturas Secas.....	34
2.7.5	Relleno de Pasta.....	35
2.7.6	Tratamiento de Efluentes Ácidos.....	35
2.7.7	Reacción Química en el Proceso de Caleado.....	38
2.8	Tratamiento Activo de Efluentes Ácidos.....	38
2.8.1	Tratamiento en Lagunas de Sedimentación.....	38
2.9	Tratamiento Pasivo de DAM.....	39
2.9.1	Tratamiento Anóxico Calizo.....	39
2.9.2	Tratamiento Pasivo (Pantanos, Wetlands).....	40
2.9.3	Humedales Anaerobios.....	40
2.9.4	Humedales Aerobios.....	41
2.9.5	Opciones para Humedales Construidos.....	42
2.10	Destrucción de Cianuros.....	42

### **CAPITULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

3.	Metodología Trabajo de Campo.....	45
3.1	Ubicación de los Puntos de Muestreo.....	46
3.2	Criterios para el Muestreo .....	48
3.3	Muestreo de Aguas y Sedimentos.....	50

### **CAPITULO IV**

#### **PLANIFICACIÓN DE TRABAJO DE CAMPO**

4.	Planificación de trabajo de campo.....	51
----	--	----

4.1	Ejecución del Muestreo entre Villa Abecia y Quechisla.....	52
4.1.1	Plan de Muestreo.....	52
4.1.2	Preparación del Material que será Utilizado en el Muestreo.....	52
4.1.3	Limpieza de Envases de Muestreo.....	53
4.1.4	Ubicación y Descripción de los Puntos de Muestreo.....	53
4.1.5	Muestreo de Agua y Sedimentos.....	53
4.1.6	Conservación de las Muestras.....	53
4.1.7	Identificación de las Muestras.....	54
4.1.8	Envío de las Muestras al Laboratorio.....	54
4.2	Monitoreo Participativo.....	54
4.3	Cronograma de Actividades.....	55

## **CAPITULO V**

### **INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE MUESTRAS DE AGUAS EN CUATRO PUNTOS DEL RIO TUMUSLA-GRANDE, CHUQUISACA, RÍO COTAGAITA Y QUECHISLA EN POTOSÍ, GESTIÓN 2008-2009**

5.1	Interpretación de Resultados de Muestras de Aguas en Cuatro Puntos del Río Tumusla-grande, Chuquisaca, Río Cotagaita y Quechisla en Potosí, gestión 2008-2009 .....	60
5.2	Interpretación de Resultados de Muestras de Sedimentos en Cuatro Puntos del Río Tumusla-grande, Chuquisaca, Río Cotagaita y Quechisla en Potosí, gestión 2008-2009.....	71

## **CAPITULO VI**

### **EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES DE CIERRE DEL PASIVO AMBIENTAL DE ATOCHA-TELAMAYU**

6.	Evaluación del Impacto de las Actividades de Cierre del Pasivo Ambiental de Atocha-Telamayu.....	80
----	--	----

## CAPITULO VII

### PERCEPCIÓN DE LOS POBLADORES DE LA ZONA SOBRE EL CIERRE DEL PASIVO AMBIENTAL

7.1	Inferencias y Discusión de Resultados de la Percepción de los Pobladores de la Zona Sobre los Impactos del Cierre del Pasivo Ambiental de Atocha-Telamayu.....	112
7.2	Cálculo del N° de Muestras.....	112
	Pregunta 1: ¿Cuáles son los principales problemas de medio ambiente y producción de la comunidad y de la región?.....	113
	Pregunta 2: ¿Existe contaminación en ríos, cañadas, lagunas, bofedales, vegas, etc., en la comunidad? ¿Cuáles? (Usar mapa base o mapa parlante).....	113
	Pregunta 3: ¿Existen minas, ingenios o industrias cerca de la comunidad?.....	114
	Pregunta 4: ¿Cuáles? (¿Son empresas, cooperativas, mixtas?).....	114
	Pregunta 5: ¿En que año comenzó la contaminación?.....	114
	Pregunta 6: ¿Cual es la causa o motivo – o quien – que ocasiona la Contaminación.....	115
	Pregunta 7: ¿Cómo es el agua? (color, olor, sabor).....	116
	Pregunta 8: ¿Las personas y los animales se enferman cuando toman agua?.....	117
	Pregunta 9: ¿Cuáles son los síntomas que las personas tienen cuando toman esta agua?.....	118
	Pregunta 10: Cuáles son los síntomas que el ganado tiene cuando toman esta agua?.....	118
	Pregunta 11: ¿Qué pasó con los peces?.....	118
	Pregunta 12: ¿Cómo es la contaminación: Mucha-grave.....Fuerte ..... Regular..... Poca.....	119
	Pregunta 13: La contaminación en los últimos años en la zona.....	120

Pregunta 14: ¿Cómo ve la gente sobre la gravedad del problema ocasionado por la contaminación?.....	120
Pregunta 15: ¿Los suelos y los cultivos se han contaminado por los Rebalses de los ríos? (Que cantidad, superficie, en que época).....	121
Pregunta 16: ¿Se han enfermado o muerto animales por comer forrajes contaminados? ¿Cuántos?.....	122
Pregunta 17: ¿Cómo afecta la reproducción de los animales?.....	122
Pregunta 18: ¿Hay sitios o lugares respetados o temidos por los pobladores que hayan sido afectados por la minería?.....	123
Pregunta 19: ¿Se han producido conflictos sociales por este problema? ¿Qué consecuencias han tenido?.....	123
Pregunta 20: ¿Se hizo la denuncia a alguna autoridad sobre el Problema de la contaminación? ¿Tuvieron alguna respuesta?.....	123
Pregunta 21: ¿Alguien investigó el problema o tomaron muestras? (Universidad, técnicos, etc.).....	124
Pregunta 22: ¿Se hizo algo o se tomó alguna medida para solucionar o disminuir el daño causado? ¿Cuál? ¿Quién?.....	124
Pregunta 23: ¿Los varones jefes de familia viajan-migran para conseguir trabajo?, ¿Dónde?, ¿Qué tiempo?.....	125

## **CAPITULO VIII**

### **PROPUESTA DE MITIGACIÓN**

8.1 Propuesta de Mitigación de la Contaminación de Aguas con Metales Pesados, Provenientes de la Actividad Minera.....	127
8.1 Antecedentes.....	127
8.1.1 Empresa Minera Huanuni.....	127
8.1.2 Empresa Minera Inti Raymi.....	129
8.1.3 Federación de Cooperativas Mineras de Oruro (FEDECOMIN) y la	

Fundación MEDMIN.....	130
8.1.4 Sinchi Wayra y la Mina Bolívar.....	131
8.1.5 Ministerio de Minería y Metalurgia y la Cooperación Andina de Fomento (CAF) y los Relaves de San Miguel de Potosí.....	131
8.1.6 COMIBOL, DINAMARCA y los Pasivos Ambientales.....	132
8.1.7 Director de Medio Ambiente de Oruro.....	133
8.2 Problemática.....	133
8.3 Objetivos.....	134
8.3.1 Objetivo General.....	134
8.3.2 Objetivo Específico.....	134
8.4 Misión y Visión.....	137
8.4.1 Misión.....	137
8.4.2 Visión.....	137
8.5 Estrategia de Gestión Aplicada.....	137
8.5.1 Cronograma de Acción.....	138
8.5.2 Cronograma de Actividades.....	140
8.5.3 Costo Aproximado de Implementación de la Estrategia.....	142

## **CAPITULO IX**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 146**

Conclusiones.....	147
Recomendaciones.....	151
Bibliografía.....	153

## **LISTADO DE TABLAS**

Tabla N° 2.1: Ubicación del Proyecto.....	15
Tabla N° 2.2: Productos del Proyecto.....	16
Tabla N° 2.3: Situación Ambiental.....	16
Tabla N° 2.4: División Política Administrativa de la Mancomunidad de los Cintis.....	21

Tabla N° 2.5: Características del Tipo de Uso de las Tierras Agrícolas Y Forestales.....	24
Tabla N° 2.6: Características del Tipo de Uso de las Tierras Ganaderas.....	25
Tabla N° 3.1: Ubicación de los Puntos de Muestreo.....	46
Tabla N° 3.2: Parámetros y Número de Muestras Líquidas y Sólidas.....	48
Tabla N° 4.1: Características Físicas y Naturales de los 4 puntos de Muestreo..	55
Tabla N° 4.2: Descripción y Ubicación de los Puntos de Muestreo.....	55
Tabla N° 4.3: Registro de Muestras de Aguas.....	57
Tabla N° 4.4. Registro de Muestras de Sedimentos.....	57
Tabla N° 5.1: Parámetros de pH y Metales Pesados en Muestras de aguas Resultados de Análisis de Parámetros Fisicoquímicos y Metales Pesados Totales en Muestras de Aguas Gestión 2008-2009.....	61
Tabla N° 5.2: Parámetros de pH y Metales Pesados en Muestras de Sedimentos. Análisis de Parámetros Fisicoquímicos y Metales Pesados en Cuatro Muestras de Sedimentos Gestión 2008-2009.....	73
Tabla N° 6.1: Parámetros de Metales Pesados Totales en Muestras de Aguas Gestiones 2004,2005 y 2008 (Antes del Cierre del Pasivo Ambiental de Atocha-Telamayu).....	82
Tabla N° 6.2: Parámetros de Metales Pesados Totales en Muestras de Sedimentos Gestiones 2004,2005 y 2008 (Antes del Cierre del Pasivo Ambiental de Atocha-Telamayu).....	91
Tabla N° 6.3: Parámetros de pH y Metales Pesados Totales em Muestras de Aguas. Evaluación de las Actividades de Cierre del Pasivo Ambiental de Atocha-Telamayu, a través de la Concentración de Metales Pesados En Muestras de Aguas en la Cuenca del Río Tumusla-Grande Gestiones 2005-2008 (Después del Cierre).....	96
Tabla N° 6.4: Parámetros de Metales Pesados Totales en Muestras de Sedimentos Evaluación de las Actividades de Cierre del Pasivo Ambiental de Atocha-Telamayu, a través de	

la Concentración de Metales Pesados Totales en Muestras de Sedimentos en la Cuenca del Río Tumusla-Grande Gestiones 2005-2008 (Después del Cierre).....	104
Tabla N° 8.1: Análisis de la Situación Actual de la Minería.....	135
Tabla N° 8.2: Actividades para Desarrollar la Estrategia.....	138

## LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1.1: Mapa: Ubicación de la Cuenca del Río Pilcomayo en Chuquisaca.....	7
Figura N° 2.2: Vista de la Población de Atocha y al fondo el Pasivo Ambiental Encapsulado en la Localidad de Telamayu.....	19
Figura N° 2.3: Mapa de la Cuenca del Río Pilcomayo que Involucra a los Tres Países (Bolivia, Argentina y Paraguay).....	20
Figura N° 2.4: Mapa de fuentes de Contaminación Minera en la Cuenca del Río Pilcomayo.....	23
Figura N° 2.5: Vista de un Suelo Contaminado con DAR.....	32
Figura N° 4.1: Red hidrográfica de la Cuenca Alta del Río Pilcomayo.....	56
Figura N° 5.1: pH de 4 muestras de aguas comparado con límites del Reglamento en Materia de contaminación Hídrica.....	63
Figura N° 5.2: Concentración de Cianuro libre comparado con límites del Reglamento en Materia de contaminación Hídrica.....	64
Figura N° 5.3: Concentración de Arsénico comparado con límites del Reglamento En Materia de contaminación Hídrica.....	65
Figura N° 5.4: Concentración de Cadmio comparado con límites del Reglamento En Materia de contaminación hídrica.....	66
Figura N° 5.5: Concentración de Mercurio comparado con límites del Reglamento En Materia de contaminación Hídrica.....	67
Figura N° 5.6: Concentración de Plomo comparado con límites del Reglamento En Materia de contaminación Hídrica.....	68
Figura N° 5.7: Concentración de Antimonio comparado con límites del Reglamento En Materia de contaminación Hídrica.....	69

Figura N° 5.8: Concentración de Cromo comparado con límites del Reglamento En Materia de contaminación Hídrica.....	70
Figura N° 5.9: Concentración de Arsénico comparado con límites del Catálogo de Estándares ambientales – GTZ 1996.....	74
Figura N° 5.10: Concentración de Cadmio comparado con límites del Catálogo de Estándares ambientales – GTZ 1996.....	75
Figura N° 5.11: Concentración de Mercurio comparado con límites del Catálogo de Estándares ambientales – GTZ 1996.....	76
Figura N° 5.12: Concentración de Plomo comparado con límites del Catálogo de Estándares ambientales – GTZ 1996.....	77
Figura N° 5.13: Concentración de Antimonio comparado con límites del Catálogo de Estándares ambientales – GTZ 996.....	78
Figura N° 6.1: Concentración de pH en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	83
Figura N° 6.2: Concentración de Cianuro libre en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	84
Figura N°6.3: Concentración de Arsénico en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites por el Reglamento en Materia de contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	85
Figura N° 6.4: Concentración de Cadmio en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles del Reglamento en Materia de contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	86
Figura N° 6.5: Concentración de Mercurio en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles del Reglamento en Materia de contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	87

Figura N° 6.6: Concentración de Plomo en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles del Reglamento en Materia de contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	88
Figura N°6.7: Concentración de Antimonio en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles del Reglamento en Materia de contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	89
Figura N° 6.8: Concentración de Cromo <sup>+6</sup> en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles del Reglamento en Materia de contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	90
Figura N° 6.9: Concentración de Arsénico en muestras de sedimentos del 2004, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995- 1996.....	92
Figura N° 6.10: Concentración de Cadmio en muestras de sedimentos del 2004, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995-1996.....	93
Figura N° 6.11: Concentración de Plomo en muestras de sedimentos del 2004, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995-1996.....	94
Figura N° 6.12: Concentración de Antimonio en muestras de sedimentos del 2004, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995-1996.....	95
Figura N° 6.13: Concentración de pH en muestras de aguas del 2005 comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	97

Figura N° 6.14: Concentración de Arsénico en muestras de aguas del 2005 comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	98
Figura N° 6.15: Concentración de Cadmio en muestras de aguas del 2005 comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	99
Figura N° 6.16: Concentración de Mercurio en muestras de aguas del 2005 comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333 .....	100
Figura N° 6.17: Concentración de Plomo en muestras de aguas del 2005 comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.....	101
Figura N° 6.18: Concentración de Antimonio en muestras de aguas del 2005 comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333 .....	103
Figura N° 6.19: Concentración de Arsénico en muestras de sedimentos del año 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995-1996.....	105
Figura N° 6.20: Concentración de Cadmio en muestras de sedimentos del año 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995-1996.....	106
Figura N° 6.21: Concentración de Mercurio en muestras de sedimentos del	

año 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995-1996.....	107
Figura N° 6.22: Concentración de Plomo en muestras de sedimentos del año 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995-1996.....	108
Figura N° 6.23: Concentración de Antimonio en muestras de sedimentos del año 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de Estándares ambientales de la GTZ-1995-1996.....	110

## **ANEXOS**

### **ANEXO I**

Resultados de los Análisis de Muestras de Aguas y Sedimentos.

### **ANEXO II**

Fotografías del trabajo desarrollado

## RESUMEN

El impacto ambiental de los deslaves del pasivo ambiental de Atocha-Telamayu, en el departamento de Potosí, afecta significativamente en los cuerpos de agua y sedimentos de los Ríos Tumusla-Grande, Cotagaita y Quechisla, que son afluentes de la cuenca del Río Pilcomayo.

A partir de la iniciativa del cierre del pasivo ambiental Atocha-Telamayu, como una medida de mitigación ambiental; se decidió realizar una evaluación del impacto del cierre del mismo, a través de la concentración de metales pesados totales en aguas y sedimentos de los afluentes de la cuenca del Río Pilcomayo.

De las 4 muestras de aguas y 4 muestras de sedimentos en puntos identificados como claves, en los Departamentos de Potosí (3) y Chuquisaca (1). Se concluye que el impacto del cierre del pasivo ambiental de Atocha-Telamayu, no parece haber logrado su objetivo, que era el de disminuir el impacto de contaminación a todo el ecosistema relacionado al mismo, como los ríos Tumusla-Grande, Cotagaita y Quechisla, en un caso hipotético.

De acuerdo a las concentraciones de metales pesados, tomadas como referencia de estudios de los años 2004, 2005 y comparadas con las del año 2008, en el punto 2, Palca Higuera, se tiene contaminación elevada por arsénico, cadmio, plomo y antimonio en las muestras de agua del año 2008 y no así en las muestras de los años 2004 y 2005.

Y en el punto 2, Palca Higuera, existe contaminación por metales pesados por: arsénico, cadmio, plomo y antimonio, en muestras de aguas del año 2008 y no en las muestras del año 2005.

Se concluye que el 45 % de los encuestados, afirma que existe contaminación en los Ríos Tumusla-Grande, Cotagaita, Quechisla y San Juan del Oro afluentes de la cuenca del Río Pilcomayo.

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1. INTRODUCCION

Las externalidades ambientales que causa la minería mediana se deben a la generación de distintos contaminantes durante los procesos de extracción y concentración. Las colas que se generan y su inadecuada acumulación son, sin duda, el problema ambiental más serio principalmente en empresas distintas a Inti Raymi y COMSUR.

En los centros urbanos cercanos a las minas de Oruro y Huanuni, los drenajes ácidos de éstas, han deteriorado las tuberías permitiendo la penetración de contaminantes al sistema de agua, generando externalidades negativas sobre la salud de los habitantes de estas poblaciones. Otro caso esta relacionado, al de los ingenios mineros de la ciudad de Potosí, cuyas colas afectan, río abajo, la salud de habitantes y animales y, la productividad agrícola.

Finalmente, se menciona el colapso de un dique de colas de COMSUR (Porco, agosto de 1996), que causó un impacto ambiental 300 km río abajo del dique, sobre 50 mil habitantes y varias áreas de cultivo.

La *minería cooperativizada*, ocasiona grandes impactos ambientales por ausencia de fuentes de financiamiento, costos de producción no competitivos, insuficientes niveles de inversión y reinversión, empobrecimiento de las leyes del mineral y tecnología de operación obsoleta, incide directamente en los impactos ambientales que produce. Los costos de operación no incluyen los costos ambientales, que ocasiona el vertido de las colas directamente a los ríos ((incluso sin la consideración de construcción de diques), en la gran mayoría de las veces.

La explotación *aurífera aluvial* se caracteriza por el movimiento de grandes cantidades de material en depósitos, que ocupan áreas apreciables. Las externalidades ambientales resultantes incluyen la destrucción de playas fértiles aptas para el cultivo (por ejemplo, Tipuani y Yungas, en el departamento de La Paz), cambios en el bienestar debidos a alteraciones de paisaje, lodificación de ríos, destrucción de la vegetación,

pérdidas de suelos y de la capa vegetal y, desplazamiento de la fauna, además de un aumento en el riesgo de navegación en los ríos.

La minería se ha convertido en una actividad que disminuye las reservas de recursos naturales dentro de los ecosistemas de Huanuni y Bolívar, en el departamento de Oruro. “¿Entonces es posible hablar de sustentabilidad en las actividades mineras?”.

Las actividades antropogénicas en la cuenca del río Pilcomayo generan, distintos problemas dentro de los límites de este ecosistema ribereño, como se indica a continuación:

1. Entradas al río de diferentes contaminantes como los provenientes de la actividad minera, sólidos y líquidos, causando contaminación del agua y del medio ambiente.
2. La disminución en las poblaciones de peces.
3. Transporte de sedimentos y migración del río hacia la cabecera de la cuenca baja, aguas arriba.
4. Decadencia del hábitat con cambios en los terrenos poblados de árboles, arbustos y matas.

La actividad minera es predominante en la parte oeste de la cuenca, especialmente en Potosí, entre la sub-cuenca del Río San Juan del Oro y la del Río Tumusla, región en la que predominan las minas de estaño, plata, cinc, plomo.

Los centros mineros ubicados en la cuenca del Pilcomayo son problemáticos desde una perspectiva ambiental. Las actividades mineras descargan residuos minerales, así como contaminantes derivados del tratamiento, los cuales son vertidos a los sistemas de drenaje del río. De esta manera, los metales pesados lixiviados y los residuos minerales como reactivos químicos, productos del tratamiento, ingresan al sistema hidrológico del río causando la contaminación del mismo.

La movilidad limitada de metales pesados en aguas con pH con tendencia básica, como es el caso del Pilcomayo, previene que las concentraciones altas de metales avancen grandes distancias río abajo de las operaciones mineras. Sin embargo, la

migración de estos contaminantes puede ocurrir a través de la bioconcentración y la biomagnificación en organismos acuáticos, por fenómenos de transporte de partículas en suspensión y por oxidación de los sulfuros depositados en el cauce.

Los desechos industriales y urbanos, las aguas ácidas de mina, además de las colas de los ingenios, son fuentes principales de polución que conducen a la contaminación biológica y química del Río Pilcomayo en la cuenca alta. Las fuentes principales de estas entradas son las ciudades de Potosí y Sucre que contribuyen considerablemente a su contaminación por la descarga de basura y aguas servidas al río, además de todos los ingenios mineros.

Si bien se trata de aliviar parcialmente este problema por el tratamiento primario de desechos industriales (diques de colas), no obstante, centros poblados más pequeños, todavía usan sistemáticamente el río para evacuar la materia no tratada.

Por otro lado, existen problemas ambientales ligados a procesos de cierre de minas, mantenimiento deficiente de estanques y competencia con otros sectores productivos por recursos escasos de agua. Las viejas operaciones paralizadas de Catavi, San José, Colquechaca y Bolsa Negra, entre otras, dejaron socavones como pasivos ambientales, desmontes y relaves con contenidos abundantes de sulfuros y la consiguiente generación de aguas ácidas, con contenidos de metales pesados que desembocan en los ríos aledaños a las locaciones de estas minas (por ejemplo, los ríos Siglo XX, Potosí, Telamayo y San José). El problema de la acumulación de colas es aún más delicado en las minas que fueran propiedad del Estado (COMIBOL) y cuyas responsabilidades son difíciles de establecer.

## **2. ANTECEDENTES**

La actividad minera en el Departamento de Potosí se desarrolla en la parte sur y en el Cerro Rico de esta ciudad, donde se explotan yacimientos de complejos de plomo-zinc-plata por el sistema de minería subterránea. La empresa privada Pailaviri y las 30 cooperativas pequeñas, que están arrendando el derecho de explotación de la

Concesionaria estatal COMIBOL, extraen entre 1.300 y 1.800 toneladas de material mineralizado por día. Las Cooperativas realizan la mayoría de sus operaciones (a mano) en forma manual y con la ayuda de explosivos, mientras que la empresa Pailaviri cuenta con equipamiento mecanizado.

El mineral extraído es procesado en 42 ingenios que están situados alrededor del área de la ciudad de Potosí, con una capacidad total instalada de aproximadamente 2.400 toneladas por día, de los cuales solamente 28 funcionan.

El agua, necesaria para el procesamiento de los minerales en los ingenios, proviene de embalses situados en las cuencas altas de los cuatro ríos de la ciudad de Potosí. Durante la época de lluvias, entre noviembre y abril, se retiene el agua de los ríos, disminuyendo sus caudales naturales y en época seca, el agua almacenada se utiliza para los procesos en los ingenios.

La COMIBOL, en las décadas de los 70 y 80 realizó actividades mineras en el sistema minero del Sur de Potosí, también se realizó el procesamiento de los minerales en los correspondientes ingenios. Esta actividad minera y el correspondiente tratamiento en los ingenios producía 2 productos denominados desmontes (de la explotación minera) y colas (del tratamiento de los ingenios); estos productos o materiales se encuentran en grandes cantidades en la región y que actualmente se los denomina como *pasivos ambientales*. Estos desmontes y colas no fueron depositados de acuerdo a normas ambientales vigentes, por ello es que son potenciales generadores de Drenaje Acido de Roca, DAR, amenazando permanentemente la contaminación de los ríos de la zona del río Atocha primero, luego Tumusla - Grande y San Juan del Oro en forma secuencial y éstos son afluentes del río Pilcomayo.

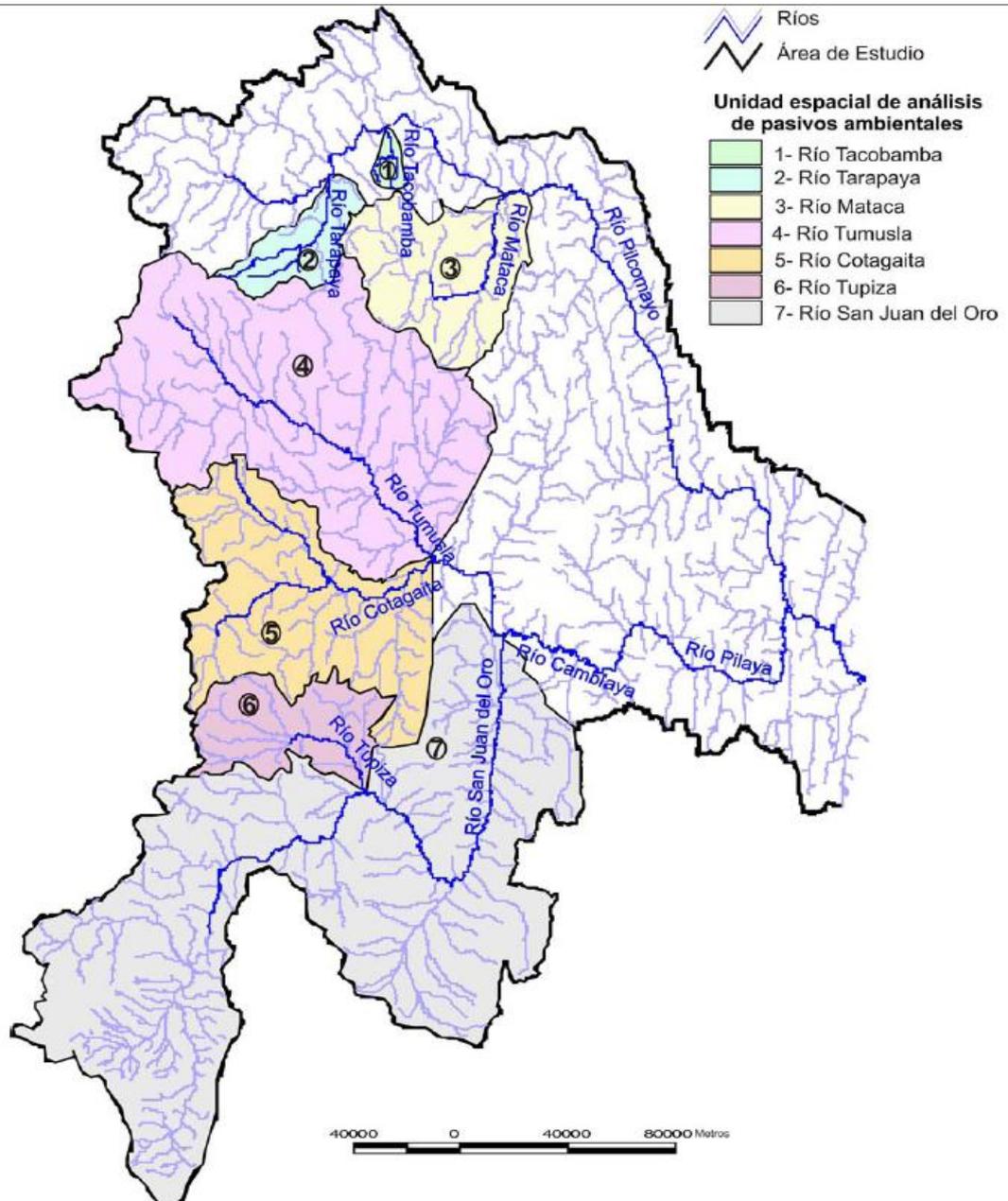
En el año 2005 se efectuó la remediación ambiental de uno de los pasivos más grandes del sector (este se encuentra cerca de la ciudad de Atocha). Para este trabajo se contó con el apoyo de la Cooperación Danesa y se empleó la técnica de coberturas; por tanto, se cubrió totalmente el pasivo ambiental.

“Se tenía previsto continuar el 2006 con el cierre de otro pasivo en Chocaya de similares características al de Atocha, situado muy cerca de esta población; se encuentran desarrollando trabajos de cierre a la fecha”.

### **3. PROBLEMA**

El impacto ambiental de los deslaves del pasivo ambiental de Atocha-Telamayu, en el departamento de Potosí, afecta significativamente en los cuerpos de agua y sedimentos de los Ríos Tumusla-Grande, Cotagaita y Quechisla, que son afluentes de la cuenca del Río Pilcomayo.

Figura N° 1.1: Mapa: Ubicación de la cuenca del Río Pilcomayo en Chuquisaca



Fuente: Estudio de Línea Base Ambiental y Socioeconómica de la Cuenca del Río Pilcomayo, 2006 – 2007.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Partiendo de la definición adoptada para el Plan Maestro (2008) “*Los Pasivos Ambientales corresponden a remanentes indeseables de toda actividad antrópica formal y económicamente establecida, para las áreas de actividad minera e*

*hidrocarburífera, dadas en el pasado y susceptibles de generar impactos ambientales negativos en términos actuales y futuros en el ámbito de la cuenca”.*

El cierre de un pasivo ambiental, conlleva en sí, el monitoreo de las aguas para poder verificar la mejora de la calidad del medio ambiente. De acuerdo a la información revisada, dentro del Programa de Apoyo al Desarrollo Sostenible, Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente en Bolivia, Segunda Fase de la Cooperación, 2006-2010, en el resultado 12 (R12) se indica: Tres campañas de monitoreo por año en microcuencas donde actúa la Dirección de Medio Ambiente (DMA). - los centros mineros de la COMIBOL para verificar in situ las mejoras de la calidad ambiental, por efecto de las medidas de remediación, control y mitigación ambiental que desarrolla la Dirección de Medio Ambiente. (DMA) de COMIBOL.

Estos resultados no se conocen hasta la fecha, por lo que es necesario realizar estudios sobre la calidad ambiental de las aguas y sedimentos de los afluentes de la cuenca del Río Pilcomayo.

El presente trabajo de investigación propone, primeramente el análisis de 4 muestras de aguas y 4 muestras de sedimentos, para poder concluir que los trabajos de mitigación realizados aguas arriba, hayan aportado a mejorar la calidad ambiental de los Ríos Tumusla, Cotagaita y Quechisla y como consecuencia las aguas del Río Pilcomayo.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

- Efectuar una evaluación ambiental del estado actual de las aguas y sedimentos de los ríos Tumusla-Grande, Cotagaita y Quechisla, después de la restauración del pasivo ambiental de Atocha-Telamayu, para inferir el impacto del cierre del dique, en el estado ambiental de la cuenca del Río Pilcomayo.

## 5.2 Objetivos específicos

- Analizar e interpretar la concentración de los metales pesados presentes en las aguas y sedimentos en 4 puntos a lo largo de los ríos Tumusla – Grande, Cotagaita y Quechisla, en Potosí y Chuquisaca, del presente trabajo, tomando como referencia la norma boliviana ambiental y otras vigentes.
- Evaluar el impacto ambiental de la calidad de las aguas y sedimentos de los Ríos Tumusla - Grande, Cotagaita y Quechisla, tomando como datos principales esta investigación, comparando con datos de otros estudios, antes y después del cierre del pasivo ambiental Atocha - Telamayu.
- Establecer el cambio de la calidad ambiental en estos ríos comparando dos estudios de muestreo (los de referencia y el actual).
- Realizar una propuesta técnica de tratamiento de las aguas contaminadas para las zonas de mayor riesgo, en caso de existir todavía peligro de contaminación.
- Sensibilizar a los actores, inmersos en esta problemática, en la optimización de los procesos de prevención de amenazas y riesgos de la contaminación minera, en los ecosistemas de la cuenca donde se incluya a las poblaciones de la ribera en Chuquisaca.
- Conocer la percepción de los habitantes de las comunidades visitadas en el muestreo respecto a la problemática ambiental de la zona, a través de la aplicación de encuestas participativas.

## 6. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Es posible identificar a cuatro años de la restauración del pasivo ambiental Atocha – Telamayu, si se ha mitigado la contaminación de las aguas de los ríos Tumusla Grande, Cotagaita y Quechisla?.

## **7. HIPOTESIS**

El cierre del pasivo ambiental de Atocha-Telamayu, coadyuva a disminuir el impacto ambiental negativo de los metales pesados en las aguas y sedimentos de los ríos Tumusla-Grande, Cotagaita y Quechisla.

**CAPITULO II**  
**MARCO TEORICO - CONTEXTUAL**

## **2.1 CONTROL Y MITIGACION AMBIENTAL DIQUES COLAS ATOCHA - TELAMAYU**

### **2.1.1 INTRODUCCION**

Como resultado de muchos años de procesamiento metalúrgico, existían grandes acumulaciones de colas en las proximidades del ingenio Telamayú. Las colas de este ingenio, estaban separados y diferenciados en dos depósitos de acuerdo a la antigüedad, y estos eran: Dique de colas Nuevo y Dique de Colas Antiguo.

El dique de colas Antiguo estaba localizado en un margen del río Khorí Mayu, abarcaba una superficie de 30,000 m<sup>2</sup> (un área de 180 x 160 metros) con un espesor medio de 10.8 metros, es producto de la acumulación de descartes de ingenio en el periodo comprendido entre los años 1900 y 1930, cuando se procesaba minerales provenientes de la veta Colorada de Animas-Siete Suyos, además de las matas de cobre depositadas en la década de 1970, provenientes de la fundición de bismuto.

Entre sus componentes minerales se pudo distinguir, blenda, casiterita, covelina, estannina, calcopirita, argentita, bismutina. La ganga esta constituida por pirita, cuarzo, marcasita, baritina, óxidos de hierro y material lítico.

El dique de colas Nuevo se encontraba situado en la playa del río Allita, frente a la planta de concentración de Telamayú, abarcaba una superficie de 95,000 m<sup>2</sup> (un área de 450 x 300 metros) con una altura media de 40 metros, es producto del tratamiento de las cargas minerales provenientes de las vetas Burton, Inca VI, Salvadora de la Mina Animas.

Entre los principales minerales esta compuesto por blenda, estannina, tetraedrita, jamesonita, calcopirita, frankeita. La ganga esta compuesta por pirita, cuarzo, marcasita, óxidos de Hierro y materiales Líticos.

La Dirección de Medio Ambiente de la Corporación Minera de Bolivia COMIBOL, con el Componente Minero del PCDSMA, después de haber ejecutado las obras de mitigación en la mina Tatasi, seleccionan al centro minero de Telamayu - Atocha como prioritario para el estudio y mitigación de los pasivos ambientales del área de Quechisla, que se encuentran en las cuencas altas de los ríos Cotagaita y Tupiza.

Las obras civiles en ambos diques, servirán principalmente para prevenir la erosión y arrastre de colas al medio ambiente río abajo, mejorar la estabilidad de los diques de colas y, prevenir la contaminación por el polvo fugitivo.

El diseño final comprendió las siguientes obras principales: muros perimetrales de contención, movimiento de tierra de corte y relleno, construcción de bermas, cobertura de los taludes, cobertura de las plataformas, canales de drenaje sobre las plataformas, cunetas de drenaje y estructuras de disipación de energía en los taludes.

El muro perimetral de contención del Dique Nuevo, estaba diseñado para soportar un Caudal Máximo Probable (CMP) de  $1240.7 \text{ m}^3/\text{s}$  para el río Atocha (Khorí Mayu y Allita juntos) y,  $939.5 \text{ m}^3/\text{s}$  sólo para el río Khorí Mayu. Ambos calculados para un periodo de retorno de 200 años.

En el dique antiguo se construyeron dos tipos de muro. Un muro perimetral de resguardo y soporte del talud a ser perfilado y, un segundo muro de contención a lo largo de la orilla colindante con el río Khorí Mayu, este último calculado para soportar un CMP de  $939.5 \text{ m}^3/\text{s}$  para un periodo de retorno de 200 años.

Se hicieron consideraciones para flujos menores; es decir flujos con ocurrencia o periodo de retorno de 100 años, pero el incremento en el costo del muro para un periodo de retorno de 200 años, es pequeño comparado con el incremento de seguridad en el caso de flujos más grandes.

Para mejorar la estabilidad de los Diques se han previsto realizar movimiento de tierras, para obtener taludes con ángulos de  $26^\circ$  (V: H - 1:2.05), menores a los actuales.

El movimiento de tierras, que consiste en cortes y rellenos con material propio, estará seguido de una compactación adecuada. En los taludes se construirán bermas con el objeto de mejorar la configuración y estabilidad de estos y lograr una adecuada ubicación de los sistemas de drenaje.

La cobertura de los taludes esta formada por dos capas. La primera de un material seleccionado semi impermeable y compactada, con un espesor de 20 cm. La segunda, ripio seleccionado de 10 cm. de espesor, también compactada.

Los materiales a utilizarse en la primera capa, vendrían de un banco, ubicado en la zona de Falsuri, aproximadamente 3 km hacia el sur de Telamayu. El material para la segunda capa vendría de un banco, ubicado sobre el cerro Yuraj Punta Loma, colindante con el dique de colas nuevo. Estos bancos proveyeron el material suficiente para los requerimientos de ambos diques.

La cobertura de las plataformas, se harán con los mismos materiales utilizados en la cobertura de los taludes, con capas de 20 cm la primera y 10 cm. la segunda.

Los canales de drenaje sobre las plataformas, estarán ubicados siguiendo la línea de pendiente mínima en el sector donde se acumula el agua por el declive de la plataforma.

El principal objetivo es evitar la acumulación o empoce de agua de lluvia, evitando así la infiltración y lixiviación de las colas que causa la contaminación de las aguas subterráneas y luego las aguas superficiales en el mismo cauce del río. Por otro lado la acumulación de agua sobre la plataforma y el aumento del grado de humedad en todo el cuerpo del dique de colas, disminuye la estabilidad de todo el sistema.

El canal de drenaje en la plataforma del Dique Nuevo, por las características del terreno, tendría una pendiente de norte a sur. En el Dique Antiguo, tendría una pendiente de sur a norte.

Para el sistema de drenaje en los taludes se construyeron rápidas y bajantes, que tienen la funci3n de recolectar las aguas pluviales provenientes de los taludes del dique y evacuarlos al río. Las rápidas y bajantes fueron construidas con hormig3n cicl3peo.

Una vez que las obras se hayan concluido, es esencial que se implemente y se cumpla el programa de monitoreo y mantenimiento previsto por la Direcci3n de Medio Ambiente de COMIBOL. Debe realizarse una inspecci3n antes, durante y despu3s de cada estaci3n húmeda e imprescindible el mantenimiento correspondiente, 3ste debe emprenderse antes y despu3s de cada 3poca de lluvias. Adicionalmente, deben hacerse inspecciones despu3s de eventos sísmicos que pueden ser desde moderados hasta fuertes movimientos de tierra.

A la finalizaci3n de estos trabajos, se reducira significativamente el potencial de contaminaci3n por partículas s3lidas del medio ambiente.

Los beneficios socio-econ3micos de estos trabajos, se evidenciaran una vez que se confirmen, a trav3s del monitoreo, entrevistas y encuestas con los habitantes del lugar y río abajo, los cambios generados.

El proyecto consider3 como una actividad muy importante el socializar el alcance del mismo, mediante seminarios informaci3n, sensibilizaci3n y concientizaci3n ambiental, enmarcados en el desarrollo sostenible.

**Tabla N 2.1: Ubicaci3n del proyecto**

<b>Municipio</b>	Atocha
<b>Comunidad y/o Localidad</b>	Telamayu
<b>Provincia</b>	Sud Chichas
<b>Departamento</b>	Potosí

Fuente: PASA Proyecto Telamayu

### 2.1.2 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

- Construcción de obras civiles para el control y mitigación ambiental en los diques de colas nuevo y antiguo, como resultado de los estudios ambientales y el diseño final realizado, servirán para prevenir la pérdida y arrastre de colas al medio ambiente, principalmente río abajo, mediante: *muros perimetrales de contención, cobertura de los taludes, cobertura de la plataforma, canales de drenaje, cunetas de drenaje y estructuras de disipación de energía.*

**Tabla N° 2.2: Productos del proyecto**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Construcción Muros Perimetrales	1,795.13 m.
Cobertura de Taludes	889, 350 m <sup>2</sup>
Cobertura de Plataformas	62,123 m <sup>2</sup>
Construcción de Cunetas	1,790 m.
Construcción Estructuras Disipadoras de energía	377.5 m.

Fuente: PASA Proyecto Telamayú

**Tabla N° 2.3: Situación ambiental**

CUENTA CON LICENCIA AMBIENTAL		SI	X	NO	
<b>Documento ambiental con el que obtuvo la licencia</b>					
Manifiesto Ambiental <b>M.A.</b>		Ficha Ambiental <b>F.A. PASA</b>	<b>X</b>	Registro Ambiental Industrial <b>R.A.I</b>	
<b>Sector</b>					
General:		Minero: <b>X</b>		Ind. Manufacturero:	
CUMPLIMIENTO DEL P.A.S.A. (RLMA):					
CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (RASIM):					

Fuente: PASA Proyecto Telamayú

### 2.1.3 SEGUIMIENTO AMBIENTAL

#### Factor Suelo

*Ejecución:*

Durante y después de la construcción de obras civiles, las acciones a realizar fueron:

- a) Verificación de que el muro de contención no presente fallas, asentamientos que ocasionen inestabilidad del sistema.
- b) Que el reperfilado de taludes tenga la compactación suficiente para recibir la cobertura y permita construir las estructuras de disipación. Esta actividad debe considerar el riego atomizado cuando fuera necesario para evitar la generación de polvo.
- c) Que la cunetas, canales y rápidas de desagüe no tengan agrietamientos u otra deficiencia, que provoquen infiltraciones al interior de los diques de colas.

En la colocación de la cobertura, se realizó el seguimiento a las siguientes actividades, para lograr:

- a) Que la preparación del material de cobertura cumpla con los requerimiento técnicos geotécnicos (mecánica de suelos) y regar para evitar generación excesiva de polvo.
- b) Que la cobertura de las colas sea en lo posible homogénea.
- c) Que tenga la compactación necesaria.

De esta manera el seguimiento ambiental, tuvo que ver con el mantenimiento del conjunto de las obras, finalizada la construcción de los mismos se dejó el área afectada por esta actividad libre de acumulaciones de residuos sólidos abandonados.

Mencionamos que los impactos identificados en la construcción de muros perimetrales, cobertura de taludes, coberturas de plataforma, canales de drenaje, cunetas de drenaje y rápidas de desagüe, son directos, temporales, localizados, reversibles y por último recuperables.

#### **2.1.4 MEDIDAS DE MITIGACION**

Las medidas de mitigación que fueron planificadas se detallan a continuación:

- 1.- Los bancos de préstamo seleccionados, por el impacto que recibieron fueron mitigados de acuerdo al ecosistema del entorno, en el área.
- 2.- Se controlaron los restos de tierra producto de la preparación del material de agregados ubicados en el sector denominado Falsuri a 3 Km. de Telamayu, para esto se realizó la explanación in situ, disminuyendo principalmente el impacto visual.

Es importante mencionar que en el banco de préstamo de Falsuri, después del movimiento de tierras, se habilitaran los suelos como terrenos agrícolas y también existe la posibilidad de construcción de carpas solares por la Mancomunidad de los Municipios de los Chichas que es otra Entidad Ejecutora del Componente N° 4 PCDSMA- DANIDA.

#### ***2.1.4.1 Mantenimiento***

El Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental en el área de los dos diques de colas, para esta etapa proveyó lo que sigue:

1. Para los canales de drenaje, cunetas y rápidas de desagüe, que son integrantes del sistema de manejo pluvial, se tiene prevista la limpieza antes, durante y después de cada época de lluvia, identificando cualquier agrietamiento, hundimiento del piso, colapso de algún tramo, si ocurriera cualquiera de los problemas mencionados, se procederá inmediatamente en su arreglo y para lograr este cometido se tiene un fondo económico de mantenimiento asegurado.
2. Una vez concluido la cobertura en los diques de colas Telamayu, se deberá realizar el control de la estabilidad de la estructura de los taludes y el monitoreo de los caudales.
3. Para los muros de contención, se procederá a inspección detallada de cada tramo, con la finalidad de identificar deficiencias en el empalme de malla, y si esto ocurriera se realizara nuevamente el empalme y la reposición de piedra.

4. Los componentes y servicios para el mantenimiento son:

- a.- Pendiente del talud de los diques
- b.- Muros de contención
- c.- Sistema de colección de aguas pluviales (canales)
- d.- Caminos o vías de acceso.

Las inspecciones planificadas por la Dirección de Medio Ambiente de COMIBOL se realizarán periódicamente, como parte del Plan de Mantenimiento y Control de los diques de colas y desmontes en todos los centros mineros de COMIBOL.

La *supervisión de la obra*, fue de responsabilidad de la Dirección de Medio Ambiente - COMIBOL, el consultor ambiental de la DMA y en coordinación con los dos inspectores, para verificar el cumplimiento del plan de aplicación y seguimiento ambiental, del proyecto.

**Figura N° 2.2: Vista de la población de atocha y al fondo el pasiva ambiental encapsulado en la localidad de Telamayú**



Fuente: Propia

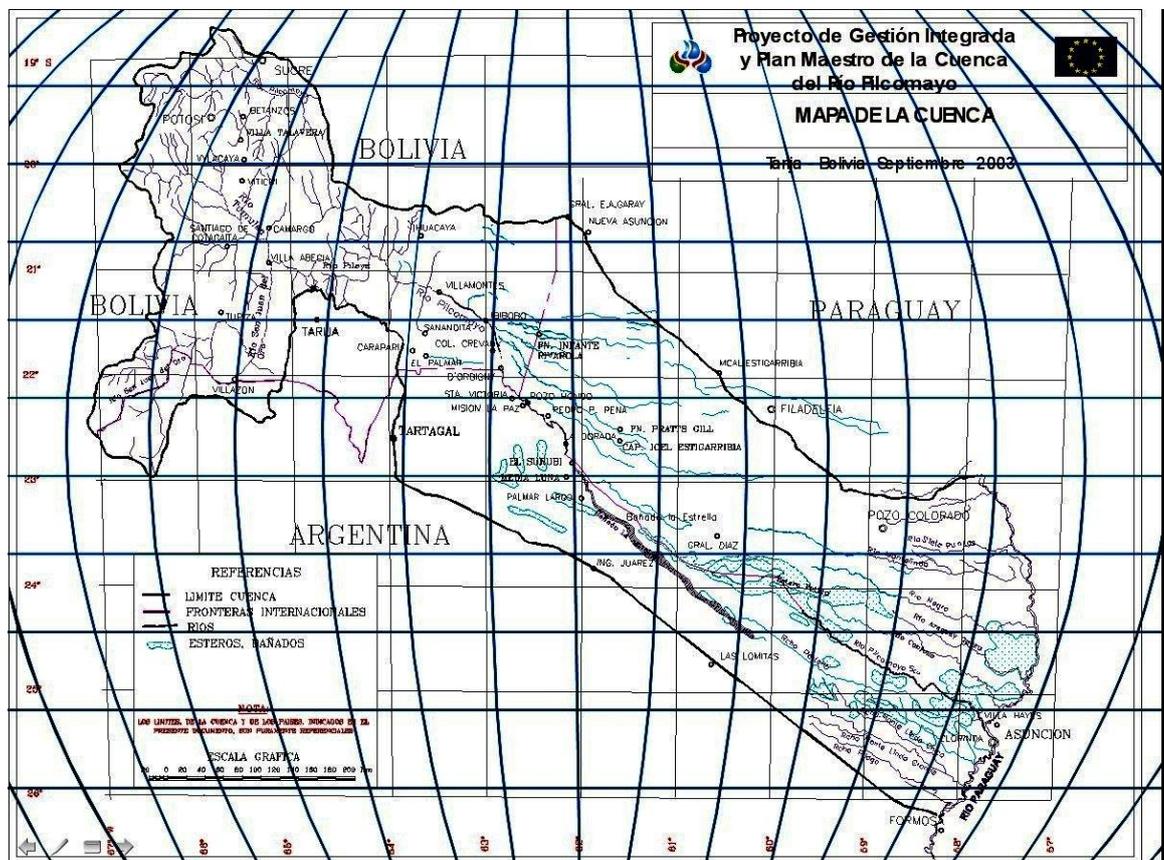
El tiempo de duración del proyecto fue de 8 meses aproximadamente.

### **2.3 IMPACTOS DE LA CONTAMINACION MINERA EN LAS POBLACIONES DE CHUQUISACA Y POTOSÍ**

Los municipios de la cuenca del Río Pilcomayo en Bolivia son 51, de los cuales 2 son del Departamento de Oruro, Challapata y Santiago de Huari, donde nace la cuenca; 23

corresponden al Departamento de Potosí, 8 al Departamento de Tarija, 18 al Departamento de Chuquisaca; estos son: Municipio de Sucre distrito 8, Yotala, Tarvita, Azurduy, Icla, Huacareta, Monteagudo, Tarabuco, Yamparaez, San Lucas, Camargo, Incahuasi, Culpina, Camataquí, Las Carreras, Macharetí, Huacaya, Villa Vaca Guzmán, y y más de 50 comunidades como se muestra en la tabla siguiente:

**Figura N° 2.3: Mapa de la cuenca del Río Pilcomayo que involucra a los tres países (Bolivia, Argentina y Paraguay)**



Fuente: Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del Río Pilcomayo

**Tabla N° 2.4: División política administrativa de la mancomunidad de los cintis**

Provincia	Municipio	Cantones	N° Comunidades
<i><b>NOR CINTI</b></i>	CAMARGO	Camargo	26
		Tacaquirea	24
		Lintaca	4
	SAN LUCAS	San Lucas	20
		Kollpa	19
		Payacota del Carmen	3
		Chiñimayu	11
		Pirhuani	11
		Uruchini	13
		Ocurrí	23
		Acchilla	12
	INCAHUASI	Incahuasi	21
		Huajlaya	11
		Pucara de Yatina	11
Santa Elena		24	
<i><b>SUR CINTI</b></i>	VILLA ABECIA	Camataqui (V. Abecia)	11
		Tarcana	5
	CULPINA	Culpina	18
		La Loma	7
		El Palmar	6
		La Ciénega	1
		La Cueva	6
		Pilaya	1
		Salitre	1
		San Francisco	17
	LAS CARRERAS	Las Carreras	3
		San Juan del Oro	1
		Impora	4
		La Torre	4
		Taraya	3
		Lime	2
		Santa Rosa	1
		Socpora (Sojpora)	1

Fuente: INE, Censo\_2001, PDMs, División Política Administrativa \_ 1996; (Carpeta Municipal (Prefectura) y PLUS de los Cintis

Los municipios del Departamento de Potosí son: Potosí, Tinguipaya, Yocalla, Urmiri, Tacobamba, Betanzos, Chaquí, Ocurí, Ravelo, Colquechaca, Vitichi, Cotagaita, Atocha, Tupiza, Mojinete, San Antonio de Esmoruco, San Pablo de Lípez, Puna, Caiza D, Tomave, Porco, Uyuni, Villazón.

Y los municipios del Departamento de Tarija son: Entre Rios, Tarija, Villamontes, El Puente, Yunchará, San Lorenzo, Caraparí y Yacuiba.

Al ser utilizada el agua del Río Tumusla-Grande para consumo humano, riego de sus cultivos y brebaje de sus animales, estos son afectados por estar esta agua contaminada por la actividad minera en el Departamento de Potosí.

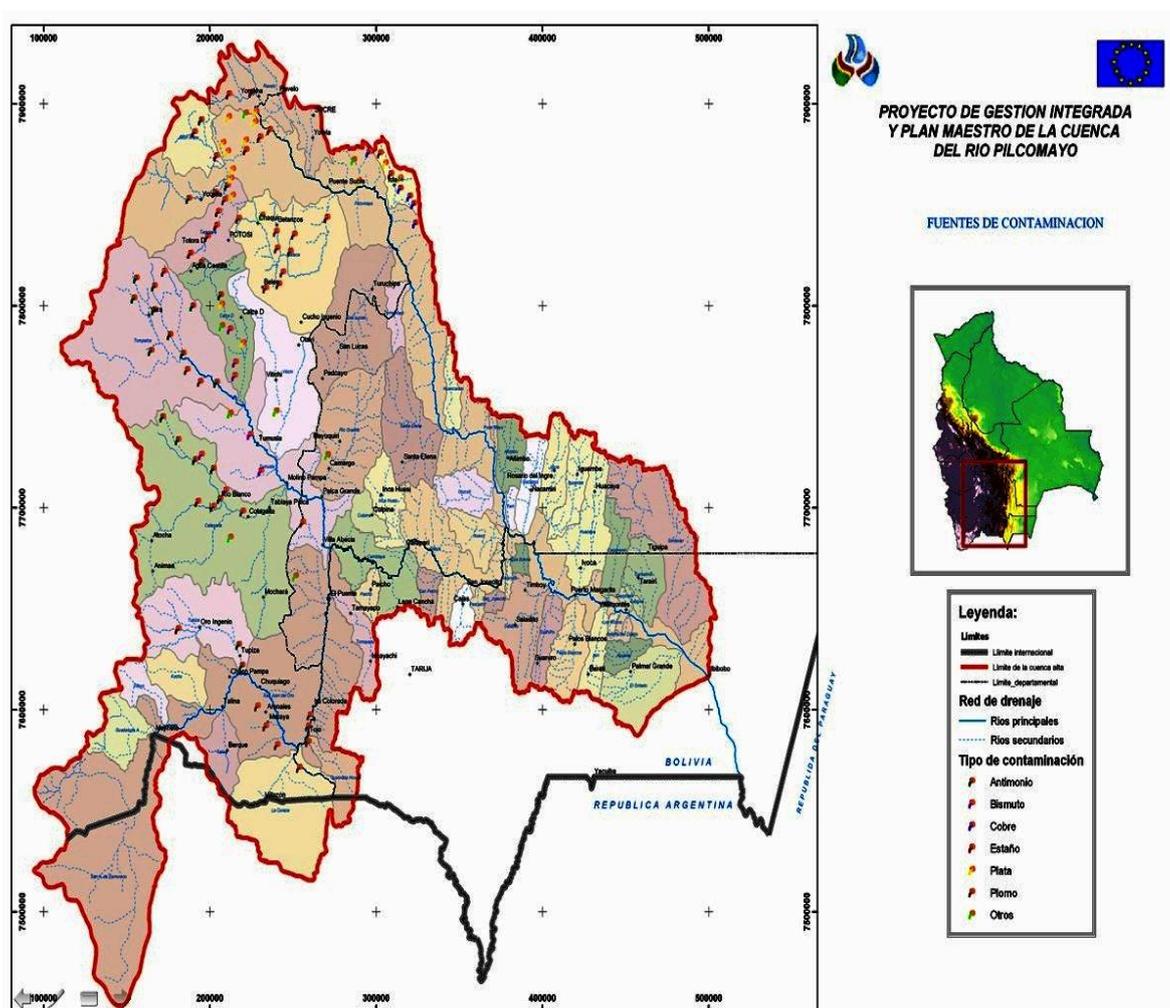
El Río Tumusla entra a territorio Chuquisaqueño desde la comunidad de La Quemada Correspondiente al Municipio de Camargo, hasta concluir en la comunidad de Camblaya Chica en el Municipio de Villa Abecia, para luego confluir con el Río San Juan del Oro y toma el nombre de Río Camblaya aguas abajo de las Carreras, Culpina e Incahuasi, confluye con el Río Incahuasi para tomar el nombre de Pilaya, pasando por todos los municipios de los Cintis, Tarvita y Azurduy, ingresando a territorio chaqueño con el mismo nombre, continuando hasta el Departamento de Tarija con el nombre de Río Pilcomayo.

La actividad productiva principal desarrollada por las familias, en todo el territorio de la Mancomunidad de los Cintis (Camargo, Villa Abecia, San Lucas, Las Carreras, Incahuasi y Culpina), es la agricultura, tipificada principalmente como tradicional, por la escasa incorporación de tecnologías (maquinarias, insumos y técnicas mejoradas de producción y transformación). La agricultura desarrollada en áreas específicas como la pampa de Culpina e Incahuasi, los valles de Camargo, Villa Abecia y Las Carreras, porque gran parte de la producción en las demás zonas es destinada mayoritariamente al consumo familiar. La práctica agrícola tradicional, se debe también a las limitaciones de terrenos, a la falta de capital, asistencia técnica e información.

La producción y variedades de productos dependen de las características agro climáticas o vocación de cada zona, en la zona de los valles y cabeceras de valles los principales cultivos son el maíz, papa, hortalizas y frutales; mientras en las zonas altas, existe la producción de cultivos como el trigo, cebada, haba y frutales en pequeños valles, en la zona semi - húmeda, es decir la parte este de los municipios de Incahuasi, Culpina y la sud – este de San Lucas, se cultivan con mayor frecuencia cítricos,

chirimoya, maní, ají, maíz. Por ultimo la llanura de Culpina e Incahuasi, con producción de cebolla, ajo, papa, trigo, cebada, alfa alfa, frutales (manzana y durazno principalmente).

**Figura N° 2.4: Mapa de fuentes de contaminación minera en la cuenca del Río Pilcomayo**



Fuente: Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la cuenca del Río Pilcomayo

La actividad económica de las comunidades del Departamento de Potosí, se basa en la minera, pecuaria y agrícola en las zonas más templadas como valles. El tipo de actividad económica está relacionada con la altura de cada zona del departamento, como se puede observar en la tabla siguiente:

**Tabla N° 2.5: Características del tipo de uso de las tierras agrícolas y forestales**

<b>TIPOS DE UTILIZACIÓN DE LA TIERRA</b>	<b>EJEMPLOS DE PRODUCTOS</b>	<b>EJEMPLOS DE TECNICAS DE MANEJO</b>
Agricultura anual intensiva (< 3.000 msnm)	Maíz, papa, haba, trigo, hortalizas, frijol	Conservación de suelos, control de plagas, rotación de cultivos
Agricultura anual extensiva (< 3.000 msnm)	Maíz, papa, hortalizas, frijol	Rotación de cultivos
Agricultura anual intensiva de altura (> 3.000 msnm)	Papa amarga, paraliza, oca, tarwi, quínuva, trigo, cebada, haba	Uso de variedades adaptadas, conservación de suelos, control de plagas, rotación de cultivos.
Agricultura anual extensiva de altura (> 3.000 msnm)	Papa amarga, paraliza, oca tarwi, quínuva	Uso de variedades adaptadas, rotación de cultivos
Agricultura perenne intensiva	Cítricos, carozos, higo, vid	Conservación de suelos, control de plagas, abonación.
Agricultura perenne extensiva	Cítricos, carozos, higo	Conservación de suelos
Implantación de bosques con fines productivos	Madera de especies exóticas o nativas	Raleos, podas.

Fuente: Zonificación Agroecológica y socioeconómica, Departamento de Potosí

**Tabla N° 2.6: Características del tipo de uso de las tierras ganaderas**

<b>TIPOS DE UTILIZACIÓN DE LA TIERRA</b>	<b>EJEMPLOS DE FORRAJES</b>
Ganadería intensiva con vacunos en pastos sembrados	Alfalfa, cebada forrajera
Ganadería extensiva con vacunos en pastos sembrados	Alfalfa, cebada forrajera
Ganadería intensiva con llamas o alpacas en campos naturales	Campos naturales
Ganadería extensiva con llamas, vicuñas o alpacas en campos naturales	Campos naturales
Ganadería intensiva con vacunos, ovinos o caprinos en campos naturales	Campos naturales
Ganadería extensiva con vacunos, ovinos o caprinos en campos naturales	Campos naturales

Fuente: Zonificación Agroecológica y socioeconómica, Departamento de Potosí

### **2.3.1 IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DE LA CONTAMINACIÓN MINERA**

Existen algunos estudios elaborados para determinar los impactos socioeconómicos de las operaciones mineras de los ingenios de Potosí.

Un primer trabajo fue realizado en el año 1995 (Hinojosa, Rosales). Se tomó en cuenta a 23 comunidades compuestas por 897 familias. Se dividió a las comunidades en cuatro grupos. El periodo de referencia del análisis fue de cinco años (1990-1995). La investigación aporta información sobre algunos efectos de la contaminación minera: migración, producción agrícola, ganado, sedimentación de colas en las tierras de cultivo y uso del agua (Hinojosa, Rosales).

Los miembros de las comunidades se identificaron como campesinos, dedicados principalmente al cultivo de las tierras y crianza de ganado. El análisis realizado es

cualitativo y no ofrece información cuantitativa de los efectos. Los efectos más importantes se resumen a continuación:

En las regiones donde las aguas del Río La Rivera, Molino y Tarapaya se utilizan para irrigar los cultivos, se han reportado altos valores de mortandad de cultivos. Esto podría atribuirse a la alta concentración de cobre y zinc (fitotóxicos) así como cadmio, manganeso, zinc y boro. Al irrigarse los campos con agua de colas, los sólidos de las mismas se depositan en las tierras. Las lamas de las colas son muy dañinas para las tierras cultivadas, éstas destruyen la raíz y secan la planta.

Pese a no contar con datos sobre el número de enfermos tratados, los efectos en la salud no pueden ser pasados por alto. Especialmente los niños son afectados por irritaciones de la piel y sangrados al exponerse al agua. Casos de enfermedades estomacales y diarrea también han sido reportados (Hinojosa y Rosales).

Estos últimos están más relacionados con las aguas servidas que con la contaminación minera, cuyos efectos no han sido medidos aún en términos de casos reportados y analizados por contaminación de metales pesados. Por lo tanto existe una necesidad urgente de buscar una solución también al problema de aguas servidas de los efluentes urbanos.

Otro efecto se refiere al creciente proceso de migración producida en las comunidades, tanto permanente como temporal, llegando la migración permanente a alcanzar 80% de la población en seis comunidades. Sin embargo las causas de la migración son diversas, entre ellas causas estructurales como la pobreza extrema de estas regiones y también la Contaminación del agua.

El sector agrícola parece ser el más afectado: el suelo muestra un acelerado proceso de erosión, el monto de nutrientes ha disminuido así como la productividad, lo que se observa en la dificultad de la planta para crecer, florecer y germinar. También se ha observado un proceso de desaparición de vegetación y fauna acuática en los cauces del río.

### **2.3.2 EL VERTIDO MINERO EN LOS CAUCES Y SUELOS DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO**

El vertido de los lodos y colas procedentes de las minas de Potosí cubre una extensión elevada que necesita ser todavía evaluada. Comprendida entre las minas potosinas y las minas a lo largo de los otros afluentes en la cuenca alta del río Pilcomayo, esta extensión podría constituir un enorme reactor químico-biológico en el cual parte de los sulfuros lentamente se oxidan liberando los metales pesados bajo forma iónica en las aguas.

La oxidación de los sulfuros produce sulfatos de mayor solubilidad. Todos estos sulfatos son mucho más solubles que los sulfuros metálicos anteriormente señalados. Por lo que pueden ser fácilmente removidos por lavado con agua.

La composición química de los lodos vertidos fue investigada en trabajos del CIMA y resultó ser relativamente homogénea estando muy condicionada por la paragénesis de los yacimientos y por los procesos mineralúrgicos empleados en el beneficio del mineral.

Los depósitos se caracterizan por tener una granulometría fina, se supone inferior a 100  $\mu\text{m}$ , ser eminentemente sulfuros y óxidos (Sn), con un porcentaje y con contenidos variables de Plomo, Zinc, Manganeso, Cadmio, Mercurio y otros metales por los cuales se necesita una atenta evaluación.

La permanencia de estos minerales activos en los suelos y en los sedimentos de los cauces constituye un peligro de contaminación medio ambiental y de salud pública. Una evaluación y comprensión de los procesos de oxidación / cesión de las capas mineralizadas es vital para limitar la contaminación de los suelos y aguas, especialmente en As, Pb, Cd, entre otros, como parecen corroborar ensayos realizados en la poblaciones a lo largo del río Pilcomayo.

De la literatura científica, se conoce como los elementos contaminantes se incorporan claramente en los primeros centímetros del suelo en función del tiempo. Los suelos con alto contenido en carbonato retienen y precipitan los elementos contaminantes en los primeros centímetros actuando de protección a los acuíferos de una posible contaminación.

## **2.4 METODOS DE EXPLOTACION MINERA**

### **2.4.1 Explotacion minera y medio ambiente**

En primer lugar, es esencial comprender lo que es una mina e identificar sus principales componentes. Podemos definir un *sitio minero*, como un lugar donde se extrae y tritura la roca para después extraer los minerales que tienen un valor comercial. Existiendo diferentes tipos de explotación de minerales como:

- Mina (a cielo abierto o subterránea)
- La planta de concentración
- El sitio de almacenamiento de desechos estériles (estériles o residuos del concentrador)
- Planta de tratamiento de agua y piscina.

## **2.5 AGUA EN LAS ACTIVIDADES MINERAS**

Un componente importante para la explotación minera es el agua. Por ejemplo, agua requerida en las distintas etapas, agua de perforación, enfriadores, control de polvo, terraplenado, agua de tratamiento del mineral.)

- Una gestión del agua en la superficie es esencial.
- Cada vez más se trata de minimizar su utilización y de reciclarla lo más que se pueda.
- Si el agua al ser eliminada al efluente final no respeta los criterios ambientales, tiene que ser tratada.

### **2.5.1 TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA EN LA FASE DE OPERACION**

Entre los contaminantes Solubles se tienen los: ácidos generados por el Drenaje Acido de Mina (DAM), metales pesados y contaminantes que provienen del tratamiento del mineral (cianuros, agentes de tratamiento tiosales).

### **2.6 DRENAJE ACIDO DE ROCA (DAR) O DE MINA (DAM)**

Es comúnmente conocido que el agua superficial y el agua subterránea circundante de una mina pueden resultar significativamente afectadas por las actividades de una mina.

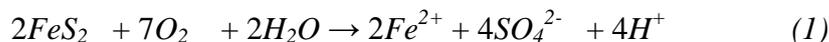
En el primer texto escrito sobre calidad del agua de mina, Georgius Agrícola (1556, traducido por Hoover y Hoover en 1912) menciona:

*“Luego de ser lavados los minerales, el agua que ha sido usada envenena los arroyos y quebradas y destruye a los peces o los aleja.”*

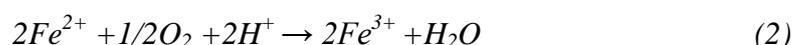
Esta es probablemente la primera referencia registrada sobre impactos ambientales mineros y el fenómeno del drenaje ácido de mina. (Problema común para muchas minas metálicas, de uranio y carbón).

El Drenaje Ácido de Roca (Acid Rock Drainage - ARD) puede generarse en o dentro de muchos componentes mineros como roca de desmonte, relaves, paredes del tajo abierto y labores mineras (e.g. SRK 1989; Morin y Hutt 1997). Los minerales sulfurosos como la pirita (que es el mineral sulfuroso más abundante) se oxidan cuando están expuestos lo cual genera ARD. Esto se realiza a través de diversas posibles vías químicas y bioquímicas. La oxidación de la pirita puede describirse con las siguientes ecuaciones (e.g. Kleinmann et al. 1981; Ritcey 1989; Blowes y Ptacek 1994; Evangelou 1995; Perkins et al. 1995; Morin et Hutt 1997). El primer paso es la oxidación directa de

la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) por el oxígeno que produce sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), hierro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y acidez ( $\text{H}^+$ ):



En el siguiente paso, el hierro ferroso se oxida a hierro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Esta reacción es catalizada a un pH bajo por la presencia de bacterias (principalmente por la *Thiobacillus ferrooxidans*) aumentando el índice de reacción de 20 a 1000 veces (e.g. Berthelin 1987; Cook et al. 2000).



El hierro ferroso también puede ser oxidado para producir hidróxido de hierro ( $\text{FeO}\cdot\text{OH}$ ) y acidez.



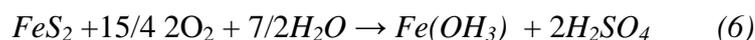
El  $\text{Fe}^{3+}$  es precipitado a un pH > 4 como hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), que luego libera más ácido al medio ambiente.



A un pH < 4, el hierro férrico se mantiene soluble y puede oxidar a la pirita directamente, liberando más ácido en el área circundante.



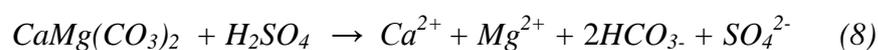
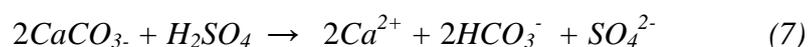
Toda la reacción para la oxidación completa de la pirita puede expresarse como sigue:



La oxidación de 1 mol de pirita genera dos moles de ácido sulfúrico. Por lo general, en la bibliografía se considera (e.g. Aubertin et al. 2002) que la oxidación directa por

oxígeno (Ecuación 1) ocurre a un pH casi neutro ( $5 < \text{pH} < 7$ ), mientras que la oxidación indirecta (Ecuación 5) se produce predominantemente a un pH menor ( $\text{pH} < 3$ ). El índice de oxidación es una función de diferentes factores (Perkins et al. 1995) incluyendo suministro de oxígeno, temperatura, pH, actividad bacteriana, área de la superficie del mineral y cristalografía. Comúnmente se entiende que la (Ecuación 2) controla el índice de la reacción. El índice de la reacción es bajo a un pH bajo y aumenta rápidamente a medida que el pH disminuye debido a la presencia de bacterias.

La calidad química del drenaje también dependerá de otros minerales presentes en los residuos mineros. El ácido en solución puede reaccionar y tornarse neutro con los carbonatos y minerales de silicatos, que son los principales minerales neutralizadores (e.g. Sverdrup 1990; Kwong 1993; Lawrence y Scheske 1997). Las (Ecuaciones 7 y 8) representan dos reacciones posibles de neutralización de ácido sulfúrico (a  $\text{pH} > 6.3$ ) por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), respectivamente, que son dos minerales de carbonato abundantes (Lapakko 1994).



Las ecuaciones muestran que son necesarios dos moles de calcita y 1 mol de dolomita para neutralizar 1 mol de ácido sulfúrico. La capacidad de neutralización mineral para reducir la producción de DAR también depende de los diferentes factores que afectan la reactividad de los minerales (ej. temperatura, pH, presión de  $\text{CO}_2$ , área superficial del mineral y cristalografía). La reactividad de los minerales de carbonato pueden clasificarse desde los más reactivos hasta los menos reactivos: calcita  $\geq$  dolomita  $>$  Mg-ankerita  $>$  ankerita  $>$  siderita (Blowes et Ptacek, 1994). Puede encontrarse mayor detalle sobre el proceso de neutralización en residuos mineros en otras publicaciones (e.g. Sverdrup 1990; Blowes et Ptacek 1994; Lapakko 1994; Sherlock et al. 1995; Aubertin et al. 2002; Jambor et al. 2002).

1. Cuánto tiempo dura el Drenaje Acido de Mina?, mientras los ingredientes están reunidos así como los activantes.
2. En qué tipo de sitio lo encontramos?, en las minas subterráneas, diques de colas, zonas de derrame, zonas de escorrentía, acumulaciones de estériles (desmontes) y rellenos sulfurosos.

**Figura N° 2.5: Vista de un suelo contaminado con DAR**



Fuente: Dr. Gerardo Zamora

Después de haber realizado la interpretación de los resultados del análisis de muestras de aguas y sedimentos del 2008, y haber comparado los niveles de concentración de metales pesados en documentos de los años 2004, 2005 y 2008, se puede evidenciar que existe contaminación por arsénico, cadmio, antimonio, plomo en los puntos Palca Higuera, Quechisla, la Vidriera, Tumusla, Camblaya y Cotagaita.

Y considerando que aguas arriba del Río Quechisla existen minas como: Sagrario, Animas, Siete Suyos y Fierro Uno, se puede lanzar una hipótesis de que estas minas son la causa de la existencia de la contaminación de las aguas de los afluentes del Río Tumusla; sin embargo no conocemos el tipo de mineral o minerales que extraen y procesan, el tipo de reactivos que utilizan en cada una de estas, por ello la propuesta que se presenta a continuación es una propuesta un tanto genérica y no así específica para un determinado metal pesado.

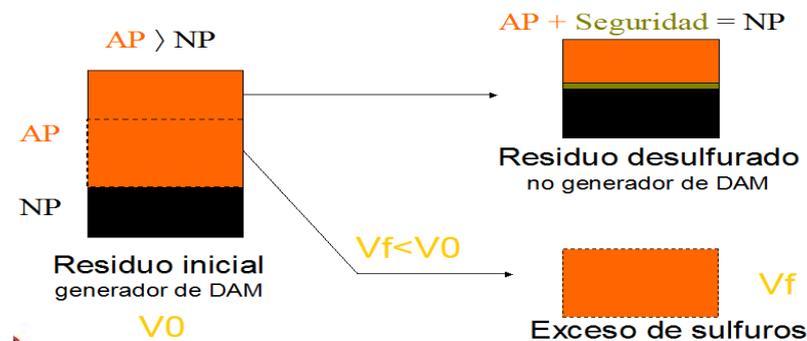
## 2. 7 MEDIDAS DE MITIGACION

Tomando en cuenta que los principales componentes responsables de la generación de DAR o DAM son los sulfuros de hierro, el oxígeno, el agua y las bacterias tiobacillus ferrooxidans, se debe buscar eliminar en primera instancia a los sulfuros, presentes en una fuente de contaminación ambiental minera.

### 2.7.1 ELIMINACION DE SULFUROS

- ✚ Consiste en la separación de los sulfuros del resto de los residuos que constituyen los residuos mineros.
- ✚ Obtención de una fracción sulfurosa.
- ✚ El residuo final es geoquímicamente inerte y puede ser utilizada en las coberturas.
- ✚ El residuo de los residuos problemáticos, es de esta manera considerablemente disminuido.

### 2.7.2 DESULFURACION AMBIENTAL



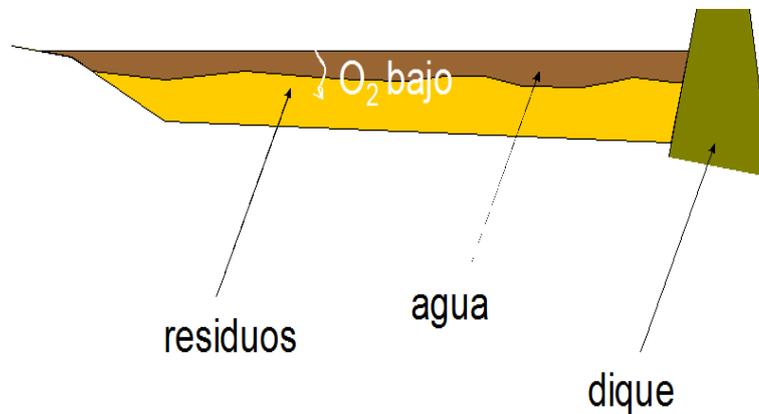
Donde: AP = Potencial de generación de Acidez, NP= Potencial de neutralización

Las principales técnicas son:

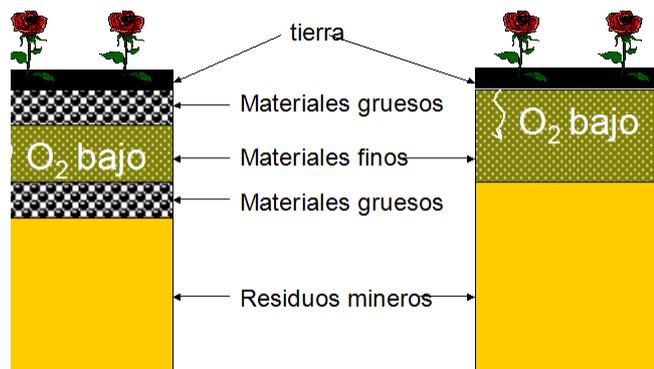
- Los recubrimientos con tierra y/o geosintéticos con el objetivo de limitar la infiltración de agua (tumba hermética)

- Los recubrimientos con tierra y/o geosintéticos, con el objetivo de limitar la difusión de gas (CEBC).
- Los recubrimientos de agua con el objetivo de limitar la difusión de gas ( $O_2$ )
- Los recubrimientos de tipo consumo de oxígeno que contienen materias consumidoras de  $O_2$  (viruta de madera, lodos de fabricas de papel)
- La selección de la técnica dependerá de diferentes factores técnicos y económicos.

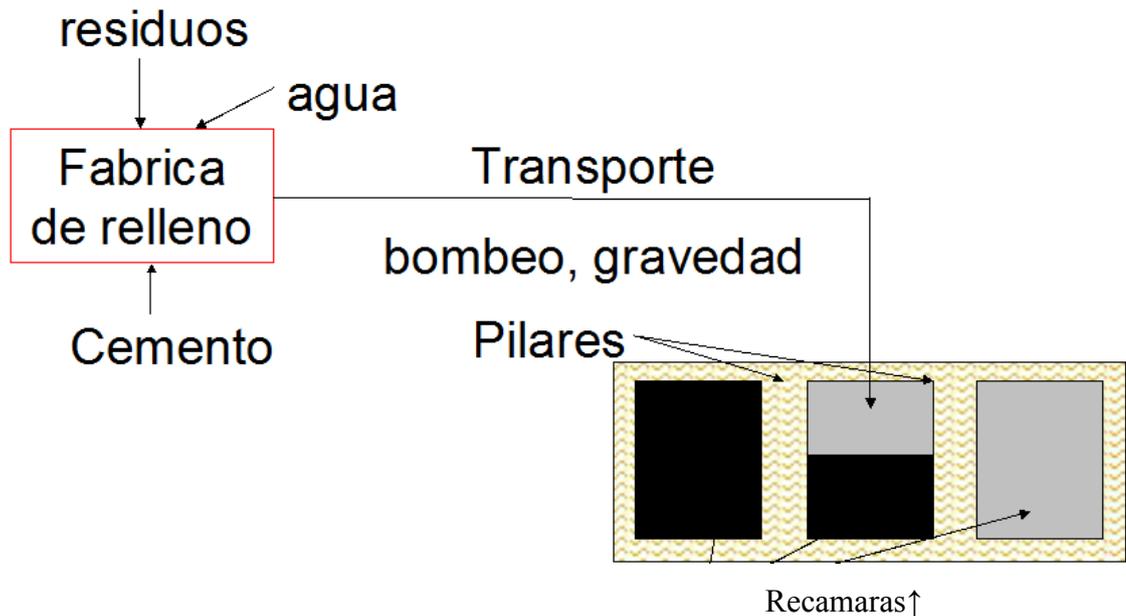
### 2.7.3 PISCINA INUNDADA CON AGUA



### 2.7.4 COBERTURAS SECAS



### 2.7.5 RELLENO DE PASTA



Los principales factores técnicos y económicos son:

- Las propiedades químicas de los residuos (poco o muy generadores de DAM)
- Disponibilidad de los materiales
- Propiedades de los materiales.
- Condiciones climáticas
- Nivel de los resultados esperados
- Dinero disponible

### 2.7.6 TRATAMIENTO DE EFLUENTES ACIDOS

- Las medidas de control del drenaje ácido mina:
- Controlar los procesos de generación de ácido (bloqueando el transporte de oxígeno)
- Controlar la migración de los efluentes ácidos (bloqueando el transporte del agua)
- Recolección y tratamiento de las aguas contaminadas

Existen dos tipos de tratamiento:

***Métodos activos***

- Control
- Los lodos requieren de tratamiento
- Se requiere mucha inversión y es a largo plazo

***Métodos pasivos***

- Tiempo
- El área requerida para el tratamiento es de considerable tamaño

***Dentro del método activo tenemos la:***

Neutralización química, la más utilizada como:

- Evaporación - cristalización;
- Osmosis inversa
- Destilación
- Extracción con solventes
- Extracción por electrolisis

***Y dentro de los métodos pasivos tenemos:***

- Los pantanos
- Dren de piedra calcaría
- Y otros procesos en desarrollo
- Como electroquímico, biológico, desechos alcalinos provenientes de otras industrias, desechos leñosos, compost

Los objetivos del tratamiento de los efluentes ácidos son:

- Eliminar la acidez;
- Precipitar los metales pesados;
- Retirar las sustancias dañinas como los sólidos en suspensión

Las etapas más comunes dentro de los diferentes procesos de tratamiento químico de neutralización de las aguas ácidas son las siguientes:

- Preparación de la lechada de cal

- La puesta en contacto con el efluente ácido para aumentar el pH del agua a un valor predeterminado.
- Oxidación del ión ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) a ión férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ );
- Formación y floculación de los precipitados;
- Separación de los sólidos

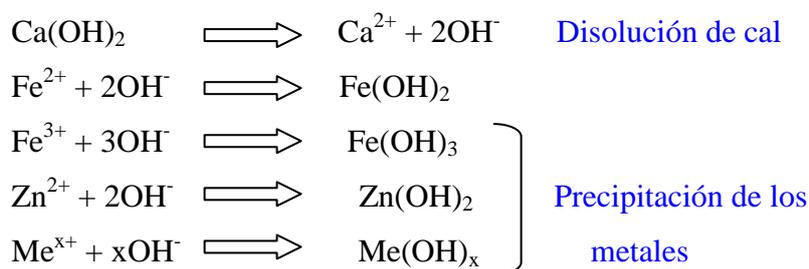
En el proceso de neutralización se consigue eliminar la acidez con la ayuda de los reactivos alcalinos, a continuación mencionamos algunos:

- Cal viva ( $\text{CaO}$ );
- Cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ );
- Carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ );
- Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ );
- Amonio;
- Sulfuro de sodio
- Escorias o cenizas volantes

El método más utilizado para eliminar la acidez de los efluentes líquidos en la minería es la neutralización con cal?

- La neutralización con cal funciona!
- Llena las directivas para los metales pesados
- Pueden manejarse con altos índices de flujos
- Los costos son bajos comparados con otras alternativas
- El sistema de tratamiento es simple
- Los lodos pueden ser almacenados con seguridad

### 2.7.7 REACCIÓN QUÍMICA EN EL PROCESO DE CALEADO



Donde: Me = Metal pesado

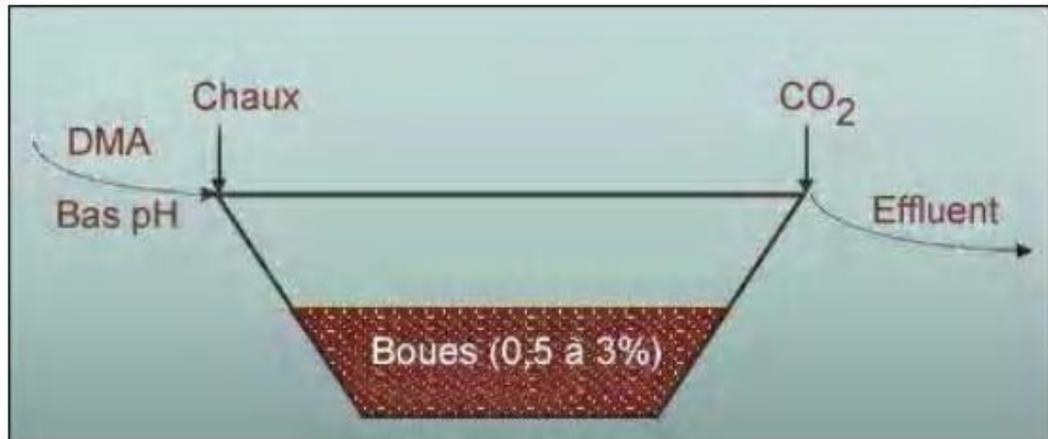
- Precipitación de metales:
- La mayoría de los metales precipitan bajo la forma de sus hidróxidos o de sus óxidos metálicos hidratados en cambio el sulfuro asociado precipita bajo la forma de yeso.
- Cada uno de los productos tiene un pH óptimo para su extracción de la solución
- Se agrega un floculante con el fin de aglomerar las partículas los precipitados y así facilitar la sedimentación y la separación sólido - líquido en la planta de tratamiento de agua.

## 2.8 TRATAMIENTO ACTIVO DE EFLUENTES ACIDOS

### 2.8.1 RATAMIENTO EN LAGUNAS DE SEDIMENTACION

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Poco costoso. Bien adaptado para los caudales no muy grandes. Tiempo de retención relativamente largo. No necesita floculante.	Gran superficie necesaria. Dificulta a oxidar de hierro ferroso. Lodos de baja muy baja densidad. Cal menos eficaz por falta de agitación. Menos buen control del flujo.

Fuente: Dr. Gerardo Zamora



Donde: Chaux = cal, DMA = Drenaje Acido de Mina, effluent = efluente

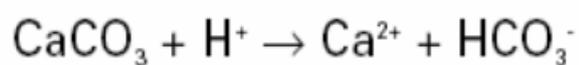
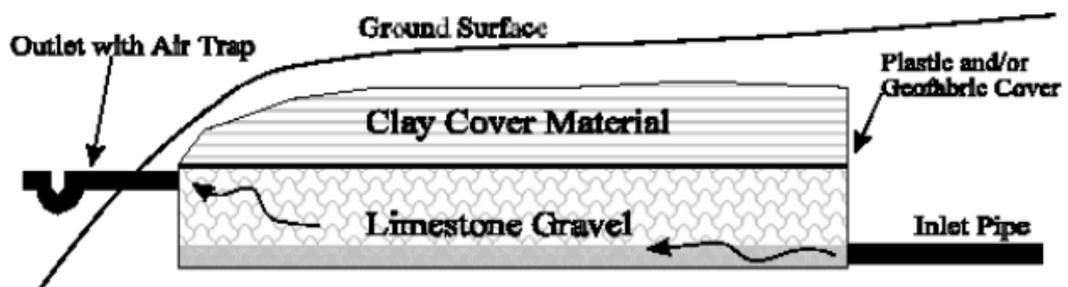
Así mismo existen otros métodos activos como: las lagunas decantación, fosa de tratamiento Raglan, tratamiento activo convencional, tratamiento activo- lodos de alta densidad, tratamiento activo – Geco.

## 2.9 TRATAMIENTO PASIVO DE DAM

### 2.9.1 Tratamiento anoxico calizo

Para tratar DAM sin oxígeno existe:

El sistema subterráneo para evitar la oxidación y precipitación de hierro in-situ. La caliza es sellada por una capa de tierra arcillosa y una geomembrana para mantener unas condiciones anóxicas.



Caliza de alta calidad con más del 90%  $\text{CaCO}_3$  y tamaños de piedra de entre 2 y 15 cm de diámetro. El agua ácida tratada pasa a continuación a una balsa de precipitación u otro sistema aerobio lo que favorece la oxidación y precipitación de hierro.



Fuente: Dr. Gerardo Zamora

Son cunetas o canales con el fondo recubierto de caliza por las cuales circulan las aguas ácidas a tratar. Adición de alcalinidad y precipitación de metales pesados.

### **2.9.2 TRATAMIENTO PASIVO (PANTANOS, WETLAND)**

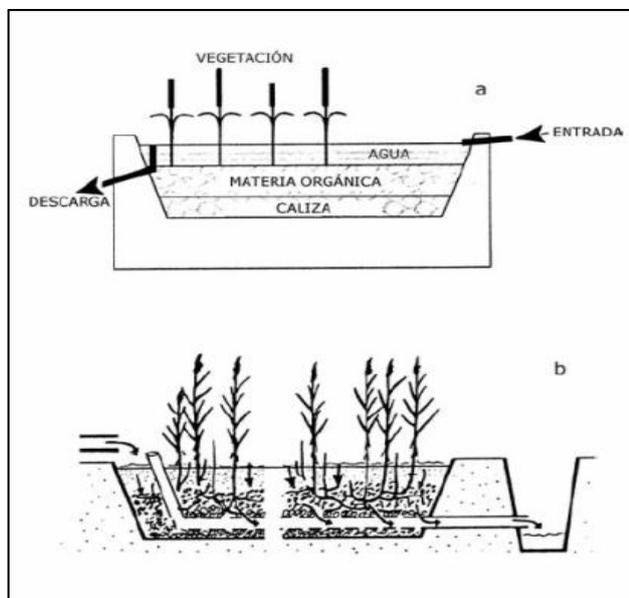
Terrenos pantanosos:

- Disminución de la concentración de los sólidos en suspensión, en sulfatos y en metales disueltos;
- Un cierto aumento del pH
- Sistemas artificiales diseñados específicamente para recibir y tratar las aguas contaminadas
- La eficacia fluctúa enormemente con las estaciones y es incierta a largo plazo

### **2.9.3 HUMEDALES ANAEROBIOS**

- Humedal anaerobio de flujo horizontal (a) y vertical (b)
- Substrato orgánico elimina oxígeno disuelto y reduce el  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$
- Puede también reducir sulfato y producir sulfuros de metales

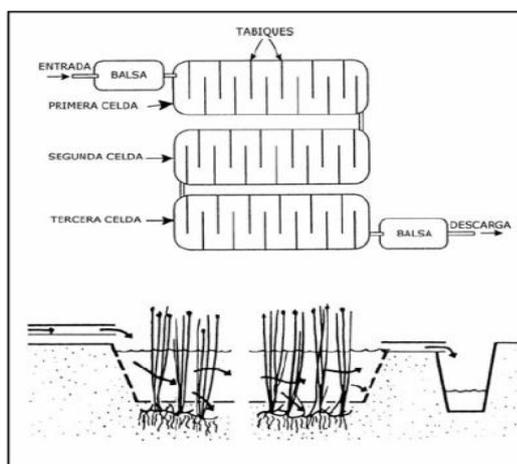
- Caliza produce alcalinidad
- Oxidación y precipitación de metales al final



Fuente: Dr. Gerardo Zamora

#### 2.9.4 HUMEDALES AEROBIOS

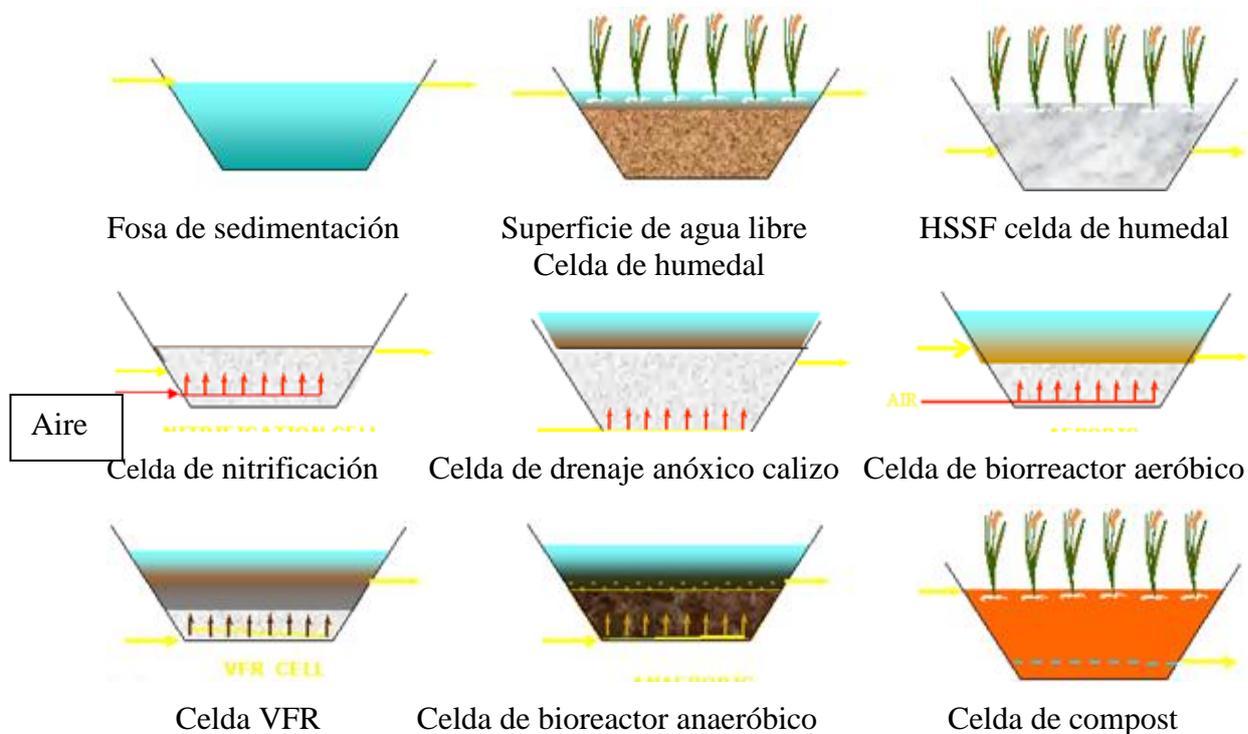
- Puede acumular los metales por la adsorción, la precipitación y complejación
- Bueno también para los sólidos en suspensión y contaminación orgánica
- Falta tratamiento para caudales variables, grandes concentraciones de metales y baja temperatura.



Fuente: Dr. Gerardo Zamora

Existen otros métodos de tratamiento pasivos como: Balsa orgánica seguida de un drenaje anoxico calizo, sistema de producción sucesiva de alcalinidad.

### 2.9.5 OPCIONES PARA HUMEDALES CONSTRUIDOS



### 2.10 DESTRUCCIÓN DE CIANUROS

Degradación natural:

- Una manera natural bajo el efecto de la atmósfera y de los rayos ultravioletas del sol;
- La neutralización por el CO el CO<sub>2</sub> del aire,
- La volatilización,
- La disociación química
- La precipitación

PROCESO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>Degradación natural</b>	<p>Procedimiento muy simple, sin equipos complejos.</p> <p>Costos generalmente bajos</p>	<p>Ningún control sobre el efluente final.</p> <p>Riesgos de fuga en las piscinas.</p> <p>Iones metálicos disueltos como Zn y As, pueden ser difíciles de eliminar.</p>
<b>SO<sub>2</sub> – Aire INCO</b>	<p>Costos de los reactivos bajos comparados con otros procesos químicos.</p> <p>Elimina los complejos de cianuros de hierro.</p> <p>Puede tratar la pulpa o el agua.</p> <p>Nivel de cianuro total menor a 1 mg/l posible.</p> <p>SO<sub>2</sub> fácil de obtención.</p>	<p>Patentado: pagos de utilización.</p> <p>Presencia de tiocianatos en el efluente final.</p> <p>Riesgo de contaminación del aire con el SO<sub>2</sub> si hay fugas.</p>
<b>SO<sub>2</sub> Noranda</b>	<p>Como el procedimiento de INCO.</p> <p>Eficaz para los desechos que contienen mucho antimonio y arsénico.</p>	<p>Como el procedimiento de INCO.</p> <p>Más caro si hay concentraciones pequeñas de antimonio y arsénico.</p>
<b>Peróxido de hidrógeno</b>	<p>Costo de inversión bajo.</p> <p>Puede reducir los complejos de cianuro bajos y complejos de hierro a &lt; 1 ppm.</p> <p>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> puede ser transportado en altas concentraciones y almacenado por periodos largos de tiempo.</p> <p>Ningún subproducto tóxico.</p>	<p>Costos de los reactivos posiblemente más altos que para los otros procesos.</p> <p>Pocos tiocianatos eliminados.</p> <p>Cianuro total en el efluente frecuentemente alto.</p>
<b>Cloración</b>	Tiocianatos destruidos.	Generación posible de gases

<b>alcalina</b>	Arsénico (si está presente) oxidado en arseniato: facilita su eliminación. Cianuro transformado en CO <sub>2</sub> y en NH <sub>3</sub> según su necesidad (pero costos altos). Procedimiento aprobado.	bastante tóxicos. El costo puede ser muy alto si hay grandes concentraciones de tiocianatos o complejos metálicos. Formación posible de cloraminas, tan tóxicas como el cianuro.
<b>Procedimiento Hemlo</b>	Reactivos disponibles y sin peligro. Bajo costo de operación Fácil operación y control	Tecnología relativamente nueva, no aprobada. Eficacia desconocida en el caso de grandes concentraciones de cianuro total.
<b>AVR</b>	Permite la recuperación de cianuro. Destruye al amoniaco Reactivos poco costosos	Peligro potencial: fugas de HCN. Tecnología relativamente nueva y poco utilizada.

Fuente: Textos Maestría Ing. Ambiental Minera

La mejor manera de decidir que procedimiento físico - químico permitirá eliminar la mayor cantidad de cianuro de una solución dada, es a través de la realización de pruebas de laboratorio con los diferentes procesos con la solución que se debe tratar. (Ing. Gerardo Zamora Docente UTO, Maestría de Ing. Ambiental Minera, UASB).

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLOGICO**

### **METODOLOGIA DEL TRABAJO DE CAMPO**

### 3.1 Ubicación de los puntos de muestreo

Un total de 4 puntos fueron muestreados, y cuyo detalle de la ubicación de los mismos se presenta en la tabla N° 4.2, y en el plano demostrativo de la figura N° 1, en los mismos se obtuvieron muestras de aguas y sedimentos, para determinaciones físico-químicas y metales pesados en laboratorio, presentándose los parámetros a analizar en la tabla N° 3.2 de este capítulo. Se presenta a continuación la ubicación física de los puntos:

**Tabla N° 3.1: Ubicación de los puntos de muestreo**

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	PROVINCIA	LOCALIDAD	CÓDIGO DE FUENTE DE MUESTREO
Chuquisaca	Villa Abecia	Sud Cinti Fecha de creación: 23 de marzo de 1944 Capital: Villa Abecia División política: 3 secciones municipales y 21 cantones. Extensión: 5484 Km <sup>2</sup> Población: 24321 Hb. Densidad: 4.44 Hb/Km <sup>2</sup>	Camblaya	Agua superficial (a) Sedimentos (c)
Potosí	Cotagaita	Nor Chichas Fecha de creación: 26 de agosto de 1863. Capital: Cotagaita. División política: 2 secciones municipales y 26 cantones. Extensión: 8979 Km <sup>2</sup> Población: 35323 Hab.	Palca Higuera	Agua superficial (a) Sedimentos (c)

		Densidad: 5.63 Hab/Km <sup>2</sup>		
Potosí	Cotagaita	Nor Chichas Fecha de creación: 26 de agosto de 1863. Capital: Cotagaita. División política: 2 secciones municipales y 26 cantones. Extensión: 8979 Km <sup>2</sup> Población: 35323 Hab. Densidad: 5.63 Hab/Km <sup>2</sup>	Cotagaita	Agua superficial (a) Sedimentos (c)
Potosí	Cotagaita	Nor Chichas Fecha de creación: 26 de agosto de 1863. Capital: Cotagaita. División política: 2 secciones municipales y 26 cantones. Extensión: 8979 Km <sup>2</sup> Población: 35323 Hab. Densidad: 5.63 Hab/Km <sup>2</sup>	Quechisla	Agua superficial (a) Sedimentos (c)

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en las paginas siguientes fotografías satelitales con puntos de muestreo de esta investigación y puntos de referencia tomados de otros estudios que se encuentran cerca a los puntos en estudio actuales.

### 3.2 Criterios para el Muestreo

El muestreo se ha realizado de acuerdo al plan inicial donde se han considerado 4 puntos, distribuidos a lo largo de la sub – cuenca del Río Tumusla que recorre los Departamentos de Potosí y Chuquisaca. Las muestras obtenidas fueron agua de corriente y sedimentos (obtenidos en la orilla del río) para llegar a analizar los siguientes parámetros:

**Tabla N° 3.2: Parámetros y número de muestras líquidas y sólidas**

PARAMETROS	NO. MUESTRAS
pH	4
Conductividad Eléctrica	4
Sólidos Suspendidos	4
Turbidez	4
Alcalinidad	4
DQO	4
DBO5	4
NO3	4
NO2	4
CN Libre	4
Carbonato	4
Bicarbonato	4
Cloruro	4
Sulfato	4
Fosfato	4
Borato	4
Fluoruro	4
<b>Paquetes enviados a Actlabs</b>	
<b>AGUAS ICP/MS</b>	
Metales pesados	4

Metales totales	4
<b>SEDIMENTOS</b>	4
pH pasta	4
Hg	4
CP/MS	4
ABA	4
Conductividad	4
Metales totales	4

Fuente: Elaboración propia

Se hace notar que para el recojo de la muestra se ha considerado en el plan las Localidades, pero el procedimiento fue al azar en los puntos de muestreo.

Sin embargo, la ubicación de los puntos identificados para la toma de muestras al ser considerados en base a experiencias de mitigación, considerando el cierre de uno de los pasivos ambientales más grandes situado en Atocha (nov. 2005), fue realizada en coordinación con técnicos con experiencia en la cuenca, en el entendido que una vez cerrado el pasivo la contaminación minera aguas abajo, debería ser menor, las localidades elegidas para la comparación de resultados fueron monitoreados por el Proyecto Pilcomayo (2004) y por la Mancomunidad de Municipios de los Cintis (2005), también por la Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Prefectura de Chuquisaca con el Programa de Cooperación Danesa al Sector Medio Ambiental (PCDSMA) en la gestión 2005, lo cual facilitaría la comparación de resultados de los parámetros analizados por el laboratorio, además considerando que estos puntos cumplen con las normas técnicas de muestreo, como acceso al lugar, camino carretero, fácil identificación del lugar de muestreo y otros aspectos de importancia. Una vez en el lugar se procedió a localizar los puntos de muestreo in situ, con la ayuda de un equipo de GPS, que permitió medir las coordenadas de cada punto lo cual se muestra en la tabla N° 4.2.

### **3.3 Muestreo de aguas y sedimentos**

El muestreo de aguas y sedimentos conlleva muchas actividades, a través de las cuales se obtuvo una porción homogénea y representativa, que fue objeto de estudio para determinar las condiciones reales de la calidad de las muestras.

Considerando que la obtención de una muestra representativa y su acondicionamiento para el transporte hasta el laboratorio, deben representar factores determinantes que puedan afectar en forma significativa las condiciones originales de la misma. El proceso de la colecta involucró la adquisición física de la muestra para su futuro análisis, y el manejo de la misma debió mantener la muestra en condiciones iniciales para cumplir objetivo propuesto, para la toma de muestras y su conservación hasta la llegada a los laboratorios, bajo normas precisas.

## **CAPITULO IV**

### **PLANIFICACION DEL TRABAJO DE CAMPO**

#### **4.1 EJECUCIÓN DEL MUESTREO ENTRE VILLA ABECIA Y QUECHISLA**

Antes de realizar el muestreo, fue necesario cumplir con algunas actividades, que tienen el objetivo de garantizar la ejecución de un trabajo eficiente y serio, en cumplimiento a normas y los procedimientos de muestreo establecidos, estas actividades son:

- Plan de muestreo
- Preparación del Material que será utilizado en el muestreo
- Limpieza de envases de muestreo
- Ubicación y descripción de los puntos de muestreo
- Muestreo
- Conservación de las muestras
- Identificación de las muestras
- Envío de las muestras al laboratorio

##### **4.1.1 Plan de muestreo:**

En la elaboración del plan de muestreo, se tomo en cuenta los objetivos del muestreo, de tal forma que no se desperdicie tiempo ni dinero a través de errores que se pudieran cometer a lo largo del muestreo.

##### **4.1.2 Preparación del Material que será utilizado en el muestreo**

Para la obtención de las muestras, se procedió a la adquisición de 8 envases de polietileno blanco de una capacidad de un litro, esto en función a normas establecidas para el tipo de contaminantes que van a ser determinados en laboratorio. De la misma manera, se adquirió una conservadora de poliestireno (plastoformo), sal y hielo para la conservación de las muestras.

#### **4.1.3 Limpieza de envases de muestreo**

Los 8 envases que se adquirieron fueron lavados con la misma agua de los puntos de muestreo, evitando poner en contacto la mano del muestreador, no se utilizó ningún reactivo para condicionar las muestras a sugerencia del laboratorio contratado.

#### **4.1.4 Ubicación y descripción de los puntos de muestreo**

Para ubicar los puntos de muestreo, se utilizó un mapa de escala 1:50000

#### **4.1.5 Muestreo de agua y sedimentos**

Con el propósito de tomar las muestras de aguas representativas y dependiendo del caudal del río, se tomaron las muestras en los puntos centrales del cauce y de la profundidad casi constante y exenta de piedras grandes a modo de facilitar el ingreso del muestreador. La muestra se tomó sumergiendo rápidamente el frasco debajo de la superficie del agua entre unos 15 a 30 cm, dirigiendo la boca del mismo en sentido contrario a la corriente.

Para obtener muestras representativas de sedimentos, se tomó entre 20 y 50 cm de la orilla de los ríos, tomando con una pala pequeña de jardinería y guantes de goma, varias porciones pequeñas de sedimento de lugares distintos en el mismo punto, hasta lograr llenar el envase (muestra compuesta).

#### **4.1.6 Conservación de las muestras**

Una vez tapadas las muestras, fueron colocadas, en la conservadora con hielo y sal, hasta terminar de tomar las muestras de los 4 puntos y luego ser enviadas al laboratorio.

#### **4.1.7 Identificación de las muestras**

Se procedió a identificar cada uno de los envases con datos necesarios para cumplir con los requerimientos del Laboratorio.

#### **4.1.8 Envío de las muestras al laboratorio**

Antes de iniciar el viaje para la toma de muestras se contrató el laboratorio, el cual garantizó los resultados propuestos por el proyecto.

Una vez concluido el trabajo de muestreo de aguas y sedimentos, identificadas las mismas, fueron enviadas al laboratorio para su posterior análisis, a las 48 horas de haber sido tomada la primera muestra.

### **4.2 MONITOREO PARTICIPATIVO**

Con el fin de realizar la Estrategia de Manejo se vio la necesidad de realizar un monitoreo participativo, donde se logró realizar una actividad de intercambio de experiencias con las comunidades, utilizando entrevistas orales y escritas, la primera acción no fue estructurada ya que se buscó la opinión libre de los habitantes de la zona, luego se aplicaron las encuestas, las cuales tuvieron como contenido mínimo los siguientes datos:

- Tipo de contaminación
- Impactos en el agua y el suelo
- Impactos en la agricultura
- Impactos en la reproducción animal
- Impactos en la salud de animales y personas
- Impactos en los cultivos
- Migración relacionada
- Tipo de actividades mineras observadas en el entorno

- ¿Hubo Generación de conflictos?

Aplicándose quince encuestas en los cuatro puntos.

### 4.3 Cronograma de Actividades

La Asociación Sucrense de Ecología **ASE**, ha propuesto realizar un estudio de caso relativo al impacto del cierre de pasivos ambientales del sistema minero y la contaminación de las aguas del Río Tumusla – Grande en el Departamento de Chuquisaca y Potosí. Dicha propuesta ha sido aprobada por el Comité de Calificación de **LIDEMA**, en su reunión realizada el 25 de septiembre de 2008. Una vez aprobada dicha propuesta, se elaboró el Plan de Muestreo, habiéndose establecido el cronograma de actividades:

**Tabla N° 4.1: Características físicas y naturales de los 4 puntos de muestreo**

PUNTO DE MUESTREO	CLIMA	TERRENO	ZONA
Camblaya	Cálido	Cultivos regados con agua del Río Tumusla por acequia	Agrícola y ganadera a pequeña escala
Palca Higuera	Calido	Cultivos regados con agua del Río Cotagaita	Agrícola con poca producción
Cotagaita	Templado	Cultivos regados con agua del Río Cotagaita	Agrícola con poca producción
Quechisla	Frío	Cultivos regados con agua del Río Quechisla	Agrícola con escasa producción

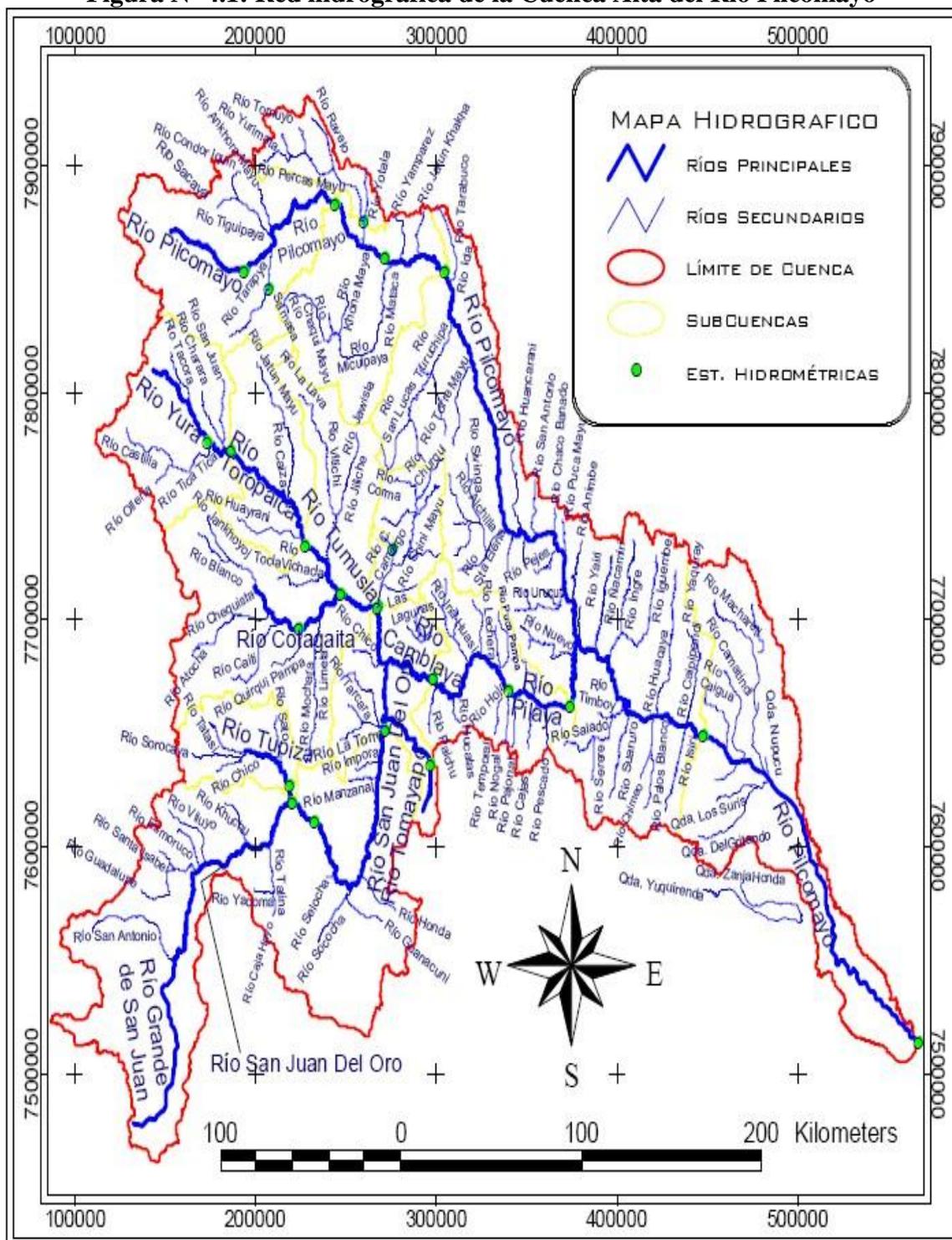
Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 4.2: Descripción y ubicación de los puntos de muestreo**

SUB CUENCA	PUNTO DE MUESTREO	RIO	LOCALIZACION	COORDENADAS EN SISTEMA UTM		ALTURA m.s.n.m.
				X	Y	Y
Tumusla	1	Tumusla	Antes de confluencia con el Río Chico de Camargo.	7680306	2214	02726648
Tumusla	2	Tumusla	Después de la confluencia con el Río Cotagaita	7710089	2438	0246835
Cotagaita	3	Cotagaita	Localidad de Cotagaita	7695076	2668	0223096
Quechisla	4	Quechisla	Localidad de Quechisla	7689165	3419	0800578

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 4.1: Red hidrográfica de la Cuenca Alta del Río Pilcomayo



Fuente: Proyecto Pilcomayo, *LÍNEA BASE AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICA DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO*, año 2006.

**Tabla N° 4.3: Registro de muestras de aguas**

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	N° Punto	LOCALIZACION	HORA MUESTREO	TIPO DE MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	COORDENADAS EN SISTEMA UTM		ALTURA m.s.n .m.
							X	Y	
Chuquisaca	Villa Abecia	1	Río Tumusla	7:20 a.m.	Sedimentos	27/11/2008	7680306	02726648	2214
Potosí	Cota-gaita	2	Palca Higuera	14:45 p.m.	Sedimentos	27/11/2008	7710089	0246835	2438
Potosí	Cotagaita	3	Cotagaita	10:00 a.m.	Sedimentos	28/11/2008	7695076	0223096	2668
Potosí	Cotagaita	4	Quechisla	12:40 p.m.	Sedimentos	29/11/2008	7689165	0800578	3419

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 4.4: Registro de muestras de sedimentos**

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	N° Punto	LOCALIZACION	HORA MUESTREO	Tipo de muestra	FECHA MUESTREO	COORDENADAS EN SISTEMA UTM		Altura m.s.n. m
							X	Y	
Chuquisaca	Villa Abecia	1	Río Tumusla	7:20 a.m.	Agua	27/11/2008	7680306	02726648	2214
Potosí	Cotagaita	2	Palca Higuera	14:45 p.m.	Agua	27/11/2008	7710089	0246835	2438
Potosí	Cotagaita	3	Cotagaita	10:00 a.m.	Agua	28/11/2008	7695076	0223096	2668
Potosí	Cotagaita	4	Quechisla	12:40 p.m.	Agua	29/11/2008	7689165	0800578	3419

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que las muestras de aguas y sedimentos correspondientes a los puntos 2 y 3, fueron tomadas después de que hubo un aluvión.

A medida que se fueron recogiendo las 4 muestras de aguas y 4 muestras de sedimentos, estas fueron preservadas en una conservadora portátil, además enfriadas con hielo y sal, para luego ser enviadas el día 30 de noviembre de 2008, al Laboratorio Spectrolab de Oruro.

Las muestras fueron identificadas a través de un etiquetado de cada uno de los envases, con los datos mínimos necesarios, para cumplir con los requerimientos del laboratorio.

Además de realizar el etiquetado de los recipientes con muestras, se empleó una hoja de registro de datos, en la cual se anotaron todos los datos descriptivos de la muestra, las observaciones de campo y un número que identifique a la muestra, como se puede observar en la tabla N° 4.2 de este capítulo.

En la visita a las localidades y el contacto con los pobladores se realizaron entrevistas, sobre su percepción del cierre del pasivo ambiental de Atocha y los problemas ambientales de cada una de las zonas visitadas, dichas boletas han sido analizadas, cuyos resultados se presentan en el capítulo N° 7.

Para que el lector pueda identificar mejor los puntos de muestreo se presentan fotos satelitales con el respectivo marcado de cada uno de los mismos. Los mismos se presentan a continuación, se pueden observar algunas fotografías del trabajo de campo en el anexo II.

## **CAPITULO V**

**DISCUSION E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS  
DE MUESTRAS DE AGUAS Y SEDIMENTOS EN  
CUATRO PUNTOS DEL RIO TUMUSLA - GRANDE,  
CHUQUISACA, RIO COTAGAITA Y QUECHISLA EN  
POTOSI, GESTION 2009**

### **5.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE MUESTRAS DE AGUAS EN CUATRO PUNTOS DEL RIO TUMUSLA - GRANDE, CHUQUISACA, RIO COTAGAITA Y QUECHISLA EN POTOSI, GESTION 2008 – 2009**

La interpretación de los niveles de concentración de metales pesados se realizó, en base a los resultados de las muestras de aguas y sedimentos, analizados para metales pesados totales, pH y otros parámetros físico-químicos; se consideró la legislación ambiental boliviana para límites permisibles como es el caso de aguas, nos estamos refiriendo al Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley de Medio Ambiente N° 1333.

**Tabla N° 5.1: Parámetros de pH y metales pesados en muestras de aguas, resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados totales en muestras de aguas gestión 2008 – 2009**

Elemento	Simb.	Unid.	Río Tumuslay y Camblaya	Río Tumuslay y Palca Higuera	Río Cotagaita	Río Quechisla	Límites máximos admisibles Reglamento de contaminación hídrica de la Ley 1333
			27/11/08	27/11/08	28/11/08	29/11/08	
pH	pH	-	8.1	7.6	7.9	7.8	6.0 a 9.0
Cianuro libre	CN libre	mg/l	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0,2
Arsenico	As	mg/l	0.01	0.196	0.0116	0.163	0.1c.As
Cadmio	Cd	mg/l	0.001	0.00475	0.0014	0.0084	0,005
Mercurio	Hg	mg/l	-0	-0.005	-0.004	-0.002	0.001 Hg
Plomo	Pb	ppm	0.028	0.12875	0.0282	0.0523	0.1c. Pb
Antimonio	Sb	mg/l	0.01	0.01325	0.0062	0.008	0.01c Sb
Cromo	Cr	mg/l	-0.01	0.0275	-0.01	0.019	0.05c. Cr+6

Fuente: Impacto del Cierre de Pasivo Ambiental Atocha-Telamayu , en la Mitigación de las aguas del Río Tumusla-Grande, Chuquisaca, contaminada por actividad minera en Potosí.

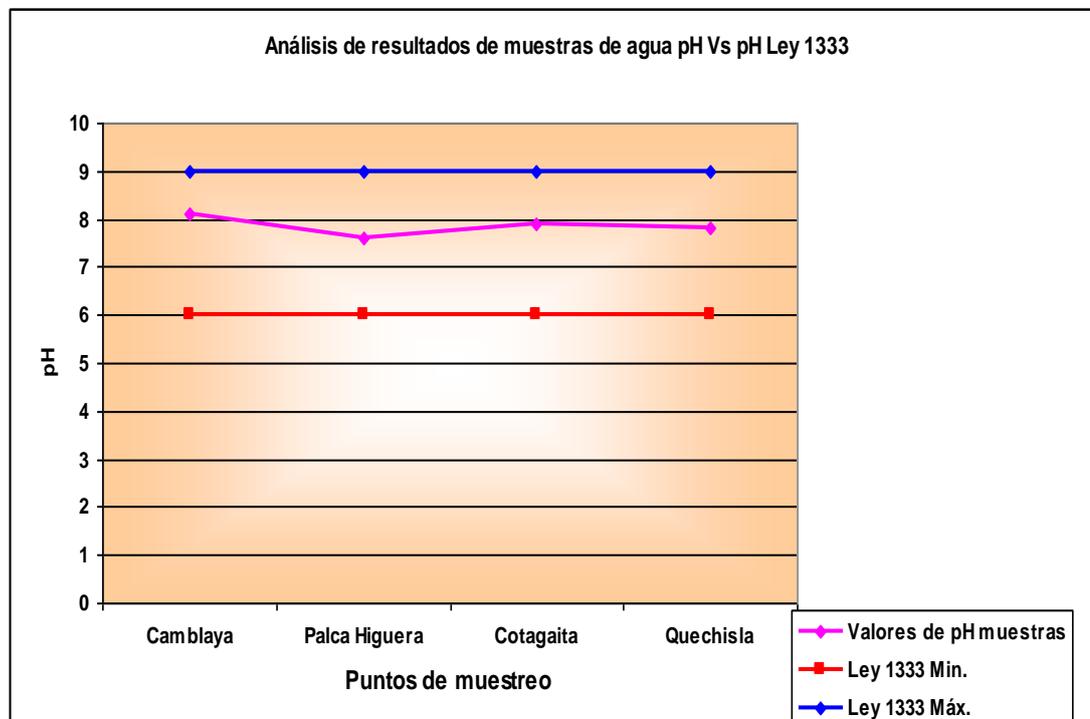
Para mejor interpretación de los resultados, se han construido diferentes gráficos mostrando la variación de los parámetros del registro en cada uno de los puntos de los ríos, lo cual se muestra en las figuras siguientes:

Para la construcción de estos diagramas, se colocó en el eje de las abscisas los diferentes puntos de muestreo, empezando por el Río más alejado de los desmontes de Telamayu (Camblaya Chica), y en el extremo derecho el punto más próximo a objeto (Quechisla) de poder inferir mayores comentarios sobre los resultados obtenidos.

Para facilitar la comprensión de las figuras siguientes se aclara que solamente se ha tomado como referencia los límites máximos permisibles para la clasificación de los cuerpos de agua clase “D”, del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333, del Medio Ambiente. Puesto que si un cuerpo de agua no es apto para abrevadero de animales (clase D), no es apto para otros usos como, abastecimiento

doméstico de agua potable, para recreación de contacto humano (natación, esquí, inmersión), para recreación de los recursos hidrobiológicos, para riego de hortalizas y otros.

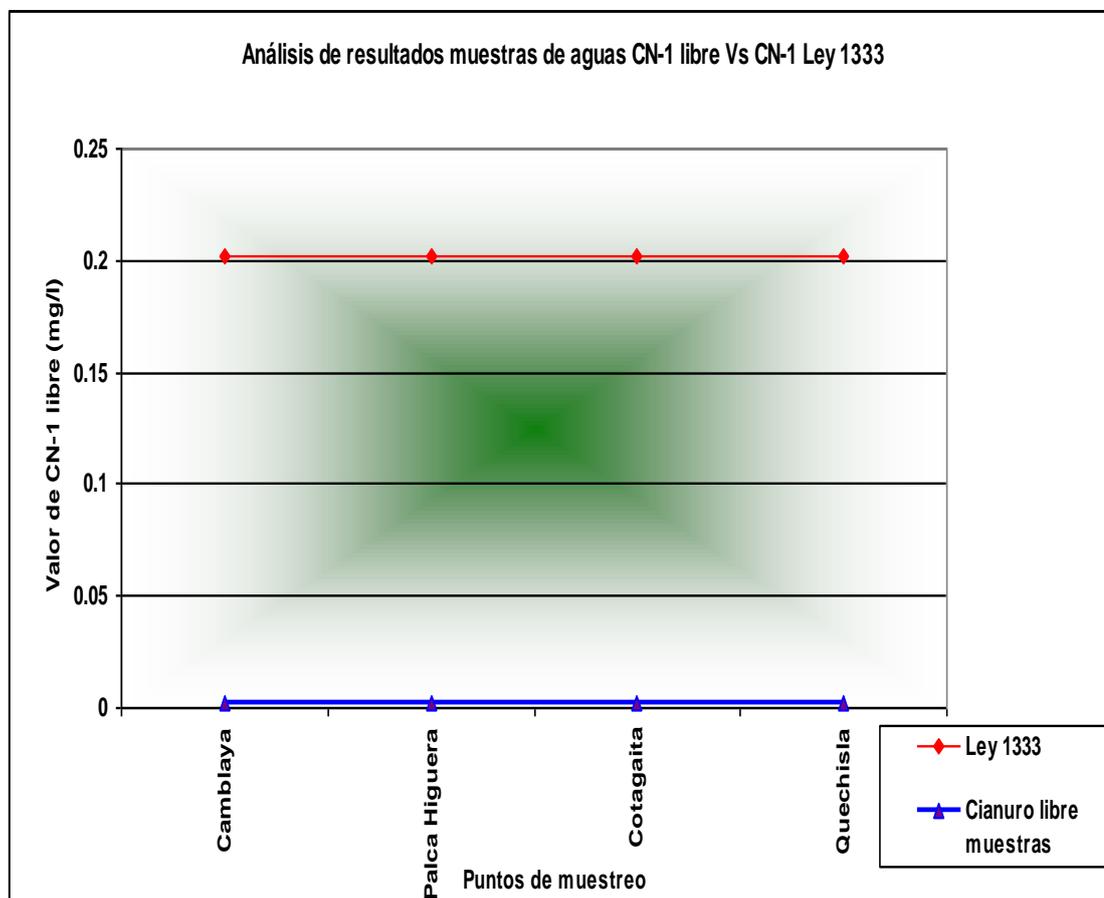
**Figura N° 5.1: pH de 4 muestras de aguas comparado con límites del Reglamento  
En Materia de Contaminación Hídrica**



Respecto a la acidez de las aguas, hay una tendencia de ser más ácidas en Camblaya que en Quechisla aunque todas las muestras están en el rango mínimo y máximo permitido por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, pero llama la atención que en Palca Higuera las aguas hayan registrado el pH más bajo, puede que exista alguna descarga un poco ácida en el área y ello está ocasionando un pH total más bajo, o puede existir una mezcla de aguas de pH más neutro cuyo resultado final sea el observado en ese punto.

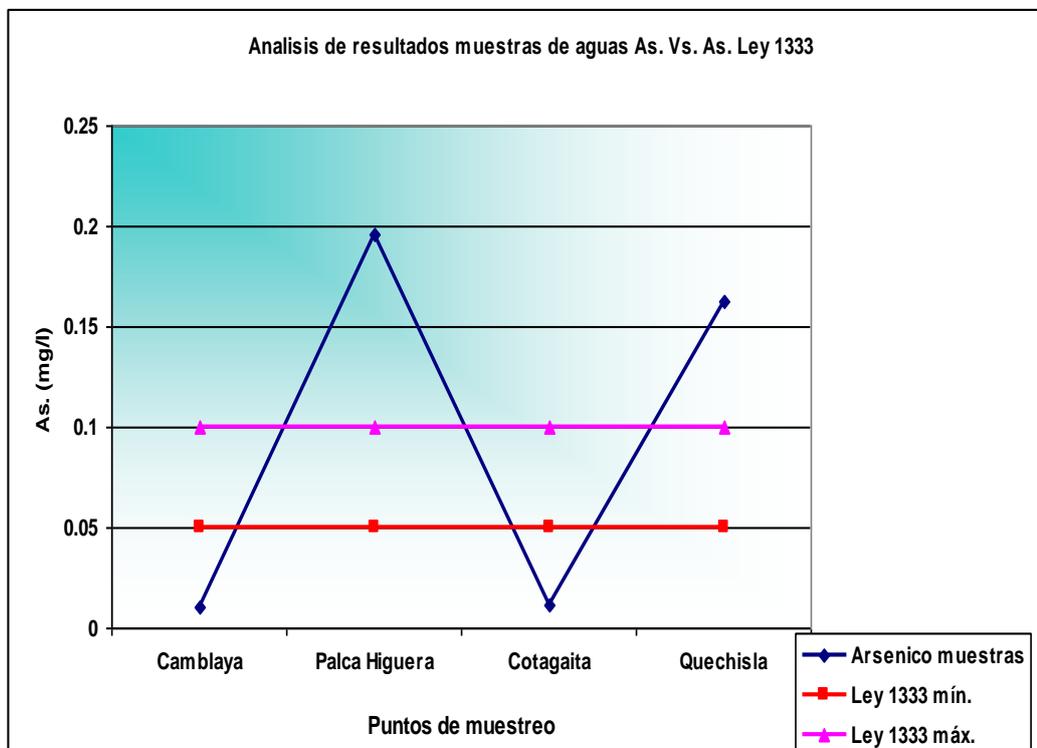
**NOTA:** *En el análisis de muestras de aguas el pH muestral es comparada con el pH de la Ley 1333, y de la misma manera se ha procedido a trabajar en los subsiguientes gráficos.*

**Figura N° 5.2: Concentración de Cianuro libre comparado con límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**



En la figura 2, se observa que la concentración de cianuro libre en todas las muestras de aguas analizadas se encuentra muy por debajo de los límites admisibles por la Ley 1333.

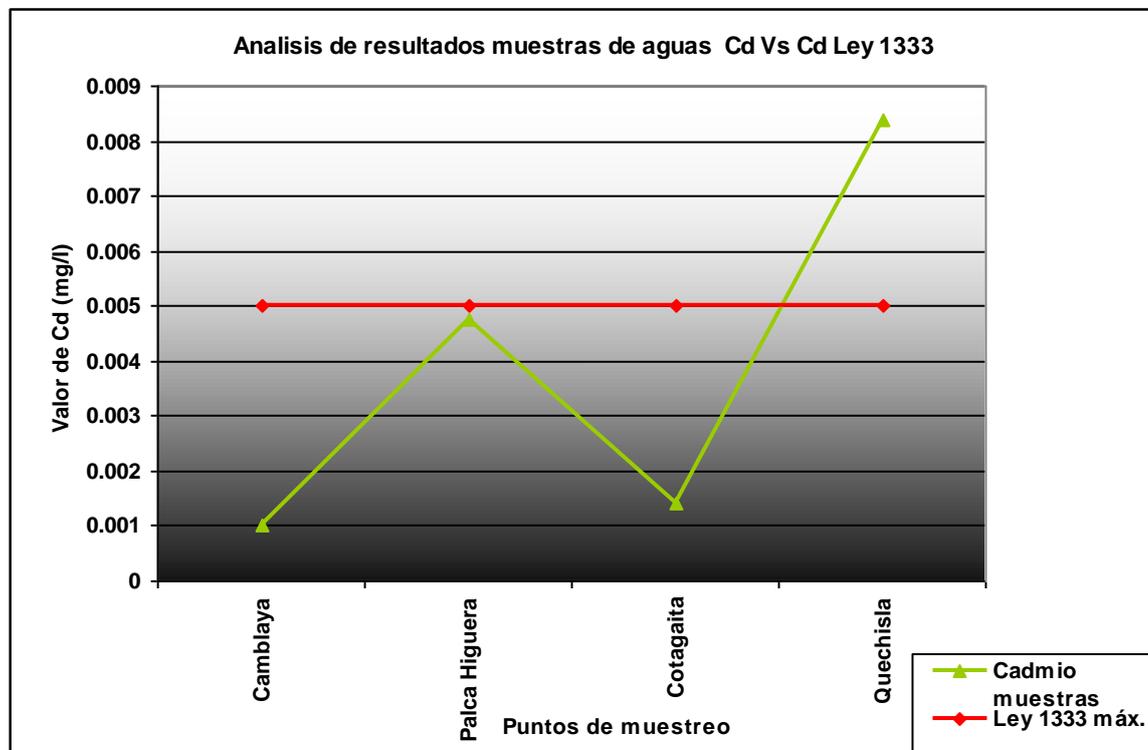
**Figura N° 5.3: Concentración de Arsénico comparado con límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**



Las concentraciones de arsénico en las muestras de Palca Higuera y Quechisla, correspondiente al municipio de Cotagaita, del Departamento de Potosí, se encuentra muy por encima de los límites máximos permisibles por la Ley 1333, en las muestras de Camblaya Municipio de Villa Abecia, Departamento de Chuquisaca y Cotagaita Municipio del mismo nombre, del Departamento de Potosí, se encuentra por debajo de los límites máximos admisibles por Ley.

En el punto Quechisla podría ser normal la concentración más elevada por la proximidad al foco de contaminación minera, sin embargo en Palca Higuera llama la atención que la concentración sea alta, podría deberse a la existencia de afloramiento de agua subterránea contaminada por pasivos ambientales de Quechisla, como así también existe la posibilidad de otra fuente de contaminación por arsénico.

**Figura N° 5.4: Concentración de Cadmio comparado con límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**

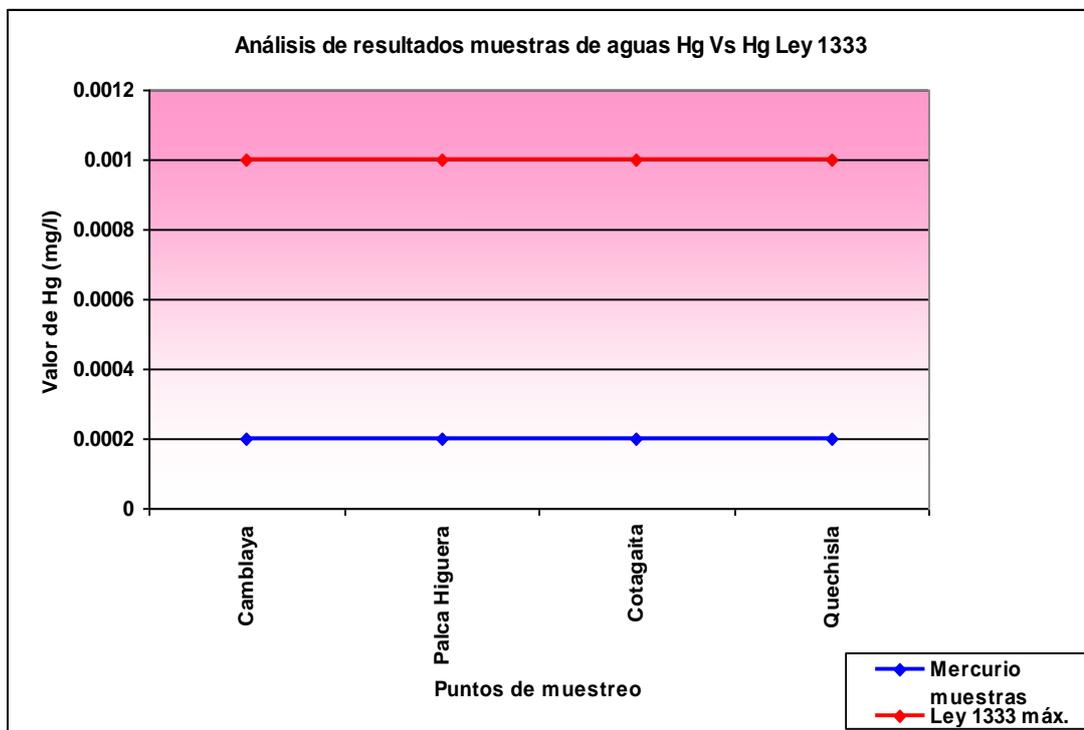


La concentración de Cadmio en la muestra de agua del punto de Quechisla, del Municipio de Cotagaita del Departamento de Potosí, sobrepasa los valores máximos admisibles por el Reglamento en Materia de Contaminación hídrica, de la Ley 1333.

La mayor concentración de Cadmio en Quechisla podría deberse a la proximidad al foco de contaminación que es el desmonte de Atocha (Telamayu).

La segunda concentración alta se presenta en Palca Higuera, nuevamente llama la atención y vendría a reforzar podría deberse a la existencia de afloramiento de agua subterránea contaminada por pasivos ambientales de Quechisla, como así también existe la posibilidad de otra fuente de contaminación por cadmio.

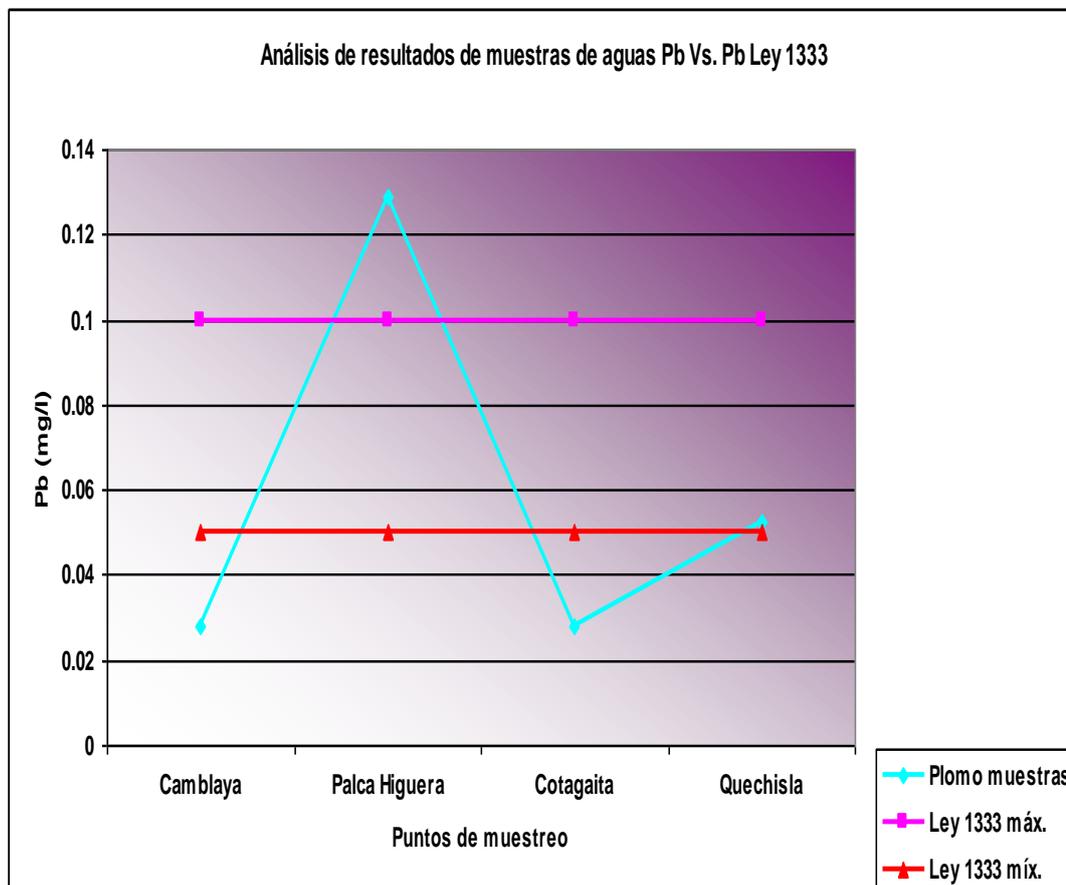
**Figura N° 5.5: Concentración de Mercurio comparado con límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**



La concentración de mercurio en las 4 muestras de aguas analizadas, se encuentra por debajo del límite máximo de concentración según el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.

La concentración de Mercurio (Hg) en las 4 muestras de aguas, presentados por el laboratorio son negativos, por ello se ha considerado los límites de detección del equipo, expresado en un valor de 0.0002 ppm, para la interpretación correspondiente.

**Figura N° 5.6: Concentración de Plomo comparado con límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**

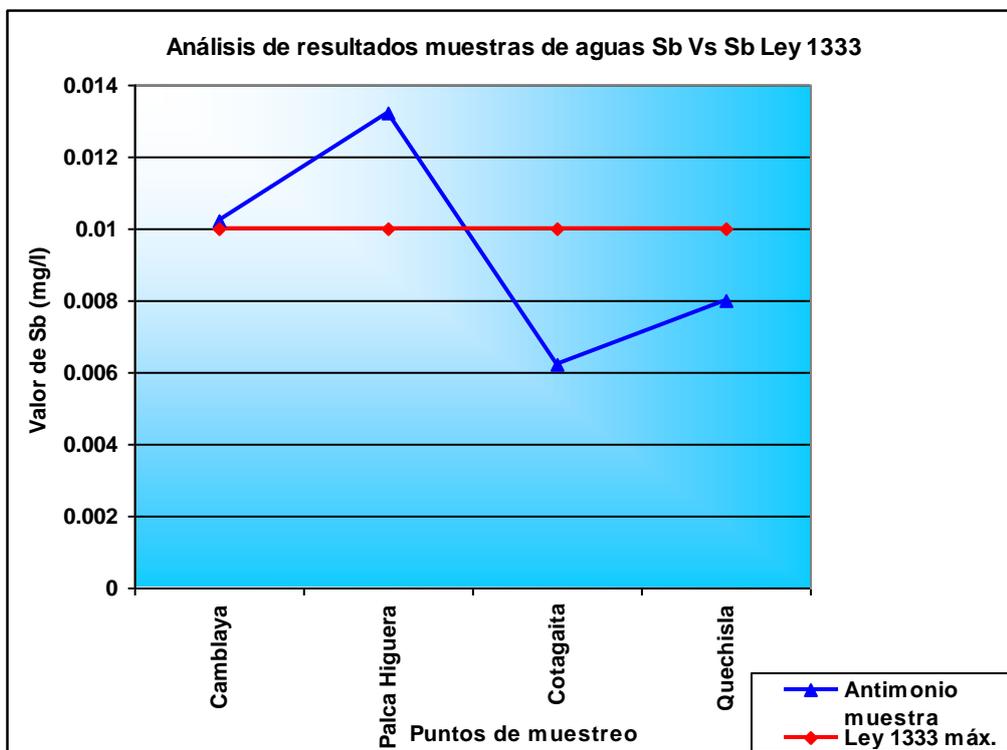


La concentración de Plomo en la muestra de agua del punto Palca Higuera, Municipio de Cotagaita, del Departamento de Potosí, sobrepasa los límites máximos admisibles por el Reglamento en Materia de Contaminación hídrica.

En la muestra del punto Quechisla la concentración de plomo se encuentra por encima del límite mínimo admisible, sin embargo este se encuentra por debajo de los límites máximos admisibles por el Reglamento en Materia de Contaminación hídrica.

Nuevamente sorprende el comportamiento del Plomo en Palca Higuera por ser el sitio de elevada concentración en Plomo.

**Figura N° 5.7: Concentración de Antimonio comparado con límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**



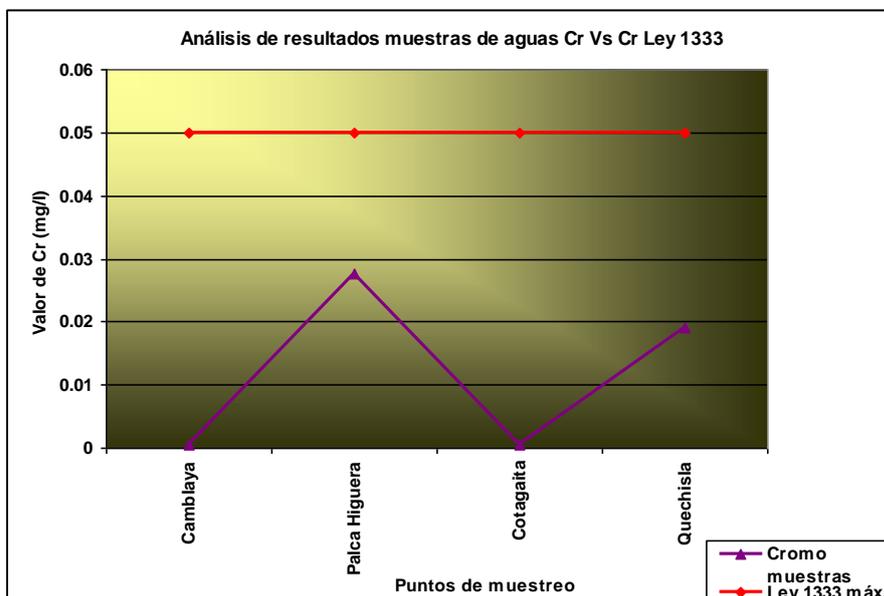
La concentración de Antimonio en la muestra de agua correspondiente a los puntos Camblaya Municipio de Villa Abecia, del Departamento de Chuquisaca y Palca Higuera, Municipio de Cotagaita del Departamento de Potosí, sobrepasa los valores máximos admisibles por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

En los puntos Cotagaita y Quechisla, la concentración de Antimonio se encuentra por debajo de los límites máximos admisibles por Ley.

Estos resultados nuevamente llaman la atención sobre lo que sucede en Palca Higuera, al tener las aguas del río mayor concentración en Antimonio (Sb) y al mantenerse esa influencia en un punto más alejado como es Camblaya.

- En Palca Higuera puede que exista afloramiento de agua subterránea contaminada por los pasivos ambientales de Quechisla, Atocha (Telamayu).
- Existe la posibilidad de otra fuente de contaminación por Arsénico (As) en el área.
- Así mismo existe la posibilidad de algún afluente, proveniente de otra micro cuenca que esté aportando contaminación por metales pesados en Palca Higuera.

**Figura N° 5.8: Concentración de Cromo comparado con límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**



Se observa que la concentración de cromo hexavalente en las 4 muestras de aguas analizadas, este, se encuentra por debajo de los límites admisibles por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, pero nuevamente en Palca Higuera se registra mayor concentración de cromo hexavalente.

Normalmente la presencia de  $\text{Cr}^6$  se debe a la existencia de instalaciones de curtido de cueros, al no existir la presencia de ninguna curtiembre funcionando en Palca Higuera, la fuente de contaminación por Cromo, se deba a otra fuente de contaminación, como afloramiento de agua subterránea contaminada por pasivos ambientales de Quechisla, Atocha (Telamayu), la presencia de otra micro cuenca que se encuentre aportando metales pesados en Palca Higuera o que se este usando este metal en forma de ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) para la obtención de cobre, plomo y Zinc estén procesando minerales en ingenios cercanos al punto.

En Quechisla la concentración de cromo hexavalente es importante, esto puede ser a la cercanía a los pasivos ambientales existentes aguas arriba, y a la actividad minera que se

desarrolla como 7 Suyos, Todos Santos, el pasivo ambiental de Atocha (Telamayu), y otros.

En Camblaya, Cotagaita la concentración de cromo hexavalente son negativos, por ello se asumió para la interpretación el límite de detección del equipo que es 0.0005 ppm.

## **5.2 INTERPRETACION DE RESULTADOS DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS EN CUATRO PUNTOS DEL RIO TUMUSLA - GRANDE, CHUQUISACA Y POTOSI, GESTION 2008 – 2009**

Realizando todas estas consideraciones tenemos los siguientes datos obtenidos por análisis de las muestras de aguas comparadas con los límites máximos permisibles:

La composición química de los sedimentos obedece a una serie de fenómenos físico - químicos hidráulicos y climatológicos combinados bajo condiciones locales distintas.

Para realizar la interpretación de resultados de sedimentos, se requiere tener una normativa de límites máximos permisibles, lo cual fue dificultoso, debido a que Bolivia no cuenta con una reglamentación sobre este componente ambiental, por lo que se consideró los parámetros para suelos y sedimentos de la GTZ, intitulado “Catalogo de Estándares Ambientales – GTZ 1996”.

Los parámetros de la legislación (GTZ), vienen dados en miligramos por kilogramo (mg/Kg), por tanto se determina la concentración del sedimento expresado en Kg/litro tomando la muestra en el Puente Méndez, (límite entre Potosí y Chuquisaca).

$$W_{pv} = 241.82 \text{ g}$$

$$V_{Is} = 170 \text{ ml}$$

$$W_{p+s} = 573,4 \text{ g}$$

$$W_s = 573.4 - 241.82 = 331,58 \text{ g}$$

$$Conc. Sed. = \frac{m}{V} = \frac{331,58 \text{ g}}{170 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 1,9504 \text{ Kg/l}$$

Con el dato de la concentración del sedimento se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{Para Arsénico} = \frac{20 \text{ mg}}{\text{Kg}} * \frac{1,9504 \text{ Kg}}{\text{l}} = 39 \text{ mg / l}$$

$$\text{Para Antimonio} = \frac{5 \text{ mg}}{\text{Kg}} * \frac{1,9504 \text{ Kg}}{\text{l}} = 9,752 \text{ mg / l}$$

$$\text{Para Cadmio} = \frac{3 \text{ mg}}{\text{Kg}} * \frac{1,9504 \text{ Kg}}{\text{l}} = 5,8512 \text{ mg / l}$$

$$\text{Para Mercurio} = \frac{2 \text{ mg}}{\text{Kg}} * \frac{1,9504 \text{ Kg}}{\text{l}} = 3,9008 \text{ mg / l}$$

$$\text{Para Plomo} = \frac{100 \text{ mg}}{\text{Kg}} * \frac{1,9504 \text{ Kg}}{\text{l}} = 195,04 \text{ mg / l}$$

Los resultados obtenidos por muestreo de sedimentos en los márgenes de los ríos se resumen en la siguiente tabla comparando los resultados con los límites de la norma GTZ.

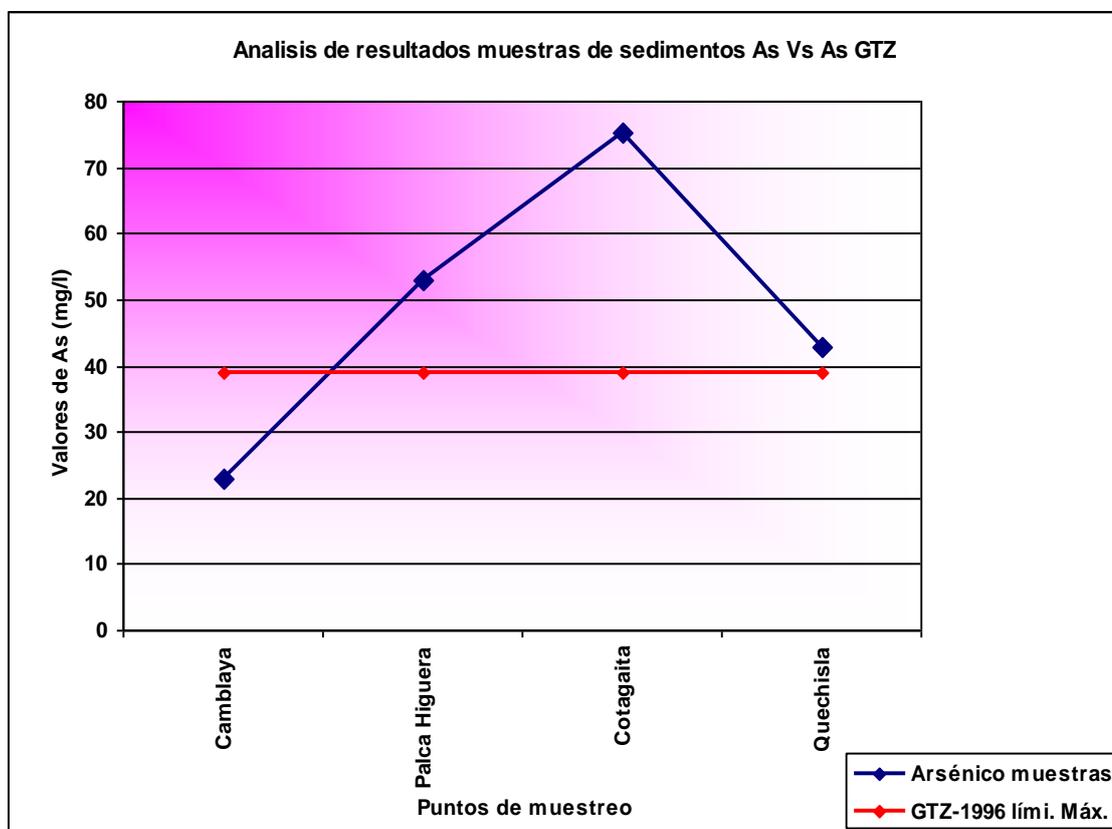
**Tabla N° 5.2: Parámetros de pH y metales pesados en muestras de sedimentos  
análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en cuatro  
muestras de sedimentos gestión, 2008 – 2009**

<b>Elemento</b>	<b>Simb.</b>	<b>Unid.</b>	<b>Rio Tumusla Camblaya 27/11/08</b>	<b>Rio Tumusla Palca Higuera 27/11/08</b>	<b>Rio Cota- gaita Cotagaita 28/11/08</b>	<b>Rio Quechisla Quechisla 29/11/08</b>	<b>Limites permisibles para metales pesados en suelos y lodos  GTZ - 1995 – 1996</b>
pH	pH	–	8.1	8	7.9	7.9	–
Arsenico	As	mg/l	23	53	75.2	42.9	39
Cadmio	Cd	mg/l	0.76	1.16	0.32	1.82	5,8512
Mercurio	Hg	mg/l	0.009	0.01	0.01	0.012	3,9
Plomo	Pb	mg/l	55.5	59.3	37.9	39.8	195,04
Antimonio	Sb	mg/l	22.9	26	19.1	21.2	9,752
Cromo	Cr	mg/l	29.6	24.6	17.2	44.8	–

Fuente: Impacto del Cierre de Pasivo Ambiental Atocha-Telamayu , en la Mitigación de las aguas del Río Tumusla-Grande, Chuquisaca, contaminada por actividad minera en Potosí.

Siguiendo con la misma metodología de presentación de los resultados del análisis de aguas, mostraremos en las siguientes figuras la variación de concentraciones de los diferentes elementos en los sedimentos, continuando con la secuencia de su deposición en la cuenca.

**Figura N° 5.9: Concentración de Arsénico comparado con límites del Catalogo de estándares ambientales – GTZ 1996**

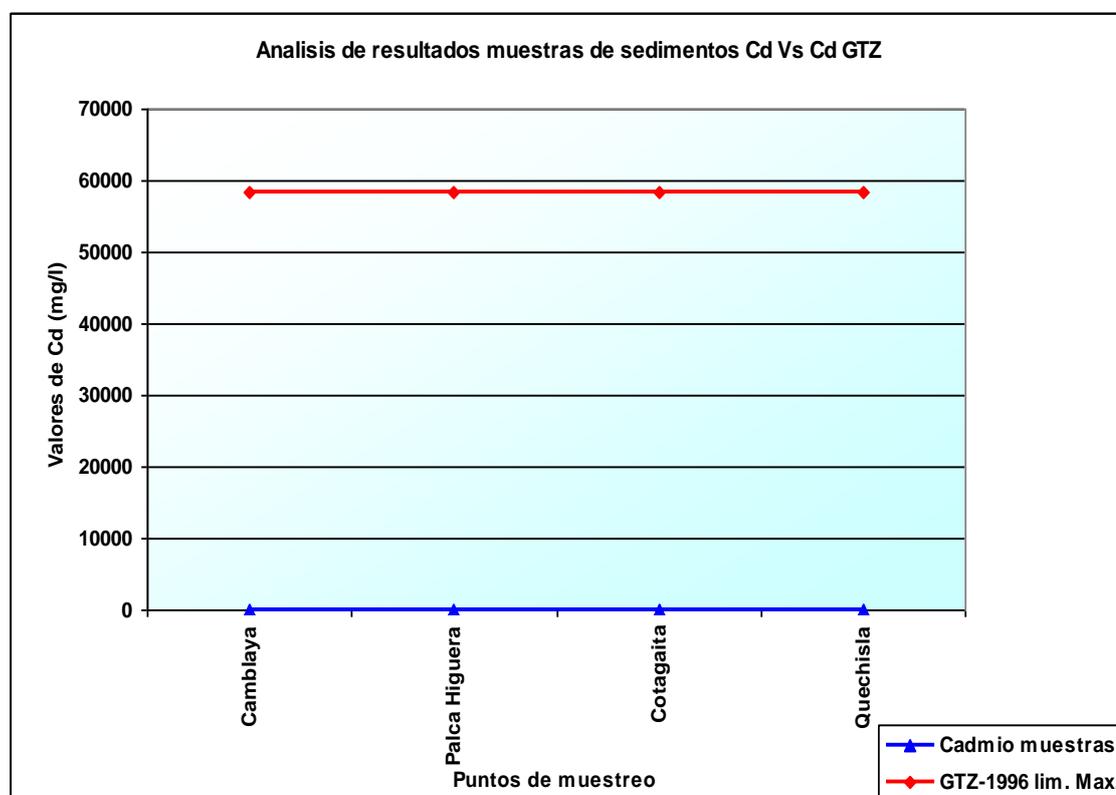


En el punto de muestreo Quechisla, hay menos Arsénico en los sedimentos que en Cotagaita, podría suponer esto que la remediación ambiental realizada en Quechisla está cortando el arrastre de partículas sólidas finas.

La disminución de As en los sedimentos de Palca Higuera podría explicarse porque los lodos pesados sedimentaron aguas arriba (Cotagaita) en mayor proporción que aguas abajo.

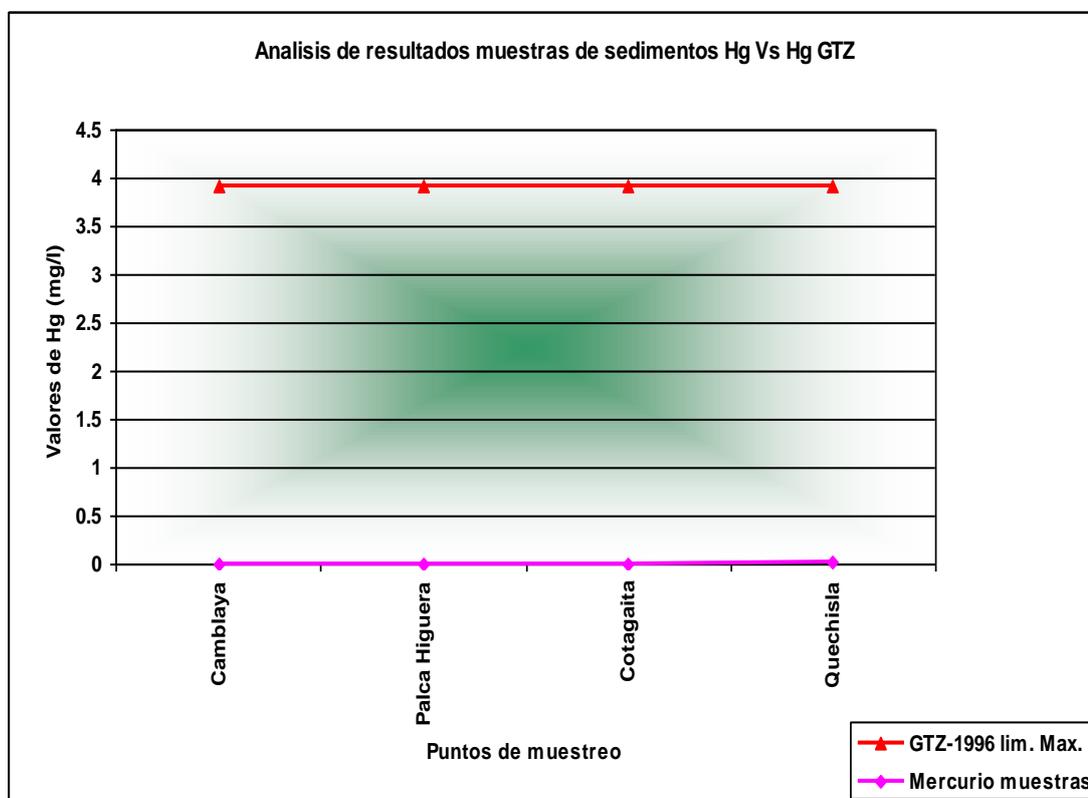
En el punto de Camblaya la concentración de arsénico son menores que los valores máximos admisibles por norma.

**Figura N° 5.10: Concentración de Cadmio comparado con límites del Catalogo de estándares ambientales – GTZ 1996**



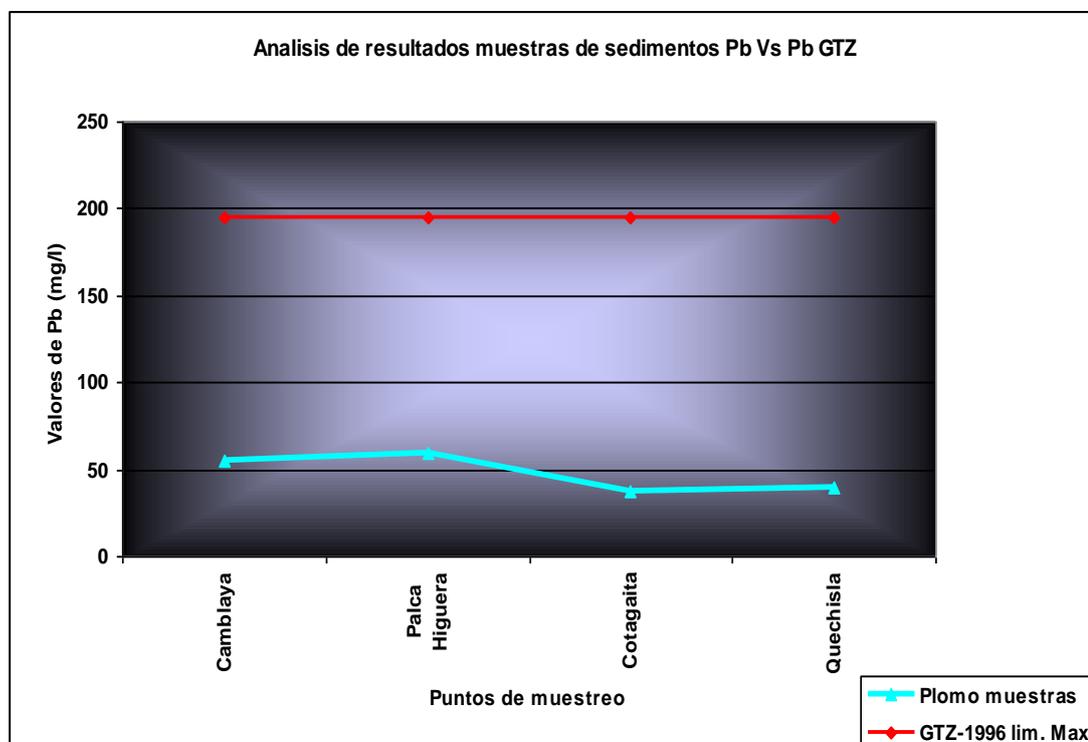
La concentración de Cadmio en las 4 muestras de sedimentos analizadas, son menores que los valores máximos admisibles por la norma asumida como referencia.

**Figura N° 5.11: Concentración de Mercurio comparado con límites del Catalogo de estándares ambientales – GTZ 1996**



La concentración de Mercurio en las 4 muestras de sedimentos analizadas, son menores de los límites máximos admisibles por la norma asumida como referencia.

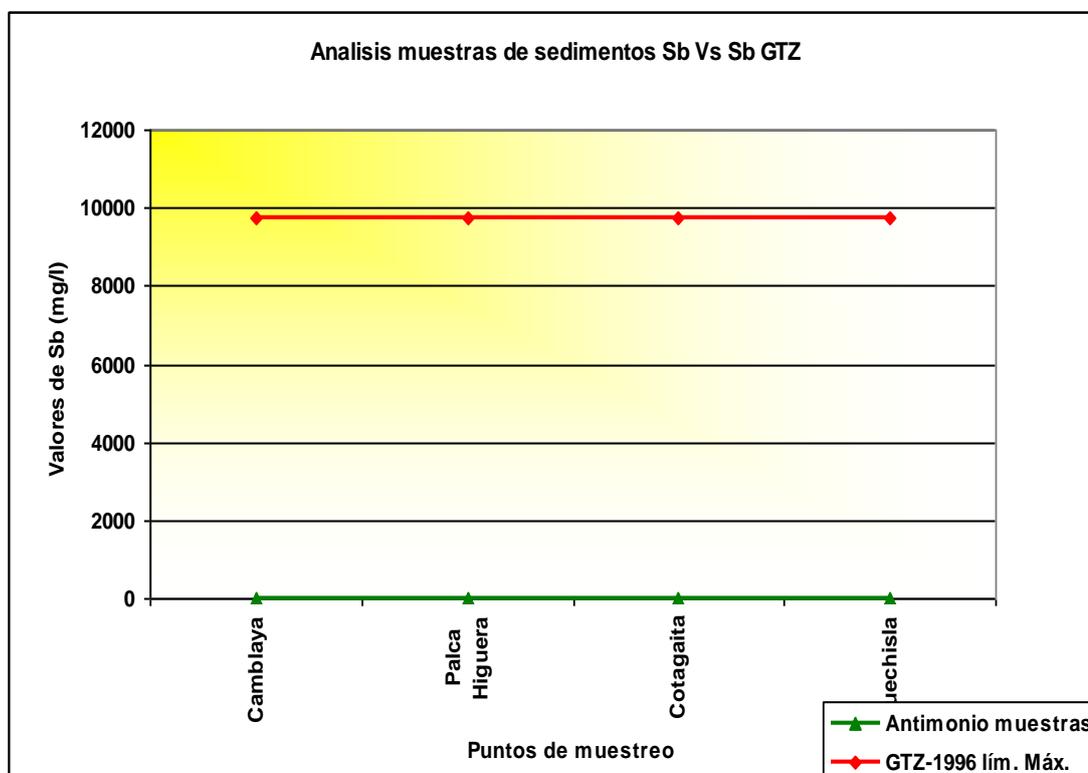
**Figura N° 5.12: Concentración de Plomo comparado con límites del Catalogo de estándares ambientales – GTZ 1996**



La concentración de Plomo en las 4 muestras de sedimentos analizadas, son menores que los límites máximos admisibles por la norma asumida como referencia.

En cierto modo, el comportamiento por plomo en los sedimentos se asemeja al del Arsénico, pudiendo deberse a que con la restauración del dique de colas de Telamayu esté disminuyendo el arrastre de partículas finas pesadas formadas por minerales de plomo

**Figura N° 5.13: Concentración de Antimonio comparado con límites del Catalogo de estándares ambientales – GTZ 1996**



La concentración de Antimonio en las 4 muestras de sedimentos analizadas, en esta ocasión son menores que los valores de la norma asumida como referencia.

Nuevamente observamos en el caso del Antimonio hay menos concentración de Sb en las cabeceras de la cuenca en estudio que aguas abajo, como si estuviese disminuyendo el aporte de partículas finas pesadas arrastradas por las aguas.

Obviamente que este comentario requiere ser comprobado con estudios posteriores pues será necesario, por ejemplo, hacer análisis granulométricos de los sedimentos pero en todo caso constituye ya un elemento de evaluación para los objetivos de ésta investigación.

**CAPITULO VI**  
**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES**  
**DE CIERRE DEL PASIVO AMBIENTAL DE ATOCHA-**  
**TELAMAYU**

## **EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES DE CIERRE DEL PASIVO AMBIENTAL DE ATOCHA-TELAMAYU**

En el proceso de evaluación del impacto del cierre del pasivo Ambiental de Atocha-Telamayu, se consideró la información existente en diferentes instituciones de Chuquisaca y La Paz, de las cuales se han considerado dos documentos que revisten mucha importancia para Chuquisaca y este proyecto. Sin embargo aun faltan otros datos que deben ser tomados en cuenta, para tener una mejor idea del impacto, dichos datos son precipitación para el área de estudio y de esta manera establecer la carga ambiental que se produce por las escorrentías, por ello es necesario elaborar una metodología más precisa, para estos casos; sin embargo Bolivia todavía no cuenta con normas específicas, así mismo es importante determinar si son años de sequia o lluviosos, la cantidad de precipitación pluvial influirá considerablemente en las concentraciones de los metales pesados disueltos en los cuerpos de agua.

Los documentos tomados como referencia son:

1. Proyecto PASACH, Análisis de muestras de agua, suelo y productos vegetales por incidencia por metales pesados por los Ríos Tumusla (Grande), San Juan del Oro y Camblaya, tercer monitoreo. Los encargados de realizar los muestreos y el análisis de las muestras fue Spectrolab, año 2005.
2. Muestreo de aguas, suelos, vegetales, sangre humana, y animales, peces y sedimentos en puntos seleccionados en la cuenca del Río Pilcomayo en Chuquisaca. En el primer caso, el laboratorio encargado de realizar el muestreo y el análisis de las muestras fue el Instituto de Tecnología de Alimentos ITA, año 2005.

Los datos que se encontraron en los documentos, sirvieron de parámetros para la comparación de las concentraciones de metales pesados, en muestras de aguas en la cuenca del Río Tumusla en Chuquisaca.

En primera instancia se ha procedido a realizar una comparación de estos dos estudios que corresponden al año 2005 con los resultados de las muestras del año 2008 y los

límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333. Debido a que se terminó de cerrar el dique en septiembre de 2005.

Solamente se pudo realizar esta comparación de concentraciones de metales pesados para: El Arsénico, cianuro libre, Cadmio, Mercurio y Plomo. Para el Antimonio y el Cromo no se realizó la comparación por que no existen datos en los estudios mencionados.

Y en un segundo análisis, se realizó la comparación de resultados entre los estudios de los años 2004, 2005 frente a los estudios del 2008 y los límites máximos admisibles por Ley para aguas.

Para referencia de los lectores es necesario señalar que el monitoreo de la sub cuenca del río Tumusla en el año 2005 se realizó después del cierre o restauración del pasivo ambiental de Atocha (Telamayu), que tenía el objetivo de mitigar la contaminación por metales pesados procedentes de los relaves a consecuencia de la formación de DAR y la emisión de partículas finas a la atmósfera. El análisis o comparación de estudios sobre concentraciones de metales pesados en muestras de aguas y sedimentos se realizó antes de la fecha de cierre y después del cierre del pasivo ambiental. A continuación presentamos la tabla y las figuras correspondientes:

**Tabla N° 6.1: Parámetros de metales pesados totales en muestras de aguas gestiones 2004, 2005 y 2008 (antes del cierre del pasivo ambiental de Atocha-Telamayu)**

Elemento	Símbolo	Unidad	Río Tumusla Vidriera - 17/01/2005	Río Cota gaita **Cota 30/08/2004	Río Tumusla **Palca Higuera 31/08/2004	Río Tumusla **Camblaya 02/09/2004	Río Tumusla Camblaya 27/11/08	Río Tumusla Palca Higuera 27/11/08	Río Cota gaita Cotagaita 28/11/08	Río Quechisla Quechisla 29/11/08	Límites máximos admisibles Reglamentos de Contaminación hidrica de la Ley 1333 Clase D
pH	pH	-	8.5	8.15	8.51	8.39	8.1	7.6	7.9	7.8	6.0 a 9.0
Cianuro Libre	CN-	mg/l	<0.002	-0.002	-0.002	-0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0,2
Arsénico	As	mg/l	-0.03	0.007066	0.00414	0.00735	0.0102	0.196	0.0116	0.163	0.1 c.As
Cadmio	Cd	mg/l	-0.002	0.001106	0.000208	0.000366	0.001	0.00475	0.0014	0.0084	0,005
Mercurio	Hg	mg/l	-0.001	-0.001	-0.0004	-0.0008	-0.004	-0.005	-0.004	-0.002	0.001 Hg
Plomo	Pb	ppm	-0.01	0.001342	0.003545	0.003089	0.0278	0.12875	0.0282	0.0523	0.1 c. Pb
Antimonio	Sb	mg/l	-	0.003058	0.009655	0.006438	0.0102	0.01325	0.0062	0.008	0.01c Sb
Cromo	Cr <sup>6</sup>	mg/l	-	0.04521	0.00723	0.00827	-0.01	0.0275	-0.01	0.019	0.05c. Cr+6

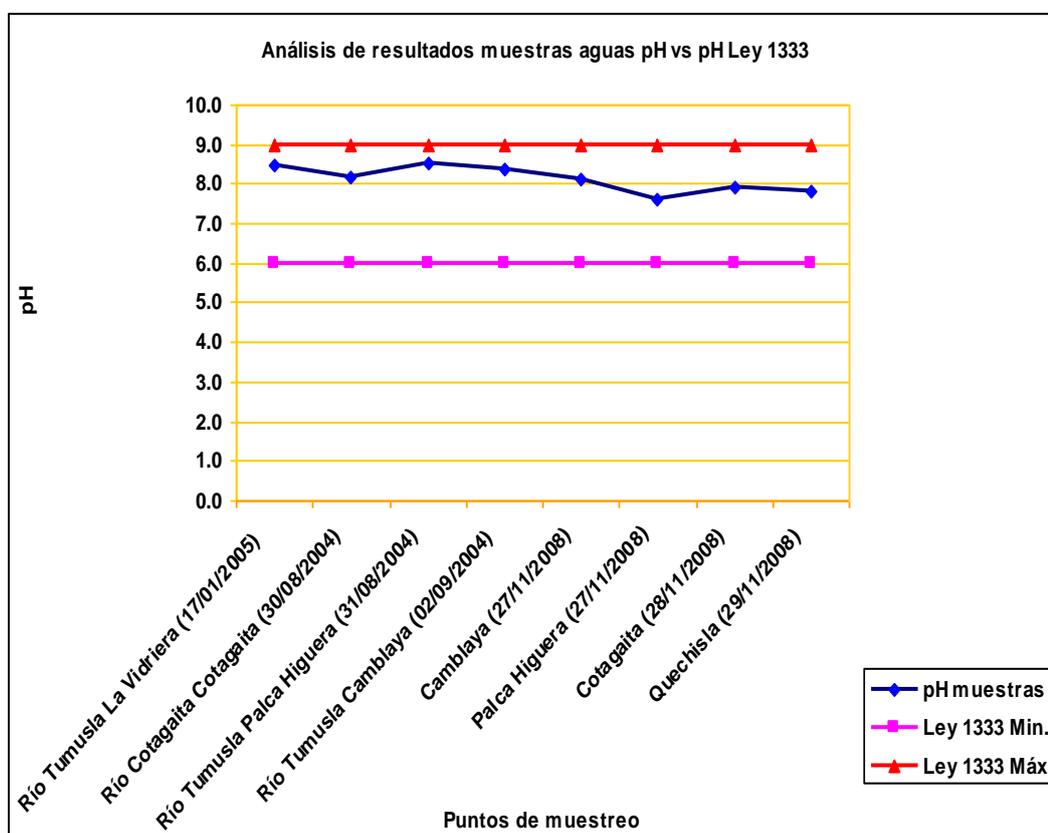
Fuente: \* Proyecto PASACH, Análisis de muestras de agua, suelo y productos vegetales por incidencia por metales pesados por los

Ríos Tumusla (Grande), San Juan del Oro y Camblaya, tercer monitoreo, laboratorio Spectrolab.

\*\* Informe de campaña de monitoreo de reconocimiento, Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo, 2004.

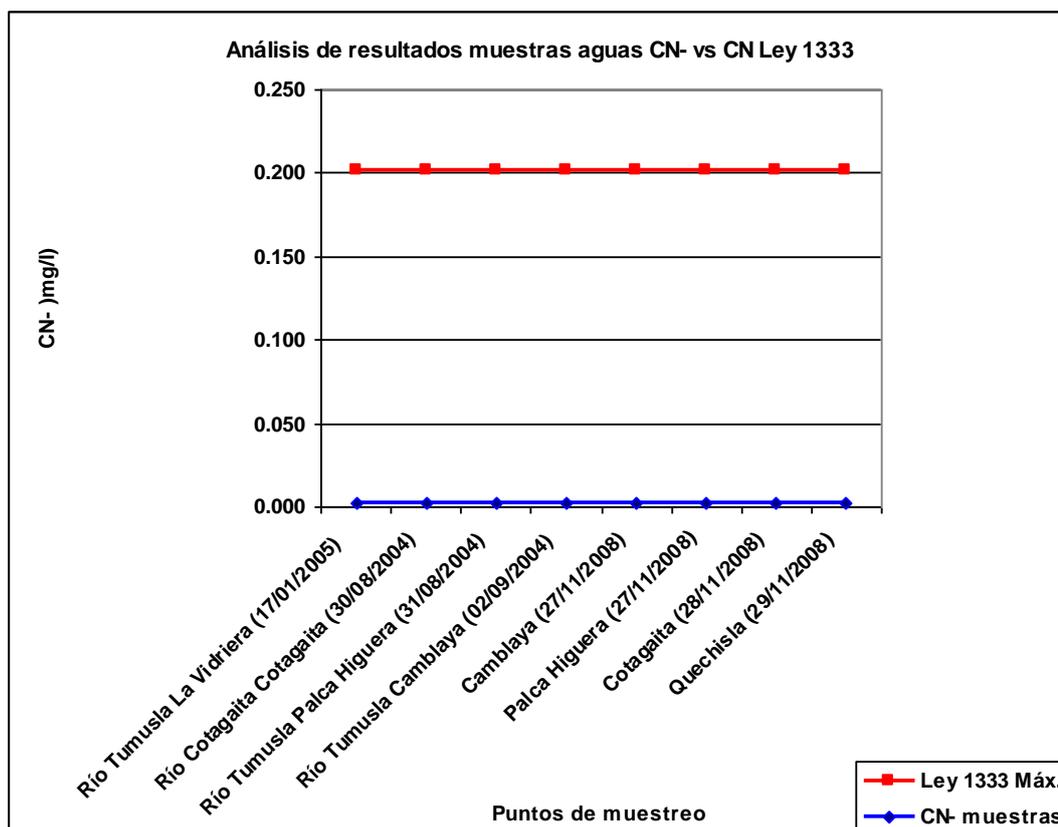
La concentración de metales pesados en las muestras de aguas de las gestiones 2004, 2005 y 2008, se encuentra en forma de metales totales, dado que los límites máximos permisibles por la Ley 1333, son para metales totales, aunque se cuenta también con la concentración de metales pesados disueltos, estos últimos no se han considerado para realizar la interpretación y comparación de resultados.

**Figura N° 6.1: Concentración de pH en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



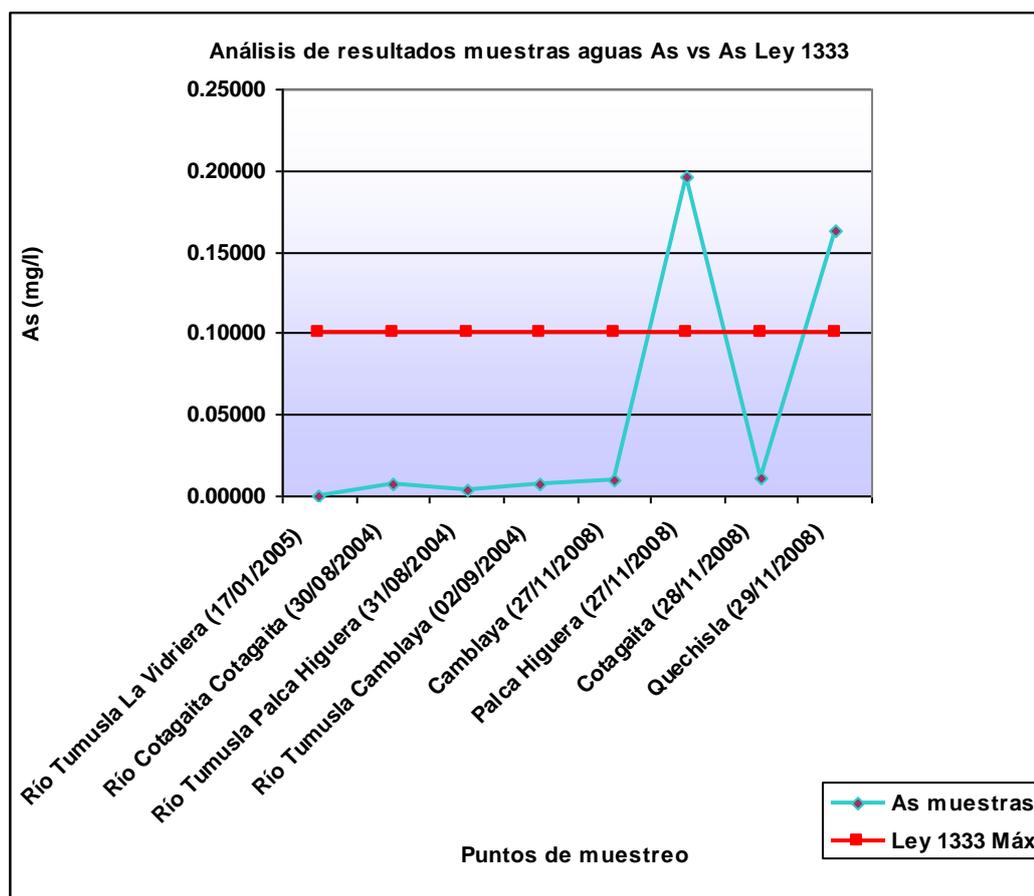
Los niveles de pH en el punto de Palca Higuera del año 2004 y la Vidriera del año 2005, se encuentra débilmente básico, pero más ácido que en los otros puntos.

**Figura N° 6.2: Concentración de Cianuro libre en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



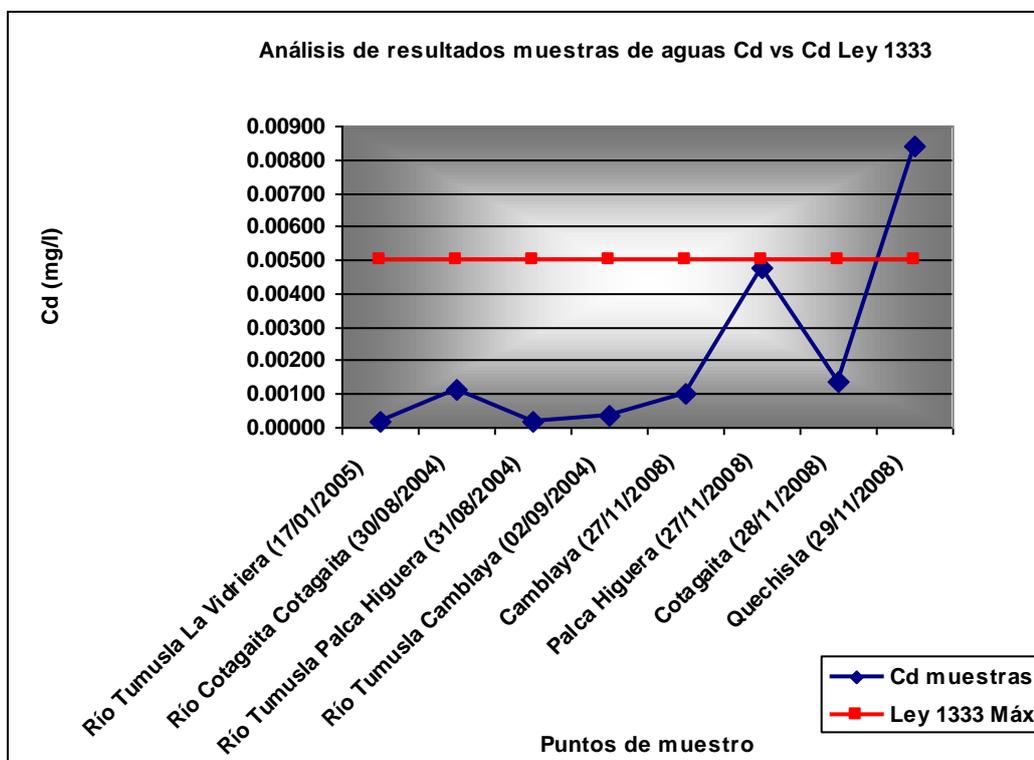
La concentración de Cianuro libre (CN<sup>-</sup>) en 8 muestras de aguas correspondientes a los años 2004, 2005 y 2008, se encuentra por debajo de los límites máximos admisibles por la Ley 1333, en el muestreo del 2008 y como no se tienen datos para el año 2004 es difícil considerar cómo se comportó la movilidad del As. En función del tiempo.

**Figura N° 6.3: Concentración de Arsénico en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



La concentración de Arsénico en las muestras del punto Placa Higuera y Quechisla, sobrepasa los niveles máximos admisibles por la Ley 1333, en el muestreo del 2008 y como no se tienen datos de los años 2004 y 2005 para estos puntos es difícil considerar cómo se comportó la movilidad del As. En función del tiempo.

**Figura N° 6.4: Concentración de Cadmio en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**

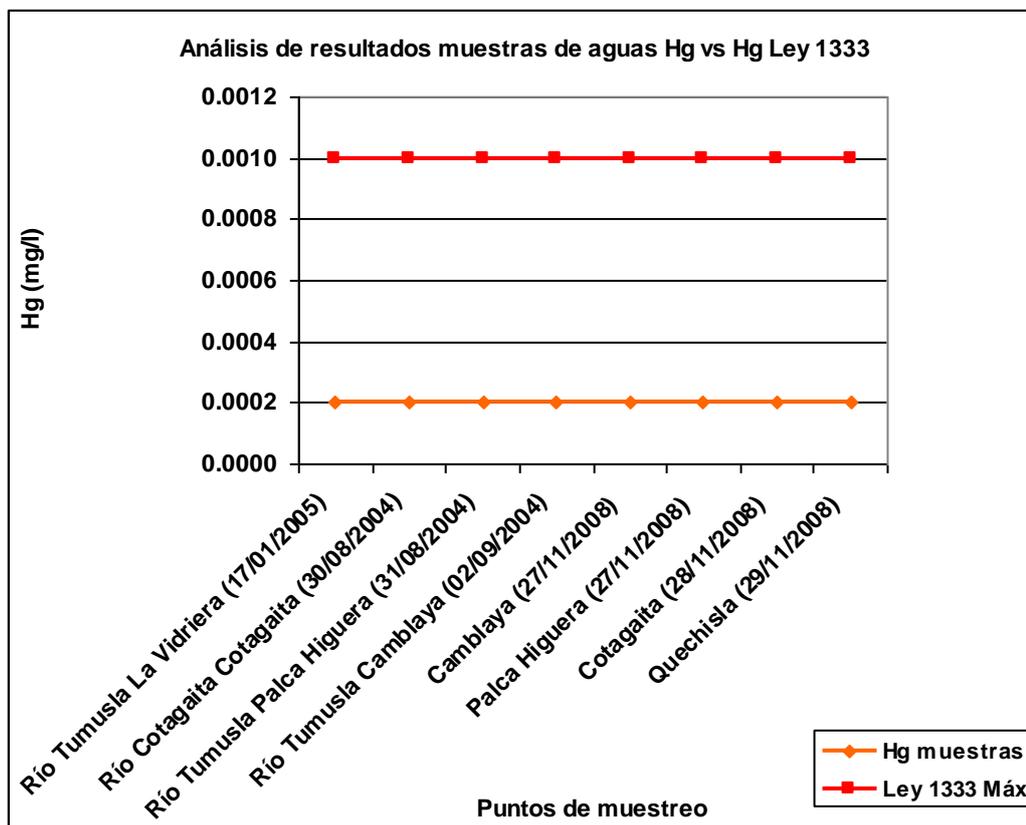


Comparando las concentraciones de Cd para 2004, 2005 y 2008 en Camblaya y Cotagaita se podría decir que no hay una variación significativa en esos puntos.

Por ubicación del sitio de muestreo de Palca Higuera esa concentración de Cd resulta anormalmente elevada en forma coincidente a los casos ya mencionados anteriormente, como si hubiera algún foco de perturbación de comportamiento en ese lugar.

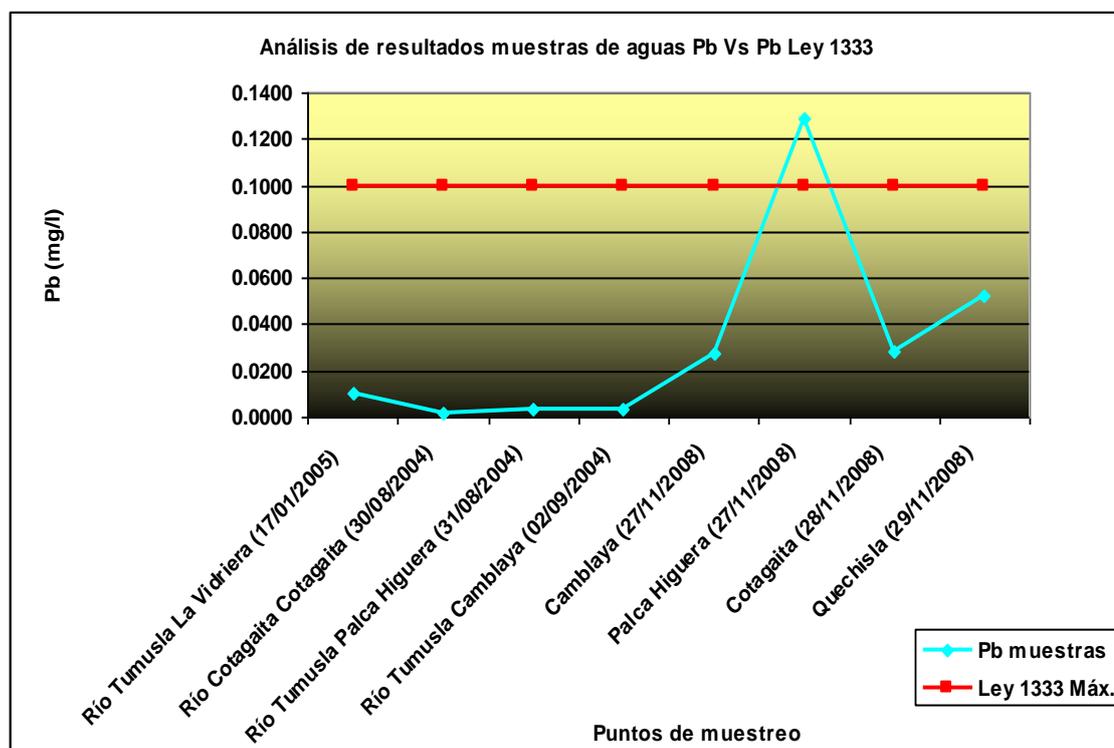
La mayor concentración de Cd en Quechisla podría deberse a su proximidad al pasivo restaurado de Atocha (Telamayu).

**Figura N° 6.5: Concentración de Mercurio en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



La concentración de Mercurio en todas las muestras analizadas, se encuentra por debajo de los límites máximos admisibles por la Ley 1333. y se observa que hay una tendencia de disminuir la contaminación por Hg en las muestras del 2008 respecto a los análisis del 2004.

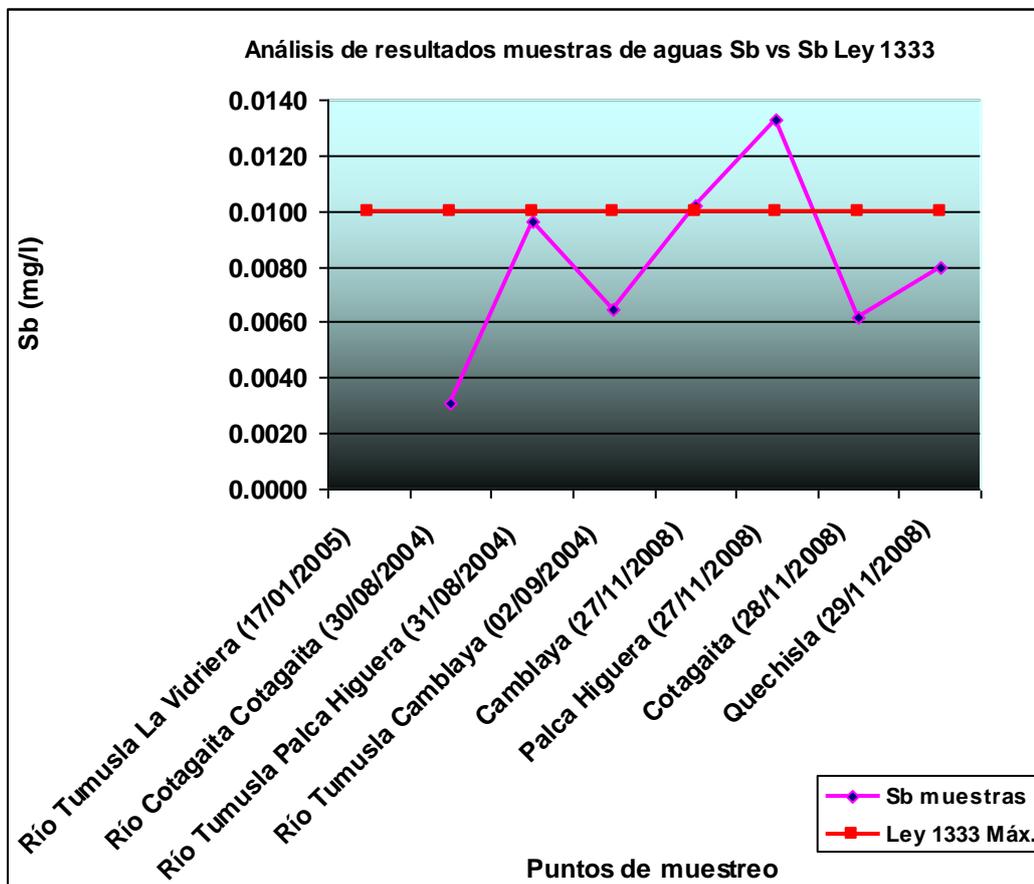
**Figura N° 6.6: Concentración de Plomo en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



La Concentración de Plomo en muestra de agua, en el punto Palca Higuera, sobrepasa los niveles máximos permisibles por la Ley 1333, confirmando la anomalía registrada sistemáticamente en ese punto.

Por otro lado comparando puntos similares de muestreo en Camblaya y Cotagaita, se observa una tendencia a aumentar la concentración de este metal.

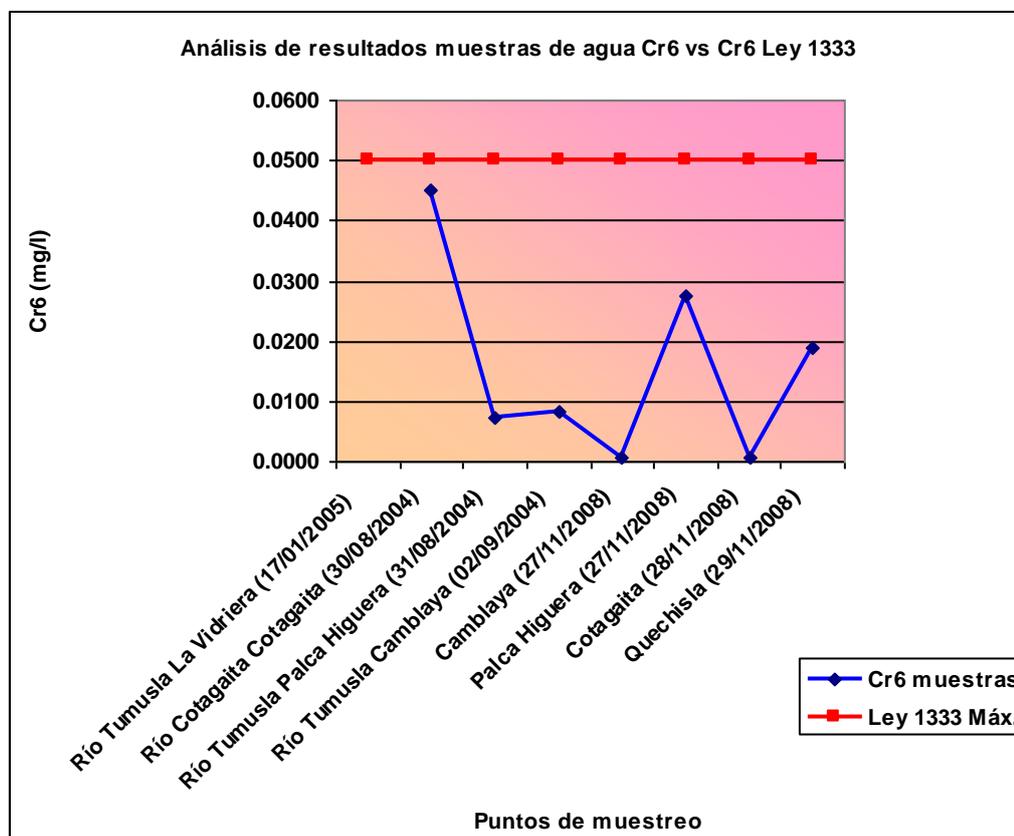
**Figura N° 6.7: Concentración de Antimonio en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



La concentración de Antimonio en la muestra del punto Palca Higuera sobrepasa los niveles máximos admisibles por Ley.

Por otro lado, comparando puntos similares de muestreo en Camblaya, Palca Higuera y Cotagaita, se observa una tendencia a aumentar la concentración por Sb. En los análisis del 2008, debido posiblemente al repunte del precio del Sb que reactivó varias minas pequeñas de Antimonio en el área de influencia de este proyecto.

**Figura N° 6.8: Concentración de Cromo<sup>+6</sup> en muestras de aguas del 2004, 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



La concentración de Cromo<sup>+6</sup>, en todas las muestras de aguas en estudio, se encuentra dentro de los límites máximos permisibles por Ley 1333.

Por otro lado comparando puntos similares de muestreo en Camblaya, y Cotagaita, se observa una tendencia a disminuir la concentración por Cr<sup>+6</sup> en los análisis del 2008, contrariamente a lo que sucede en el punto de anomalía de Palca Higuera.

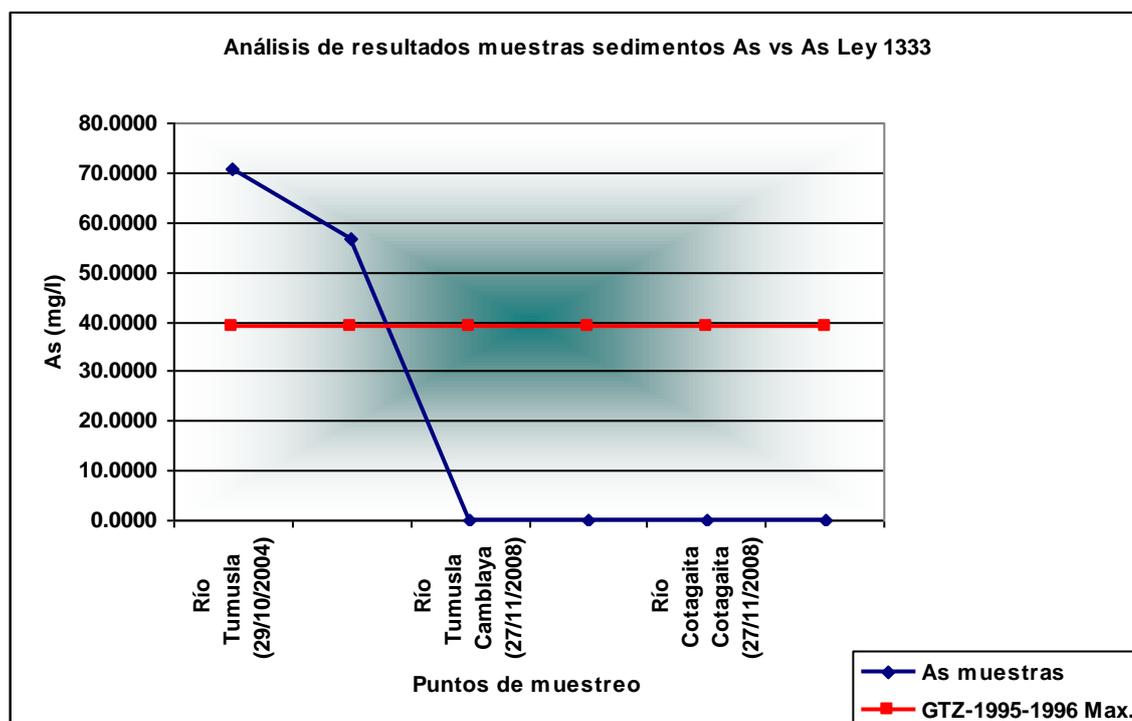
**Tabla N° 6.2: Parámetros de metales pesados totales en muestras de sedimentos  
gestiones 2004 y 2008 (antes del cierre del pasivo ambiental de  
Atocha-Telamayu)**

<b>Elemento</b>	<b>Sim- bolo</b>	<b>Uni d.</b>	<b>Rio *Tumus la 29/10/04</b>	<b>Rio **tumus la 30/11/04</b>	<b>rio Tumus la Cam blaya 27/11/08</b>	<b>Rio Tumus la Palca Higuera 27/11/08</b>	<b>Rio Cota gaita Cota gaita 28/11/08</b>	<b>Rio Que chis la Que chisla 29/11/08</b>	<b>Limites Permi- sibles para metales pesados en suelos y lodos GTZ - 1995 – 1996</b>
Arsénico	As	mg/l	70.886	56.617	0.0102	0.196	0.0116	0.163	39
Cadmio	Cd	mg/l	1.141	1.016	0.001	0.00475	0.0014	0.0084	5,8512
Plomo	Pb	mg/l	40.729	36.845	0.0278	0.12875	0.0282	0.0523	195,04
Antimonio	Sb	mg/l	33.245	23.460	0.0102	0.01325	0.0062	0.008	9,752

Fuente: \* Proyecto PASACH, Análisis de muestras de agua, suelo y productos vegetales por incidencia por metales pesados por los Ríos Tumusla (Grande), San Juan del Oro y Camblaya, primer monitoreo, laboratorio Spectrolab.

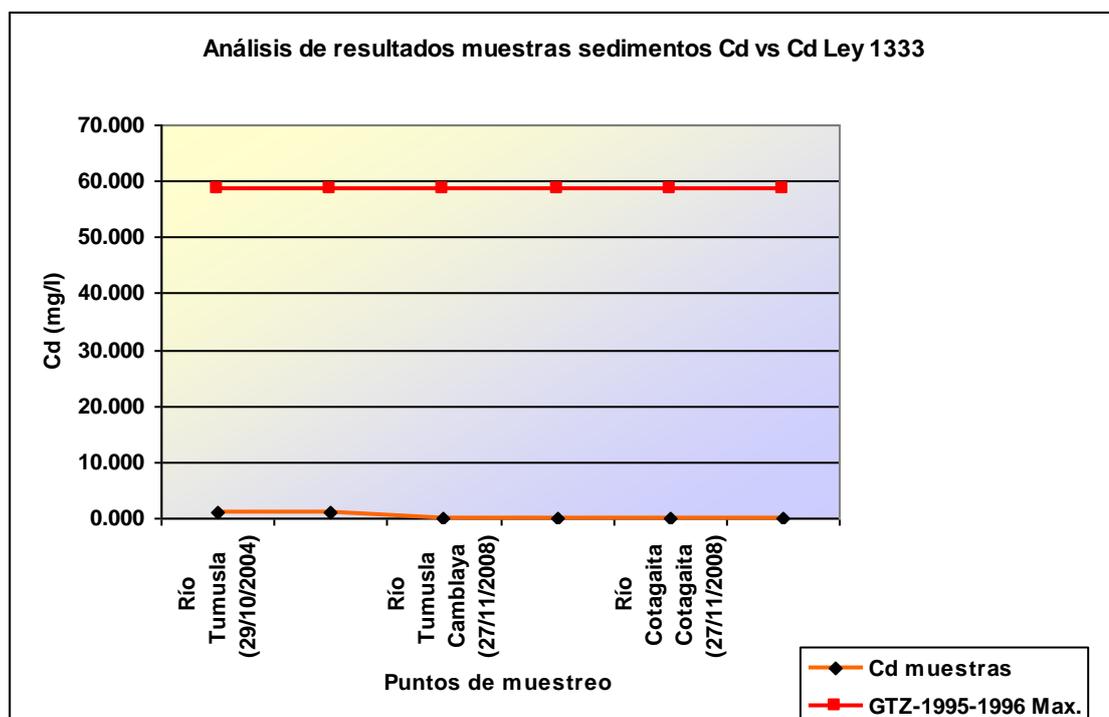
\*\* Proyecto PASACH, Análisis de muestras de agua, suelo y productos vegetales por incidencia por metales pesados por los Ríos Tumusla (Grande), San Juan del Oro y Camblaya, segundo monitoreo, laboratorio Spectrolab.

**Figura N° 6.9: Concentración de Arsénico en muestras de sedimentos del 2004, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de estándares ambientales de la GTZ – 1995 – 1996**



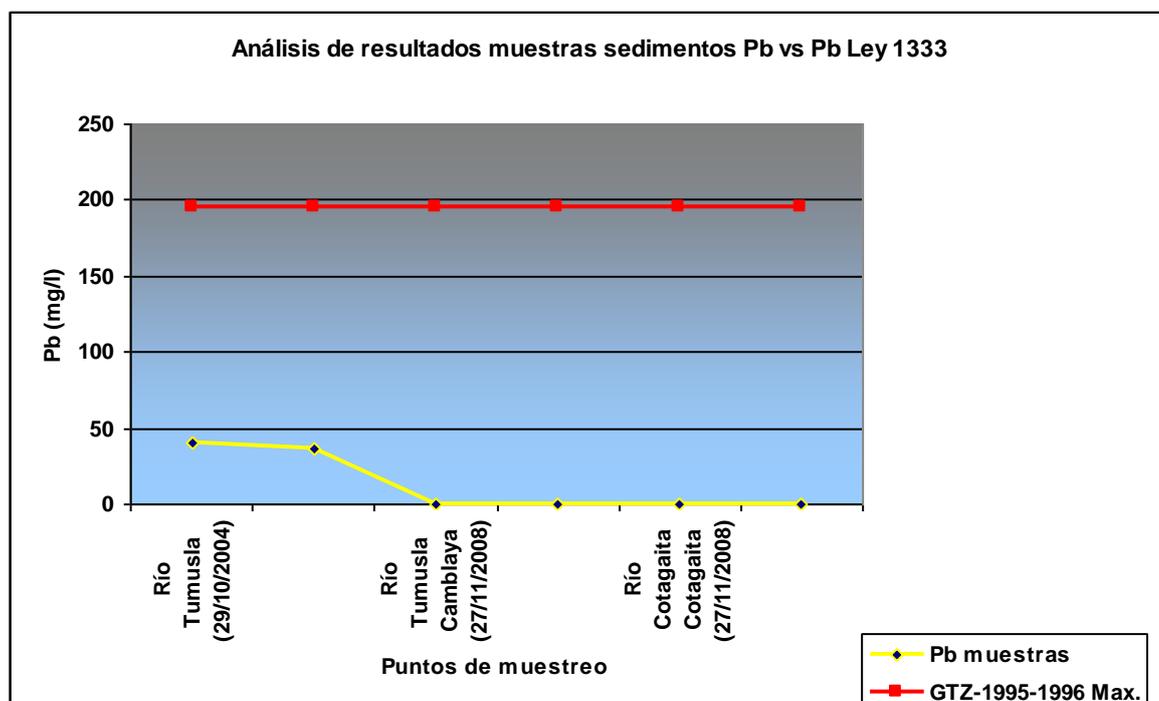
La concentración de arsénico en las muestras del año 2008, se encuentran muy por debajo del límite máximo permisible por la GTZ.

**Figura N° 6.10: Concentración de Cadmio en muestras de sedimentos del 2004, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de estándares ambientales de la GTZ – 1995 – 1996**



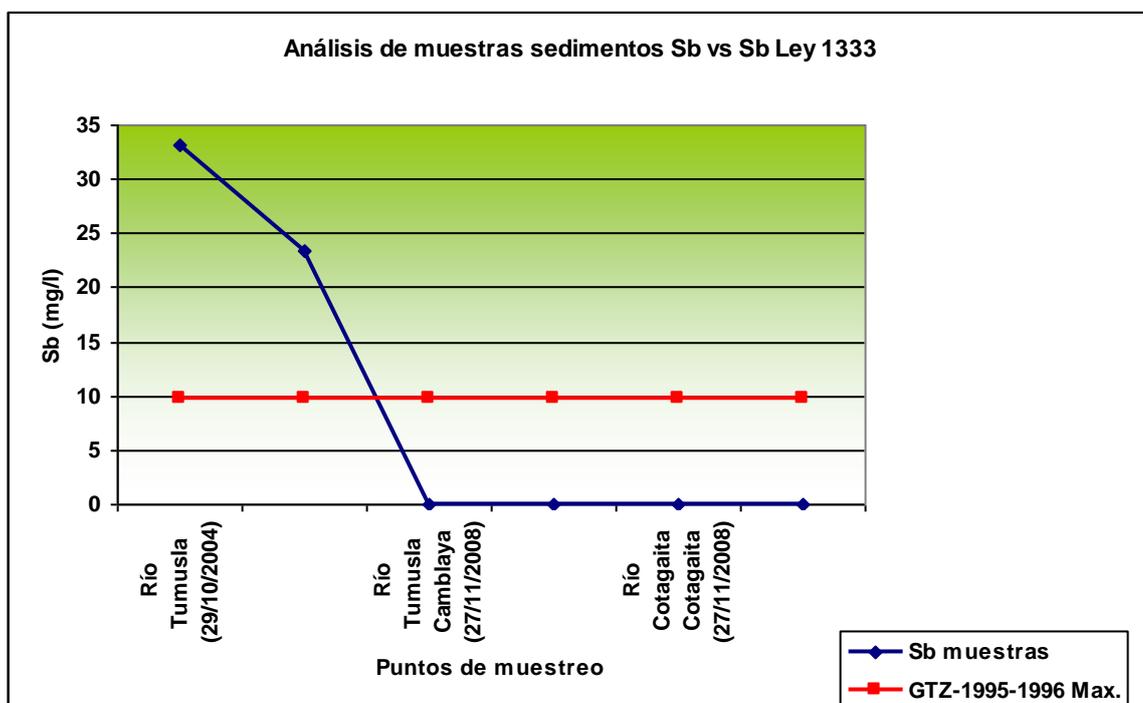
La concentración de cadmio en las muestras de la gestión 2008, se encuentra en niveles muy bajos cercanos al cero.

**Figura N° 6.11: Concentración de Plomo en muestras de sedimentos del 2004, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de estándares ambientales de la GTZ – 1995 – 1996**



La concentración de Plomo en las muestras de la gestión 2008, se encuentra muy por debajo del límite permisible por el reglamento de la GTZ.

**Figura N° 6.12: Concentración de Antimonio en muestras de sedimentos del 2004, comparado con muestras del año 2008 y los límites Permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Reglamento de estándares ambientales de la GTZ – 1995 – 1996**



Se repite el comportamiento de casi todos los metales pesados en las muestras de la gestión 2008, aproximándose al cero.

**Tabla N° 6.3: Parámetros de pH y metales pesados totales en muestras de aguas, Evaluación de las actividades de cierre del pasivo ambiental de Atocha-Telamayu, a través de la concentración de metales pesados en muestras de aguas en la cuenca del río Tumusla-grande gestiones 2005 - 2008 (después del cierre)**

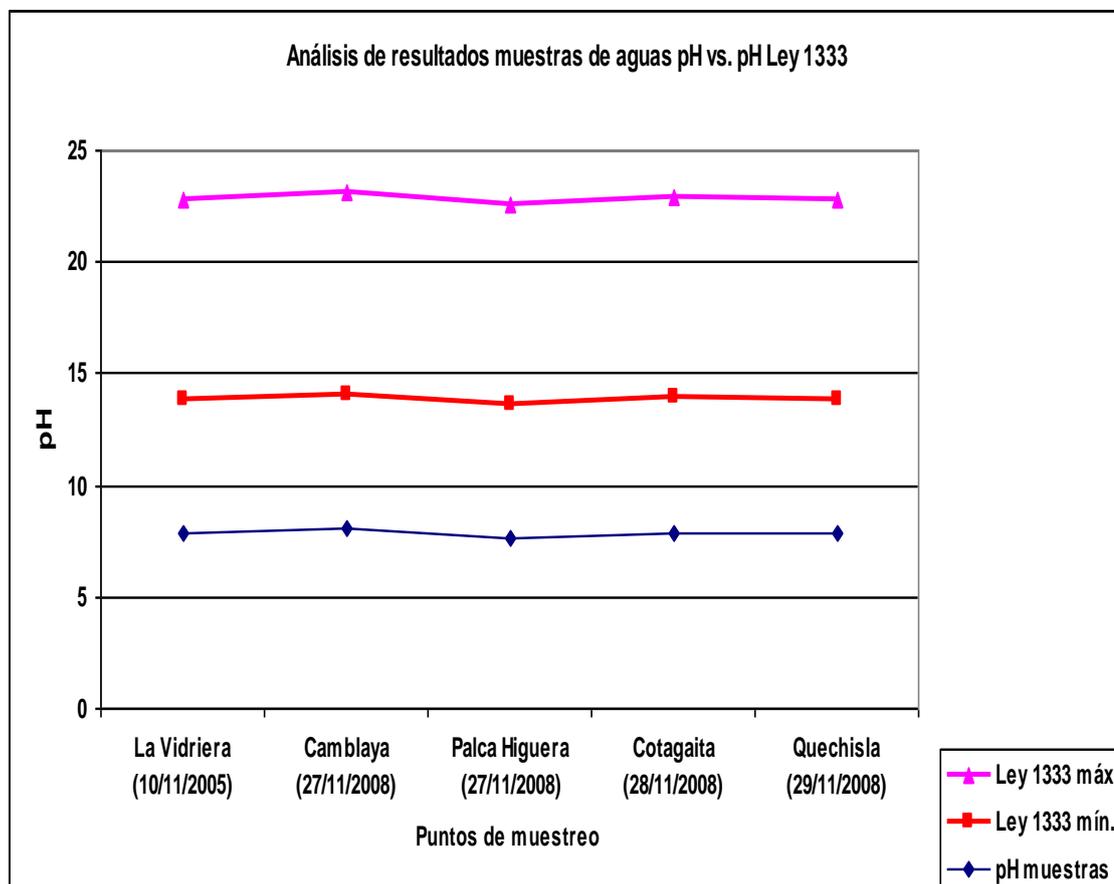
Elemento	Símbolo	Unidad.	Río Tumusla	Río Tumusla	Río Tumusla	Río Tumusla	Río Tumusla	Limites máximos admisibles
			La Vidriera 10/11/2005 *	Camblaya 27/11/08	Palca Higuera 27/11/08	Cotagaita 28/11/08	Quechisla Quechisla 29/11/08	Reglamento de contaminación Hídrica de la ley 1333
pH	pH		7.8	8.1	7.6	7.9	7.8	Clase D 6.0 a 9.0
Cianuro libre	Cianuro libre	mg/l	-	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0,2
Arsenico	As	mg/l	0.03	0.01	0.196	0.0116	0.163	0.1c.As
Cadmio	Cd	mg/l	0.004	0.001	0.00475	0.0014	0.0084	0,005
Mercurio	Hg	mg/l	0.0001	-0	-0.005	-0.004	-0.002	0.001 Hg
Plomo	Pb	Ppm	0.15	0.028	0.12875	0.0282	0.0523	0.1c. Pb
Antimonio	Sb	mg/l	0.13	0.01	0.01325	0.0062	0.008	0.01c Sb
Cromo	Cr	mg/l	-	-0.01	0.0275	-0.01	0.019	0.05c. Cr+6

Fuente: \*Muestreo de aguas, suelos, vegetales, sangre humana, y animales, peces y sedimentos en puntos seleccionados en la cuenca del Río Pilcomayo en Chuquisaca, laboratorio ITA.

Impacto del Cierre de Pasivo Ambiental Atocha-Telamayu, en la Mitigación de las aguas del Río Tumusla-Grande, Chuquisaca, contaminada por actividad minera en Potosí.

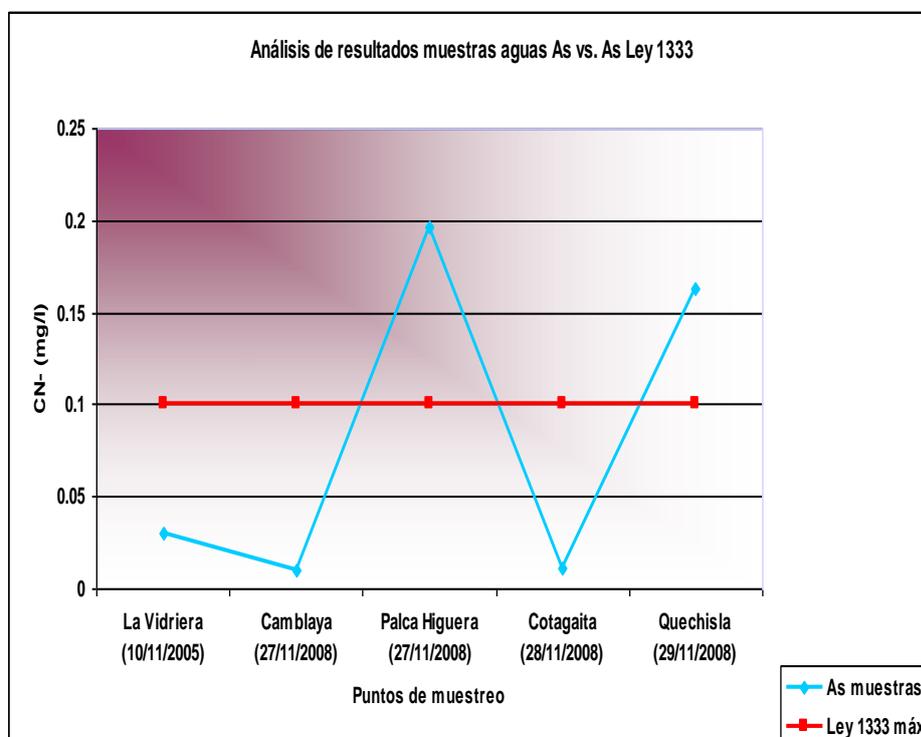
No se realizó la comparación de resultados para el cianuro libre debido a que en el estudio de referencia del año 2005, no existe el dato para este metal.

**Figura N° 6.13: Concentración de pH en muestras de aguas del 2005 comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



El pH en todas las muestras, se encuentra por debajo de los límites mínimos del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333.

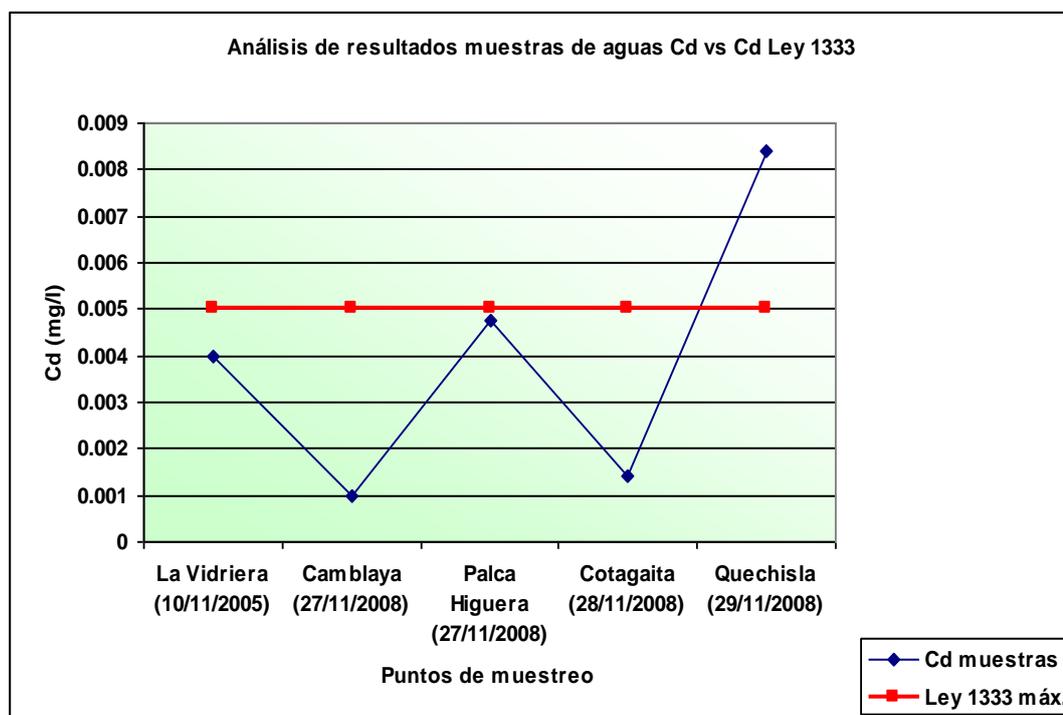
**Figura N° 6.14: Concentración de Arsénico en muestras de aguas del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



Analizando la concentración de Arsénico en las muestras de aguas, en estudios de la gestión 2005 y 2008, concluimos que en la muestra correspondiente al punto Palca Higuera y Quechisla, sobrepasan los valores máximos permisibles por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333, pero como el objetivo de éste capítulo es hacer un seguimiento o una evaluación del impacto de las actividades de cierre del pasivo ambiental de Atocha (Telamayu), sobre el estado ambiental de la subcuenca del Río Tumusla, podemos subrayar las siguientes observaciones comparando la concentración del elemento Arsénico en dos épocas distintas de análisis a lo largo de los puntos de monitoreo seleccionados para la toma de muestras:

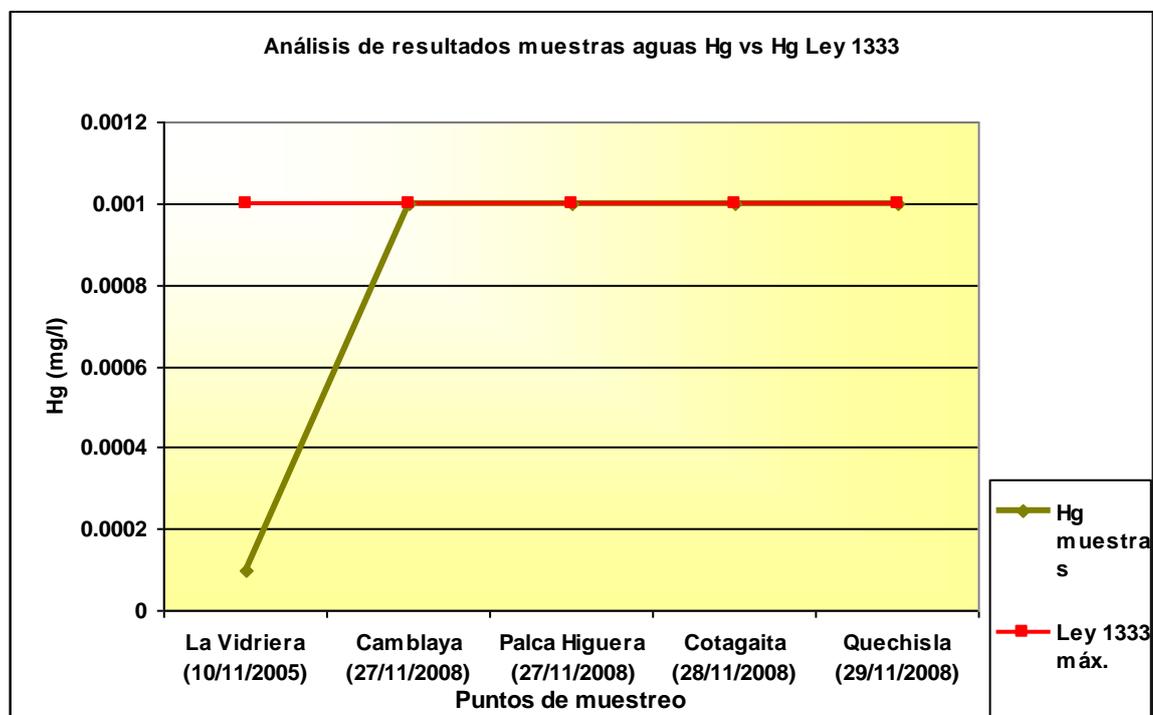
- En Camblaya (situada en la parte baja de la subcuenca): Bajó la concentración de As, después del cierre del pasivo de Atocha (Telamayu).
- En Palca Higuera, Cotagaita y Quechisla no se tienen puntos de referencia de muestreo para el año 2005.

**Figura N° 6.15: Concentración de Cadmio en muestras de aguas del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



La concentración de Cadmio, en las muestras de aguas del año 2008, en el punto Quechisla se encuentra por encima de los niveles máximos permisibles por el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, de la Ley 1333, y en el punto Palca Higuera la concentración de este metal pesado se encuentra al límite aceptable por la Ley ambiental.

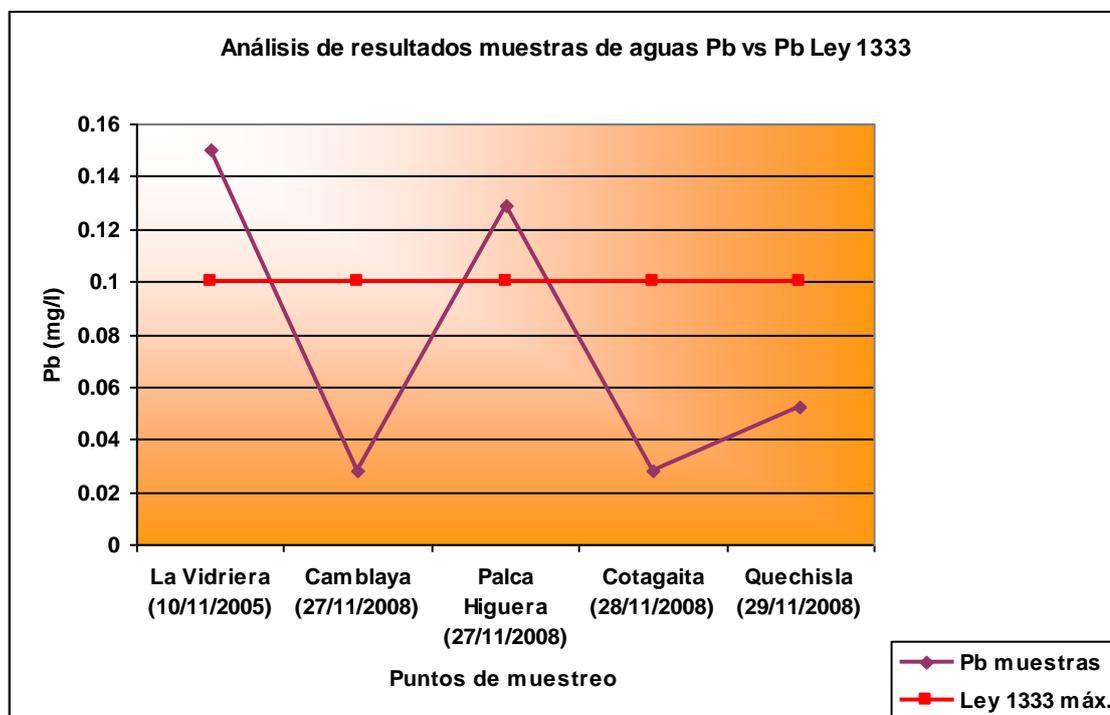
**Figura N° 6.16: Concentración de Mercurio en muestras de aguas del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



Estudiando el estado ambiental de la sub cuenca, podemos subrayar las siguientes observaciones, comparando la concentración del elemento Cadmio en dos épocas distintas de análisis, a lo largo de los puntos de monitoreo seleccionados para la toma de muestras:

- En todos los puntos de muestreo se observa que la concentración de mercurio se ha mantenido constante, pudiendo observar que en la Vidriera la concentración de Mercurio en el año 2005 se encontraba un poco elevada, sin embargo aun así este metal se encontraba dentro de los niveles máximos permisibles.

**Figura N° 6.17: Concentración de Plomo en muestras de aguas del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



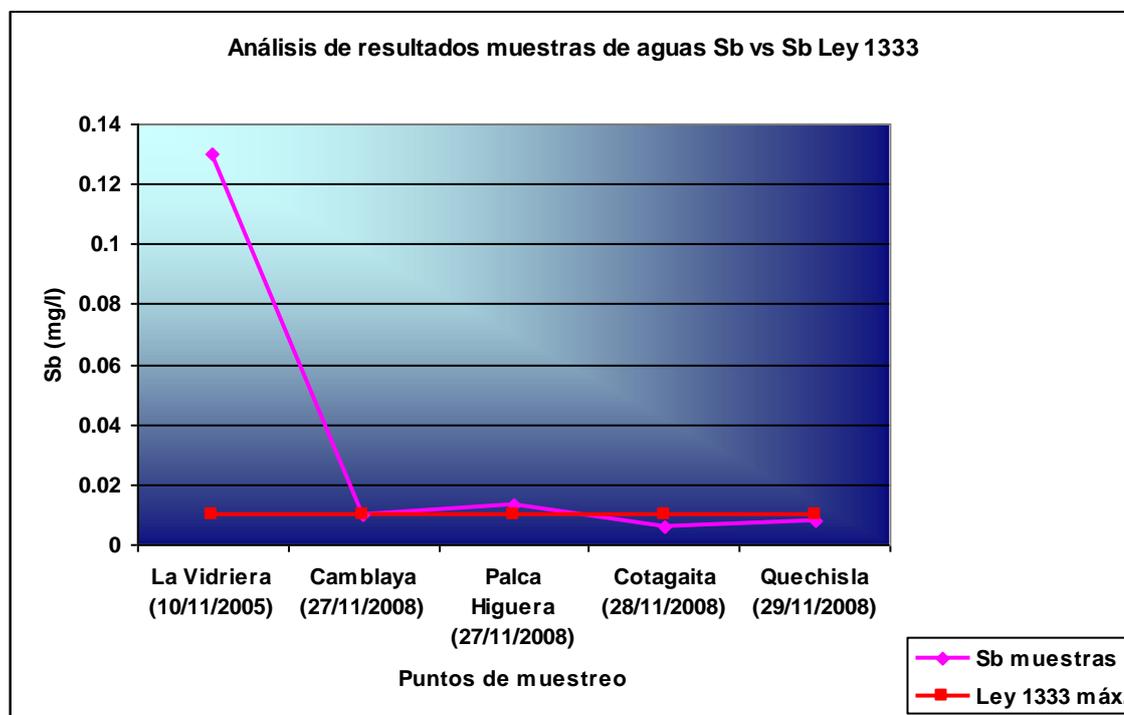
Considerando la posición geográfica de los puntos de muestreo se pueden formular las siguientes observaciones:

- En Camblaya (Dpto de Ch.) subió la contaminación por Plomo comparando el muestreo de 2005 y 2008, pero como se analizó anteriormente podría deberse al efecto de Palca Higuera, que como comentamos presenta un registro discordante en el análisis de aguas.
- En la Vidriera situada en el Río Grande (Tumusla): **Subió** la concentración de Pb, antes de la restauración del pasivo, debido a variaciones estacionales, no hay referencia de análisis para una fecha posterior a la restauración.
- En Palca Higuera (Dpto de Potosí) no se tiene referencia de muestreo para el año 2005 antes de la restauración, pero geográficamente este punto mostró

constantemente una anomalía en la concentración de metales pesados y formulamos algunas hipótesis que podrían explicar este resultado.

- En Cotagaita y Quechisla) no se tienen puntos de referencia de muestreo, para el año 2005 antes de la restauración, pero geográficamente estos puntos están aguas arriba de los anteriores y mas próximos al foco del pasivo ambiental, pero tienen mas contaminación por Pb que en Camblaya, lo que se explicaría por su mayor proximidad al pasivo de Atocha, pero al no tenerse referencias anteriores no es posible establecer si está mejorando la situación ambiental respecto a este peligroso metal.

**Figura N° 6.18: Concentración de Antimonio en muestras de aguas del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333**



Analizando el nivel de concentración de antimonio en las muestras de aguas del año 2005 y 2008, llegamos a las siguientes conjeturas:

- En La Vidriera la concentración de este metal pesado es demasiado alto en comparación con los niveles máximos permisibles por la Ley 1333.
- En las muestras de Camblaya para el año 2008, se encuentra al límite máximo permisible por Ley.
- Y en Palca Higuera para el 2008, la concentración de este metal sobrepasa los niveles máximos permisibles por Ley.

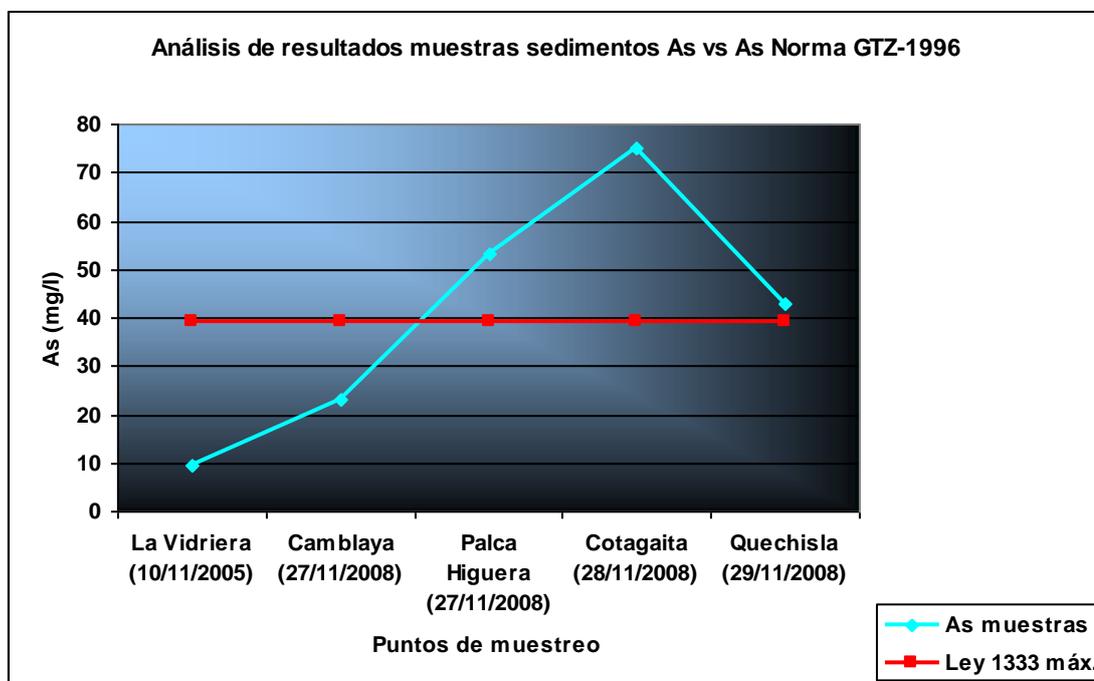
No se pudo realizar ninguna interpretación para el Cromo debido a que en el estudio de referencia del año 2005 no existe el dato.

**Tabla N° 6.4: Parámetros de metales pesados totales en muestras de sedimentos**  
**Evaluación de las actividades de cierre del pasivo ambiental de**  
**Atocha-Telamayu, a través de la concentración de metales pesados**  
**totales en muestras de sedimentos en la cuenca del río Tumusla-**  
**grande gestiones 2005 2008 (después del cierre)**

Elemento	Símbolo	Unidad	Río Tumusla La Vidriera 10/11/2005 *	Río Tumusla Camblaya 27/11/08	Río Tumusla Palca Higuera 27/11/08	Río Cotagaita Cotagaita 28/11/08	Río Quechisla Quechisla 29/11/08	Límites permisibles para metales pesados en suelos y lodos GTZ - 1995 - 1996
pH	ph	–	–	8.1	8	7.9	7.9	–
arsénico	as	mg/l	9.68	23	53	75.2	42.9	39
cadmio	cd	mg/l	0.72	0.76	1.16	0.32	1.82	5,8512
mercurio	hg	mg/l	0.03	0.009	0.01	0.01	0.012	3,9
plomo	pb	ppm	26.71	55.5	59.3	37.9	39.8	195,04
antimonio	sb	mg/l	0.9	22.9	26	19.1	21.2	9,752
cromo	cr	mg/l	–	29.6	24.6	17.2	44.8	–

Fuente: \*Muestreo de aguas, suelos, vegetales, sangre humana, y animales, peces y sedimentos en puntos seleccionados en la cuenca del Río Pilcomayo en Chuquisaca, laboratorio ITA.

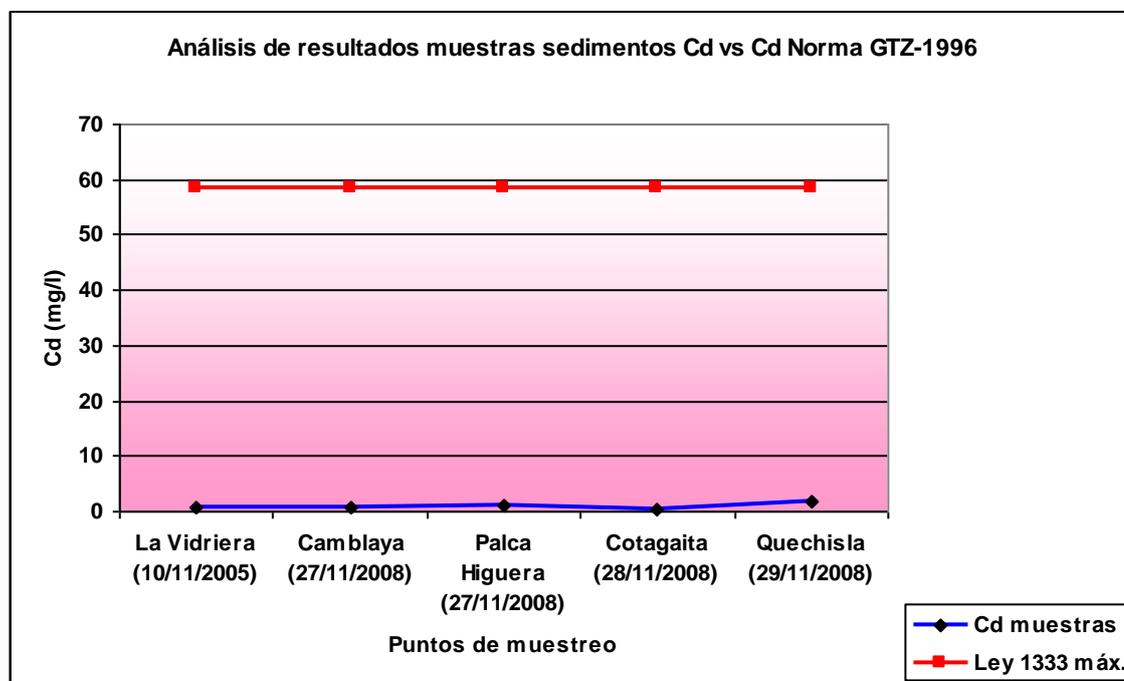
**Figura N° 6.19: Concentración de Arsénico en muestras de sedimentos del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Catálogo de Estándares Ambientales-GTZ 1995-1996**



Con la misma metodología de trabajo que para el caso de aguas, se realiza la comparación de resultados sobre los sedimentos respecto a su ubicación geográfica, de donde deducimos que:

- En Camblaya (Dpto de Ch.) subió ligeramente la contaminación por Arsénico en el año 2008.
- En Palca Higuera, Cotagaita y Quechisla (Dpto de Potosí) no se tiene referencia de muestreo para el año 2005 antes de la restauración, pero geográficamente estos puntos mostraron las concentraciones más altas en As en los sedimentos.
- Geográficamente el punto de Quechisla, está aguas arriba de los anteriores puntos y muy próximo al foco del pasivo ambiental, pero tiene menos contaminación por As que en Cotagaita lo que podría significar que por su mayor proximidad al pasivo de Atocha ya restaurado está mejorando la situación ambiental respecto a este peligroso metal en la cabecera de la cuenca.

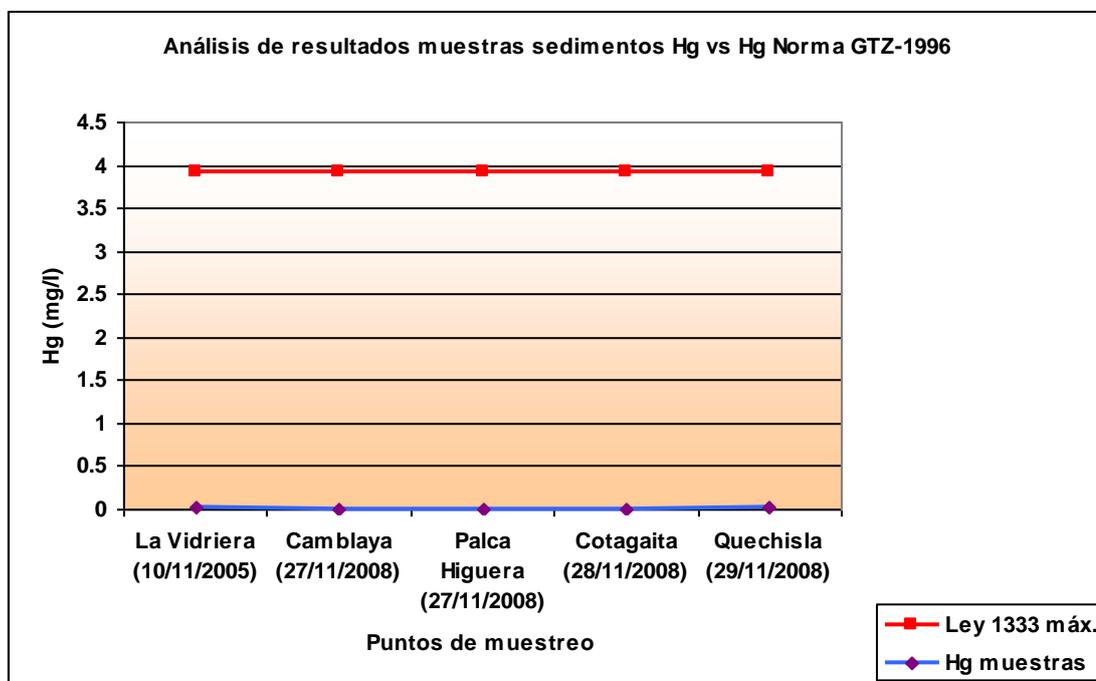
**Figura N° 6.20: Concentración de Cadmio en muestras de sedimentos del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Catálogo de Estándares Ambientales-GTZ 1995-1996**



Si continuamos realizando una evaluación de la movilidad del Cadmio en toda la extensión de la cuenca estudiada respecto a su posición geográfica podemos formular los siguientes comentarios

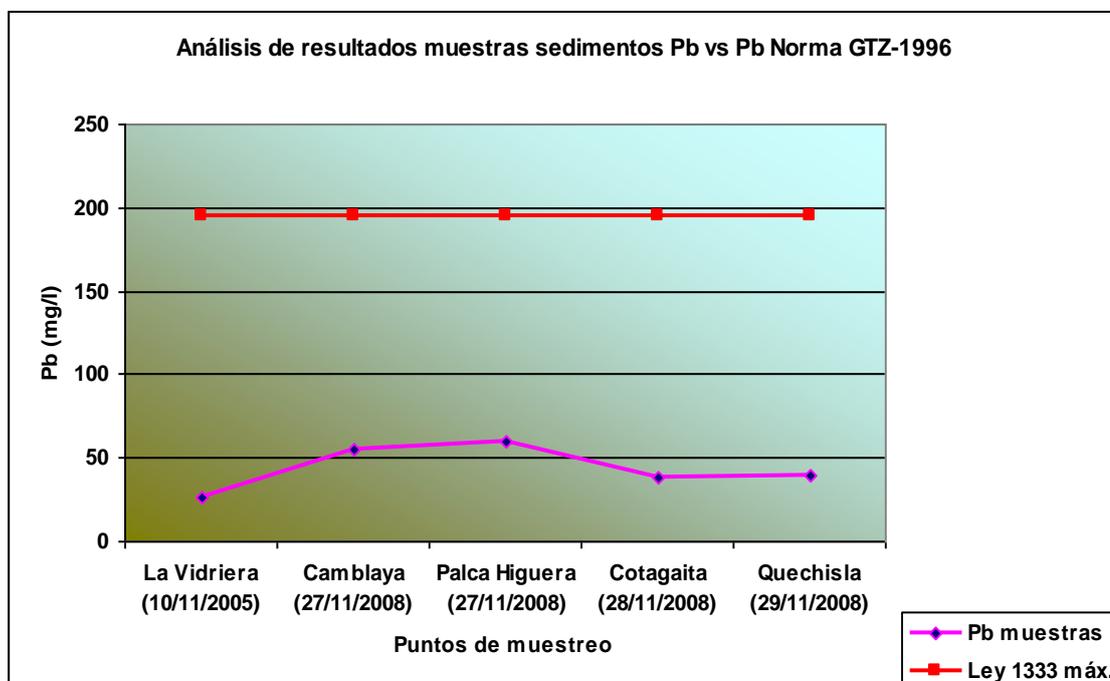
- En Camblaya (Dpto de Chuquisaca) subió la contaminación por Cadmio comparando el muestreo de la Vidriera del 2005.
- En Palca Higuera y Quechisla (Dpto de Potosí) no se tiene referencia de muestreo para el año 2005 después de la restauración, pero geográficamente estos puntos mostraron las concentraciones más altas en Cd de los sedimentos.
- En Cotagaita no se tienen puntos de referencia de muestreo para el año 2005 después de la restauración, pero geográficamente este punto está aguas arriba de Palca Higuera y aguas abajo de Quechisla, sin embargo, tiene menos contaminación por Cd, y se necesitan mayores referencias para poder interpretar este resultado.

**Figura N° 6.21: Concentración de Mercurio en muestras de sedimentos del 2005 comparado con muestras del año 2008 y los límites del Catálogo de Estándares Ambientales-GTZ 1995-1996**



La concentración de Mercurio en las muestras de sedimentos, se encuentra debajo de los valores máximos permisibles por la GTZ. Y prácticamente no muestra ninguna movilidad respecto a la posición geográfica de los puntos de muestreo.

**Figura N° 6.22: Concentración de Plomo en muestras de sedimentos del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Catálogo de Estándares Ambientales-GTZ 1996**



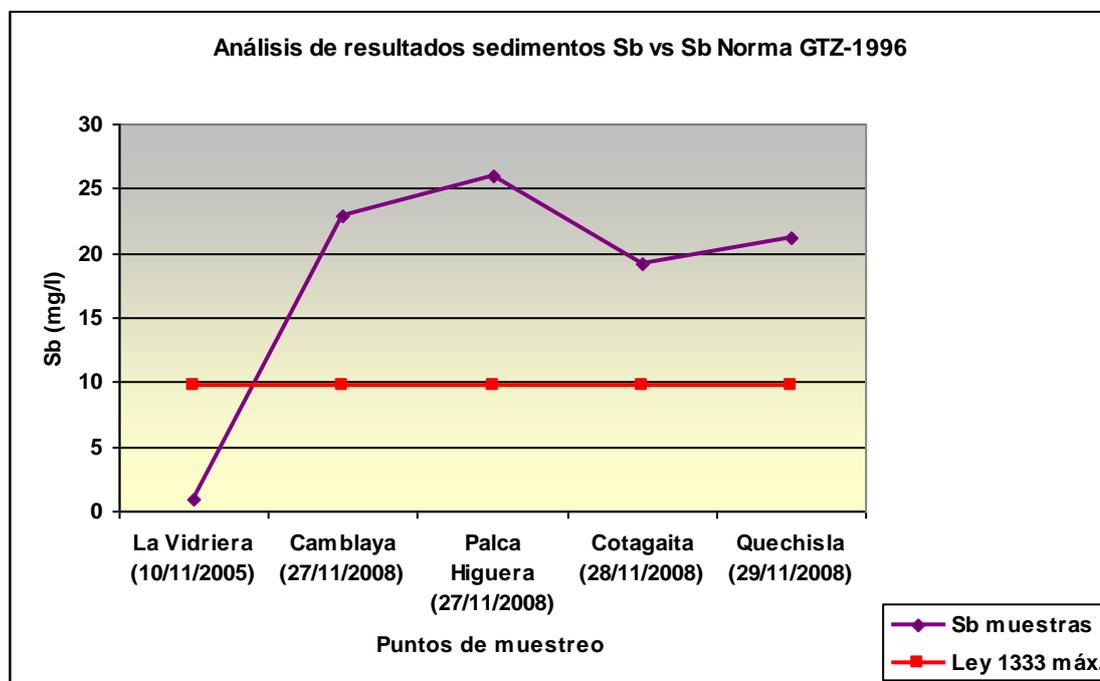
Si se continúa realizando una evaluación de la movilidad del Plomo en toda la extensión de la cuenca estudiada respecto a su posición geográfica podemos formular los siguientes comentarios

- En Camblaya (Dpto de Ch.) subió la contaminación por Plomo, comparando el muestreo de la Vidriera en el 2005, podría deberse esto a que durante la restauración se movilizaron iones de Plomo y al momento del muestreo el máximo de la pluma de contaminación debido a las operaciones de restauración ya estaba en Camblaya.
- En la Vidriera situada en el Río Grande (Tumusla): La concentración de Pb, después de la restauración del pasivo se mantuvo subió, a pesar de las variaciones estacionales.
- En Palca Higuera (Dpto de Pt.) no se tiene referencia de muestreo para el año 2005 después de la restauración, pero geográficamente este punto mostró las

concentraciones más altas en Pb de los sedimentos junto a Camblaya, será como consecuencia del máximo en la pluma de contaminación como efecto de las operaciones de restauración que comentamos anteriormente?.

- En Cotagaita y Quechisla no se tienen puntos de referencia de muestreo para el año 2005 después de la restauración, pero geográficamente este punto está aguas arriba de Palca Higuera, sin embargo, tiene menos contaminación por Pb, se necesitan mayores referencias para poder interpretar este resultado, y si seguimos con el supuesto de que hay una pluma de contaminación que está bajando por la cuenca, significaría que el sesgo aguas arriba está disminuyendo.

**Figura N° 6.23: Concentración de Antimonio en muestras de sedimentos del 2005, comparado con muestras del año 2008 y los límites del Catálogo de Estándares Ambientales-GTZ 199-1996**



La concentración de Antimonio en las muestras de sedimentos, en los puntos de Camblaya, Palca Higuera, Cotagaita y Quechisla del año 2008, sobrepasa los valores máximos permisibles por la norma de la GTZ, pero como no se tienen referencias de muestreos anteriores, no es posible formular comentarios sobre la movilidad del Sb en estos puntos.

No se realizó la comparación de la concentración en muestras de sedimentos para el pH ni el Cromo, debido a que no se cuenta con datos sobre la presencia de este elemento químico en los documentos del año 2005.

## **CAPITULO VII**

### **PERCEPCIÓN DE LOS POBLADORES DE LA ZONA SOBRE EL CIERRE DEL PASIVO AMBIENTAL**

## **INFERENCIAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA PERCEPCIÓN DE LOS POBLADORES DE LA ZONA, SOBRE LOS IMPACTOS DEL CIERRE DEL PASIVO AMBIENTAL DE ATOCHA-TELAMAYU**

Cuando se visitaron las 4 localidades para realizar la toma de muestras, se procedió a encuestar a los comunarios de las zonas, donde se pudo evidenciar, que promediando entre 3 localidades no pasan de 3 familias por punto, exceptuando Cotagaita.

1. Se encuestó aleatoriamente a una persona que vive y es nativa del lugar por cada región.
2. Como la afección por la contaminación de aguas es muy evidente. *Las boletas del monitoreo ambiental comunitario* permiten enfocar el problema de la contaminación, de manera que el encuestado expresó sus opiniones de acuerdo a sus vivencias, aflorando en cada uno de ellos el sentimiento de impotencia ante la situación preocupante de sus comunidades.
3. Los encuestados participantes, son personas tomadas al azar, los cuales expresan sus ideas de acuerdo a su grado de cultura. Dichas expresiones han sido tomadas literalmente de tal manera que no se ha influido ni corregido, sino mas bien se ha copiado tal cual los encuestados han expresado sus opiniones con sus propias palabras.

### **7.2 CÁLCULO DEL N° DE MUESTRAS**

**N** = Total de la población o comunidad

**n** = Tamaño de la muestra

**p** = proporción de personas a contestar la encuesta (**p** = 0.5)

**q** = complemento probabilístico de **p** (= 0.5)

**E** = Margen de error. 25 % lo que significa 0.25)

**Z** = Valor estandarizado de la Distribución Normal, con un nivel de confianza del 95 %, el valor normal estándar es 1.96.

Reemplazando valores a la formula tenemos:

$$n = (1850)(0.5)(0.5)(1.96)^2 / (0.25)^2 (1850 - 1)(0.5)(0.5)(1.96)^2 = 15 \text{ habitantes}$$

**Pregunta 1: ¿Cuáles son los principales problemas de medio ambiente y producción de la comunidad y de la región?**

- 3 % La contaminación en general
- 45% De los encuestados afirma que existe contaminación de los ríos Tumusla, Cotagaita, San Juan del Oro y Quechisla
- 10 % Atribuyen a la mala producción de sus cultivos, a heladas y sequías.
- 3 % Plantas enfermas.
- 3 % Suelos contaminados
- 10 % Producción reducida
- 3 % No opinan nada.
- 3 % Desastres naturales
- 14 % Consideran que el efecto se debe a la basura y desechos.
- 3 % No tienen agua para tomar en el día.
- 3 % Polvo en las calles.

**Pregunta 2: ¿Existe contaminación en ríos, cañadas, lagunas, bofedales, vegas, etc., en la comunidad? ¿Cuáles? (Usar mapa base o mapa parlante)**

- 15 % No hay terrenos para producir
- 10 % De los encuestados responden solo con un si
- 10 % N/S, N/R
- 25 % Los Ríos grandes están contaminados.
- 20 % El Río Cotagaita está contaminado por los centros mineros de Quechisla
- 15 % El Río Tumusla está contaminado por los centros mineros de Porco

5 % El Río Quechisla está contaminado

**Pregunta 3: ¿Existen minas, ingenios o industrias cerca de la comunidad?**

19 % De los encuestados solo responde a la pregunta con un sí

12.5 % Sí están ubicadas en las comunidades de Churquiara y Colpanayoc

6.25 % Solo minas al lado de las comunidades

6.25 % Las minas están en los distritos mineros de Quechisla, pero hay otros pequeños por la zona de Totora

6.25 % Si existen minas aguas arriba

31 % Solo responden con un No

12.5 % N/S, N/R

6.25 % Si en el camino a Atocha

**Pregunta 4: ¿Cuáles? (¿Son empresas, cooperativas, mixtas?)**

De acuerdo a sus conocimientos respondieron,

40 % N/S, N/R

13 % Sagrario, Animas, Siete Suyos, Fierro Uno, Atocha

13% Son particulares, de Tupiza

14 % En Totora, empresas pequeñas, hasta los propios comunarios explotan

7 % Solo cooperativas

7 % No tienen registros

7 % Tasna, Buen Retiro, Chocaya, Telamayu, Palca y Churquini

**Pregunta 5: ¿En que año comenzó la contaminación?**

13 % Admiten que la contaminación comenzó al iniciarse la fundición de Telamayo y la empresa de COMIBOL

25 % Admiten que la contaminación se inició entre los años de 1950 y 1960

6 % Desde el año 2000

6 % La contaminación es todos los días, especialmente cuando hay riadas

- 13 % Desde el año de 1994 y 1996  
 6 % Desde el año de 1970 y 1987  
 6 % Desde que funcionan los ingenios, ahora ha bajado un poco  
 25 % En los años 1920 y 1930

**Pregunta 6: ¿Cual es la causa o motivo – o quien – que ocasiona la contaminación**

- |   |      |
|---|------|
| a) Aguas de mina echadas a los ríos.....      | 36 % |
| b) Sustancias para separar minerales.....     | 27 % |
| c) Colas, desmontes, escorias.....            | 15 % |
| d) diques de colas en mal funcionamiento..... | 17 % |
| e) otros.....                                 | 5 %  |

**¿Hay otras causas de contaminación?**

- |  |      |
|--|------|
| a) Aguas servidas de ciudades o pueblos..... | 54 % |
| b) Residuos de industrias o fábricas.....    | 0 %  |
| c) Basura acumulada-vertederos.....          | 25 % |
| d) Petróleo, ductos y derrames.....          | 0 %  |
| e) Otros.....                                | 17 % |
| f) N/ S, N/R.....                            | 12 % |

**¿Qué zonas están más afectadas?.....**

- |  |     |
|--|-----|
| a) Aguas servidas de ciudades o pueblos..... |     |
| b) Residuos de industrias o fábricas.....    |     |
| c) Basura acumulada-vertederos.....          |     |
| d) Petróleo, ductos y derrames .....         |     |
| <b>e) Otros: Debido a hospitales.....</b>    |     |
| a.1) Los ríos                                | 5 % |

b.1)	0 %
c.1) Basura en los terrenos baldíos	5 %
e.1) Todo el río de Cotagaita y Tumusla en mayor proporción aguas arriba	6 %
f) Comunidades en el río Grande, San Antonio, los Sotos y Camblaya	6 %
g) La zona que abarca la cuenca del Río Tumusla o Río Grande	18 %
h) Todo el cauce del Río San Juan del Oro	6 %
i) Los terrenos que se encuentran a orillas del Río	6 %
j) N/S, N/R	48 %

**Pregunta 7: ¿Cómo es el agua? (color, olor, sabor)**

**Color del agua:** Variable según la época, estiaje, lluviosa y de acuerdo a la intensidad de la explotación minera

Amarillo	7 %
Celeste	7 %
Oscuro	7 %
Verduzco	7 %
Rojo	7 %
Plomo oscuro	22 %
Canela	7 %
Cristalino	7 %
Turbio	7 %
Café amarillo	15 %
Barro	7 %
<b>Olor del Agua</b>	
A barro o lodo	28 %
Podrido	9 %
Lomoso	9 %

A minerales	9 %
A rancio	9 %
Hediondo	9 %
A ácido	9 %
N/S, N/R	18 %
<b>Sabor del agua:</b>	
Feo	19 %
Salado	18 %
Podrido	9 %
Amargo	18 %
Desagradable	9 %
A mineral	9 %
N/S, N/R	18 %

**¿Usa la gente esta agua ¿Para que?**

- 30 % De los encuestados dicen usar el agua para consumo humano
- 40 % Para riego de los cultivos
- 30 % Para brebaje de los animales

**Pregunta 8: ¿Las personas y los animales se enferman cuando toman agua?**

- 44 % Los encuestados responden solamente con un sí
- 13 % Las personas sufren de dolor de estómago
- 6 % Los animales se enferman con mayor frecuencia
- 6 % Si, especialmente el agua contaminada
- 6 % No inmediatamente de tomar, después de una semana se presentan dolores de cabeza y de estómago.
- 6 % Si, aunque los animales se han adaptado
- 6 % Se enferman con diarrea
- 13 % N/S, N/R

**Pregunta 9: ¿Cuáles son los síntomas que las personas tienen cuando toman esta agua?**

- 8 % Afirman que las personas sufren dolores de cabeza
- 44 % Sufren de dolores de estómago
- 36 % Sufren de diarreas
- 4 % Sufren desmayos
- 4 % Dicen tener gusanos en el estómago
- 4 % N/S, N/R

**Pregunta 10: Cuáles son los síntomas que el ganado tiene cuando toman esta agua?**

- 17 % No han visto nada
- 5 % Dicen que les afecta los gusanos
- 28 % Se presentan con diarreas
- 28 % Sufren de temblores y se enflaquecen
- 5 % Afirmaron que se mueren
- 17 % N/S, N/R

**Pregunta 11: ¿Qué pasó con los peces?**

- 33 % Existe muy poco en las aguas claras
- 27 % Ha disminuido
- 7 % Antes había más, ahora ha disminuido, el río está sucio
- 7 % Se mantiene
- 12 % Existen peces pequeños, como los miskínchos
- 7 % Desaparecieron en su totalidad en el Río Tumusla y San Juan del Oro
- 7 % Debido a la contaminación ha disminuido en un 75 %

**¿Con otros animales como sapos o aves?**

- 31 % Sí, hay sapos
- 15 % Hay, pero muy poco
- 7 % Hay garzas
- 7 % Hay sapos y víboras
- 15 % Hay patos y parinas
- 9 % Ha disminuido
- 7 % Hay Leuque Leuques (aves de río)
- 9 % N/S, N/R

**¿Hay algún animal que vivía en o cerca del agua que ha desaparecido o disminuido por la contaminación?**

- 29 % No, ha disminuido, pero hay zorro, león, cóndor, vizcacha, aparecen de vez en cuando
- 23 % Los encuestados responden solamente con un No
- 11 % Solamente los peces
- 11 % Los patos
- 26 % N/S, N/R

**Pregunta 12: ¿Cómo es la contaminación:**

**Mucha-grave.....Fuerte..... Regular..... Poca.....**

Mucha:- grave	25 %
Fuerte	56 %
Regular	13 %
Poca	6 %

**Pregunta 13: La contaminación en los últimos años en la zona:**

Está igual que antes.....	21 %
Ha aumentado un poco.....	21 %
Se ha agravado mucho.....	32 %
Ha disminuido.....	21 %
Se ha paralizado (ya no hay).....	5 %

**Pregunta 14: ¿Cómo ve la gente sobre la gravedad del problema ocasionado por la contaminación?****Testimonios:**

a) Afecta a la salud de la gente	11 %
b) Se ve que es grave, porque las aguas no sirven para cultivar o se seca	5.5 %
c) Cansados de realizar reclamos y sin resultado	5.5 %
d) Los habitantes de las riberas de los ríos se quejan sobre la baja Producción de sus tierras	11 %
e) Ahora es grave la contaminación, a la gente del pueblo le gusta pescar	5.5 %
f) Los frutales de antes desaparecieron, solo ha subsistido la vid	5.5 %
g) Los habitantes deciden irse y abandonan sus terrenos, porque la Producción ha disminuido y hemos quedado muy pocos	28 %
h) Hemos reclamado a la alcaldía para que nos financie con Agua potable, pero no hemos tenido respuesta hasta la fecha	11 %
i) N/S, N/R	11 %
j) Deseamos que los ingenios no trabajen con tóxicos, por que no hay donde depositen sus relaves	5.5 %

**Pregunta 15: ¿Los suelos y los cultivos se han contaminado por los rebalses de los ríos? (Que cantidad, superficie, en que época)**

- 19 % Si, cuando llueve
- 12 % Usamos abono de cabra
- 7 % Si, 250 m
- 14 % Están contaminados con copagira, antes no usábamos fertilizantes o abonos químicos, ahora si usamos estos químicos
- 7 % Si 20 Hectáreas
- 7 % Río arriba en un 80 %
- 7 % En nuestro medio en un 30 – 40 %
- 7 % Hay desastres naturales
- 7 % Aproximadamente 14 Hectáreas en época de lluvia
- 13 % 50 Hectáreas

**¿Qué efectos tiene la contaminación en los cultivos?**

- 31 % Se secan las plantas, parecen quemadas y no producen
- 19 % Suelos totalmente compactados, disminuye la producción
- 6 % Regular
- 6 % Los cultivos se pudren
- 6 % No maduran los frutos y se caen de la planta
- 12.5 % Si, se seca se enferma con gusanos, ha disminuido la producción
- 12.5 % La papa no produce
- 6 % Afectados por el agua

**¿Se ha perdido cosecha por la contaminación? ¿Cuánto?**

- a) 12.5 % Mucho
- b) 12.5 % Con las heladas se pierde la cosecha de maíz
- c) 6% Si 10 qq

- d) 12.5 % Antes se producía todo, ahora no
- e) 12.5 % Si, 40 %
- f) 19 % Si, un 50 %
- g) 6 % Si, 3 toneladas
- h) 19 % N/S, N/R

**Pregunta 16: ¿Se han enfermado o muerto animales por comer forrajes contaminados? ¿Cuántos?**

- 20 % Los encuestados solamente contestaron con un, No
- 7 % Las cabras han contaminado por comer forrajes contaminados
- 13 % No conozco de muertos, pero si problemas de salud
- 7 % Si, murieron más o menos 50 animales
- 13 % En primer lugar, por el agua contaminada, se enferman los comunarios
- 7 % No hay muchas muertes por que tomamos agua limpia
- 7 % Se han presentado algunas deformidades en las pariciones de ganado porcino  
( Ha habido 5 casos)
- 26 % N/S, N/R

**Pregunta 17: ¿Cómo afecta la reproducción de los animales?**

- 13 % Han disminuido las camadas
- 33 % Ha disminuido por la contaminación
- 13 % Normal no hay disminución por que las cabras se van al campo
- 7 % Se han presentado deformaciones en las pariciones de ganado porcino
- 7 % De manera negativa, pues la mortalidad es mucho más elevada
- 7 % Han disminuido las crías, se mueren
- 7 % Ha aumentado
- 13 % N/S, N/R

**Pregunta 18: ¿Hay sitios o lugares respetados o temidos por los pobladores que hayan sido afectados por la minería?**

- 7 % Si, el Río Cotagaita, por eso no quieren sembrar nada
- 7 % Los lugares altos donde hay contaminación, causan chujchu
- 7 % No porque en nuestro municipio, no hay explotación minera, la contaminación, se debe a la explotación en el Departamento de Potosí
- 59 % No
- 20 % N/S, N/R

**Pregunta 19: ¿Se han producido conflictos sociales por este problema? ¿Qué consecuencias han tenido?**

- 29 % Hemos reclamado algunas personas que conocemos de la contaminación
- 35 % No, porque hay muy poca gente
- 18 % Si, ninguno
- 6 % No hay problemas, porque somos muy pocos, han abandonado sus terrenos
- 12 % N/S, N/R

**Pregunta 20: ¿Se hizo la denuncia a alguna autoridad sobre el problema de la contaminación? ¿Tuvieron alguna respuesta?**

- 25 % Si, al municipio de Cotagaita, pero no hubo respuesta
- 6 % Si, a la prefectura, pero no hay respuesta
- 13 % No
- 6 % No hay respuesta hasta la fecha
- 25 % Si, al municipio
- 13 % Si, al municipio de Atocha y Cotagaita, pero no hay respuesta
- 12 % N/S, N/R

**Pregunta 21: ¿Alguien investigó el problema o tomaron muestras? (Universidad, técnicos, etc.)**

- 13 % Si vienen algunas veces, pero no recuerda quienes son
- 7 % Si han venido de Potosí, posiblemente de la Universidad
- 7 % Si, han tomado muestras algunas instituciones, como la cooperación DANESA para el sector de medio ambiente PCDSMA en convenio con la prefectura de Chuquisaca
- 27 % Si, de Cotagaita
- 14 % Si, vienen cada 3 meses
- 7 % Si, el Proyecto Pilcomayo
- 7 % Si de SERGEOTECIN vinieron 3 veces por Cotagaita
- 13 % N/S, N/R
- 5 % No

**Pregunta 22: ¿Se hizo algo o se tomó alguna medida para solucionar o disminuir el daño causado? ¿Cuál? ¿Quién?**

- 67 % No
- 7 % Si, se está iniciando con estudios a diseño final para el manejo integral de la cuenca del Río Chico y la del Río Tumusla
- 7 % A través de talleres de capacitación a autoridades como son los comités de vigilancia, autoridades de educación, salud y con el responsable de medio ambiente.
- 7 % Nada, se han olvidado
- 6 % Alguna vez el municipio nos invitó a algunas charlas
- 6 % N/S, N/R

**Pregunta 23: ¿Los varones jefes de familia viajan-migran para conseguir trabajo?,  
¿Dónde?, ¿Qué tiempo?**

- 47 % Si, se van por que las tierras no producen más, se van a la Argentina y Santa Cruz
- 7 % A la Argentina y las minas, se van algunos solo por épocas y luego vuelven, pero otros se van y no vuelven más
- 13 % Si, a las minas por 10 años
- 13 % No hay familias solo quedan 8
- 7 % A la Argentina se van generalmente, en pocos meses vienen y se vuelven a ir, por este motivo hay muy poca gente
- 7 % Si, generalmente su destino es Santa Cruz, Bermejo y la Argentina, los tiempos son variables oscilan entre 3 meses y 1 año.
- 6 % N/S, N/R

**CAPITULO VIII**  
**PROPUESTA DE MITIGACIÓN**

## **PROPUESTA DE MITIGACION DE LA CONTAMINACION DE AGUAS CON METALES PESADOS, PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD MINERA**

### **8.1 ANTECEDENTES**

En el país ha habido trabajos muy importantes, encarados desde la iniciativa privada y pública sobre la conservación de los recursos naturales que son impactados por la actividad minera, es por esta razón que deseamos presentar algunas de estas iniciativas en forma resumida.

#### **8.1.1 Empresa Minera Huanuni**

El impacto ambiental producido por la explotación y beneficio de minerales, desde el punto de vista ambiental la podemos clasificar de varias formas:

- ✓ De acuerdo a como ocurra el impacto directo, o indirecto sobre el medio natural.
- ✓ Se desarrolla a corto o largo plazo
- ✓ Si es reversible o irreversible
- ✓ Local o externo
- ✓ Evitable o inevitable (se puede mitigar o remediar)

Por otra parte, en función de los aspectos medio ambientales que pueden ser modificados, pueden ser:

- Las acciones de modificación en el uso del suelo, agua, aire, y otros recursos naturales.
- Acciones sobre la emisión de contaminantes (sólidos, líquidos, gases, ruidos, y otros)
- Acciones de modificación y sobreexplotación de recursos (agua)
- Modificación del paisaje (Contaminación paisajística)
- Acciones modificatorias en el aspecto social, económico y cultural (impacto socioeconómico).

Bajo las consideraciones descritas líneas arriba presentaremos un aspecto ambiental de mucha importancia para una empresa estatal más grande de Bolivia la Empresa Minera Huanuni.

La Empresa Minera Huanuni, preocupada por los impactos ambientales ocasionados por todas sus actividades desarrolladas, crea un Departamento Ambiental, el cual a corto, mediano y largo plazo tiene el gran reto de enfrentar los grandes problemas ambientales ocasionados en la explotación, tratamiento y comercialización de sus minerales, principalmente el Estaño.

El departamento ambiental implementado en la Empresa, tiene por objetivo formular políticas ambientales, para enfrentar los grandes daños ocasionados sobre los recursos naturales como los suelos y principalmente el agua del río Huanuni, que tiene su desembocadura en el lago Poopó, el cual está causando un daño natural irreversible, debido a la explotación que viene realizando hace décadas, donde se descargan grandes volúmenes de residuos sólidos y líquidos provenientes del tratamiento de minerales mediante procesos gravimétricos y de flotación, en este último, se utilizan bastantes tipos de reactivos como depresantes, floculantes, etc. Para la modificación de ciertas propiedades de los minerales a ser recuperados.

Por otra parte se desecha a esta Cuenca, la producción de agua de mina con un pH aproximado entre 2 a 3.5, sumamente ácido, esta producción de agua es utilizada también en el tratamiento de minerales en el ingenio de Santa Elena previa modificación del pH con cal.

La generación de residuos en la Empresa alcanza aproximadamente los siguientes volúmenes:

- Generación de líquidos  $750 \text{ m}^3$  /día
- Generación de Sólidos  $1230 \text{ m}^3$  /día

Para efectos de mitigar la descarga y el impacto que produce estos residuos la empresa recurre a la evacuación de estos materiales (colas), mediante el transporte por

volquetas a depósitos naturales que antiguamente fueron utilizados, para poder mitigar de alguna manera el daño que se produce al río y por ende el arrastre de estos materiales aguas abajo.

Los impactos medio ambientales pueden ser mitigados a través de una serie de medidas correctoras que tuvieran que estar inmersas dentro las políticas ambientales de la empresa como por ejemplo:

- El control de escorrentías y procesos erosivos producto de la explotación minera.
- La capacidad de almacenamiento y uso adecuado de agua para las actividades de mina y planta de tratamiento de minerales.
- La minimización del impacto causado por la extracción de aguas subterráneas mediante tratamiento de aguas.
- La prevención de fenómenos contaminantes de las aguas subterráneas a las aguas superficiales.
- La remediación de la cuenca baja del río Huanuni.
- La elaboración de proyectos ambientales de remediación para la zona.

### **8.1.2 Empresa Minera Inti Raymi**

La Empresa Minera Inti Raymi, ganó el primer lugar en la categoría de Prevención de la Contaminación del Premio Nacional a la Ecoeficiencia. La compañía fue distinguida por las técnicas para prevenir la contaminación ambiental, aplicadas en el Proyecto Minero Kori Kollo, que se desarrolla en Oruro.

La empresa Canadiense – Boliviana Dillón, Ecología & Empresa ya presentó el informe preliminar de la Fase I de Planificación de la Auditoría Ambiental de las actividades mineras de Kori Kollo, de la provincia Saucarí, de Oruro.

Esta empresa minera adoptó las medidas de control con trincheras al pie de la berma, parte externa, creando una barrera para evitar el avance la filtración.

## **Laguna de Evaporación**

Inti Raymi en la operación Kori Chaca, ha construido una laguna de evaporación para descargar aguas provenientes del bombeo del desagüe de la mina. Estas aguas, no pueden ser descargadas directamente al medio ambiente porque en su estado natural, son aguas salinas.

La laguna de evaporación, fue construida con una base de arcilla y bermas perimetrales construidas también con núcleos de arcilla, logrando su impermeabilización para evitar filtraciones o fugas de agua de mina acumulada en ese sector.

### **8.1.3 Federación de Cooperativas Mineras de Oruro (FEDECOMIN) y la Fundación MEDMIN**

Los cooperativistas mineros del departamento de Oruro esperan que el gobierno, a través del Viceministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, les entregue las licencias y fichas ambientales, para que de esa forma se preserve el medio ambiente de las zonas mineras.

*“Hipólito Rojas, indicó que el trámite se inició hace varios meses y ahora se aguardan las resoluciones respectivas”.*

La Fundación de Medioambiente Minería e Industria (MEDMIN), y la Federación departamental de Cooperativas Mineras, (FEDECOMIN), entregaron fichas ambientales a doce cooperativas mineras, para que realicen un trabajo con responsabilidad social y puedan operar sin ninguna dificultad.

Las cooperativas beneficiadas son Nueva San José, Jallpa Socavón de San José, Salvadora de Oruro, Poopó, Antequera, Machacamarca Ltda, Puente Grande, Santa Bárbara, Colón Morococala, Santa Fe, Nueva Esperanza, y El Provenir Japo,

y las restantes cooperativas que son alrededor de 20 no cuentan con las fichas ambientales.

#### **8.1.4 Sinchi Wayra y la Mina Bolívar**

La empresa minera Sinchi Wayra, explota la mina Bolívar (provincia Poopó), que tiene un sistema de tratamiento de aguas, es decir, un dique de colas, que consiste en que de la planta de tratamiento, se bombea el agua al dique de colas. En el dique se filtra y nuevamente vuelve a la planta de tratamiento, este es un circuito cerrado”, al tener un circuito cerrado no existe la contaminación de los suelos y aguas de la zona, porque ante todo se trabaja bajo la premisa del cuidado del medio ambiente.

#### **8.1.5 Ministerio de Minería y Metalurgia y la Corporación Andina de Fomento (CAF) y los Relaves de San Miguel Potosí**

Bajo en principio de mitigación de impactos ambientales negativos que se generan a partir de pasivos ambientales de los relaves San Miguel (Potosí), el Ministerio de Minería y Metalurgia y la Corporación Andina de Fomento (CAF) firmaron un convenio de Cooperación Técnica para efectivizar acciones conjuntas orientadas a resolver esos problemas prioritarios.

Las políticas y estrategias definidas por el Gobierno y propiamente del ministerio de Minería a través de su unidad de Medio Ambiente, diseñó un Plan Sectorial Ambiental, que incorpora acciones dirigidas a mitigar la contaminación, a través de proyectos de difusión, capacitación, desarrollo de tecnologías en manejo y tratamiento de aguas, disposición de residuos sólidos minero metalúrgicos y remediación de pasivos ambientales. Los pasivos ambientales de los relaves San Miguel son colas antiguas de procesamiento de minerales que estaban a cargo de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) que fueron almacenadas en la zona Cantumarca de la ciudad de Potosí.

Esos relaves están compuestos de roca molida y minerales sulfurosos residuales.

Producen contaminación de aguas especialmente en épocas de lluvia, debido a que no se aplican medidas de control para evitar la erosión y dispersión de material particulado causado por el viento y las lluvias.

En el pasado, el emplazamiento del dique de Colas San Miguel presentaba una población limitada en su entorno inmediato, pero en la actualidad está prácticamente en medio de la población urbana de la Zona Cantumarca de la ciudad de Potosí constituyéndose en una fuente de contaminación de aguas y suelos, con riesgos sobre la salud y seguridad de la población local y de las riberas del Río Pilcomayo.

El Gobierno ha concretado su trabajo en la ejecución de ese programa de cooperación, que tiene el objetivo de coadyuvar en la pronta remediación ambiental de los relaves “San Miguel”, se construirá una planta de retratamiento de esos relaves y la construcción de una nueva presa de colas que cumpla con las normas ambientales vigentes.

#### **8.1.6 COMIBOL, DINAMARCA y los pasivos ambientales**

La Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) destinó 24 millones de bolivianos para la remediación ambiental de todos los yacimientos donde se tiene pasivos ambientales de lo que eran las empresas estatales.

Están realizando trabajos de remediación de los pasivos antiguos que ha dejado la COMIBOL en su etapa de operación, especialmente en los departamentos de Potosí, Oruro y La Paz.

Así mismo COMIBOL, tiene avances en la mina de Matilde, en Colquechaca está en proceso de la firma del contrato, en Tasna se tiene un 60 por ciento de avance.

La Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), con el apoyo de Dinamarca, firmó con siete cooperativas mineras un convenio interinstitucional para que éstas logren su adecuación ambiental mediante la elaboración del manifiesto ambiental, que permite

obtener a la empresa minera, la licencia ambiental, y tiene la finalidad de prevenir impactos negativos en el medio ambiente causados por la actividad minera. Estas dos instituciones cubrirán el 80 por ciento de gastos para manifiesto ambiental y las cooperativas el 20 por ciento, que asciende a 3.500 dólares.

### **8.1.7 Director de medio ambiente de Oruro**

El Director de Medio Ambiente, viene ejecutando trabajos de remediación ambiental en la ciudad, están haciendo el rediseño final de los pasivos y desmontes de la mina San José. Se invertirán 3.800.000 bolivianos para estos trabajos.(23).

*“Para la gestión 2009, terminaran el sector de Itos, ya que se están haciendo los estudios técnicos y de esa forma encarar la siguiente gestión, la remediación ambiental de la zona”.*

## **8.2 PROBLEMÁTICA**

La problemática ambiental minera en Bolivia es bastante compleja, por los diferentes métodos de prospección, exploración, explotación, extracción y concentración de minerales. Mediante estos procesos se generan distintos contaminantes, como las colas y su inadecuada acumulación. Los drenajes ácidos de mina en las ciudades como Oruro, ocasionan el deterioro de las tuberías de agua, provocando la penetración de contaminantes al sistema de agua, lo que conlleva a deteriorar la salud de los habitantes de las poblaciones que consumen esas aguas. Ingenios que no cuentan con medidas de mitigación como es el caso de la ciudad de Potosí, cuyas colas afectan río abajo, en desmedro de la salud de habitantes, animales y la productividad agrícola.

El uso de reactivos químicos como el mercurio, el cianuro, los floculantes, xantatos, que son eliminados en algunos casos sin ninguna medida de mitigación, aun conociendo que estos son altamente contaminantes al medio ambiente y la salud.

La no inclusión de los costos ambientales en las etapas de operación, ocasiona el vertido de colas directamente a los ríos (incluso sin la consideración de construcción de diques y otras medidas de prevención ni mitigación).

La problemática causada por la minería cooperativizada es tan impactante así como de las empresas grandes, aún cuando la contaminación de cada cooperativista puede ser mínima, pero la sumatoria de todos es grande, esto hace que el impacto ambiental sea considerable y proporcionalmente igual o mayor al de la minería mediana.

Otro aspecto es una total anomia en la realización de las actividades mineras por parte de los concesionarios.

### **8.3 OBJETIVOS**

#### **8.3.1 Objetivo general**

- Aportar a la mitigación de los impactos ambientales de las actividades mineras en cuerpos de agua a través de la realización de una Propuesta Estratégica que diseñe técnicas de tratamiento para inducir al minero a aplicar la producción más limpia, respetando las normativa ambiental.

#### **8.3.2 Objetivo específico**

- Diseñar una estrategia de mitigación de la contaminación minera por pasivos ambientales

**Tabla N° 8.1: Análisis de la situación actual de la minería**

<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos naturales propiedad del Estado</li> <li>• Recursos minerales metálicos y no metálicos estratégicos pertenecen al Estado (Pb, Sn, Zinc, Ag, otros).</li> <li>• Derechos mineros se confieren por contratos con COMIBOL.</li> <li>• Establecimiento de Empresa Estatal COMIBOL como actor principal del desarrollo minero nacional (pero no exclusivo).</li> <li>• Inclusión de objetivos de prevención y control ambiental (explotación racional - minería sustentable) en el PEI.</li> <li>• Participación de la comunidad (consulta, vigilancia, beneficios y otros).</li> <li>• Nuevo marco de principios y políticas elaborado en forma participativa.</li> <li>• Implementación de un nuevo régimen impositivo (mayores ingresos para regiones y TGN).</li> <li>• Sistema de control y verificación de la comercialización de minerales metálicos, no metálicos y regulaciones para el aprovechamiento de minerales estratégicos implementado.</li> <li>• Disposiciones e incentivos para el cambio del patrón primario exportador</li> <li>• Priorización de programas para generación de valor agregado e industrialización</li> <li>• Generación de excedentes y creación de mecanismos de distribución (Industrialización, innovación)</li> <li>• Inversión extranjera con responsabilidad ambiental y social.</li> <li>• Mercados potenciales para productos con valor agregado y ecológico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecimiento productivo, técnico, socio-económico y ambiental en la minería chica y cooperativa como política de gobierno.</li> <li>• Implementación del Plan Sectorial de Medio Ambiente, mediante difusión, capacitación en aplicación de medidas de prevención, mitigación y remediación ambiental.</li> <li>• Interés de la Cooperación Internacional en la prevención y el control de los impactos ambientales de las actividades mineras.</li> <li>• Industrialización de los recursos minerales.</li> <li>• Capacidad productiva mejorada de los operadores mineros estatales y privados.</li> <li>• Mayor participación de las regiones productoras, sobre los beneficios de la renta minera.</li> <li>• Aprovechamiento de los recursos minerales en beneficio de las regiones.</li> <li>• Rol participativo y activo del Estado en el ciclo productivo de la actividad minera, a través de COMIBOL.</li> <li>• Regulación, control y fiscalización de la actividad minera, por el Estado.</li> <li>• Prospección, exploración, explotación e industrialización de minerales y sus derivados continua.</li> <li>• Adecuación del sistema tributario para el beneficio de los bolivianos.</li> <li>• Necesidad de una minería con responsabilidad ambiental y social.</li> <li>• Precios de minerales estratégicos con mantenimiento de valor.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuevas alternativas de aprovechamiento mineralógico.</li> </ul>	
<p style="text-align: center;"><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minería sin aplicación de tecnología de punta.</li> <li>• Código de minería paternalista.</li> <li>• Mineros dependientes del Estado en la aplicación de tecnologías limpias.</li> <li>• Mineros sin sensibilidad ambiental y social.</li> <li>• Normativa sesgada para actividades pequeñas.</li> <li>• Minería dedicada a producir materia prima para los mercados, sin valor agregado.</li> <li>• Inadecuado manejo de residuos sólidos mineros.</li> <li>• Centralización de competencias de control y seguimiento por parte del organismo sectorial competente.</li> <li>• Incapacidad para atraer flujos de inversión en exploración y desarrollo.</li> <li>• Poca atención del Estado en los últimos años a la actividad de prospección y exploración minera.</li> <li>• Persistente cuestionamiento de las poblaciones locales de los beneficios y costos efectivos que deja el desarrollo de esta actividad.</li> <li>• Pocas empresas públicas y privadas con adecuación ambiental aprobadas.</li> <li>• Impactos ambientales negativos al medio ambiente y la salud.</li> <li>• Débil control del Estado.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluctuación extrema de los precios de los minerales</li> <li>• Tributación mínima que no compensa los impactos negativos.</li> <li>• Anomía en el sistema minero.</li> <li>• Degradación de los componentes ambientales en el entorno de la actividad minera.</li> <li>• Agravamiento de la pobreza.</li> <li>• El deterioro de la salud de los pobladores.</li> <li>• Excesiva cantidad de pasivos ambientales.</li> <li>• Excesiva politización de los cargos jerárquicos del organismo sectorial competente.</li> </ul>

Fuente: Propia, en base a información generada por el Ministerio de Minería y Metalurgia

## **8.4 MISION Y VISION**

### **8.4.1 Misión**

Diseñar, implementar y ejecutar un plan estratégico de mitigación de la contaminación minera por pasivos ambientales.

### **8.4.2 Visión**

La subcuenca del Rio Tumusla, ha recuperado parte de sus atributos de calidad ambiental.

## **8.5 ESTRATEGIA DE GESTION APLICADA**

1. Cierre de pasivos ambientales
2. Ingenios mineros con sistemas de retención de lodos contaminantes: Espesadores, reciclado de lodos, recirculación de agua, y diques de colas con procesos de tratamiento de aguas desechadas a cuerpos receptores.
3. Aplicación de la normativa ambiental para las actividades mineras nuevas y existentes.
4. Gobiernos regionales con planes estratégicos de mecanismo de desarrollo más limpio para la minería.
5. Apoyo crediticio para la implementación de tecnologías más limpias.
6. Investigación de parte de las universidades de la región en procesos de producción minera con valor agregado.
7. Investigación y gestión en la identificación y apertura de nuevos mercados para productos mineros.
8. Descentralización de competencias a los gobiernos departamentales y municipales.
9. Implementación de programas de educación ambiental formal y no formal dirigido a niños y jóvenes de las áreas afectadas.
10. Implementación de programas de prevención y terapia de salud.

11. Implementación de otras alternativas de empleo para los afectados
12. Aplicación de normas de salud y seguridad industrial para los trabajadores mineros
13. Manejo Integrado de Cuenca
14. Dragado del río y recuperación del cauce del río
15. Recuperar la cobertura vegetal
16. Restauración de la calidad productiva del suelo
17. Repoblamiento de la fauna acuática
18. Aplicar medidas de remediación para la contaminación por metales pesados como por ejemplo: El método de la fitoremediación, uso de arcilla, bagazo de caña, residuos orgánicos descompuestos.
19. Implementación de políticas dirigidas a incentivar una minería con sustentabilidad.

### 8.5.1 CRONOGRAMA DE ACCION

**Tabla N° 8.2: Actividades para desarrollar la estrategia**

ESTRATEGIA	ACTIVIDADES
Cierre de pasivos ambientales	<p>Sensibilización a las autoridades departamentales respecto a la amenaza de la contaminación por pasivos ambientales.</p> <p>Movilización participativa de la sociedad civil para exigir que se cumpla con la Ley.</p> <p>Tramite por parte de los gobiernos departamentales de Potosí y Chuquisaca ante COMIBOL y el Ministerio de Minería y Metalurgia para el cumplimiento de la norma ambiental.</p>
Ingenios mineros con sistemas de retención de lodos contaminantes: Espesadores, reciclado de lodos, recirculación de agua, y diques de colas con procesos de tratamiento de aguas desechadas a cuerpos receptores.	<p>Diagnostico de la situación actual de las actividades mineras.</p> <p>Levantamiento de información sobre la situación de las licencias ambientales aprobadas, en proceso de aprobación y el número de concesiones mineras que no cuentan con licencias ambientales.</p> <p>Vigilancia a la autoridad ambiental competente sobre el seguimiento a los planes de adecuación ambiental aprobados.</p>
Aplicación de la normativa	Control y seguimiento del cumplimiento en la aplicación de la

ambiental para las actividades mineras nuevas y existentes.	norma ambiental por parte de la autoridad ambiental competente.
Gobiernos regionales con planes estratégicos de mecanismo de desarrollo más limpio para la minería.	Estudio de ventajas sobre métodos de tecnologías más limpias. Elaboración e implementación participativa de los planes estratégicos de desarrollo más limpio.
Apoyo crediticio para la implementación de tecnologías más limpias.	Identificación de financiadores potenciales Gestión de financiamiento.
Investigación de parte de las universidades de la región en procesos de producción minera con valor agregado.	Gestionar recursos financieros para ejecutar proyectos de investigación en procesos de producción minera con valor agregado. Gestionar y firmar convenios entre las empresas mineras públicas, privadas, universidades y los financiadores de los proyectos de investigación. Difusión de los resultados de las investigaciones. Implementación de las experiencias investigadas.
Investigación y gestión en la identificación y apertura de nuevos mercados para productos mineros.	Identificación de potenciales mercados internacionales y nacionales para productos con valor agregado. Implementación de un programa de mercadeo.
Descentralización de competencias a los gobiernos departamentales y municipales.	Aplicación del proceso autonómico participativo dentro del marco de la Nueva Constitución Política del Estado.
Implementación de programas de educación ambiental formal y no formal dirigido a niños y jóvenes de las áreas afectadas.	Búsqueda de financiamiento para garantizar la implementación de programas de educación ambiental. Diseño e implementación de programas de educación ambiental formal y no formal. Desarrollar programas de educación ambiental.
Implementación de programas de prevención y terapia de salud.	Identificación de financiadores para programas de prevención de salud. Estudio sobre el impacto de la minería en la salud de la población. Elaborar un plan y aplicación del plan de prevención y terapia de salud.
Implementación de otras alternativas de empleo para los afectados	Identificación de otras potencialidades en las zonas afectadas. Desarrollar un plan estratégico para implementar un programa de desarrollo en las alternativas identificadas.

Aplicación de normas de salud y seguridad industrial para los trabajadores mineros	Sensibilización a los representantes legales de las empresas y trabajadores en general.
Manejo Integrado de Cuenca	<p>Dragado del río y recuperación del cauce del río.</p> <p>Recuperar la cobertura vegetal.</p> <p>Restauración de la calidad productiva del suelo.</p> <p>Replamamiento de la fauna acuática.</p> <p>Aplicar medidas de remediación para la contaminación por metales pesados como por ejemplo: El método de la fitoremediación, uso de arcilla, bagazo de caña, residuos orgánicos descompuestos.</p> <p>Implementación de políticas dirigidas a incentivar una minería con sustentabilidad.</p>

Fuente: Propia

### 8.5.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Nº	ACTIVIDADES	AÑOS				
		1	2	3	4	5
1	<p>Sensibilización a las autoridades departamentales respecto a la amenaza de la contaminación por pasivos ambientales.</p> <p>Movilización participativa de la sociedad civil para exigir que se cumpla con la Ley.</p> <p>Tramite por parte de los gobiernos departamentales de Potosí y Chuquisaca ante COMIBOL y el Ministerio de Minería y Metalurgia para el cumplimiento de la norma ambiental.</p>					
2	<p>Diagnostico de la situación actual de las actividades mineras.</p> <p>Levantamiento de información sobre la situación de las licencias ambientales aprobadas, en proceso de aprobación y el número de concesiones mineras que no cuentan con licencias ambientales.</p> <p>Vigilancia a la autoridad ambiental competente sobre el seguimiento a los planes de adecuación ambiental aprobados.</p>					

3	Control y seguimiento del cumplimiento en la aplicación de la norma ambiental por parte de la autoridad ambiental competente.					
4	Estudio de ventajas sobre métodos de tecnologías más limpias. Elaboración e implementación participativa de los planes estratégicos de desarrollo más limpio.					
5	Identificación de financiadores potenciales Gestión de financiamiento.					
6	Gestionar recursos financieros para ejecutar proyectos de investigación en procesos de producción minera con valor agregado. Gestionar y firmar convenios entre las empresas mineras públicas, privadas, universidades y los financiadores de los proyectos de investigación. Difusión de los resultados de las investigaciones. Implementación de las experiencias investigadas.					
7	Identificación de potenciales mercados internacionales y nacionales para productos con valor agregado. Implementación de un programa de mercadeo.					
8	Aplicación del proceso autonómico participativo dentro del marco de la Nueva Constitución Política del Estado.					
9	Búsqueda de financiamiento para garantizar la implementación de programas de educación ambiental. Diseño e implementación de programas de educación ambiental formal y no formal. Desarrollar programas de educación ambiental.					
10	Identificación de financiadores para					

	<p>programas de prevención de salud.</p> <p>Estudio sobre el impacto de la minería en la salud de la población.</p> <p>Elaborar un plan y aplicación del plan de prevención y terapia de salud.</p>					
11	<p>Identificación de otras potencialidades en las zonas afectadas.</p> <p>Desarrollar un plan estratégico para implementar un programa de desarrollo en las alternativas identificadas.</p>					
12	<p>Sensibilización a los representantes legales de las empresas y trabajadores en general.</p>					
13	<p>Dragado del río y recuperación del cauce del río.</p> <p>Recuperar la cobertura vegetal.</p> <p>Restauración de la calidad productiva del suelo.</p> <p>Replamamiento de la fauna acuática.</p> <p>Aplicar medidas de remediación para la contaminación por metales pesados como por ejemplo: El método de la fitoremediación, uso de arcilla, bagazo de caña, residuos orgánicos descompuestos.</p> <p>Implementación de políticas dirigidas a incentivar una minería con sustentabilidad.</p>					

Fuente: Propia

### 8.5.3 COSTO APROXIMADO DE IMPLEMENTACION DE LA ESTRATEGIA

Nº	ACTIVIDAD	DESCRIPCION	RESPONSAB LE	COSTO (USD)
1	<p>Sensibilización a las autoridades departamentales respecto a la amenaza de la contaminación por pasivos ambientales.</p> <p>Mobilización participativa de la sociedad civil para exigir que se</p>	<p>Reuniones y talleres de capacitación y sensibilización sobre el impacto ambiental negativo de los pasivos ambientales.</p>	Sociedad civil organizada.	20.000

	<p>cumpla con la Ley.</p> <p>Tramite por parte de los gobiernos departamentales de Potosí y Chuquisaca ante COMIBOL y el Ministerio de Minería y Metalurgia para el cumplimiento de la norma ambiental.</p>	<p>Talleres participativos entre autoridades departamentales, municipales y sociedad civil.</p>	<p>Autoridad ambiental competente</p>	<p>10.000</p>
2	<p>Diagnostico de la situación actual de las actividades mineras.</p> <p>Levantamiento de información sobre la situación de las licencias ambientales aprobadas, en proceso de aprobación y el número de concesiones mineras que no cuentan con licencias ambientales.</p> <p>Vigilancia a la autoridad ambiental competente sobre el seguimiento a los planes de adecuación ambiental aprobados.</p>	<p>Conformación de un equipo interdisciplinario para la elaboración del diagnostico</p>	<p>Autoridad ambiental competente y sociedad civil (CODEMA)</p>	<p>40.000</p>
3	<p>Control y seguimiento del cumplimiento en la aplicación de la norma ambiental por parte de la autoridad ambiental competente.</p>	<p>Requerimiento de información sobre las licencias ambientales y procesos de mitigación que se aplican</p>	<p>Sociedad civil</p>	<p>12.000</p>
4	<p>Estudio de ventajas sobre métodos de tecnologías más limpias.</p> <p>Elaboración e implementación participativa de los planes estratégicos de desarrollo más limpio.</p>	<p>Elaboración y aplicación de proyectos de investigación</p>	<p>Universidades públicas, centros de de investigación de tecnologías limpias y el ministerio de Hidrocarburos y Energías alternativas</p>	<p>190.000</p>
5	<p>Identificación de financiadores potenciales</p> <p>Gestión de financiamiento.</p>	<p>Firma de cartas de intensión de cooperación y compromisos escritos</p>	<p>Autoridad ambiental competente</p>	<p>8.500</p>

6	<p>Gestionar recursos financieros para ejecutar proyectos de investigación en procesos de producción minera con valor agregado.</p> <p>Gestionar y firmar convenios entre las empresas mineras públicas, privadas, universidades y los financiadores de los proyectos de investigación.</p> <p>Difusión de los resultados de las investigaciones.</p> <p>Implementación de las experiencias investigadas.</p>	Implementación de nuevas plantas procesadoras de productos con valor agregado	<p>Autoridad ambiental competente nacional.</p> <p>Universidades públicas, centros de investigación de tecnologías limpias.</p> <p>Medios de comunicación</p>	40.000
7	<p>Identificación de potenciales mercados internacionales y nacionales para productos con valor agregado.</p> <p>Implementación de un programa de mercadeo.</p>	Contratación de profesionales expertos en mercadeo.	Autoridades de nacional, departamentales y municipales	30.000
8	Aplicación del proceso autonómico participativo dentro del marco de la Nueva Constitución Política del Estado.	Procesos de facilitación para la apropiación de las responsabilidades de desarrollo departamental y local.	Ministerio de autonomías	100.000
9	<p>Búsqueda de financiamiento para garantizar la implementación de programas de educación ambiental.</p> <p>Diseño e implementación de programas de educación ambiental formal y no formal.</p> <p>Desarrollar programas de educación ambiental.</p>	Elaborar e implementar en forma participativa programas de educación ambiental	<p>Ministerio de educación, ministerio de Medio Ambiente y agua,</p> <p>Prefecturas departamentales</p>	30.000
10	<p>Identificación de financiadores para programas de prevención de salud.</p> <p>Estudio sobre el impacto de la</p>	Capacitación de médicos en toxicología ambiental.	Autoridad ambiental nacional competente,	100.000

	minería en la salud de la población. Elaborar un plan y aplicación del plan de prevención y terapia de salud.		universidades publicas	
11	Identificación de otras potencialidades en las zonas afectadas. Desarrollar un plan estratégico para implementar un programa de desarrollo en las alternativas identificadas.	Implementación de programas de turismo en zonas mineras	Autoridad nacional y Departamental	50.000
12	Sensibilización a los representantes legales de las empresas y trabajadores en general.	Talleres de capacitación y sensibilización dirigido a todos los representantes legales y trabajadores mineros	Autoridad nacional y departamental	15.000
13	Dragado del río y recuperación del cauce del río. Recuperar la cobertura vegetal. Restauración de la calidad productiva del suelo. Re poblamiento de la fauna acuática. Aplicar medidas de remediación para la contaminación por metales pesados como por ejemplo: El método de la fitoremediación, uso de arcilla, bagazo de caña, residuos orgánicos descompuestos. Implementación de políticas dirigidas a incentivar una minería con sustentabilidad.	Programas de reforestación, restauración de suelos con la aplicación de compost y humus, repoblamiento piscícola con especies nativas.	Gobierno nacional, departamental y municipal	2'500.000
<b>TOTAL</b>				<b>3'145.500</b>

Fuente: Propia

**CAPITULO IX**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. Se procedió a realizar el análisis e interpretación de la concentración de metales pesados en 4 muestras de aguas, tomando como referencia los límites máximos permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, de la Ley de Medio Ambiente N° 1333, resultado de ese análisis se concluye lo siguiente:
2. En el primer punto que corresponde a la comunidad de Camblaya Chica (Municipio de Villa Abecia, Chuquisaca) existe contaminación por antimonio (Sb) en las muestras de agua analizadas.
3. En el segundo punto que corresponde a la comunidad de Palca Higuera (Municipio de Cotagaita, Potosí) existe contaminación por arsénico (As), plomo (Pb), antimonio (Sb). Y la concentración de cadmio (Cd), se encuentra prácticamente al límite de sobrepasar los niveles máximos admisibles por la norma, en muestras de aguas.
4. En el cuarto punto correspondiente a la comunidad de Quechisla (Municipio de Cotagaita, Potosí) existe contaminación por arsénico (As) y cadmio (Cd), en muestras de aguas.
5. En cuanto se refiere a las 4 muestras de sedimentos analizadas tomando como referencia los límites máximos permisibles para metales pesados en suelos y lodos del Catálogo de Estándares Ambientales de la GTZ – 1995 – 1996 concluimos lo siguiente:
6. En los puntos 2 correspondiente a la comunidad de Palca Higuera, punto 3 Cotagaita y punto 4 Quechisla, existe contaminación elevada por arsénico.

7. En el punto uno, correspondiente a la Comunidad de Camblaya Chica, los niveles de concentración de metales pesados en sedimentos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles por norma.
8. De la evaluación realizada sobre las actividades de cierre del pasivo ambiental, antes y después del cierre, comparando con los resultados del presente estudio, se tienen las siguientes conclusiones:

- ***Antes del cierre:***

9. De acuerdo a las concentraciones de metales pesados, tomadas como referencia de estudios de los años 2004, 2005 y comparadas con las del año 2008 y el RMCH, en el punto 2, Palca Higuera, se tiene contaminación elevada por arsénico, cadmio, plomo en las muestras de agua del año 2008; y en la gestión 2005 existía una mayor concentración de antimonio en este punto que en la gestión 2008, por lo que habría disminuido la presencia de este metal en ese punto.
10. En el punto 4, Quechisla, existe contaminación por *arsénico* y *cadmio*, en las muestras de aguas del año 2008, y no así en las muestras de los años 2004 -2005.
11. En Cotagaita, se observa una concentración elevada de  $Cr^{+6}$ , sobrepasando los límites máximos permitidos por Ley para aguas, en la gestión 2004 y no así en la gestión 2008.
12. En las muestras de sedimentos del año 2004, correspondiente a los puntos del Río Tumusla Camblaya (29/10/04 – 30/11/04), la concentración de *arsénico* y *cadmio* se encontraban por encima de los límites permisibles por norma, y no así en las muestras del año 2008.
13. En las muestras de sedimentos que corresponden al punto Tumusla comunidad de Camblaya Chica el plomo y antimonio se encontraban alrededor de 33 - 40 mg/l

respectivamente, en la gestión 2005 y en la gestión 2008 esos niveles son casi cero para ambos metales.

14. Respondiendo a la pregunta de investigación se concluye que es todavía muy pronto dar una respuesta sobre el impacto del cierre del pasivo ambiental Atocha – Telamayu, por que todavía se requieren mas estudios para varias anomalías que se han encontrado en el comportamiento de los ríos objeto de estudio, como es el caso del Rio Tumusla en el punto Palca Higuera.

• ***Después del cierre:***

15. En el punto 2, Palca Higuera, existe contaminación por metales pesados como: arsénico, cadmio, plomo y antimonio, en muestras de aguas del año 2008 y no en las muestras del año 2005.
16. En el punto 4, Quechisla existe contaminación por arsénico y cadmio en las muestras de agua del año 2008, y no en las muestras del año 2005.
17. En el punto 1, Camblaya Chica, existe contaminación por mercurio (Hg), en las muestras de aguas del año 2008.
18. En las muestras de aguas del punto “La Vidriera”, del año 2005, existía contaminación por antimonio y plomo y no así en las muestras del año 2008.
19. En 3 de 4 puntos (Camblaya Chica, Palca Higuera y Quechisla) existe contaminación en las muestras de sedimentos por arsénico y antimonio, del año 2008 y no así en las muestras del año 2005.
20. En las 4 muestras de sedimentos del año 2008, correspondiente a Camblaya, Palca Higuera, Cotagaita y Quechisla, existe contaminación por antimonio, y no en las muestras del año 2005.

21. De todos los puntos evaluados podemos concluir que el punto más contaminado por metales pesados totales es el de Palca Higuera y seguido de Quechisla del Departamento de Potosí.
22. El punto menos contaminado con metales totales pesados es el de Camblaya Chica del Departamento de Chuquisaca.
23. Sin embargo, existen otras variables como la subida de los minerales, entre los años 2007 y 2008, por ello la actividad minera se reactivó en todo el territorio nacional, saliendo de control de las autoridades nacionales competentes.
24. Dentro de la cuenca del Río Tumusla, se tienen varias concesiones mineras en actividad, que consideramos que también son la fuente de contaminación de las aguas y sedimentos de este Río.
25. Realizar una propuesta técnica para los puntos más contaminados, en estas condiciones es un tanto difícil, por la razón de no contar con datos exactos sobre cuantas minas están en funcionamiento dentro de la cuenca del Río Tumusla, que tipo de minerales explotan y procesan, que tipo de tratamiento realizan a los minerales, por ello la propuesta ha sido planteada en forma general, hasta no contar antes con los datos mencionados.
24. En cuanto a la percepción de los habitantes de las comunidades visitadas en el transcurso de la toma de muestras se concluye que el 45 % de los encuestados afirma que existe contaminación en los Ríos Tumusla, Cotagaita, Quechisla y San Juan del Oro.

## RECOMENDACIONES

1. Con la experiencia de este trabajo de investigación, se recomienda que debe considerarse como una necesidad, del país, establecer una metodología adecuada para realizar Estudios de Impactos Ambientales después de la restauración de pasivos ambientales mineros, combinando calidad química de las aguas y los sedimentos, cargas ambientales en los registros de caudales o en la precipitación captada sobre el área de estudio; así mismo debido a los cambios climáticos y el fenómeno del niño y la niña, las precipitaciones pueden variar, y que ocasionen que no sea visible el impacto del cierre pasivos ambientales.
2. Es preciso continuar con el seguimiento y monitoreo de varios ciclos anuales antes y después de la restauración del pasivo, para poder establecer la tendencia de si hay o no efecto de mitigación debido a la restauración propiamente dicha.
3. Se recomienda a las autoridades del sector y autoridades ambientales competentes que todo proyecto de restauración ambiental de pasivos ambientales mineros, debieran incorporarse una planta o un sistema de neutralización temporal, de efluentes que emanen del pasivo restaurado, porque debido al movimiento de tierras que se realizó, es previsible que la carga ambiental de sales disueltas y retenidas en el pasivo por recristalización sea mayor.
4. Se recomienda a las autoridades competentes, instituciones públicas como privadas realizar una propuesta técnica coordinada, sobre los niveles máximos admisibles para complementar las normas existentes, para los componentes ambientales, como los sedimentos, ya que al no contar con una referencia técnica existe un cierto margen de error en la interpretación de los resultados de muestras de este tipo.
5. Se recomienda a las instituciones auspiciadoras de este trabajo que, deba buscarse mecanismos de difusión de resultados, debido a que los pobladores y

autoridades de las zonas visitadas, han expresado la necesidad de conocer el estado de las aguas que usan para sus diferentes actividades.

6. Se recomienda que se debe continuar con el monitoreo de esta cuenca (Río Tumusla), en época seca y lluviosa, para tener una idea más clara sobre el nivel del comportamiento de los contaminantes, a la actualidad no existe una institución que esté realizando este trabajo, debido a que el Proyecto Pilcomayo cerro sus actividades el año 2008.

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, *Ley y Reglamento de Medio Ambiente N° 1333*, 27 de abril de 1992, 8 de diciembre de 1997.
2. Ministerio de Minería y Metalurgia, *Ley N° 1777, Código de Minería*, de 17 de marzo de 1997.
3. Ministerio de Minería y Metalurgia, *Reglamento Ambiental para Actividades Mineras, RAAM*, Decreto Supremo N° 24782, de 32 de julio de 1997.
4. Universidad Andina Simón Bolívar (UASB), Universidad Técnica de Oruro (UTO), Dr. Gerardo Zamora, *Maestría en Ingeniería Ambiental Minera*, gestiones 2007-2009.
5. Proyecto Pilcomayo, *Línea Socioambiental de la Cuenca del Río Pilcomayo*, gestiones 2006-2007.
6. Jorge Escobari, Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas, UDAPE, *Problemática ambiental de Bolivia*, La Paz, abril de 2003.
7. República del Perú, Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de asuntos Ambientales Mineros, *Guía para el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros*, Volumen XXIII, septiembre 2008.
8. Universidad de Oviedo- España, University of Newcastle Upon Tyne-Inglaterra, Instituto Prospectiva Tecnológica-Comision Europea, Netherlands Institute for Ecology, University of Exeter-UK, Royal Institute of Technology-Suecia, Technical University and Mining Academy Freiberg-Alemania, IRGO- Eslovenia, Hydro-Engineering Institute-BiH, ERMITE, ERMISA, *Resultados del proyecto ERMITE, informes*, septiembre de 2006.

9. PNUD, *documento de trabajo, informe tematico sobre desarrollo humano en Bolivia, informe tematico sobre desarrollo humano 2008, La Otra Frontera.*
10. Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo, Ronald Pasig, Edilberto Terrazas, *informe de la campaña de monitoreo de reconocimiento, (Sector de los Departamentos de Chuquisaca y Potosí/cuenca del Río Pilcomayo, 23 de agosto al 3 de septiembre de 2004.*
11. Universidad de Sevilla-España, Universidad Autónoma “Juan Misael Caracho” Dirección de Postgrado, Richard Iván Medina Hoyos, *diagnóstico global de los efectos ambientales de la minería en el Rio Pilcomayo, diciembre de 2001.*
12. Foro Chuquisaqueño de Medio Ambiente y Desarrollo, Comisión técnica, Universidad Mayor Real y Pontifica de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Tecnología, Humberto Gonzalo Murillo Avilés, Juan Carlos Bazan Ortega, Oscar Vera Fernández, *contaminacion ambiental en los cintis, Enero de 1997.*
13. Edgar Mallo, *trabajo de consultoría, informe de avance, tema “evaluacion de la información existente sobre la calidad de aguas del Rio Pilcomayo”, año 2000, Tarija-Bolivia.*
14. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Dirección de Investigación Científica y Tecnológica, Unidad de Gestión Tecnológica, Centro de Análisis Investigación y Desarrollo- “CEANID”, Oficina Técnica Nacional de los Ríos Pilcomayo y Bermejo, *muestreo y analisis de las aguas del Rio Pilcomayo y sus afluentes, año 2000, Tarija-Bolivia.*
15. Prefectura del Departamento de Chuquisaca, Dirección de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Programa de Cooperación DANESA al sector medio ambiente,

*informe final, muestreo de aguas, suelos, vegetales, sangre humana y animales, peces y sedimentos en puntos seleccionados en la cuenca del Rio Pilcomayo en Chuquisaca*, Diciembre de 2005.

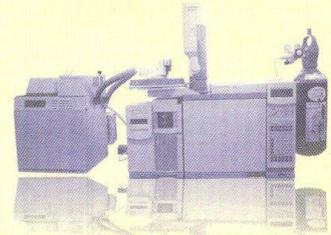
16. La Razón, *revista Escape*, 20 de noviembre de 2005.
17. <http://razalatina.iespana.es/chuquisaca.htm>
18. <http://razalatina.iespana.es/potosi.htm>.
19. <http://www.delap.org.bo/soft/ESTUDIO%20PROSPECCION%20CADENA%20PRODUCTIVA%20DEL%20AJO%20PARTE%201%20de%202.pdf>.
20. Mancomunidad de Municipios de los Cintis, *Plan de Uso de Suelos de los Cintis (PLUS)*, año 2005.
21. <http://www.epocaecologica.com/ediciones/novenaedicion/huanuni.html>
22. <http://boliviaminera.blogspot.com/2009/01/cooperativas-obtendran-licencia.html>
23. <http://boliviaminera.blogspot.com/2008/06/comibol-tiene-bs-24-millones-para-la.html>.
24. <http://boliviaminera.blogspot.com/2009/01/el-2008-inti-raymi-cumpli-buena-labor.html>
26. <http://boliviaminera.blogspot.com/2008/10/presentan-plan-para-auditora.html>
27. <http://boliviaminera.blogspot.com/2007/10/filtracion-de-aguas-naturales-en-laguna.html>
27. <http://boliviaminera.blogspot.com/2008/11/cooperativistas-esperan-que-gobierno.html>
28. <http://boliviaminera.blogspot.com/2009/01/doce-cooperativas-mineras-recibieron.html>
29. <http://boliviaminera.blogspot.com/2008/10/empresa-bolvar-tiene-un-circuito.html>
30. <http://boliviaminera.blogspot.com/2008/08/ministerio-de-minera-y-caf-iniciarn.html>.
31. [www.mineria.gov.bo](http://www.mineria.gov.bo)
32. <http://www.ing.udep.edu.pecivilmaterialvialTercer%20TrimestreFENJorge%20ReyesSedimentos.pdf>.
33. <http://www.alt-perubolivia.org/pagina/content/view/14/28/>

34. Liga de Defensa del Medio Ambiente, LIDEMA, *estado ambiental de Bolivia 2007 – 2008*, SOIPA Ltda.
35. COMIBOL, *proyecto de control y mitigación ambiental de los diques de colas Telamayu, plan de adecuación y seguimiento ambiental (PASA)*, 2004.
36. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, Vice ministerio de Planificación Estratégica y Participación Popular DGPO, Prefectura del Departamento de Potosí, Dirección Departamental de Recursos Naturales y Medio Ambiente, *zonificación agroecológica y socioeconómica, Departamento de Potosí*, diciembre 2000.

# **ANEXOS**

# **ANEXO I**

**RESULTADOS DE LABORATORIO DEL ANÁLISIS DE  
MUESTRAS DE AGUAS Y SEDIMENTOS**



## INFORME DE ENSAYO

**N°.: 23074**

NOMBRE DEL CLIENTE

**Impacto del cierre de pasivos Ambientales Sistema Minero del Sur**  
**Atn. Ing. Apolonia Rodriguez**

DIRECCIÓN DEL CLIENTE

**Sucre**

CARACTERÍSTICAS

**Agua**

PROCEDENCIA

**\*\***

RESPONSABLE MUESTREO

**\*\***

FECHA DE MUESTREO

**\*\***

FECHA RECEPCION:

**2008-12-12**

FECHA DE ENSAYO

**Según detalle**

PAGINA

**3/3**

FECHA DE ENTREGA

**2008-12-15**
**RESULTADOS:**

PARÁMETRO	Unidades	Fecha de Ensayo	Norma/Método	L.D./ppm	Código Cliente				
					M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	
					Código Laboratorio	6348	6349	6350	6351
pH		2008-12-15	ASTM D 1293		8,1	7,6	7,9	7,8	
Conductividad	[ $\mu$ S/cm]	2008-12-15	ASTM D-1125	5	4060	6260	2860	1814	
Turbidez	[NTU]	2008-12-22	DIN 38404 T2	0,05 NTU	26,50	3756,00	373,80	524,00	
Sólidos Suspendedos	[mg/l]	2008-12-22	DIN 38409 T2	1	71	2598	237	515	
Alcalinidad	[meq/l]	2008-12-22	ASTM D 1067	0,1	3,1	2,8	2,0	3,9	
Carbonatos	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> [mg/l]	2008-12-22	ASTM D 3875	3	18	6	6	6	
Bicarbonatos	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	2008-12-22	ASTM D 3875	3	153	159	110	226	
DBO <sub>5</sub>	[mg/l]	2008-12-15	DIN 38409 T 51 mod.	5	19	13	7	18	
DQO	[mg/l]	2008-12-15	ASTM D 1252	2	20	14	19	11	
Cloruro	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	2008-12-22	ASTM D - 512	1	847	1293	303	101	
Boro	B [mg/l]	2008-12-15	DIN 38405 T 17mod.	0,01	0,82	1,79	1,61	5,43	
Fluoruro	F <sup>-</sup> [mg/l]	2008-12-15	SM 4500F-D	0,004	0,373	0,576	0,302	0,528	
Cianuro libre	CN <sub>L</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	2008-12-15	ASTM D 2036 mod.	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
Fosfato	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	2008-12-15	EPA 300.1	0,04	0,08	0,07	0,14	0,08	
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	2008-12-22	DIN 38405 T10 mod.	0,4	3,7	5,8	1,9	1,7	
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	2008-12-22	DIN 38405 T10 mod.	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> [mg/l]	2008-12-22	ASTM D 516	0,2	571,1	1312,3	1212,2	841,8	

**REFERENCIAS**

\*\* Responsabilidad del cliente

L.D. = Límite de Determinación.

Valor con símbolo "&lt;" implica por debajo del límite de determinación.

  
 T.S. Rosmary Torrez Y.  
 Supervisor

  
 Ing. Rosario Mena de Bascope  
 Resp. Control de Calidad

- Las firmas de los responsables de este trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El Informe de Ensayo es válido solo si presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representabilidad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 3 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

**IMPACTO: Cierre de Pasivos Ambientales Sistema Minero del Sur**

**SUELOS**

Report Date: 22/01/2009

Analyte Symbol	Li	Be	B	Na	Mg	Al	K	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Detection Limit	0.1	0.1	1	0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	1	0.5	1	0.01
Analysis Method	AR-MS												
M-1(S)	58.3	1.8	22	0.153	0.89	2.76	0.61	1.67	5.1	38	29.6	606	3.7
M-2(S)	51.2	2.3	29	0.13	0.62	1.94	0.42	0.71	4.5	24	24.6	1040	3.61
M-3(S)	33.5	1.8	17	0.088	0.32	1.58	0.41	0.21	4	20	17.2	400	3.34
M-4(S)	45.5	2.4	53	0.176	1.07	2.54	1.05	0.69	9.3	82	44.8	1210	3.32

Analyte Symbol	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo
Unit Symbol	ppm													
Detection Limit	0.1	0.1	0.01	0.1	0.02	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.01	0.1	0.1	0.01
Analysis Method	AR-MS													
M-1(S)	29.6	35.2	31.1	187	5.78	0.1	23	0.9	37.9	91.9	8.7	2.7	0.2	0.92
M-2(S)	44.5	50.7	41.7	216	4.87	0.1	53	1.1	29.5	57.1	7.74	1.2	0.1	1.28
M-3(S)	46.6	30.5	33.1	108	3.96	< 0.1	75.2	1.1	25.6	32.8	5.24	1.3	< 0.1	1.45
M-4(S)	57.5	51.6	29.8	353	8.05	0.1	42.9	1.1	83.2	101	16.7	5.4	0.5	0.98

Analyte Symbol	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0.002	0.01	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02	0.5	0.5	0.01	0.1	0.02	0.1	0.1
Analysis Method	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS
M-1(S)	2.36	0.76	0.14	4.93	22.9	< 0.02	8.6	431	18.7	40.1	5	20	4.3	0.8
M-2(S)	1.47	1.16	0.2	33.9	26	0.03	12.7	279	8.9	20.2	2.5	10.4	2.9	0.6
M-3(S)	0.504	0.32	0.17	14.3	19.1	0.12	6.4	262	8	18.3	2.2	9.36	2.3	0.5
M-4(S)	1.27	1.82	0.24	9.02	21.2	0.04	50.5	521	28.8	59.4	7.1	27.3	5.8	0.7

*[Signature]*  
 Ing. Roberto M. de Baicopé  
 SERENTE GENERAL

Report: A09-0041



Servicios Analíticos - Laboratorio Químico  
 Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro

SUELOS

Report Date: 22/01/2009

Final Report  
 Activation Laboratories

Analyte Symbol	Li	Be	B	Na	Mg	Al	K	Bi	Ca	Sc	V	Cr	Mn	Fe
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%
Detection Limit	0.1	0.1	1	0.001	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.1	1	0.5	1	0.01
Analysis Method	AR-MS													

**IMPACTO: Cierre de Pasivos Ambientales Sistema Minero del Sur**

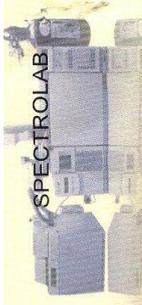
AGUAS

Report Date: 22/01/2009

Analyte Symbol	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Au	Tl
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm									
Detection Limit	0.1	0.1	0.001	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.1	0.001	0.5	0.02
Analysis Method	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS	AR-MS									
M-1(S)	3.8	0.5	2	0.4	0.9	0.1	0.4	< 0.1	< 0.1	< 0.05	69.9	< 0.001	7.4	0.31
M-2(S)	3.1	0.4	1.7	0.3	0.7	0.1	0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.05	123	< 0.001	11.1	0.28
M-3(S)	2.5	0.3	1.3	0.2	0.5	0.1	0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.05	> 200	< 0.001	< 0.5	0.22
M-4(S)	5.1	0.7	3.1	0.6	1.6	0.2	0.8	< 0.1	< 0.1	< 0.05	> 200	< 0.001	< 0.5	0.75

Analyte Symbol	Pb	Th	U
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0.01	0.1	0.1
Analysis Method	AR-MS	AR-MS	AR-MS
M-1(S)	55.5	5.5	1.4
M-2(S)	59.3	3.9	0.9
M-3(S)	37.9	3.4	0.8
M-4(S)	39.8	7.7	1.8

*[Signature]*  
 Ing. Rosario M. de Baicopé  
 GERENTE GENERAL  
 SPECTROLAB



**IMPACTO: Cierre de Pasivos Ambientales Sistema Minero del Sur**

**AGUAS**

Report Date: 22/01/2009

Analyte Symbol	Na	Li	Be	Mg	Al	Si	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn
Unit Symbol	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Detection Limit	0.005	0.001	0.0001	0.001	0.002	0.2	0.03	0.7	0.001	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001
Analysis Method	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
M-1	364	0.36	-0.002	55.8	-0.04	10	6.2	56	-0.02	0.002	0.004	0.01	-0.002
M-2	585	0.55	-0.0025	132.25	0.125	17.5	10.25	110	-0.025	0.0025	0.0025	-0.0125	0.62
M-3	166.4	0.44	-0.002	113.6	0.06	16	7.4	96	-0.02	0.002	0.002	-0.01	0.004
M-4	85.5	0.58	-0.001	68.9	0.06	13	7.7	110	-0.01	0.003	0.001	-0.005	0.003
M-1A	434	0.4	-0.002	66	0.38	14	8.2	70	-0.02	0.006	0.004	-0.01	0.092
M-2A	670	0.7	0.005	156.75	24.075	45	16	137.5	-0.025	0.165	0.025	0.0275	9.775
M-3A	198.8	0.52	-0.002	130.6	1.62	20	9	116	-0.02	0.02	0.004	-0.01	0.58
M-4A	92.8	0.62	0.004	79.2	12.3	30	13.2	147	-0.01	0.881	0.032	0.019	2.63

Analyte Symbol	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y
Unit Symbol	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Detection Limit	0.01	0.000005	0.0003	0.0002	0.0005	0.00001	0.00001	0.00003	0.0002	0.003	0.000005	0.00004	0.000003
Analysis Method	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
M-1	-0.2	-0.0001	0.014	0.006	0.044	-0.0002	0.0004	0.0064	-0.004	0.12	0.00638	0.928	-0.00006
M-2	-0.25	0.000775	0.04	0.0125	0.2175	-0.00025	0.0005	0.013	-0.005	0.175	0.00885	0.75	0.0001
M-3	-0.2	-0.0001	0.014	0.014	0.088	-0.0002	0.0004	0.004	-0.004	0.12	0.00558	0.552	-0.00006
M-4	-0.1	-0.00005	0.018	0.007	0.18	-0.0001	0.0003	0.0084	-0.002	0.2	0.0266	0.667	0.00011
M-1A	1.2	0.0005	0.012	0.016	0.144	-0.0002	0.0024	0.0102	0.006	0.12	0.00842	1.146	0.00016
M-2A	52.5	0.087	0.1525	0.13	0.6025	0.0065	0.0035	0.196	0.0075	0.15	0.048	0.905	0.019925
M-3A	4.4	0.00752	0.03	0.03	0.14	0.0006	0.0024	0.0116	-0.004	0.1	0.00932	0.62	0.0012
M-4A	19.5	0.0303	0.108	0.099	1.34	0.0038	0.0016	0.163	-0.002	0.21	0.0713	0.763	0.0195

*Ing. Roberto M. de Baicopé*  
 GERENTE GENERAL  
 SPECTROLAB

Report: A09-0041



servicios Analíticos - Laboratorio Químico  
Unidad Descentralizada - Universidad Técnica de Oruro

Final Report  
Activation Laboratories



**IMPACTO: Cierre de Pasivos Ambientales Sistema Minero del Sur**

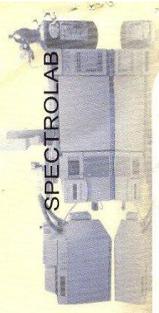
**AGUAS**

Report Date: 22/01/2009

Analyte Symbol	Zr	Nb	Mo	Ru	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Cs
Unit Symbol	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Detection Limit	0.00001	0.00005	0.0001	0.00001	0.00001	0.0002	0.00001	0.00001	0.0001	0.00001	0.0001	0.001	0.000001
Analysis Method	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
M-1	0.0002	-0.0001	0.002	-0.0002	-0.0002	0.536	0.0002	-0.00002	0.002	0.0058	-0.002	1.04	0.0007
M-2	-0.00025	-0.000125	-0.0025	-0.00025	-0.00025	0.01	0.0005	-0.000025	0.005	0.00425	-0.0025	1.9	0.002425
M-3	0.0002	-0.0001	-0.002	-0.0002	-0.0002	0.014	0.0004	-0.00002	0.002	0.0052	-0.002	0.34	0.00152
M-4	0.0002	-0.00005	-0.001	-0.0001	-0.0001	0.003	0.0009	-0.00001	0.001	0.0025	-0.001	0.18	0.0394
M-1A	-0.0002	-0.0001	0.002	-0.0002	-0.0002	0.006	0.001	-0.00002	0.002	0.0102	-0.002	0.64	0.00234
M-2A	0.00075	0.00025	0.005	-0.00025	-0.00025	-0.005	0.00475	0.000375	0.0175	0.01325	-0.0025	1.075	0.05225
M-3A	0.0002	-0.0001	-0.002	-0.0002	-0.0002	0.89	0.0014	0.00002	0.004	0.0062	-0.002	0.22	0.00394
M-4A	0.0011	0.00133	0.001	-0.0001	-0.0001	0.061	0.0084	0.00028	0.007	0.008	-0.001	0.14	0.101

Analyte Symbol	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
Unit Symbol	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Detection Limit	0.0001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
Analysis Method	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
M-1	0.058	0.00018	0.00006	-0.00002	0.00006	0.00006	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002
M-2	0.11	0.0006	0.000125	-0.000025	0.0001	0.00005	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025
M-3	0.06	0.0004	0.00008	-0.00002	0.00006	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002	-0.00002
M-4	0.037	0.00037	0.00005	0.00001	0.00005	0.00002	-0.00001	0.00002	0.00001	0.00001	-0.00001	-0.00001	-0.00001
M-1A	0.104	0.00082	0.0004	0.00004	0.0002	0.00004	-0.00002	0.00004	-0.00002	0.00004	-0.00002	-0.00002	-0.00002
M-2A	0.54	0.0084	0.0195	0.002675	0.01315	0.005125	0.001425	0.007775	0.00115	0.005125	0.0008	0.001825	0.000225
M-3A	0.12	0.00148	0.00126	0.00016	0.00074	0.00042	0.00008	0.00048	0.00008	0.00034	0.00004	0.00012	-0.00002
M-4A	0.312	0.016	0.0331	0.00419	0.0173	0.00452	0.00095	0.00576	0.00086	0.00401	0.00066	0.00179	0.00021

*[Signature]*  
GERENTE GENERAL  
SPECTROLAB



**IMPACTO: Cierre de Pasivos Ambientales Sistema Minero del Sur**  
**AGUAS**  
**Report Date: 22/01/2009**

Analyte Symbol	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi
Unit Symbol	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Detection Limit	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.00002	0.000001	0.000002	0.0003	0.000002	0.0002	0.000001	0.00001	0.0003
Analysis Method	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
M-1	-0.000002	-0.000002	-0.000002	-0.000002	-0.0004	-0.00002	-0.00004	-0.006	0.00012	-0.004	0.00004	0.0044	-0.006
M-2	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	0.00125	-0.000025	-0.00005	-0.0075	0.0001	-0.005	0.000075	0.19725	-0.0075
M-3	-0.000002	-0.000002	-0.000002	-0.000002	0.0006	-0.000002	-0.00004	-0.006	0.00046	-0.004	0.00006	0.0138	-0.006
M-4	-0.000001	-0.000001	-0.000001	-0.000001	0.0004	0.00001	-0.00002	-0.003	0.00005	-0.002	0.00032	0.0072	-0.003
M-1A	-0.000002	-0.000002	-0.000002	-0.000002	0.0006	-0.000002	-0.00004	-0.006	0.00004	-0.004	0.00006	0.0278	-0.006
M-2A	0.001475	0.0002	0.000075	-0.000025	0.00525	-0.000025	-0.00005	-0.0075	0.000125	-0.005	0.000675	0.12875	-0.0075
M-3A	0.000008	-0.000002	-0.000002	-0.000002	0.0008	-0.000002	-0.00004	-0.006	0.00008	-0.004	0.00012	0.0282	-0.006
M-4A	0.00141	0.0002	0.00008	0.00001	0.0012	0.00001	-0.00002	-0.003	0.00011	-0.002	0.00101	0.0523	-0.003

Analyte Symbol	Th	U
Unit Symbol	mg/L	mg/L
Detection Limit	0.000001	0.000001
Analysis Method	ICP-MS	ICP-MS
M-1	-0.000002	0.00158
M-2	-0.000025	0.00155
M-3	-0.000002	0.00056
M-4	-0.000001	0.0013
M-1A	-0.000002	0.00158
M-2A	0.002675	0.0028
M-3A	0.00014	0.00066
M-4A	0.0018	0.00278

*Ing. Roberto M. de Barcope*  
 GERENTE GENERAL  
 SPECTROLAB

# **ANEXO II**

**FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE CAMPO**



Rio Tumusla - Comunidad Camblaya Chica. CHUQUISACA  
Punto de muestreo # 1



Rio Tumusla – Comunidad Camblaya. CHUQUISACA  
Toma de muestras de agua, Punto de muestreo #1



Rio Tumusla – Comunidad Camblaya. CHUQUISACA  
Punto de muestreo # 1, Toma de muestras de sedimentos



Rio Tumusla – Comunidad Camblaya Chica. CHUQUISACA  
Entrevista a comunario



Rio Tumusla- Comunidad Palca Higuera. POTOSI  
Toma de muestra de agua, Punto de muestreo # 2



Rio Tumusla- Comunidad Palca Higuera. POTOSI, Toma de muestra de sedimentos



Río Tumusla – Comunidad Palca Higuera. POTOSI, Entrevista a comunaria



Río Cotagaita – Localidad Cotagaita. POTOSI  
Toma de muestra de agua, Punto de muestreo # 3



Rio - Cotagaita, Localidad de Cotagaita. POTOSI



Vista panorámica Río Cotagaita



Río Cotagaita, Localidad de Cotagaita. POTOSI, Toma de muestra de Agua  
Punto de muestreo # 3



Río Cotagaita, Localidad de Cotagaita. POTOSI, Toma de muestra de Sedimentos  
Punto de muestreo # 3



Río Quechisla- Localidad Quechisla. POTOSI, Toma de muestra de agua  
Punto de muestreo # 4



Río Quechisla, Localidad de Quechisla. POTOSI, Toma de muestra de sedimentos  
Punto de muestreo # 4



Vista panorámica del pasivo ambiental de Atocha – Telamayu



Vista panorámica del pasivo ambiental de Atocha - Telamayu