



ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ENFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

TOMO 3

 **MINMINAS**

 **TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

 **upme**
Unidad de Planeación Minero Energética

20 años



**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO
GGC No 191 DE 2014**

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA - UNIDAD DE
PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO**

Y

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

comprometida con el desarrollo regional

NOVIEMBRE DE 2014



MINMINAS



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



upme
Unidad de Planeación Minero Energética

ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

TOMO 3

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO**



MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

**Punto de atención presencial: Calle 43 N° 57 - 31 CAN - Bogotá D.C.,
Colombia,
PBX: (57) +1 220 0300
Línea gratuita nacional: 01 8000 910 180
Código Postal 111321**

| | |
|--|--------------------------------------|
| Ministro: | TOMAS GONZÁLEZ ESTRADA |
| Secretaría General Ministerio: | GERMÁN EDUARDO QUINTERO ROJAS |
| Viceministra: | MARÍA ISABEL ULLOA CRUZ |
| Director de Formalización Minera: | MÓNICA MARÍA GRAND MARÍN |
| Supervisor del Contrato: | LINA PAOLA BARRERA STERLING |
| Equipo Jurídico: | JUAN JOSÉ PARADA HOLGUÍN |



UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO – UMPE

**Sede: Avda. Calle 26 # 69 D-91, Piso 9°. Bogotá, Colombia
PBX: 57- 1 222 06
FAX: 57 – 1 221 95 37
Línea Gratuita Nacional: 0 8000 91 17 29**

| | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Directora General: | ÁNGELA INÉS CADENA MONROY |
| Subdirectora de Minería: | SARA C. CÁRDENAS CASTILLO |
| Equipo Jurídico: | GUILLERMO GÓMEZ LÓPEZ |
| Supervisor del Contrato: | CAMILO GÓMEZ USUGA |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

EQUIPO DE TRABAJO

| | |
|---|---|
| Ph.D. Ing. José Luís Marrugo Negrete | Director del Estudio |
| Ph. D. Pablo Higuera Higuera | Profesional temático en Minería y recursos mineros |
| Ph.D. José Antonio Grande Gil | Experto Internacional Doctor en Geología |
| MSc. Jairo Herrera Arango | Profesional temático en Minería y recursos mineros |
| Ph.D. Teresa Fernández Valente | Profesional temático en Minería, Experto internacional Minería y Ambiente |
| Dr. Santiago Español Cano | Profesional en Salud Ocupacional Minera |
| Ph.D. Efrén García Ordiales | Experto Internacional Minería |
| MSc. Roberth Paternina Uribe | Coordinador Operativo |
| Ing. William Batista Jinete | Profesional de Apoyo Minero Ambiental |
| MSc. Doris Serrano Amaya | Profesional en SIG |
| Ing. Karol Velásquez Barrios | Ingeniera Sanitaria y Ambiental Profesional de Apoyo |
| MSc. Benjamín Castillo Osorio | Profesional temático en Economía |
| MSc. Luis Díaz Vargas | Profesional temático en Economía |
| MSc. Jhon Jairo Fera Díaz | Profesional en Ambiental |
| MSc. Freddy Young Castro | Profesional en Ambiental |
| MSc. Iván Urango Cárdenas | Experto en análisis químico |
| Ph.D. Carlos Salazar | Químico de Apoyo |
| MSc. José Pinedo Hernández | Experto en Análisis Químico Ambiental |
| MSc. Saudith Burgos Núñez | Experta en Análisis Químico Ambiental |
| Norbey Marin Arredondo | Profesional en estadística |
| Geog. Juan Camilo Ospino | Geógrafo |
| Álvaro Darío Ramos Tirado | Geógrafo |
| Ing. Ivonne Negrete Sierra | Ingeniera Ambiental de apoyo |
| Ing. Paola Burgos Arroyo | Ingeniera Ambiental de apoyo |
| Ing. Zunilda Roca Montalvo | Ingeniera Ambiental de apoyo |
| Alexis De León Navarro | Tecnólogo en Producción Estudiante X semestre Ingeniera Ambiental |
| Ing. Mayra Luna Arcila | Ingeniera Ambiental de apoyo |
| Ing. Sully Morelos Figueroa | Ingeniera Ambiental de apoyo |
| Ing. Emilio Soto Hoyos | Ingeniero Ambiental de apoyo |
| Ing. Ana Nieves Padilla | Ingeniera Ambiental de apoyo |
| Ing. Jenifer Márquez Solera | Ingeniera de Minas y Metalurgia |
| Ing. Norma Orozco Ravelo | Ingeniera de Minas y Metalurgia |
| Dr. Federico Molina Castaño | Médico Especialista en Toxicología y Salud Ocupacional |

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO**

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| PRESENTACIÓN | 15 |
| CAPITULO 6 | 16 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 17 |
| 2. LAS ZONAS CALIENTES ESTUDIADAS | 18 |
| 2.1 FRONTINO | 18 |
| 2.2 NORDESTE Y BAJO CAUCA | 20 |
| 2.3 PUERTO NARE | 23 |
| 2.4 SAN MARTÍN DE LOBA | 25 |
| 2.5 SANTA ROSA DEL SUR | 27 |
| 2.6 MARMATO | 29 |
| 2.7 LITORAL PACIFICO | 32 |
| 2.8 MERCADERES | 34 |
| 2.9 TAMBO – BUENOS AIRES | 35 |
| 2.10 SAN JUAN – ITSMINA | 37 |
| 2.11 TERUEL –AIPE | 39 |
| 2.12 COSTA PACIFICA DEL SUR | 41 |
| 2.13 LA LLANADA | 43 |
| 2.14 PUTUMAYO | 44 |
| 2.15 VETAS-CALIFORNIA | 46 |
| 2.16 MONTELIBANO | 48 |
| 2.17 ATACO | 50 |
| 2.18 BERMELLÓN | 52 |
| 2.19 CALI-DOVIO | 54 |
| 3. LA DEMANDA TOTAL DE MERCURIO EN LAS PRINCIPALES ZONAS CALIENTES DEL PAÍS | 56 |
| 3.1 PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN DE ORO DE FILÓN Y DE ALUVIÓN | 56 |
| 3.2 USOS Y CONSUMO (DESCARGAS) DE MERCURIO EN LA MINERÍA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA | 56 |
| 3.3 APROXIMACIÓN A UNA ESTIMACIÓN DE USOS Y DESCARGAS DE MERCURIO POR DISTRITO | 59 |
| 4. LA MINERÍA EN LAS ZONAS CALIENTES | 64 |
| 4.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA EXTRACCIÓN ILÍCITA EN LAS ZONAS CALIENTES Y SUS CONSUMOS DE MERCURIO ASOCIADO | 64 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

| | | |
|---------------------|--|------------|
| 4.2 | DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS BAREQUEROS EN LAS ZONAS CALIENTES Y SUS CONSUMOS DE MERCURIO ASOCIADO | 64 |
| 4.3. | EL CONSUMO O USO TOTAL DE MERCURIO POR LA EXTRACCIÓN ILÍCITA EN LAS ZONAS CALIENTES | 66 |
| 5. | CONCLUSIONES | 70 |
| 6. | RECOMENDACIONES | 71 |
| CAPITULO 7 | | 72 |
| 1. | RESUMEN | 73 |
| 2. | INTRODUCCIÓN | 74 |
| 2.1 | GENERALIDADES | 74 |
| 3. | BALANCE POR DEPARTAMENTO | 75 |
| 3.1 | BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA | 75 |
| 3.2 | BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR | 78 |
| 3.3 | BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE CAUCA | 81 |
| 3.4 | BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE CHOCÓ | 83 |
| 3.5 | BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO | 86 |
| 3.6 | BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA | 88 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 92 |
| CAPITULO 8 | | 95 |
| 1. | INTRODUCCIÓN | 96 |
| 1.1 | USOS DE MERCURIO EN PROCESO AURÍFERO | 97 |
| 1.2 | MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES. | 98 |
| 2. | LAS ZONAS CALIENTES POR CONTAMINACIÓN DE MERCURIO PRODUCTO DE LOS PROCESOS MINEROS EN EL PAÍS | 102 |
| 2.1 | METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE LAS ZONAS CALIENTES | 102 |
| 2.2 | IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS CALIENTES Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA | 107 |
| 2.3 | EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LAS ZONAS CALIENTES Y MATRIZ DOFA DE LAS ZONAS CALIENTES. | 151 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 174 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

| | |
|--|------------|
| CAPITULO 9 | 177 |
| INTRODUCCIÓN | 178 |
| PARTE 1. TRATAMIENTOS Y REMOCIÓN DE RESIDUOS MINEROS I | 180 |
| 1. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE | 180 |
| 2. CONSIDERACIONES INICIALES | 181 |
| 2.1 LA CONTAMINACIÓN POR METALES | 181 |
| 2.2 DIAGNÓSTICO DE AFECCIÓN PRE Y POST-OPERACIONAL | 183 |
| 2.3 EL BINOMIO MINERÍA-AMBIENTE Y SUS EXIGENCIAS DE SOSTENIBILIDAD | 185 |
| 3. BREVE REFLEXIÓN SOBRE EL CONCEPTO DE RESIDUO | 187 |
| 3.1 MINERÍA ARTESANAL DE ORO CON EMPLEO DE MERCURIO: UN PROBLEMA AMBIENTAL POR RESOLVER | 188 |
| 3.2 LA AMALGAMACIÓN COMO GENERADORA DE RESIDUOS Y EMISIONES | 190 |
| 4. NORMATIVAS DE REFERENCIA | 193 |
| 4.1 AGENDA AMBIENTAL PARA EL SECTOR DE MINERÍA – MINISTERIO DE MINAS DE COLOMBIA, 2010 | 193 |
| 4.2 CONVENIO DE MINAMATA | 193 |
| 4.3 LEY 1658/2013 SOBRE RESTRICCIONES AL USO DE MERCURIO | 194 |
| 5. INTERVENCIONES PREVIAS PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN MINERÍA ARTESANAL DEL ORO (AGM) | 195 |
| 6. ORIENTACIONES Y BUENAS PRÁCTICAS PARA MINIMIZAR EL USO Y EL RIESGO DE LA CONTAMINACIÓN GLOBAL POR MERCURIO | 199 |
| 6.1 MEDIDAS GENERALES DE CARÁCTER ESTATAL O REGIONAL | 199 |
| 6.2 SOLUCIONES TÉCNICAS PARA MINIMIZAR EL USO Y EXPOSICIÓN AL MERCURIO | 200 |
| 6.3 MEDIDAS DE REMEDIACIÓN | 203 |
| 7. CONCLUSIONES | 204 |
| PARTE 2. TRATAMIENTOS Y REMOCIÓN DE RESIDUOS MINEROS II | 205 |
| 1. TECNOLOGÍA DE PRECIPITACIÓN | 205 |
| 1.1. REACTIVOS TÍPICOS DE TRATAMIENTO | 205 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

| | | |
|-----------|---|------------|
| 1.2. | PARÁMETROS OPERACIONALES IMPORTANTES | 206 |
| 1.3. | TRAZABILIDAD DE METALES INDIVIDUALES | 207 |
| 1.4. | TRATAMIENTOS DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES | 209 |
| 2. | <u>TECNOLOGÍA DE PRECIPITACIÓN-CRISTALIZACIÓN</u> | 214 |
| 2.1. | DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA | 214 |
| 2.2. | RECUPERACIÓN DE NÍQUEL EN AGUAS RESIDUALES DE GALVANOPLASTIA | 215 |
| 2.3. | REMOCIÓN DE HIERRO EN DRENAJE ÁCIDO DE MINAS | 215 |
| 2.4. | TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES | 215 |
| 3. | <u>TECNOLOGÍAS ELECTROQUÍMICAS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS</u> | 221 |
| 3.1. | TECNOLOGÍA DE ELECTRODEPOSICIÓN | 221 |
| 3.2. | APLICACIÓN INDUSTRIAL | 222 |
| 3.3. | LA ELECTROCOAGULACIÓN | 223 |
| 3.4. | ELECTROFLOTACIÓN | 223 |
| 3.5. | COMBINACIÓN DE CE Y EF | 224 |
| 3.6. | ARREGLOS CELULARES | 224 |
| 3.6. | TRATAMIENTOS DE CONTAMINANTES | 226 |
| 4. | <u>TECNOLOGÍA DE LA ADSORCIÓN</u> | 230 |
| 4.1. | CARBÓN ACTIVADO | 230 |
| 4.2. | BIOSORBENTES | 231 |
| 4.3. | PREPARACIÓN DE BIOSORBENTES | 232 |
| 4.4. | SISTEMA DE TRATAMIENTO DE ADSORCIÓN | 233 |
| | <u>CONCLUSIONES</u> | 237 |
| | <u>RECOMENDACIONES</u> | 239 |
| | <u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> | 240 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabla 1. | Producción de oro en el distrito Frontino _____ | 20 |
| Tabla 2. | Producción de oro en el distrito Nordeste y Bajo Cauca _____ | 23 |
| Tabla 3. | Producción de oro en el distrito Puerto Nare _____ | 25 |
| Tabla 4. | Producción de oro en el distrito San Martín de Loba _____ | 27 |
| Tabla 5. | Producción de oro en el distrito Santa Rosa del Sur _____ | 29 |
| Tabla 6. | Producción de oro del distrito Marmato _____ | 32 |
| Tabla 7. | Producción de oro del distrito Litoral del Pacífico _____ | 33 |
| Tabla 8. | Producción de oro del distrito Mercaderes _____ | 35 |
| Tabla 9. | Producción de oro en el distrito Tambo - Buenos Aires _____ | 37 |
| Tabla 10. | Producción de oro en el distrito San Juan – Itsmina _____ | 39 |
| Tabla 11. | Producción de oro del distrito Teruel – Aipe _____ | 41 |
| Tabla 12. | Producción de oro del distrito Costa Pacífica del Sur _____ | 42 |
| Tabla 13. | Producción de oro del distrito La Llanada _____ | 44 |
| Tabla 14. | Producción de oro del distrito Putumayo _____ | 46 |
| Tabla 15. | Producción de oro del distrito Vetas-California _____ | 48 |
| Tabla 16. | Producción anual de oro del distrito Montelíbano _____ | 50 |
| Tabla 17. | Producción anual de oro del distrito Ataco _____ | 52 |
| Tabla 18. | Producción anual de Oro del distrito Bermellón _____ | 53 |
| Tabla 19. | Producción anual de oro del distrito Cali-Dovio _____ | 55 |
| Tabla 20. | Porcentaje de producción de oro de filón y aluvión _____ | 56 |
| Tabla 21. | Cantidades de mercurio utilizadas de acuerdo al tipo de establecimiento de beneficio mineral _____ | 58 |
| Tabla 22. | Uso de mercurio en metodos alternativos de estimación de uso de mercurio _____ | 58 |
| Tabla 23. | Usos promedio de gr Hg/gr Au recuperado _____ | 60 |
| Tabla 24. | Valores promedio de pérdidas de mercurio en distintos distritos mineros _____ | 62 |
| Tabla 25. | Usos y descargas de mercurio en los distritos mineros auríferos colombianos para 2013 _____ | 62 |
| Tabla 26. | Uso de mercurio en metodos alternativos de estimación de uso de mercurio _____ | 66 |
| Tabla 27. | Valores promedio de uso de mercurio en distintos distritos mineros _____ | 68 |
| Tabla 28. | Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Antioquia _____ | 75 |
| Tabla 29. | Producción total de oro en Antioquia y oro producido por grandes Empresas _____ | 77 |
| Tabla 30. | Producción de Oro en el Departamento de Antioquia y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural _____ | 78 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

| | |
|---|-----|
| Tabla 31. Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Bolívar _____ | 79 |
| Tabla 32. Producción total de oro en Bolívar _____ | 80 |
| Tabla 33. Producción de Oro en el Departamento de Bolívar y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural _____ | 81 |
| Tabla 34. Relación Mercurio gastado por oro producido en el departamento de Cauca _____ | 82 |
| Tabla 35. Producción de Oro en el Departamento de Cauca y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural _____ | 83 |
| Tabla 36. Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Chocó _____ | 84 |
| Tabla 37. Producción de Oro en el Departamento de Chocó y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural _____ | 85 |
| Tabla 38. Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Nariño _____ | 86 |
| Tabla 39. Producción de Oro en el Departamento de Nariño y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural _____ | 87 |
| Tabla 40. Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Córdoba _____ | 88 |
| Tabla 41. Producción de Oro en el Departamento de Córdoba y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural _____ | 89 |
| Tabla 42. Criterios de evaluación _____ | 99 |
| Tabla 43. Matriz ambiental primer escenario (cumplimiento normativo y buenas prácticas) _____ | 100 |
| Tabla 44. Matriz ambiental segundo escenario (mercurio de contrabando y malas prácticas) _____ | 101 |
| Tabla 45. Producción acumulada por departamentos entre 2001 y 2013 _____ | 103 |
| Tabla 46. Unidades productivas mineras (UPM) auríferas (MME, 2012) _____ | 104 |
| Tabla 47. Matriz básica de diagnóstico DOFA _____ | 160 |
| Tabla 48. Aspectos destacados _____ | 163 |
| Tabla 49. Matriz Fortalezas - Debilidades _____ | 166 |
| Tabla 50. Matriz Fortalezas - Amenazas _____ | 167 |
| Tabla 51. Matriz Fortalezas - Amenazas _____ | 169 |
| Tabla 52. Matriz Debilidades - Amenazas _____ | 170 |
| Tabla 53. Sugestión de fases a seguir para una intervención técnica bien sucedida en la minería artesanal. _____ | 196 |
| Tabla 54. Comparativa de precios de diferentes Absorbentes _____ | 232 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|-------------|--|-----|
| Grafico 1. | Kilogramos de mercurio Consumidas por los principales departamentos productores de oro en Colombia _____ | 73 |
| Grafico 2. | Relación gramos de mercurio por cada gramo de oro producido en los municipios de Antioquia. _____ | 76 |
| Grafico 3. | Relación gramos de mercurio por cada gramo de oro producido en los municipios de Antioquia. _____ | 77 |
| Grafico 4. | Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento de Bolívar _____ | 80 |
| Grafico 5. | Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento del Cauca _____ | 82 |
| Grafico 6. | Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento del Chocó. _____ | 85 |
| Grafico 7. | Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento de Nariño. _____ | 87 |
| Grafico 8. | Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento de Córdoba. _____ | 89 |
| Grafico 9. | Aporte de producción de oro por Departamentos en Colombia, durante el período 2008 a 2013. _____ | 90 |
| Grafico 10. | Toneladas de mercurio aportadas por los principales departamentos productores de oro en Colombia _____ | 91 |
| Grafico 11. | Distribución porcentual de UPM según el Censo minero (MME, 2012) _____ | 104 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | | |
|-------------|---------------------------------------|-----|
| Ecuación 1. | Consumo Anual de mercurio (Kg) _____ | 60 |
| Ecuación 2. | Descarga anual de Mercurio (Kg) _____ | 61 |
| Ecuación 3. | Consumo Anual de mercurio (Kg) _____ | 68 |
| Ecuación 4. | _____ | 207 |
| Ecuación 5. | _____ | 208 |
| Ecuación 6. | _____ | 208 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

ÍNDICE DE MAPAS

| | |
|---|-----|
| Mapa 1. Ubicación del distrito minero aurífero Frontino | 18 |
| Mapa 2. Ubicación del distrito minero aurífero Nordeste y Bajo Cauca | 20 |
| Mapa 3. Ubicación del distrito minero aurífero Puerto Nare | 24 |
| Mapa 4. Ubicación del distrito minero aurífero San Martín de Loba | 26 |
| Mapa 5. Ubicación del distrito minero aurífero Santa Rosa del Sur | 28 |
| Mapa 6. Ubicación del distrito minero aurífero Marmato | 30 |
| Mapa 7. Ubicación del distrito minero Litoral del Pacífico | 32 |
| Mapa 8. Ubicación del distrito minero Mercaderes | 34 |
| Mapa 9. Ubicación del distrito minero Tambo - Buenos Aires..... | 36 |
| Mapa 10. Ubicación distrito minero San Juan - Itsmina..... | 38 |
| Mapa 11. Ubicación del distrito minero Teruel – Aipe | 40 |
| Mapa 12. Ubicación del distrito Minero Costa Pacífica del Sur | 41 |
| Mapa 13. Ubicación del distrito minero La Llanada | 43 |
| Mapa 14. Ubicación distrito minero Putumayo | 45 |
| Mapa 15. Ubicación del distrito minero Vetas-California | 47 |
| Mapa 16. Ubicación del distrito minero Montelibano | 49 |
| Mapa 17. Ubicación del distrito minero Ataco | 51 |
| Mapa 18. Ubicación del distrito minero Bermellon | 52 |
| Mapa 19. Ubicación del distrito minero Cali-Dovio | 54 |
| Mapa 20. Sitios Calientes | 105 |
| Mapa 21. Ubicación Zonas Calientes Municipio de Frontino | 108 |
| Mapa 22. Ubicación Zonas Calientes Municipio de Buritica | 110 |
| Mapa 23. Ubicación zonas calientes municipio de Segovia | 111 |
| Mapa 24. Ubicación zonas calientes municipio de Zaragoza, Región Centro | 112 |
| Mapa 25. Ubicación zonas calientes municipio de Zaragoza, Región Norte | 113 |
| Mapa 26. Ubicación zonas calientes municipio de El Bagre, Región Centro | 115 |
| Mapa 27. Ubicación zonas calientes municipio de El Bagre, región El Real | 116 |
| Mapa 28. Ubicación zonas calientes municipio de Remedios..... | 117 |
| Mapa 29. Ubicación sitios calientes municipios de Lloro..... | 119 |
| Mapa 30. Ubicación sitios calientes municipio de Tadó | 120 |
| Mapa 31. Ubicación sitios calientes municipio Unión Panamericana, Región Centro- Animas | 121 |
| Mapa 32. Ubicación sitios calientes municipio Unión Panamericana, Región Sur -Occidente | 122 |
| Mapa 33. Ubicación sitios calientes municipio de Condoto..... | 124 |
| Mapa 34. Ubicación sitios calientes municipio de Arenal..... | 126 |
| Mapa 35. Ubicación sitios calientes municipio de Morales | 127 |
| Mapa 36. Ubicación sitios caliente municipio barranco de loba..... | 129 |
| Mapa 37. Ubicación Sitios Calientes municipio de San Martin de Loba, Región Norte y región Sur- occidente | 131 |
| Mapa 38. Ubicación sitios calientes municipio de San Martin de Loba, región Sur- occidente..... | 132 |
| Mapa 39. Ubicación sitios calientes municipio Puerto Libertador | 133 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

| | |
|---|-----|
| Mapa 40. Ubicación sitios calientes municipio Marmatos..... | 135 |
| Mapa 41. Ubicación sitios calientes Municipios de Manizales | 137 |
| Mapa 42. Ubicación sitios calientes municipio de Suarez..... | 139 |
| Mapa 43. Ubicación sitios calientes municipio Los Andes Sotomayor..... | 142 |
| Mapa 44. Ubicación sitios calientes municipio de Colon | 144 |
| Mapa 45. Ubicación Sitios Calientes Municipio Mallama | 146 |
| Mapa 46. Ubicación sitios calientes municipio de Ataco | 148 |
| Mapa 47. Ubicación sitios calientes municipio de Chaparral..... | 149 |
| Mapa 48. Ubicación sitios calientes municipio de Quinchía, región oriente. | 150 |
| Mapa 49. Ubicación sitios calientes municipio de Quinchia, región sur-oriente. | 151 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Ilustración 1. | Generación de residuos y efluentes en el proceso de tratamiento mineral _____ | 188 |
| Ilustración 2. | Resumen del tipo de medidas a introducir a corto y largo plazo, siempre mediadas por campañas de educación de las comunidades mineras. _____ | 204 |
| Ilustración 3. | Solubilidad de precipitados metálicos; a) Hidróxido $M(OH)_2$ b) Carbonato MCO_3 ; c) Sulfuro MS. _____ | 206 |
| Ilustración 4. | Efecto pH en la distribución de especies de cianuro _____ | 207 |
| Ilustración 5. | Sistema de tratamiento de metales pesados en aguas residuales (mineras y de electroplatinizado) _____ | 210 |
| Ilustración 6. | Remoción de metales por precipitado insoluble de sulfuro. _____ | 211 |
| Ilustración 7. | Sistema híbrido de remoción de metales. _____ | 212 |
| Ilustración 8. | Ilustración de sistema de tratamiento segregado y dificultades en el tratamiento _____ | 213 |
| Ilustración 9. | Diagrama del proceso de precipitación-cristalización para el tratamiento de aguas residuales que contienen cobre, plomo, níquel, y zinc. _____ | 216 |
| Ilustración 10. | Mecanismos de formación de precipitados de metales. _____ | 217 |
| Ilustración 11. | Fotografía SEM de arena recubierta de metal _____ | 217 |
| Ilustración 12. | Contenido de metales pesados en las partículas de arena recogidas de reactor de lecho fluidizado (Reactor 1) y el filtro (Reactor 2). _____ | 218 |
| Ilustración 13. | Diagrama del proceso de sistema de reactor biorreactor/cristalización de sulfato-reductores. Se utiliza NaOH 1M de NaOH para la absorción de biogás en el sistema de "gestión de biogás". _____ | 219 |
| Ilustración 14. | Reactor de lecho fluidizado para la remoción de arsénico. _____ | 220 |
| Ilustración 15. | Diagrama del proceso de proceso de FBC para tratamiento de aguas residuales que contiene arsénico de alta resistencia. _____ | 220 |
| Ilustración 16. | Dispositivo de tratamiento electroquímico para remoción de cadmio _____ | 222 |
| Ilustración 17. | Reactor electroquímico para CE / EF. _____ | 225 |
| Ilustración 18. | Tecnologías combinadas electrocoagulación y electroflotación. _____ | 226 |
| Ilustración 19. | Diagrama esquemático del sistema de electrocoagulación para el tratamiento de Cu en aguas residuales CMP _____ | 227 |
| Ilustración 20. | Esquema del sistema combinado de CE y EF para el tratamiento de aguas residuales de cromo hexavalente. _____ | 228 |
| Ilustración 21. | Diagrama esquemático de híbrido CE/EF y la membrana del proceso para el tratamiento de aguas residuales de metales concentrados _____ | 229 |
| Ilustración 22. | Ilustración de algas marinas típicas de biosorción de metales pesados. _____ | 232 |
| Ilustración 23. | Proceso de biosorción basada en reactor de lecho fluidizado. _____ | 234 |
| Ilustración 24. | Proceso de absorción basado en reactor de tanque agitado. _____ | 234 |
| Ilustración 25. | Proceso de biosorción basado en lecho fijo. _____ | 235 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

PRESENTACIÓN

Colombia se encuentra comprometida con el cumplimiento del Convenio de Minamata, para la eliminación de uso de mercurio en sus operaciones mineras, para lo cual ha sancionado la Ley 1658 del 13 de julio de 2013, que le permite definir estrategias tendientes al cumplimiento de este convenio. Conforme los lineamientos de ésta, la prohibición del uso del metal comenzará a regir en 10 años para los proyectos industriales y en cinco para los mineros, para dar un plazo de adaptación tanto a las industrias como a los mineros.

Con el fin de poseer una estructura documental sobre el uso de mercurio en el sector minero, construida con base en información primaria de la situación real actual del sector minero aurífero del país, el Ministerio de Minas y Energías y la Unidad de Planeación Minero Energética, han obtenido los productos asociados a los aspectos técnicos y ambientales relacionados con este elemento.

Estos se encuentran distribuidos en los capítulos 6, 7, 8 y 9, los cuales hacen referencia a: Capítulo 6; Posee un estudio técnico detallado de las zonas calientes identificadas en el objetivo específico 5 del Estudio de Cadena de Mercurio, donde se correlacionan la información de la demanda de estas regiones con actividad de beneficio de oro de manera formal. El Capítulo 7. Presenta el balance másico del mercurio en toneladas en las regiones identificadas. El Capítulo 8. Presenta mapas en plataforma de sistema de información geográfica que permite analizar los tipos de transporte utilizados y un análisis DOFA que permite determinar posibles acciones para mejorar los niveles de control asociados al comercio del mercurio e identificando posibles rutas de contrabando para usos asociados a procesos de beneficio de oro en el país. Finalmente, el capítulo 9. Presenta las propuestas de mejores opciones para el manejo y la gestión integral del suelo y agua contaminados con mercurio en la actividad minera aurífera (según glosario del convenio de Minamata), considerando la reglamentación ambiental existente en materia de residuos peligrosos y buenas prácticas técnicas, ambientales y de seguridad industrial, en las regiones seleccionadas; con el fin de prevenir e ir reduciendo las emisiones y/o liberaciones de mercurio a la atmósfera, el agua y la tierra, teniendo en cuenta consideraciones económicas.

Esperamos que la información contenida en este documento aporte la información técnica requerida para conformar la línea base de mercurio utilizado en el sector minero aurífero, permitiendo tener suficiente soporte para llevar a cabo los controles y vigilancia de cada una de las zonas evaluadas y estrategias que permitan reducir la demanda generada por éstas, en lo referente al uso de mercurio

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

CAPITULO 6

Realizar un estudio técnico detallado de las zonas calientes identificadas en el objetivo específico 5, para correlacionar la información de la demanda de estas regiones con respecto a personas naturales y/o jurídicas que ejercen la actividad de beneficio de oro de manera formal, identificando el tipo de minería y la proporción de mercurio que es usado por la minería formal, informal y barequeros en cada una de las regiones.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

1. INTRODUCCIÓN

Las explotaciones auríferas del país, que utilizan mercurio en sus procesos de amalgamación de oro, están identificadas y son operaciones logísticas sencillas en la aplicación del metal por parte de los mineros. La fácil adquisición del metal y su distribución generalizada en el país ha contribuido a que se diversifique las formas de aplicación y uso en el sector minero.

Colombia dentro de las expectativas de cumplimiento del Convenio de Minamata, para la eliminación de uso de mercurio en sus operaciones mineras, ha sancionado una Ley que le permite definir estrategias tendientes al cumplimiento de este convenio. Conforme los lineamientos de la Ley 1658 del 13 de julio de 2013, la prohibición del uso del metal comenzará a regir en 10 años para los proyectos industriales y en cinco para los mineros, para dar un plazo de adaptación tanto a las industrias como a los mineros.

En el periodo de cinco (5) años propuesto en el artículo tercero de esta ley, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y Colciencias con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y las autoridades ambientales, promoverán con las diferentes instituciones de educación superior del país, el sector privado y demás entidades o actores, el desarrollo de convenios, proyectos y programas, para la implementación de estrategias de producción más limpia, para alcanzar la meta propuesta de eliminación del uso del mercurio.

El uso de mercurio, en la minería colombiana, es una práctica medieval para la explotación de oro y Colombia cada día tiene que ser más responsable en la administración de manera sostenible y de sus recursos naturales, pero para poder controlar el uso de mercurio, poder minimizar su aplicación y alcanzar niveles de uso mínimos o nulos del metal se deben conocer los procesos y la distribución en el país de la minería basada en uso de mercurio.

En Colombia se calcula que se produjeron 66,0 toneladas de oro en el año 2013, 6% por encima de la meta oficial, y que al menos 17.000 personas trabajan de forma artesanal, mientras otras 51.000 lo hacen sin contar un título minero o licencia.

En este documento se describen las zonas incluidas en presente estudio, ubicadas en los departamentos de Antioquia, Bolívar, Cauca, Chocó, Caldas, Córdoba, Nariño, Risaralda y Tolima, el conocimiento de éstas desde la perspectiva de la explotación aurífera y de uso de mercurio en sus procesos, permitirá tener la información básica para definir las estrategias de operación que se deben implementar a futuro en el camino a la eliminación de uso de mercurio en la explotación minera aurífera.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2. LAS ZONAS CALIENTES ESTUDIADAS

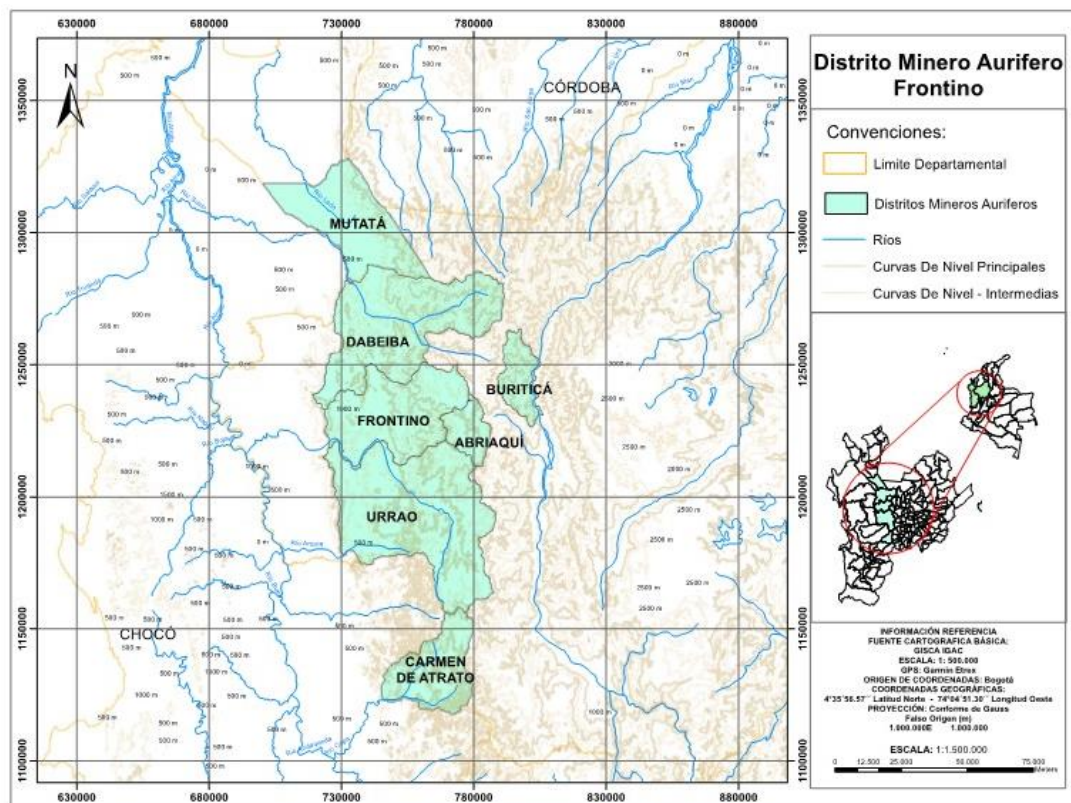
2.1 FRONTINO

Ubicado en el occidente Antioqueño, entre las cordilleras Central y Occidental; sobre la vertiente izquierda del río Cauca y el piedemonte oriental de la Cordillera Occidental. Los municipios productores de oro en el distrito son: Buriticá, Frontino, Dabeiba, Abriaquí, Mutatá y Urrao, en el departamento de Antioquia, y El Carmen de Atrato en el departamento de Choco (Mapa 1).

El acceso a los municipios de Anzá, Frontino, Cañasgordas, Dabeiba, Mutatá y Buriticá, es a través de la vía al mar, carretera Medellín-Turbo. Además la carretera Medellín-Quibdó, permite la entrada a los municipios de Urrao y El Carmen de Atrato.

La posición estratégica en la que se encuentra el distrito, le permite disfrutar de gran variedad de pisos térmicos y climas, dando la posibilidad de cultivar todo tipo de productos y el desarrollo de la actividad pecuaria. Esta situación da pie a predisponer una buena dinámica económica a futuro en torno a la minería.

Mapa 1. Ubicación del distrito minero aurífero Frontino



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.1.1 Características Geológicas

El distrito se caracteriza por presentar depósitos filoneanos y de aluvión con sulfuros de oro y plata, asociados al batolito de Mandé; emplazados en rocas volcano-sedimentarias del cretáceo, e intrusivas de composición dioríticas a andesíticas de edad terciaria.

Los municipios de Frontino, Dabeiba, Abriaquí, Mutatá y Urrao, presentan mineralizaciones asociadas a cuerpos intrusivos del terciario tales como Morro Pelao, Morro Gacho, El Plateado, Farallones del Citará, Paramos de Frontino y su aureola de contacto, con rocas sedimentarias en la formación Penderisco. Sin embargo, en el municipio de Buriticá la mineralización está relacionada con la roca andesítica de Buriticá, que ha sido afectada por las intrusiones dioríticas del stock de la zona, con una amplia brechificación y alteración hidrotermal (Consortio Silva Carreño & Millan, H. ,2004) (INCOPLAN SA, 2010)

La mayoría de la mineralización de la zona son filones simples, compuesto o ramificados, con espesores menores a 1 metro, caracterizados por una estructura de rosario y desplazamientos pequeños producidos por fallas normales. Los depositos aluviales se localizan en los ríos: Sucio, Uraudó, Tasidó, Uramá y Mutatá.

2.1.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

Los depósitos filoneanos son extraídos por sistemas de explotación subterráneos, por el método artesanal de guías. Las labores de preparación y desarrollo inician con la ubicación de galerías o inclinados, en la zona donde aflore la veta y se continúa la excavación siguiendo al filón.

Las operaciones unitarias de arranque, son realizadas con explosivos; las labores de cargue y transporte se efectúan con herramientas de mano. Para recuperar el oro se utilizan procesos de amalgamación artesanales, mesas concentradoras y bateas. Todos estos, inician con un proceso de trituración en molinos de piones tipo californiano y molinos pequeños de bolas; este concentrado pasa a barriles amalgamadores y por último se procede a un lavado para conseguir la amalgama (Consortio Silva Carreño & Millan, H. ,2004).

Por otro lado los depósitos aluviales son explotados con motobombas, en apiques a las orillas del río. Para recuperar el oro, el material extraído se pasa por canelones con rifles con o sin mercurio, donde quedan los concentrados de oro.

2.1.3 Producción de Oro

En la tabla 1 se observan la producción anual de oro del distrito, durante los últimos 10 años.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 1 Producción de oro en el distrito Frontino

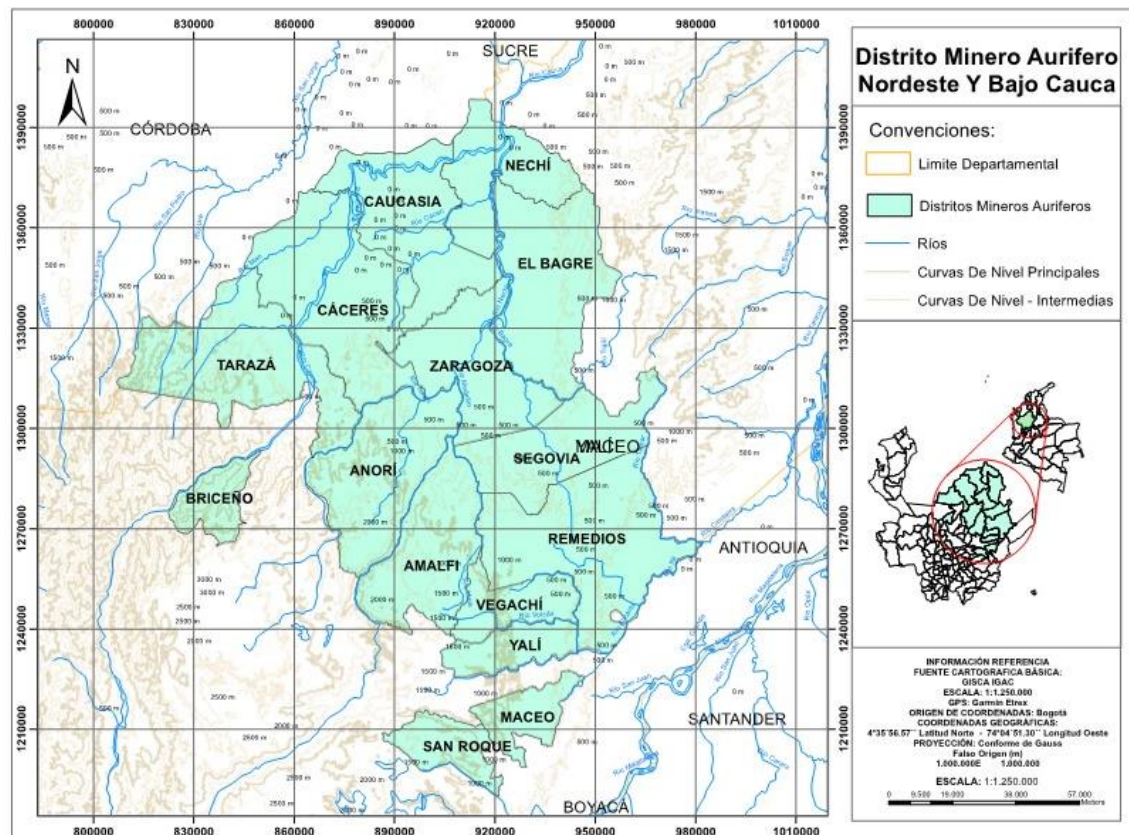
| Frontino | Producción Anual (Gr) | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Buritica | 57178,25 | 58088,43 | 54188,37 | 49988,65 | 24494,73 | 58815,68 | 268686,09 | 188817,94 | 143662,18 | 196478,86 | 748818,2 |
| Frontino | 45424,63 | 55858,21 | 15534,63 | 17303,74 | 52743,86 | 66615,26 | 33897,24 | 201100,95 | 4005,67 | 22733,77 | 6591,64 |
| Dabeiba | 1097,39 | 1970,48 | 1047,52 | 855,68 | 786,99 | 98,38 | 298,39 | 3282,95 | 935,15 | 3795,2 | 2861,28 |
| Abriaquí | 234,89 | 1500,62 | 2469,69 | 2760,08 | 2873,59 | 1197,32 | 4582,43 | 6314,19 | 6830,6 | 3603,15 | 8431,22 |
| Mutató | 0 | 1049,05 | 52,83 | 160,31 | 0 | 0 | 113,85 | 43,52 | 96,8 | 3865,47 | 58343,3 |
| Urao | 2707,79 | 1492,56 | 443,76 | 161,25 | 245,72 | 0 | 50,25 | 3189,7 | 0 | 14499,59 | 342,87 |
| El Carmen de Atrato | 138229,6 | 419,3 | 371,54 | 177,62 | 0 | 347,57 | 27124,41 | 111688,64 | 110010,64 | 37918,34 | 60774,91 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.2 NORDESTE Y BAJO CAUCA

Ubicado en al occidente del país y al nordeste del departamento de Antioquia. Se caracteriza por ser el principal productor de oro del país (Mapa 2).

Mapa 2. Ubicación del distrito minero aurífero Nordeste y Bajo Cauca



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

El distrito está conformado por los municipios: Amalfi, Anorí, Briceño, Cáceres, Cauca, El Bagre, Nechí, Maceo, Remedios, San Roque, Segovia, Tarazá, Vegachí, Yalí y Zaragoza.

Las vías que conectan el distrito con el país son: La troncal del Nordeste, la troncal de la Paz y el cordón vial del Bajo Cauca, que permite el acceso a los municipios de Zaragoza, Bagre, Cauca, Tarazá, Cáceres y Nechí.

El distrito cuenta con vías de acceso fluvial, en los puertos ubicados en el río Cauca y el río Porce; el primero conecta los municipios de Cauca y Nechí, mientras que el segundo con los municipios de Bagre y Zaragoza. También, se cuenta con tres aeropuertos pequeños ubicados en Cauca, Remedios y Amalfi.

2.2.1 Características Geológicas

El distrito comprende varios depósitos de gran importancia, pero la explotación más antigua e importante es la Mina El silencio, de la multinacional Gran Colombia Gold. La mineralización de este depósito comprende una serie de filones emplazados con un cuerpo intrusivo de composición diorita, constituida por cuarzo y pirita; con cantidades menores de esfalerita y galena, a veces acompañada de calcita que llega a ser tan abundante como el cuarzo; ocasionalmente se encuentra shilita y pirrotina. La plata y el oro se encuentran diseminados en sulfuros, formando criaderos.

En el sector Zaragoza-Segovia, los filones están constituidos por cuarzo y pirita con cantidades menores de galena, blenda y calcopirita. Sin embargo, en algunos casos es posible encontrar arsenopirita.

En el sector Amalfi – Anorí se reportan filones encajados en rocas metamórficas paleozoicas del complejo Cajamarca. Pero, los depósitos aluviales se desarrollaron por encima del nivel actual del río y su grado de consolidación indican que en el pasado fueron depositados con anterioridad al solevantamiento regional.

Los depósitos aluviales sobre intrusivos jurásicos, son característicos en el sector del Bajo Cauca. Dentro de estos depósitos se encuentran desde aluviones altos de edad neógena hasta depositaciones recientes de edad holoceno. Sin embargo, en el sector del río Nechí, los depósitos están formados por siete unidades de gravas y cuatro unidades de roca; la más antigua está constituida por esquistos grafitosos del paleozoico (Ingeominas).

Los yacimientos de tipo filoneo hidrotermal, ubicados en el sector de San Roque, se encuentran asociados a el Batolito Antioqueño de edad terciaria. Presenta una mineralización predominante en cuarzo con oro libre, pirita, calcopirita y galena. Los depósitos aluviales de este sector se encuentran en los valles de los ríos Nús y Nare.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.2.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

Los dos tipos de depósitos que existen en el distrito, son explotados dependiendo de si es por parte de mineros pequeños o por empresas. En general los depósitos filoneanos son explotados por métodos subterráneos.

Las minas más importantes de la región son: El Silencio, Providencia, La Bramadora, La Ye; las dos primeras son explotadas por operadoras contratadas por Gran Colombia Gold, quien es dueño del RPP. Sin embargo, la operadora realiza la explotación del depósito a pequeña escala y avanza extrayendo solo las zonas ricas del mismo. La mina Bramadora cuenta con un equipo especializado para la correcta explotación de la misma.

Los demás depósitos ubicados en los municipios de Segovia y Remedios son explotados por pequeños empresarios por el método de guías. De acuerdo a las condiciones económicas de los mineros utilizan, desde taladros manuales hasta perforadoras neumáticas o eléctricas, cargue manual, tracción humana de las carretillas o coches y malacates, en los casos que sea una inclinada.

La explotación aluvial más importante del país es realizada por la empresa Mineros S.A. por el método de terrazas de corte y relleno. La unidad de producción cuenta con dragas de cucharas y una draga de succión principalmente. Dentro de las dragas se realizan la obtención del oro a través de procesos gravimétricos.

Los pequeños productores de oro en la zona del valle del río Nechí, utilizan motobombas de gasolina y realizan la recuperación del mineral aurífero con bateas o a partir de procesos de amalgamación, en pequeñas plantas artesanales llamadas *Entables*.

En los municipios de Caucasia, Cáceres y Tarazá, los depósitos son explotados por pequeñas empresas y personas naturales con menor grado de organización.

2.2.3 Producción de Oro

En la tabla 2 se observan la producción anual de oro del distrito, durante los últimos 10 años.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 2. Producción de oro en el distrito Nordeste y Bajo Cauca

| Nordeste y Bajo Cauca | Producción Anual (Gr) | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Amalfi | 72983,86 | 105019,55 | 315800,61 | 113226,22 | 62108,56 | 218288,48 | 205736,79 | 235216,01 | 184674,83 | 362227,51 | 295912,66 |
| Anorí | 7433,46 | 628851,34 | 482943,16 | 19971,11 | 37774,55 | 16552,07 | 211581,92 | 254223,77 | 150119,02 | 97161,2 | 273117,83 |
| Briceño | 1018,8 | 1785,97 | 1063,73 | 1138,9 | 877,67 | 403,15 | 3926,78 | 17651,24 | 63676,83 | 74415,52 | 2922,16 |
| Cáceres | 8376218,91 | 2587932,98 | 2045972,07 | 1110415,96 | 1413692,51 | 1064076,13 | 834614,05 | 1160968,58 | 261816,61 | 843556,4 | 904196,5 |
| Caucasia | 829285,83 | 3411166,86 | 4423012,93 | 1424877,39 | 208823,64 | 313733,53 | 434789,49 | 763174,3 | 1231921,77 | 3628812,96 | 5657161,38 |
| El Bagre | 1839207,42 | 3122177,33 | 2365180,73 | 2658390,37 | 1985920,07 | 2085712,39 | 2373376,66 | 2413563,82 | 2997045,86 | 5548356,27 | 6774193,67 |
| Nechí | 4483,74 | 1698176,12 | 516239,35 | 3024,88 | 160642,69 | 642608,69 | 1780882,3 | 2314825,78 | 1618891,82 | 514298,42 | 543059,01 |
| Maceo | 2890931 | 2696587,97 | 3169472,45 | 815564,08 | 1984296 | 7727958,82 | 1877192,22 | 1672 | 5100,61 | 9036,85 | 1232,69 |
| Remedios. | 1099431,29 | 2064920,13 | 2894151,09 | 1429558,3 | 714093,38 | 4495918,97 | 4250767,81 | 933415,9 | 1329401,94 | 1994515,52 | 1847385,57 |
| San Roque | 7183,27 | 31637,35 | 13928,91 | 49242,36 | 64978,91 | 374010,01 | 193387,62 | 178101,24 | 108804,38 | 71479,12 | 13680,4 |
| Segovia | 5082582,47 | 1793442,58 | 2004502,3 | 1805315,48 | 3361534,98 | 5518482,2 | 7162087,62 | 1707979,75 | 1409732,79 | 2619803,16 | 5150498,57 |
| Taráz | 5436516,38 | 2331813,29 | 1475204,93 | 226931,1 | 826414,57 | 2620030,55 | 6149996,68 | 5622609,16 | 4811966,97 | 2847181,93 | 1397024,37 |
| Vegachí | 15881,1 | 48072,27 | 1421,88 | 122,86 | 0 | 141864,76 | 1034070,65 | 832927,71 | 299891,41 | 1065356,37 | 272636,01 |
| Yalí | 3601,8 | 11196,11 | 642,13 | 629,95 | 60,95 | 113448,28 | 6551,3 | 60005,69 | 29396,04 | 15641,26 | 1728,49 |
| Zaragoza | 1011698,49 | 1930662,26 | 2270975,97 | 813540,76 | 141170,88 | 59437,45 | 189241,07 | 844960,48 | 1143259,54 | 2081285,84 | 1241054,91 |

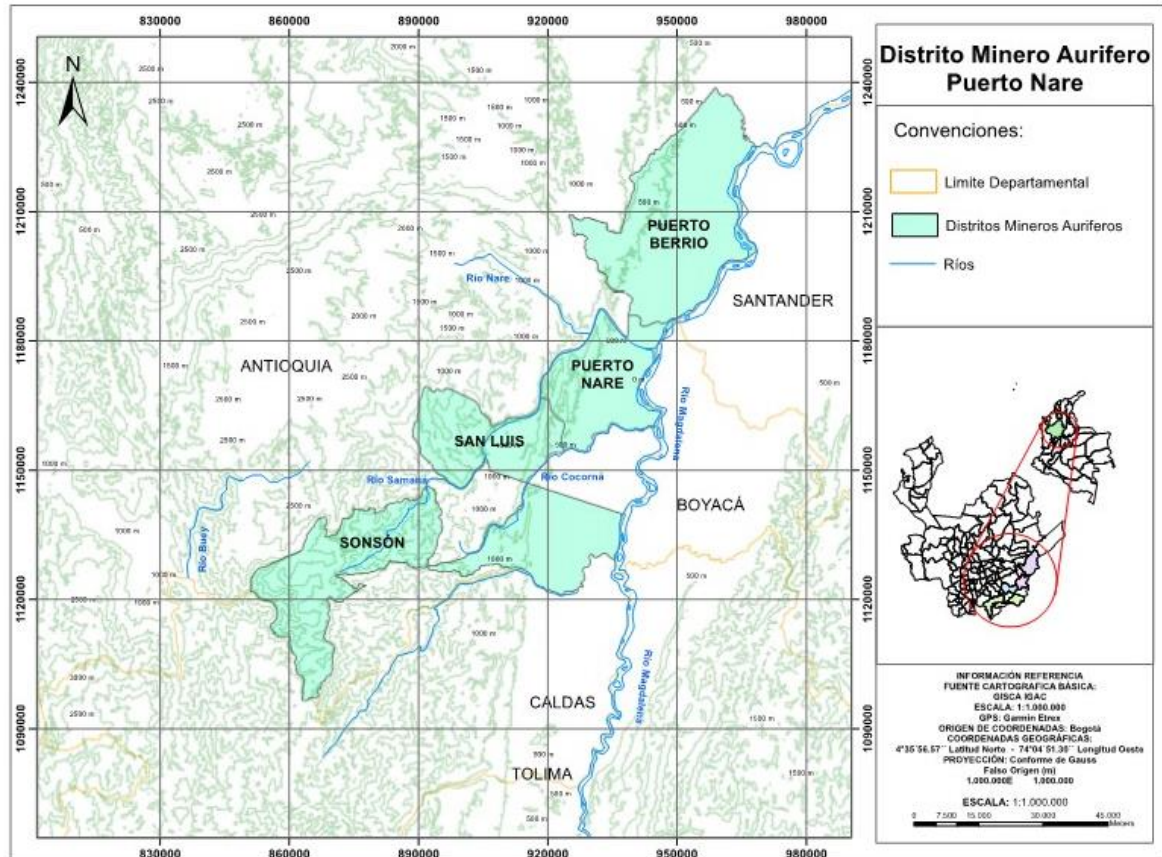
Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.3 PUERTO NARE

El distrito comprende dos zonas, una parte se encuentra en el flanco oriental de la cordillera central y en el sector medio del Valle del río Magdalena, en el suroeste del departamento de Antioquia (Mapa 3). Los municipios que lo conforman son: Puerto Berrio, Puerto Nare, San Luis y Sonsón. El sistema hidrográfico lo componen los ríos: Magdalena, Samaná, Cocorná, Nus, Nare, Porce y Buey.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 3. Ubicación del distrito minero aurífero Puerto Nare



Para acceder a los municipios que componen el distrito se utilizan las siguientes vías de acceso: carretera Medellín – Puerto Berrío, Carretera Medellín – Bogotá (sector puerto triunfo), el corredor del río Magdalena donde se tienen la carretera Puerto Salgar – San Alberto. Además se puede acceder por vía aérea a través del Aeropuerto de Puerto Berrío.

2.3.1 Características Geológicas

El sector del valle del río Magdalena, limita al norte por la falla Bucaramanga y al sur con la falla de Cambao. El sector del flanco de la cordillera central está formado por rocas ígneas y metamórficas, con edades desde el precámbrico hasta el jurásico (EA).

Las rocas ígneas hacen parte del batolito de Segovia y el volcánico de la Malena, conformado por dioritas y cuarzo dioritas. Las rocas metamórficas corresponden a cuarcitas del Complejo Cajamarca que aflora en el municipio de Puerto Nare.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Los depósitos aluviales en la zona de Puerto Nare y Puerto Berrio, son no consolidados de edad recientes conformados por gravas, arenas y materiales finos de origen aluvial y lacustre que conforman terrazas, llanuras de inundación, bajo y cenagosos. Los aluviones a lo largo del río Magdalena son depósitos de poca elevación compuesto por material meteorizado, poco estratificado con unos algunos horizontes bien seleccionados.

La zona comprendida por los ríos Nús y Alicante, se caracteriza por la presencia masiva de cerros redondeados con contornos perimetrales bien definidos (CORANTIOQUIA, 2008).

2.3.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

El distrito se caracteriza por ser una zona de explotación de caliza para la producción de cementos. Sin embargo, existe dos explotaciones mineras de oro de veta llamadas Vapor y Cristales; estas extraen el material de interés por métodos subterráneos (CORANTIOQUIA, 2008). La minería de aluvión es realizada por el método de terrazas con maquinaria como retroexcavadoras y volquetas.

2.3.3 Producción de Oro

En la tabla 3 se observan la producción anual de oro del distrito, durante los últimos 10 años.

Tabla 3. Producción de oro en el distrito Puerto Nare

| | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Puerto Berrio | 16125,92 | 26228,91 | 35910,45 | 19668,96 | 25729,04 | 32690,2 | 23214,65 | 8750,6 | 10186,72 | 412430,86 | 62223,27 |
| Puerto Nare | 0 | 19,59 | 0 | 25,44 | 4667,29 | 29116,46 | 477916,87 | 7717,31 | 16867,44 | 4186,56 | 2149,34 |
| San Luis | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23,76 | 72,14 | 1680,13 | 1898,6 | 9001,93 | 1838,35 |
| Sonson | 737,88 | 810,11 | 321,31 | 4259,88 | 13813,56 | 10295,34 | 24148,36 | 19380,37 | 13971,03 | 12424,25 | 3078,2 |

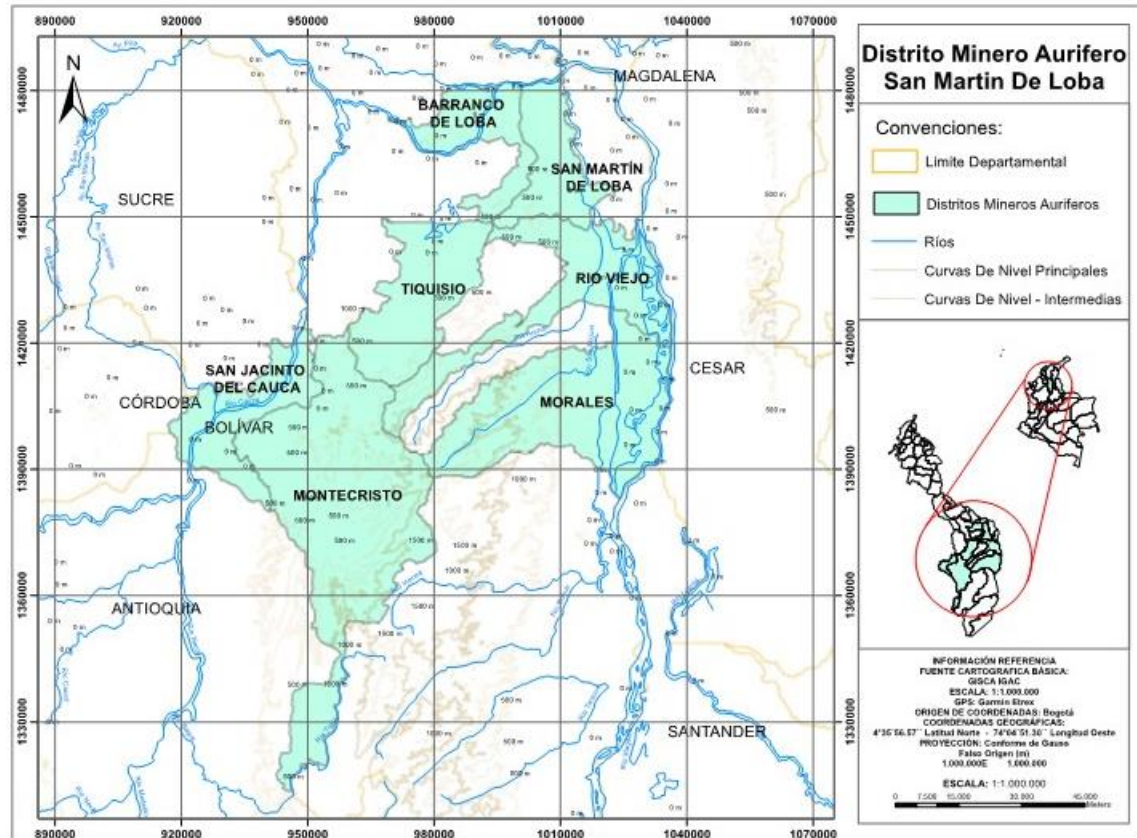
Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.4 SAN MARTÍN DE LOBA

Ubicado en el sur del departamento de Bolívar, marguen izquierda, agua abajo al río Magdalena, en las estribaciones de la Serranía de San Lucas. Conformado por los municipios: San Jacinto del Cauca, San Martín de Loba, Barranco de Loba, Río Viejo, Montecristo, Morales, Pinillos y Tiquisio (Mapa 4).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 4. Ubicación del distrito minero aurífero San Martín de Loba



El distrito solo cuenta con dos vías de acceso terrestre: la carretera Barranco de Loba – Norosi – Santa Rosa del Sur – San Pablo y la carretera Guaranada –Norosi – Regidor, comunica con los departamento de Sucre y Cesar, pero en algunos tramos es carretera destapada. Las vías más usuales en la zona son el transporte fluvial a través lanchas rápidas o chalupas en los ríos Magdalena y Cauca.

2.4.1 Características Geológicas

En los municipios de Barranco de Loba y San Martín de Loba, se caracteriza por presentar depósitos de oro epitermal de tipo Filoneano, encajados en rocas intrusivas (Granodiorita de Loba) de la Serranía de San Lucas. Estos yacimientos presenta una mineralización de cuarzo, pirita, esfalerita, galena, trazas de oro y sulfuros de plata; el espesor de la veta varía entre 20 – 30 cm.

La Serranía de San Lucas presenta también, depósitos aluviales ubicados en los sectores de la Cecilia quebrada grande y quebrada el Guamal, aunque el municipio de Montecristo es donde se concentra el mayor número de explotaciones de este tipo.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Los depósitos diseminados están ubicados en los cerros de Buena Señal y Santa Cruz como los más representativos de la región.

2.4.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

Los yacimiento filoneanos son explotados por el método subterráneo de guías, cuyas operaciones unitarias se realizan de manera artesanal ya que solo cuando el grado de compactación de la roca es alto se utilizan explosivos para remover el material, sino herramientas de mano como picos, cincel o barra.

Las explotaciones aluviales se realizan por el método de monitores hidráulicos; las operaciones inician con la adecuación de una pared o frente para avanzar con el chorro de agua a presión para arrancar el material y ser arrastrado hasta los canales que se disponen para tamizar el material.

Para extraer el mineral de interés se realizan métodos de amalgamación y gravimétricos, pero ambos procesos inician con operaciones de trituración. Sin embargo, el mineral extraído en depósitos aluviales es realizado por procesos gravimétricos, ya que es oro libre.

2.4.3 Producción de Oro

En la tabla 4 se observan la producción anual de oro del distrito, durante los últimos 10 años.

Tabla 4. Producción de oro en el distrito San Martín de Loba

| San Martín de Loba | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|----------|----------|---------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| San Jacinto del Cauca | 1093152,47 | 278072,21 | 0 | 0 | 0 | 36275,87 | 0 | 0 | 206744,23 | 111350,37 | 79679,19 |
| San Martín de Loba | 380443,75 | 131754,05 | 0 | 5664,88 | 0 | 29423,04 | 0 | 1578,6 | 3048,66 | 283,97 | 4749,72 |
| Barranco de Loba | 3073,84 | 13887,92 | 39177,31 | 33,57 | 7748,15 | 1919,68 | 0 | 72107,4 | 56540,35 | 0 | 549,21 |
| Río Viejo | 25603,83 | 69205,39 | 64180,34 | 43787,96 | 3160,33 | 94843,78 | 195,78 | 6949,65 | 11109,57 | 8636,38 | 312,78 |
| Montecristo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1248747,51 | 460782,18 | 1071149,76 | 1386859,96 | 203387,09 | 50340,11 |
| Morales | 1218348,53 | 158796,42 | 0 | 0 | 0 | 24495,74 | 0 | 0 | 231809,6 | 1120936,81 | 0 |
| Tiquisio | 532339,86 | 299591,56 | 3970,91 | 3047 | 0 | 47429,65 | 0 | 92538,38 | 66295,59 | 277768,89 | 209716,65 |

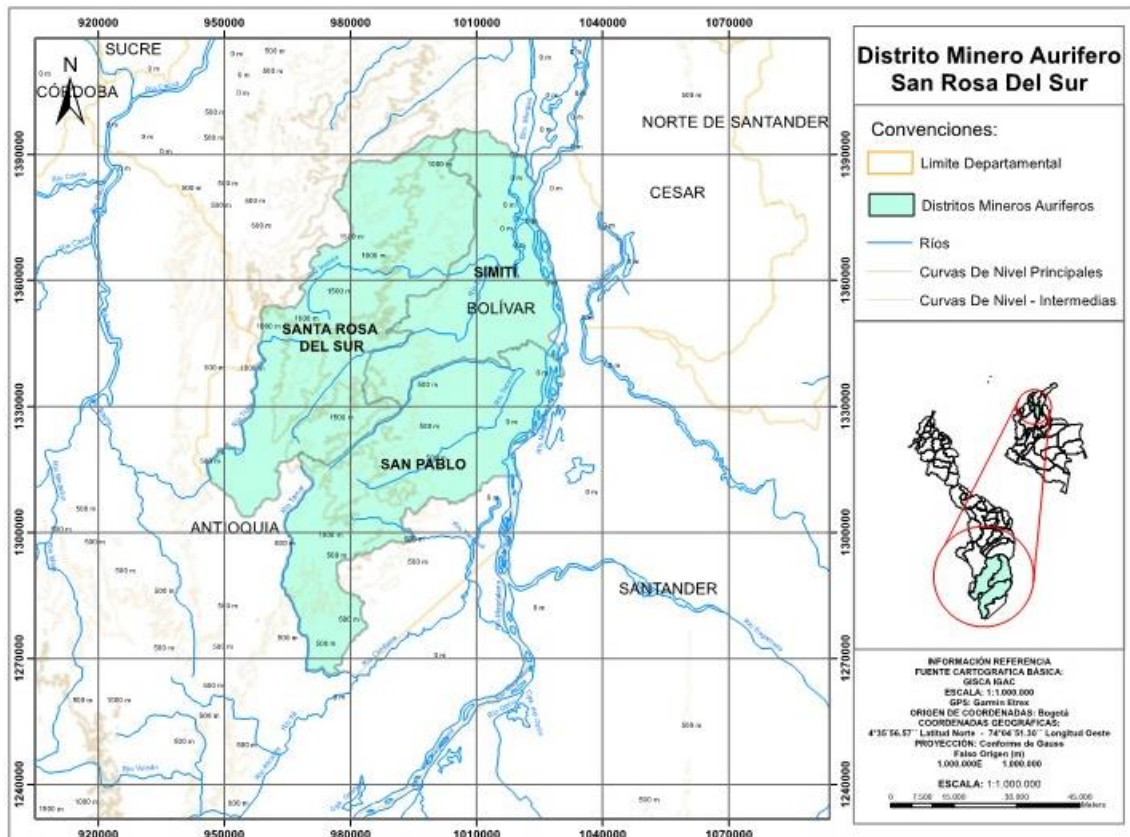
Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.5 SANTA ROSA DEL SUR

Ubicado al sur del departamento de Bolívar, flanco oriental de la Serranía de San Lucas, estribación norte de la cordillera central, agua abajo del río Magdalena. El distrito está conformado por los municipios: San Pablo, Santa Rosa del Sur y Simití (Mapa 5).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 5. Ubicación del distrito minero aurífero Santa Rosa del Sur



El distrito se conecta por vía terrestre con la carretera Yondó - San Pablo – Santa Rosa y su acceso fluvial es el río Magdalena, sus afluentes y brazos que en la mayoría de la ocasiones tiende a ser el único medio de transporte para diversas comunidades de la zona.

2.5.1 Características Geológicas

Los depósitos presentes en el distrito se formaron por fluidos hidrotermales mineralizados que se emplazan a través de fracturas preexistentes y que afectaron la roca de caja (granodiotita-cuarzomonsonita), formando vetas de cuarzo mineralizados.

Los yacimientos filoneanos son producto del enriquecimiento del batolito de Norosí, que corresponden el 69% de los depósitos de este tipo en el departamento. El oro libre se encuentra asociado a piritita, esfalerita, galena y sulfuros de plata; las venillas paralelas a la roca madre tienen un espesor entre 20 – 30 cm.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.5.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

Las labores mineras son de subsistencia, de manera artesanal y poca tecnificación de los procesos. Para la extracción del oro se usa el método gravimétrico para los depósitos aluviales, en cambio los depósitos filoneanos, utilizan procesos de amalgamación; con una previa trituración y concentración del material extraído de la mina.

2.5.3 Producción de Oro

En la tabla 5 se observan la producción anual de oro del distrito, durante los últimos 10 años.

Tabla 5. Producción de oro en el distrito Santa Rosa del Sur

| Santa Rosa del Sur | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| San Pablo | 0 | 0 | 792,04 | 0 | 0 | 0 | 828490,46 | 760790,71 | 1665535,75 | 371536,4 | 110616,5 |
| Santa Rosa del Sur | 843282,1 | 926846,61 | 2499294,86 | 612117,27 | 67236,15 | 87710,15 | 580281,36 | 1365869,29 | 987840,75 | 1416110,69 | 1137915,77 |
| Simití | 2778663,69 | 1070890,38 | 1527288,05 | 324262,69 | 339124,28 | 704009,75 | 1469508,47 | 2319947,54 | 473908,89 | 571366,25 | 509499,09 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

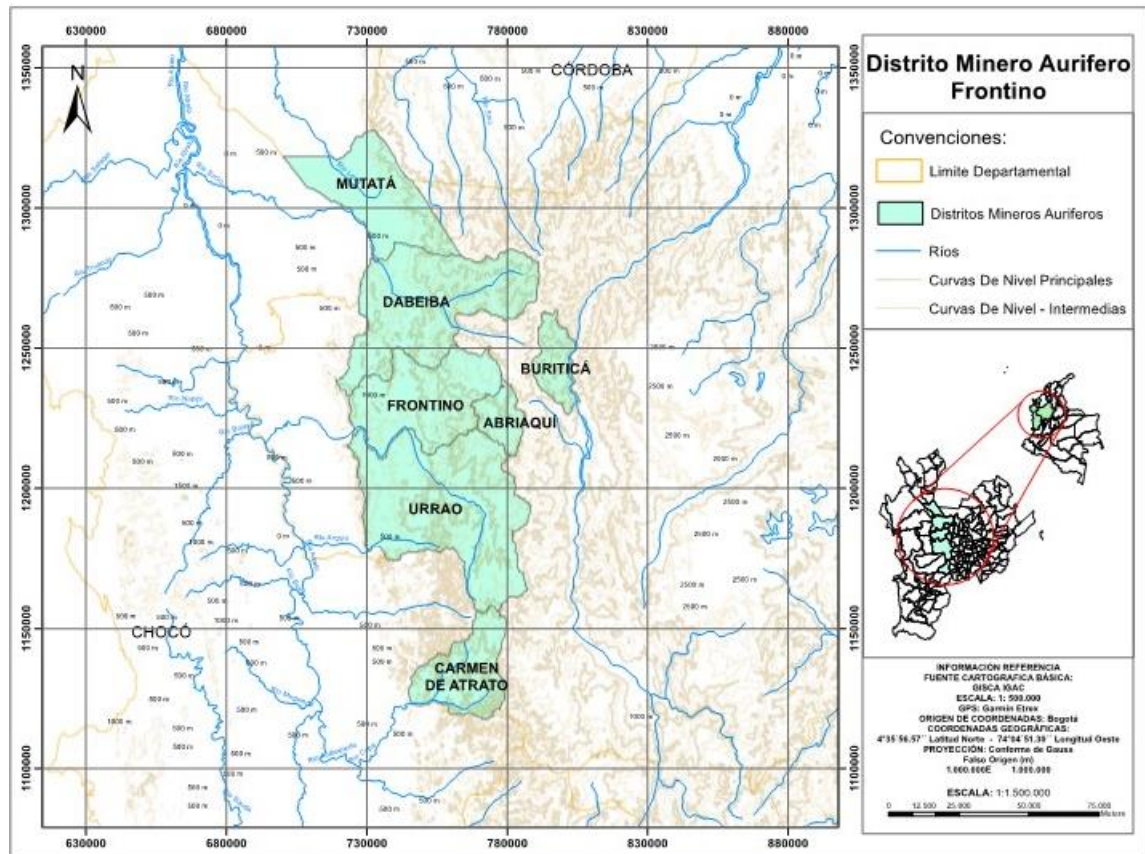
2.6 MARMATO

Ubicado al noroccidente del país, sobre la cordillera occidental y en la vertiente occidental del río Cauca. El distrito se caracteriza por ser una zona montañosa, regados por los ríos Cauca, Arquía, Supía, Quinchía, Opirama y Taría (Mapa 6).

Los municipios que conforman el distrito son: Marmato y Supía, en el departamento de Caldas y Quinchía, en el departamento de Risaralda. Estos se conectan entre si por carreteras y con la red vial, ya que es cruzado por la troncal occidental que va desde la frontera con Ecuador, hasta el norte del país en Barranquilla. Además de permitir el acceso a través de la ruta 29 que va desde El Cairo, hasta La Pintada.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 6. Ubicación del distrito minero aurífero Marmato



2.6.1 Características Geológicas

El sistema de falla Romeral al este y las fallas del Cauca – Patía al oeste, originan el cañón del río Cauca, en el sector de Marmato. La zona rica del material aurífero se encuentra en filones que rellenan las diaclasas del pórfido dacítico; catalogado como stock de Marmato miembro volcánico de la formación Combia.

El pórfido de Irra y los Pórfidos Andasíticos Horbléndicos, son zonas de contacto intrusivo cenozoicos que están relacionados con rocas volcánicas básicas de la formación barroso y sedimentitas silíceas de la formación Penderisco; se presentan en el departamento de Risaralda. En el sector de Quinchía los filones de cuarzo se presentan con sulfuros encajados en sedimentitas silíceas y en rocas volcánicas básicas e intrusivos respectivamente.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.6.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

En el distrito la mayor producción es de la mina Marmato, de la empresa Gran Colombia Gold; esta ha sido explotada desde la época colonial, por el método subterráneo de guías. Sin embargo, según las características de las vetas se utilizan sistemas de explotación diferentes, en el caso de los pequeños mineros tradicionales, algunos trabajan a lo largo de la quebrada por donde baja las colas de la mina que se encuentra en la zona alta.

Los procesos extractivos utilizados en el sector de Marmato, son concentración gravimétrica y cianuración. Existen aproximadamente 80 plantas de beneficio medianamente mecanizadas, que son abastecidas por 500 pequeñas minas. Estas constan de cuatro fases: trituración, molienda (molinos de bolas), concentración gravimétrica en mesas y cianuración de colas; la recuperación final del oro es realizada en batea. El oro lixiviado se precipita con zinc y los precipitados se llevan a fundición y refinación para obtener una barra de oro.

En Rio Sucio, existen alrededor de 100 pequeños explotaciones que proveen mineral a alrededor de 40 plantas entre artesanales (pequeños molinos para procesar lotes de mineral) y medianamente mecanizadas con molinos continuos de bolas y concentración en mesas. El oro es recuperado desde los concentrados utilizando la batea. Las arenas son vendidas para ser procesadas en las plantas de Marmato.

También existen explotaciones adicionales a las anotadas y donde el beneficio se realiza utilizando molinos amalgamadores con capacidad entre 70 y 120 kilogramos mineral, a los cuales adicionan 80-100 gramos de mercurio. No se ha cuantificado el número de estos. Además existen algunas plantas con pequeños molinos continuos y mesas de concentración, en donde se amalgama solo los concentrados.

En la zona de Quinchía se ubican las minas de El Alacrán, Minas Rica; los sectores Juan Pelao y Miraflores. En este sector los procesos metalúrgicos son realizados en pequeñas plantas existen con molinos amalgamadores, además de presentar la combinación molinos continuos, mesas, amalgamación de concentrados y cianuración.

2.6.3 Producción de Oro

En la tabla 6 se observan la producción anual de oro del distrito, durante los últimos 10 años.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Tabla 6. Producción de oro del distrito Marmato

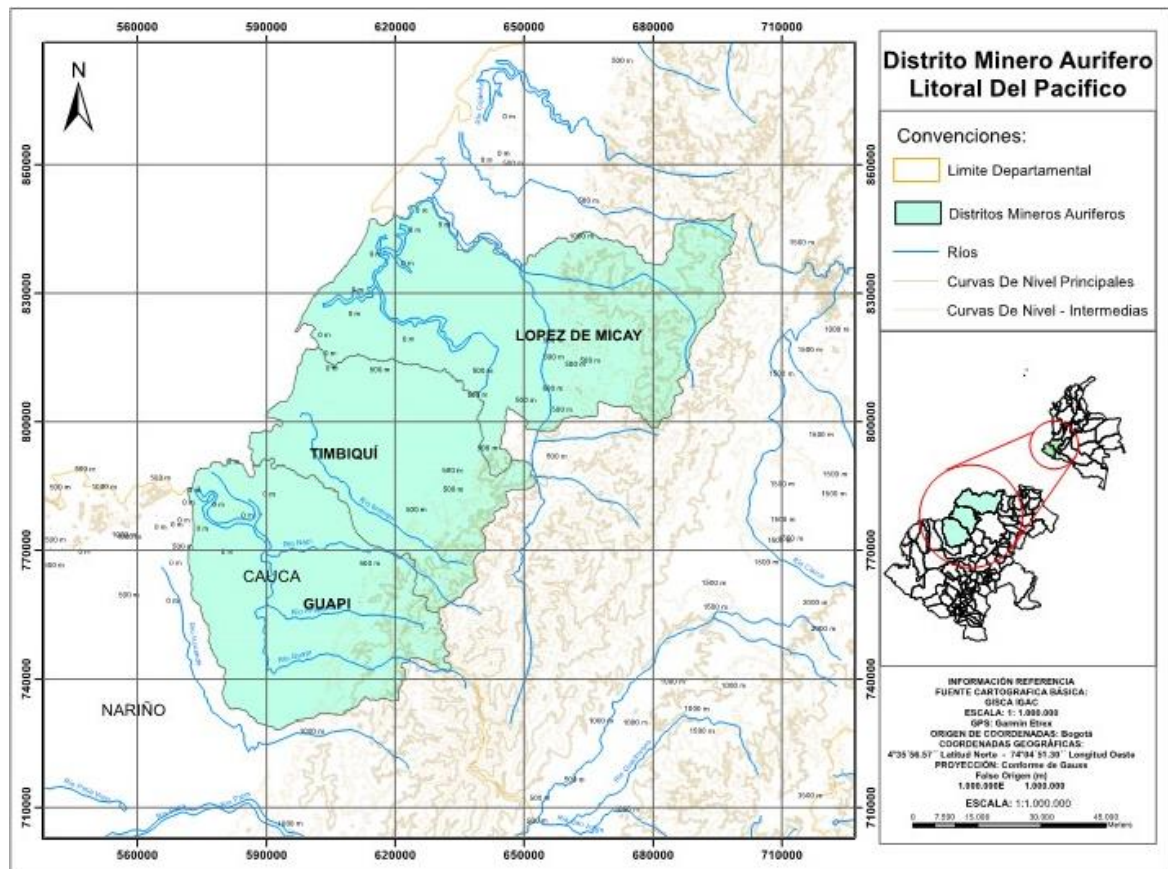
| Marmato | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Marmato | 1022484,26 | 1235677,32 | 1964930,98 | 1394174,54 | 1104878,63 | 1058064,76 | 1134730,93 | 1109847,91 | 1219396,61 | 1331655,38 | 1269992,64 |
| Supía | 54328,19 | 57822,12 | 5445,11 | 3058,1 | 1781,27 | 1673,18 | 3744,81 | 1534,19 | 3487,72 | 47617,14 | 56985,36 |
| Quinchía | 68021,81 | 53888,23 | 31904,44 | 26215,53 | 24574,81 | 27659,62 | 39778,25 | 33153,38 | 31527,85 | 116533,04 | 160691,42 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.7 LITORAL PACIFICO

Ubicado al occidente del departamento de Cauca, en la cuenca del pacifico. El distrito está conformado por los municipios: Guapi, Timbiquí, López De Micay (Mapa 7). El sistema hidrográfico comprende los ríos: May, Patía. Telembí, Iscuandé.

Mapa 7. Ubicación del distrito minero Litoral del Pacifico



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Al ser una zona cercana a la costa pacífica, el acceso a los municipios es posible por transporte fluvial, constituido por los ríos Guapi, Timbquie y Micay; unidos a la red de esteros de la costa pacífica. La vía terrestre es la carretera Popayán – La Gallera – López de Micay en el Cauca

2.7.1 Características Geológicas

El distrito presenta depósitos de placeres cuaternarios, conformados por varios niveles de conglomerados polimicticos con matriz areno-arcillosa, presentando intercalaciones de niveles arcillosos. Los cantos presentan cuarzos, dioritas, chert, brechas andesíticas, tobas, basaltos, diaclasas y lodolitas. Las zonas de mayor tenor de oro son producto de la meteorización, erosión, transporte y sedimentación de los cuerpos rocosos que hacen parte de la Cordillera Occidental.

2.7.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

En la zona de Guapi se extrae oro, excavando el conglomerado con herramientas de mano para dejar descubierto el mineral de interés y cargar el material para ser llevado a el proceso de beneficio, que en algunos casos es por medios gravimétricos o procesos de amalgamación.

Otro medio para extraer el material rico, es con motobombas colocadas sobre un planchón en el río, encargado de extraer las arenas del cauce, mediante mangueras de succión. Para luego realizar procesos gravimétricos y extraer el oro.

2.7.3 Producción de Oro

En la tabla 7 se observan la producción anual de oro del distrito, durante los últimos 10 años.

Tabla 7. Producción de oro del distrito Litoral del Pacífico

| Litoral del Pacífico | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Guapi | 58479,11 | 57028,4 | 54328,57 | 38751,65 | 45680,8 | 42685,34 | 139254,22 | 19521,92 | 38174,61 | 273220,18 | 109140,36 |
| Timbiqui | 13868,89 | 31071,21 | 39849,1 | 35509,6 | 44055,03 | 50917,43 | 241780,25 | 162494,82 | 484642,58 | 1134689,89 | 1.759.90 |
| López de Micay | 34654,99 | 19251,29 | 42426,62 | 7533,06 | 7173,15 | 6574,84 | 233058,67 | 159396,33 | 79593,24 | 275179,59 | 93101,37 |

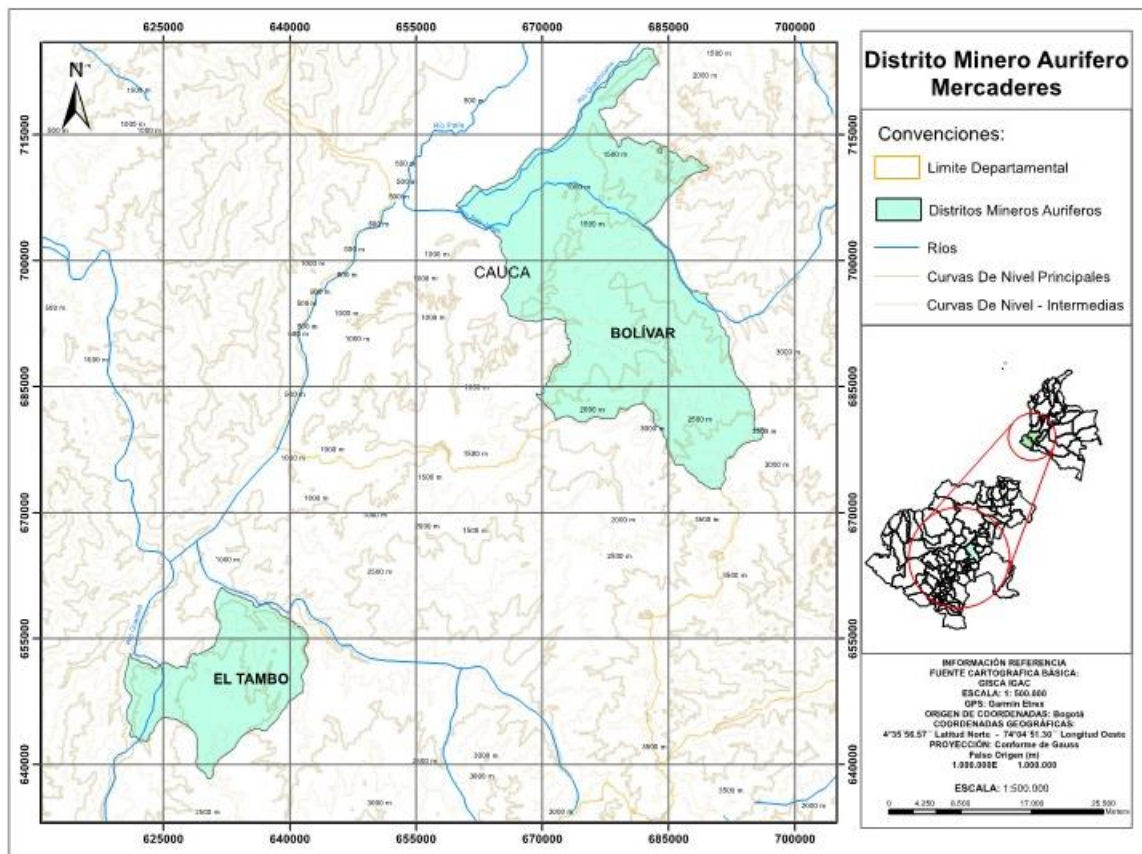
Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.8 MERCADERES

Ubicado el margen oriental de la Cordillera Occidental y dentro de la cuenca del Patía. El distrito lo conforman los municipios: Bolívar en el departamento del Cauca, y El Tambo en Nariño (Mapa 8).

Mapa 8. Ubicación del distrito minero Mercaderes



Existen dos vías terrestres en la zona: La Vía Panamericana que comunica al norte con Popayán, Cali, Bogotá, Eje Cafetero y Medellín; al sur con pasto, la frontera sur y Ecuador. La transversal Neiva – Popayán – Palmira – Buenaventura que conecta con los departamentos de Huila, Caquetá y Cauca. La transversal Mocoa – Sombrillos – Isnos – Paletará – Popayán – Cali. En la ciudad de Popayán se cuenta con transporte aéreo.

2.8.1 Características Geológicas

El distrito comprende los depósitos vetiformes de oro presentes en el centro del departamento del Cauca. El yacimiento de la zona sur andina está asociado a pórfido

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

dacíticos que instruyen una secuencia de esquistos cuarzo-sericiticos pertenecientes al complejo Arquía, a una secuencia de rocas basálticas, lavas almohadilladas, diques y tobas del complejo de Los Azules y por cuerpos intrusivos menores de composición dacítica a andesítica. En la zona central el oro es asociado con un pórfido cuarzodiorítico que instruye una secuencia de basaltos, diabasas y sedimentitas pertenecientes al grupo Diafásico.

La mineralización por lo general se presenta por rellenos de fisuras de origen hidrotermal emplazados dentro del intrusivo y de las rocas encajantes. Conformados por cuarzo, pirita y calcopirita.

2.8.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

Para extraer el material de mina es aplicado el método subterráneo de guías, con equipos manuales y tracción humana para el transporte de material por ello se manejan volúmenes de producción bajos.

Sin embargo en el municipio de Bolívar realizan una explotación mixta, ya que el material extraído es tritura y adicionado a la quebrada para luego ser llevado a un tambre para acumular el material hasta llenarlo, se deja correr el agua y se traslada el material hasta un canal. Luego los finos son lavados en batea utilizan para obtener oro.

2.8.3 Producción de Oro

En la tabla 8 se observa la producción anual de oro del distrito, pero en el municipio de Tambo SIMCO no tiene registros de la producción de este en los últimos 10 años; sin embargo pudo haber ocurrido que el mineral extraído sea reportado en otro municipio de la región.

Tabla 8. Producción de oro del distrito Mercaderes

| Mercaderes | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------|---------|---------|---------|------|---------|----------|--------|----------|----------|----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Bolívar | 4052,19 | 4495,83 | 4881,55 | 1110,59 | 0 | 2816,71 | 22343,13 | 3856,3 | 10257,31 | 50823,62 | 17929,77 |
| Tambo | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

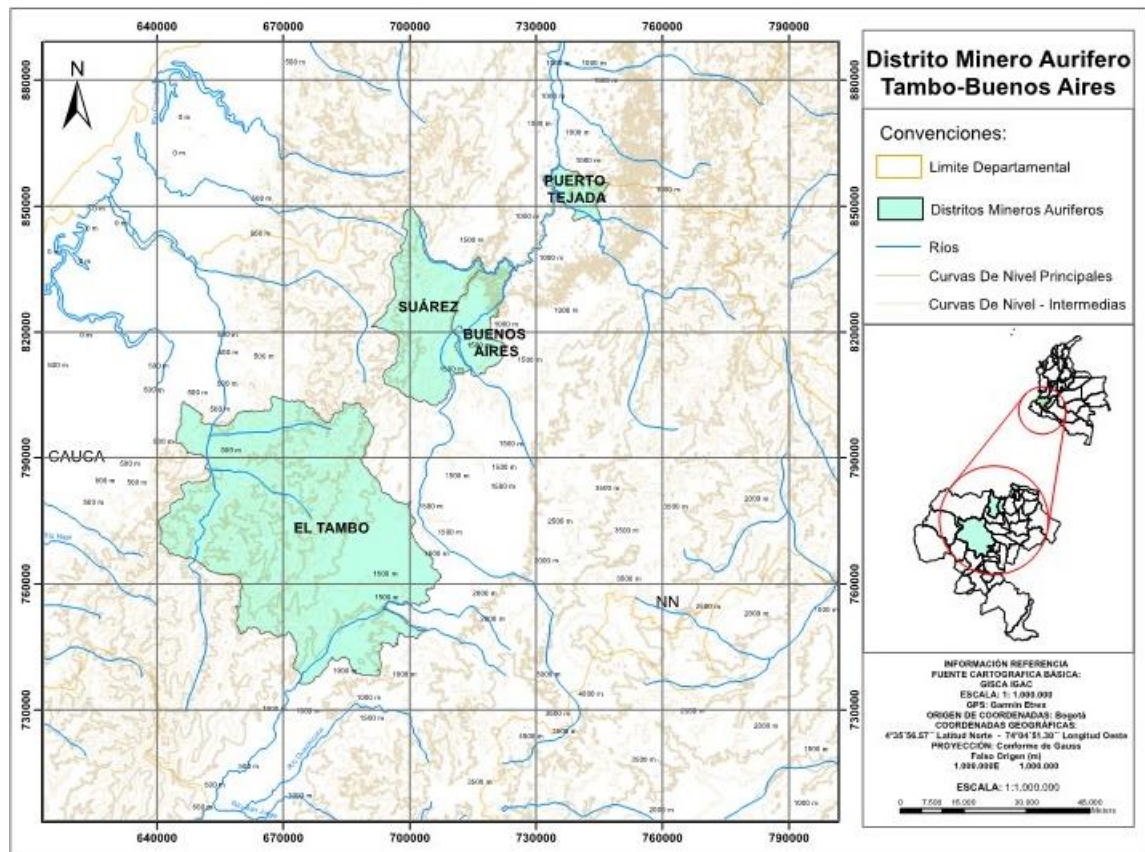
2.9 TAMBO – BUENOS AIRES

Ubicado en las zonas mineras auríferas de los municipios: Buenos Aires, El Tambo, Suarez y Puerto Tejada en el departamento del Cauca (Mapa 9). Se caracteriza por

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

presentar un relieve plano en la zona de la llanura del pacifico y el valle del río Cauca y montañoso en las estribaciones de las Cordilleras Occidental y Central.

Mapa 9. Ubicación del distrito minero Tambo - Buenos Aires



2.9.1 Características Geológicas

El distrito minero presenta un conglomerado minero por la amplia gama de minerales presentes en la zona. El oro aluvial es de edad cuaternaria localizado en el flanco oeste de la Cordillera Occidental a lo Largo de casi todas las corrientes que desembocan el Océano Pacifico. El oro es originado de venas de cuarzo y skarns, asociados a los emplazamientos del batolito calco-alcalino de Anchicayá en los sedimentos de formaciones cretácicas Cisneros y río Piedras.

2.9.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

La minería de Filón en el distrito es realizada por el método subterráneo de guías, cuyas operaciones unitarias como el arranque es realizado dependiendo del grado tecnológico

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

que tenga el empresario y la dureza del material, ya que se utilizan desde explosivos hasta el empleo de pica. En los frentes de extracción el cargue es realizado manualmente con pala y el transporte es realizado con carretillas de tracción humana. El material de interés es procesado en un molino rudimentario con la ayuda del mercurio.

2.9.3 Producción de Oro

En la tabla 9 se observa la producción de oro anual en gramos, de los últimos 10 años en el distrito de estudio.

Tabla 9. Producción de oro en el distrito Tambo - Buenos Aires

| Tambo- Buenos Aires | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Buenos Aires | 43410,95 | 70064,4 | 76664,27 | 78838,49 | 79476,07 | 142032,48 | 877358,48 | 106656,86 | 120123,97 | 564434,01 | 499447,02 |
| El Tambo | 38156,66 | 40144,84 | 39041,16 | 0 | 0 | 0 | 902,33 | 0 | 33621,85 | 142588,76 | 113399,44 |
| Puerto Tejada | 0 | 1097,11 | 0 | 0 | 5,56 | 0 | 708,34 | 173,46 | 2,28 | 0 | 0 |
| Suarez | 167378,08 | 104879,5 | 75354,53 | 72711,06 | 118306,87 | 313574,34 | 476464,17 | 153796,08 | 99971,01 | 364042,52 | 850167,21 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.10 SAN JUAN – ITSMINA

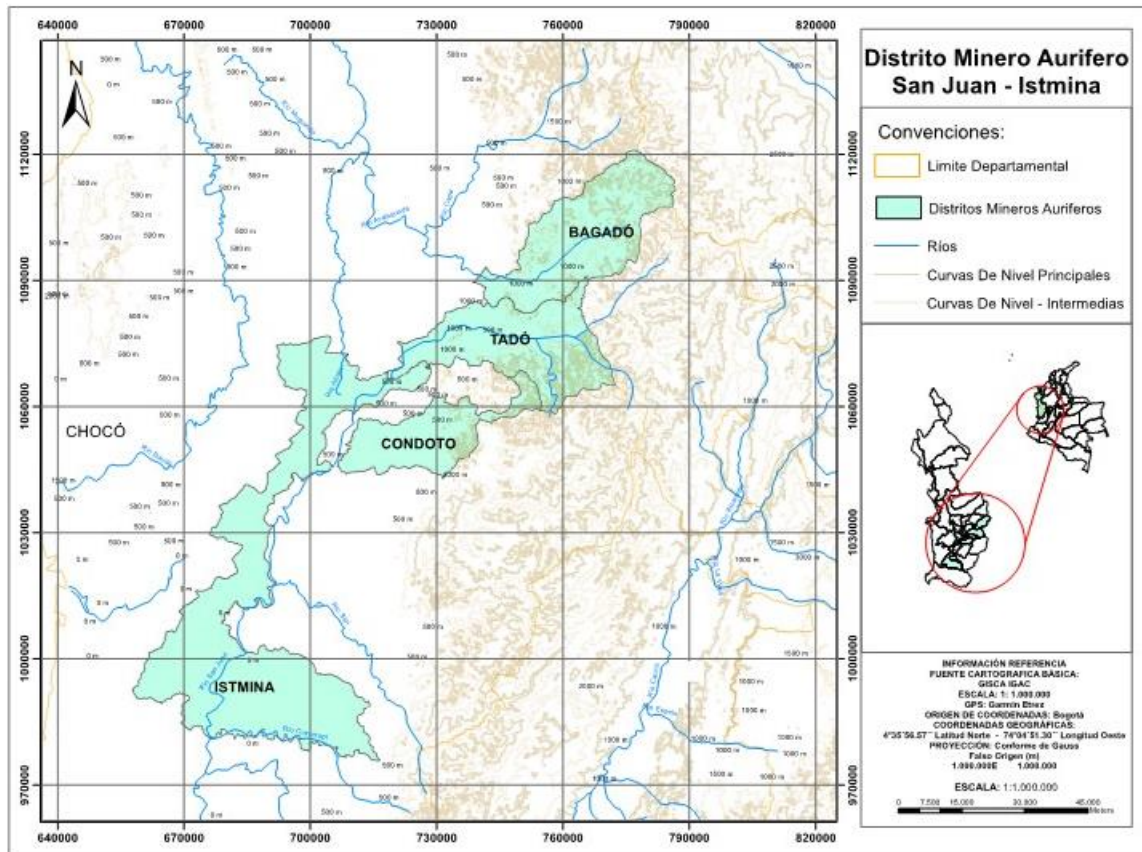
Ubicado en la parte sur del departamento del Chocó, sobre la cuenca del río San Juan y Atrato, entre las cordillera Occidental y la Serranía del Baudó. (Mapa 10).

El distrito limita con los departamentos de Risaralda y Valle del Cauca. El distrito está conformado por los municipios Condoto, Istmina, Tadó, Sipí y Bagadó

El acceso al distrito tiene una precaria red de caminos, sin embargo existen dos ejes viales, en afirmado, que comunica los municipios Condoto, Tadó y Bagadó al norte, con Quibdó y al este con la troncal Occidental a través de la vía Pereira – Santa Cecilia – Las Animas con accesos a los puertos Istmina y Bagadó. La zona se caracteriza por un conjunto de vías fluviales, navegables en pequeñas embarcaciones, en los ríos San Juan y Atrato.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 10. Ubicación distrito minero San Juan - Istmina



2.10.1 Características Geológicas

Los aluviones auroplatiníferos se localizan a lo largo de los ríos San Juan y Atrato y especialmente en sus ríos afluentes: Condoto, Opogodó, Sipí, Novita, Cajón, Tamaná y Suruco.

Los depósitos de placeres se caracterizan por la presencia de rocas ultra básicas hacia la cordillera occidental, sin embargo solo se reporta cuerpos intrusivos de composición intermedia.

2.10.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

En el distrito se presentan diferentes tipos de explotación: mediana y pequeña. Los depósitos son explotados con retroexcavadoras con y sin elevadoras, Dragas, Monitores hidráulicos, Draguelinas, Matracas y Batea.

Los procesos metalúrgicos se realizan procesos gravimétricos en canalones lineales, en Z, Z-L, mallas y tapetes. Sin embargo, dependiendo del tamaño del oro se le agregan

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

mercurio a las placas, pero en general agregan mercurio en el tratamiento de los concentrados de los canalones.

En la zona existe procesamiento con canelones y bateas, y no usan mercurio en la recuperación del mineral de interés.

2.10.3 Producción de Oro

En la tabla 10 se observa la producción de oro de los últimos 10 años en el distrito.

Tabla 10. Producción de oro en el distrito San Juan – Itsmína

| San Juan - Itsmína | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Bagado | 1271,23 | 12744,68 | 32655,16 | 14740,32 | 84576,19 | 78572,75 | 101438,23 | 72421,47 | 128546,05 | 233479,86 | 309153,1 |
| Condoto | 185035,32 | 234053,93 | 347449,56 | 200587,39 | 234944,15 | 307771,8 | 359785,74 | 245860,7 | 2698805,69 | 974179,72 | 1351727,55 |
| Itsmína | 126821,65 | 81536,96 | 142358,11 | 166003,95 | 238652,92 | 242076,27 | 2924765,32 | 6324412,38 | 337489,48 | 2397484,28 | 3030207,67 |
| Tadó | 147488,22 | 124186,1 | 220583,02 | 209168,74 | 197869,78 | 157667,12 | 422589,34 | 215733,97 | 134171,89 | 2023599,94 | 751734,25 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

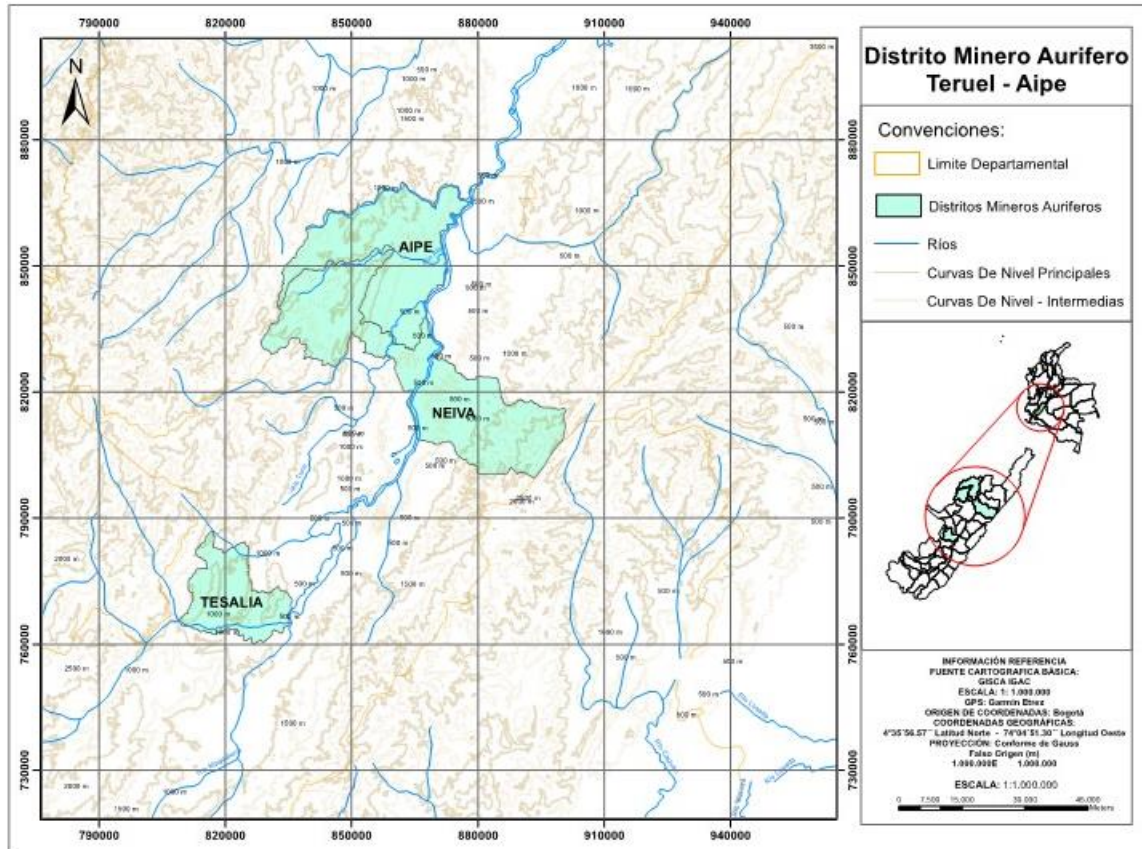
2.11 TERUEL –AIPE

Ubicado en el centro del departamento del Huila, comprende la región del occidente de la Cordillera Oriental hasta el costado de la Cordillera central, incluyendo el valle del río Magdalena. Está conformado por los municipios: Neiva, Aipe y Tesalia (Mapa 11).

Las vías que conectan al distrito son: la carretera troncal del Magdalena (Carretera de la Paz), comunicándola con las ciudades de Mocoa, Florencia con Bogotá y el norte del país; existen carreteras secundarias bien pavimentadas que unen los municipios de la zona de estudio. Los accesos aéreos se realizan por el Aeropuerto Benito Salas, de Neiva y otras pistas de aterrizaje ubicadas en la región. El transporte fluvial se transita por los ríos Magdalena y Yaguará.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 11. Ubicación del distrito minero Teruel – Aipe



2.11.1 Características Geológicas

Los depósitos vetiformes del distrito son de tipo hidrotermal, que han formado filones asociados a rocas pre-cretáceas del jurásico especialmente las volcánicas y sedimentarias. Los depósitos del tipo aluvial de la zona están relacionados con el conglomerado del grupo Gualanday. (INGEOMINAS, 1989)

2.11.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

La extracción del recurso en la zona es realizada en su mayoría por mineros artesanales, quienes tienen esta actividad como su sostenimiento económico. Los depósitos de tipo aluvial se utiliza el método de apiques y algunos mineros más rudimentarios solo hacen barequeo. Los depósitos de vetas son desarrollado por el método subterráneo de guías, con herramientas de mano y la recuperación del oro es realiza por procesos gravimétricos en algunos casos ya que en otros se realizan procesos de amalgamación.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.11.3 Producción de Oro

En la tabla 11 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito.

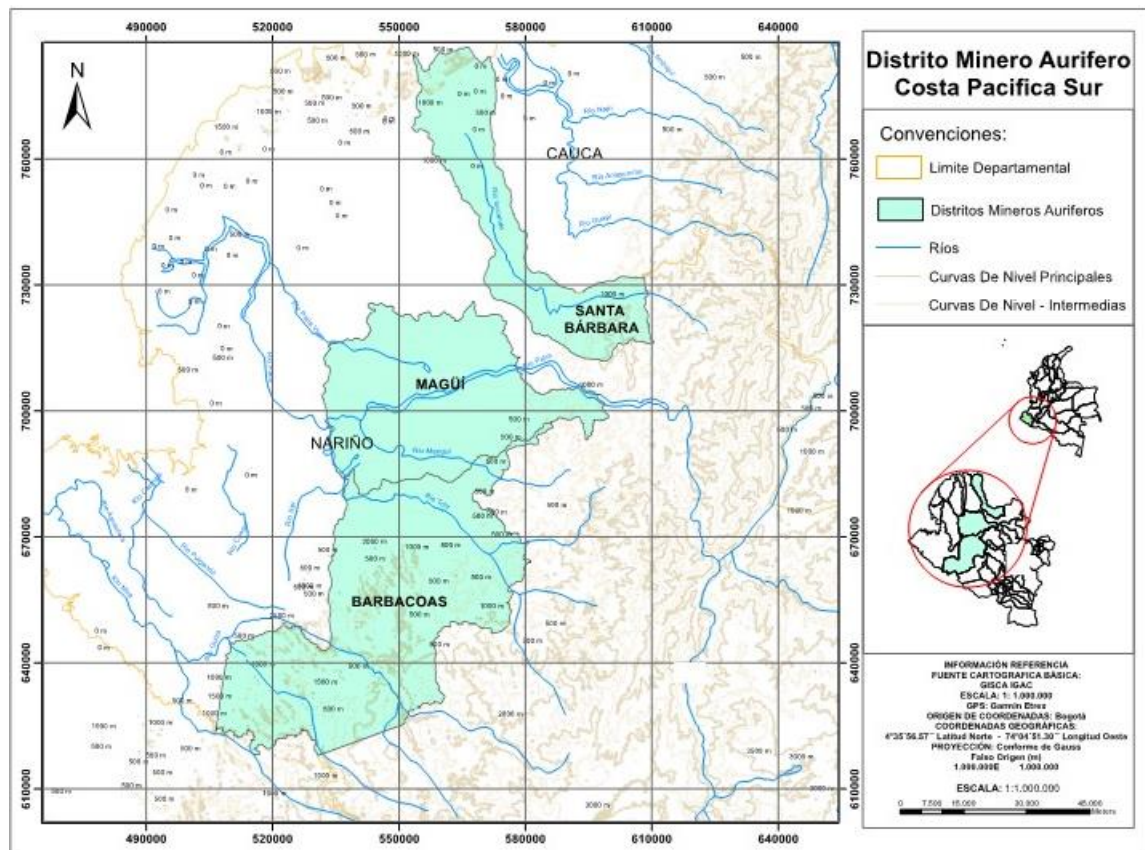
Tabla 11. Producción de oro del distrito Teruel – Aipe

| Teruel - Aipe | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|-----------|-----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Aipe | 0 | 1878,01 | 485,61 | 10,58 | 0 | 1438,77 | 175,98 | 0 | 0 | 0 | 397,97 |
| Neiva | 291,78 | 0 | 1989,37 | 295,05 | 0 | 339,89 | 92,07 | 789,95 | 1784,66 | 254003,94 | 209951,75 |
| Tesalia | 6864,13 | 293,61 | 0 | 2144,62 | 3149,22 | 2063,22 | 17917,25 | 24035,73 | 4300,05 | 195,5 | 1334,92 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.12 COSTA PACIFICA DEL SUR

Mapa 12. Ubicación del distrito Minero Costa Pacífica del Sur



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Ubicado en el sur occidente del departamento de Nariño por los municipios de Barbacoas, Magüi y Santa Bárbara. Las vías de acceso al distrito son la Vía Pasto que conecta con Barbacoas y Magüi, mientras que el tercer municipio que lo conforma es realizado por transporte fluvial, despaldándose desde Santa Bárbara, hasta Tumaco o al puerto de Buenaventura (Mapa 12).

2.12.1 Características Geológicas

En el distrito existen tres tipos de aluviones: Terrazas aluviales altas bien consolidadas de poca extensión con valores altos de oro, en los piedemontes se encuentran aluviones poco consolidados con altos contenidos de oro y los aluviones depositados en los antiguos canales de los ríos Telembi, Patía, Guelmanbí, Magüi, Iscuandé y Tapaje.

2.12.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

Las actividades mineras son desarrollados por pequeños, medianos empresarios e incluso en la zona es muy común la minería de subsistencia; ejercida por las comunidades negras asentadas a lo largo del distrito. Los empresarios mineros utilizan maquinaria como retroexcavadora, motobombas y dragas de succión para extraer el material de interés de los ríos.

Los procesos metalúrgicos en la zona son ejecutado con equipos de separación gravimétrico en el caso de pequeños y medianos mineros, ya que los mineros artesanales y quienes desarrollan minería de subsistencia utilizan el barequeo.

2.12.3 Producción de Oro

En la tabla 12 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito.

Tabla 12. Producción de oro del distrito Costa Pacífica del Sur

| Costa Pacífica Sur | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|------------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Barbacoas | 59155,67 | 48130,52 | 29540,75 | 29430,57 | 40456,04 | 29996,32 | 120822,85 | 45271,59 | 107649,4 | 453197,01 | 165715,78 |
| Magüi | 1387,3 | 5909,76 | 15922,11 | 6819,72 | 22107,07 | 6421,23 | 3621,83 | 91297,31 | 28284,34 | 295803,65 | 1080932,24 |
| Santa Bárbara | 2858,86 | 5190,63 | 6359,25 | 10183,32 | 16992,04 | 15467,22 | 20210,93 | 18105,36 | 35157,8 | 924535,78 | 638053,2 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

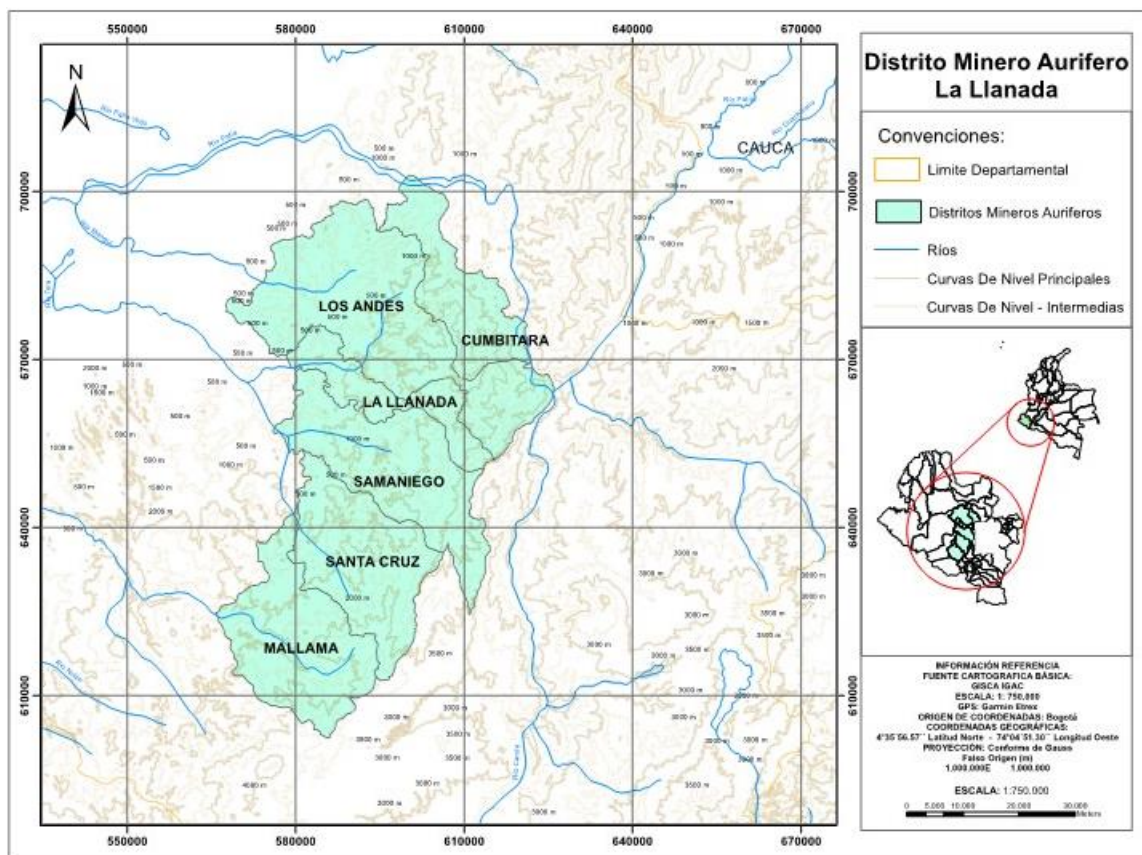
2.13 LA LLANADA

Ubicado en la Cordillera Occidental del departamento de Nariño, entre la loma San Antonio, los Cerros Cumbita, Piedrancha y Sotomayor y el volcán Azufral. Conformado por los municipios: Cumbitara, La Llanada, Los Andes, Mallama, Samaniego y Santa Cruz (Mapa 13).

El distrito presenta un sistema vial terrestre de difícil topografía y en condiciones precarias, además de ser vías secundarias a este y solo concentra con los principales centros de producción en el municipio de Cumbitara. Sin embargo el distrito es cruzado por la vía Pasto – Tumaco o también se puede acercar por la vía Túquerres, para tener conexión con la ciudad de Pasto y el resto del país.

El sistema fluvial es desarrollado normalmente sobre el río Telembé que conecta con la zona pacífica a través de pequeñas embarcaciones.

Mapa 13. Ubicación del distrito minero La Llanada



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.13.1 Características Geológicas

Los depósitos de este distrito se caracterizan por presentarse en filones de cuarzo rellenos por piritita y calcopiritita en las fracturas de la estructura, que están encajadas en rocas del Grupo Dagua. En la zona afloran los cuerpos intrusivos: Cumbitara, Piedrancha, Nambi, El Vergel que instruyen rocas volcánicas y sedimentarias del Ploco.

2.13.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

La explotación de los depósitos es efectuada por los métodos subterráneos de Guías o Cámara y Pilares. Los procesos extractivistas son realizados por métodos gravimétricos, que inician con la trituración del material con molinos de pistones para luego pasar a procesos de concentración.

En el distrito existen cooperativas que prestan el servicio de molinos, perforadoras, entre otros servicios y a su vez el alquiler de los equipos necesarios.

2.13.3 Producción de Oro

En la tabla 13 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito. Se nota que en algunos años los municipios de Cumbiara, Mallama y Samaniego, no reportaron cantidad de oro producido; pudiendo inferirse que tal vez en estos años, se llevó a otro lugar o en ese periodo de tiempo los mineros no tenían buenas condiciones económicas para realizar labores mineras.

Tabla 13. Producción de oro del distrito La Llanada

| La Llanada | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Cumbitara | 103093,09 | 54432,17 | 0 | 591,67 | 3245,85 | 20416,49 | 19893,11 | 19088,28 | 13471,29 | 226229,66 | 58530,85 |
| La Llanada | 49049,78 | 35576,06 | 53107,5 | 36541,79 | 54212,35 | 89937,81 | 132735,04 | 49871,9 | 26127,29 | 186582,41 | 98628,83 |
| Los Andes | 28681,28 | 13472,73 | 57374,36 | 21233,69 | 44114,44 | 55656,74 | 50603,68 | 19783,52 | 5726,73 | 164418,85 | 28019,04 |
| Mallama | 106971,23 | 0 | 0 | 0 | 561,54 | 22,01 | 634,7 | 158,19 | 324,13 | 0 | 335 |
| Samaniego | 5717,9 | 8052,44 | 13941,79 | 6054,27 | 5576,36 | 855,15 | 275,34 | 398,91 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Cruz | 196612,34 | 85499,08 | 520,09 | 1497,45 | 2854,16 | 1614,4 | 6577,47 | 2326,43 | 2590,81 | 549,36 | 15390,98 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.14 PUTUMAYO

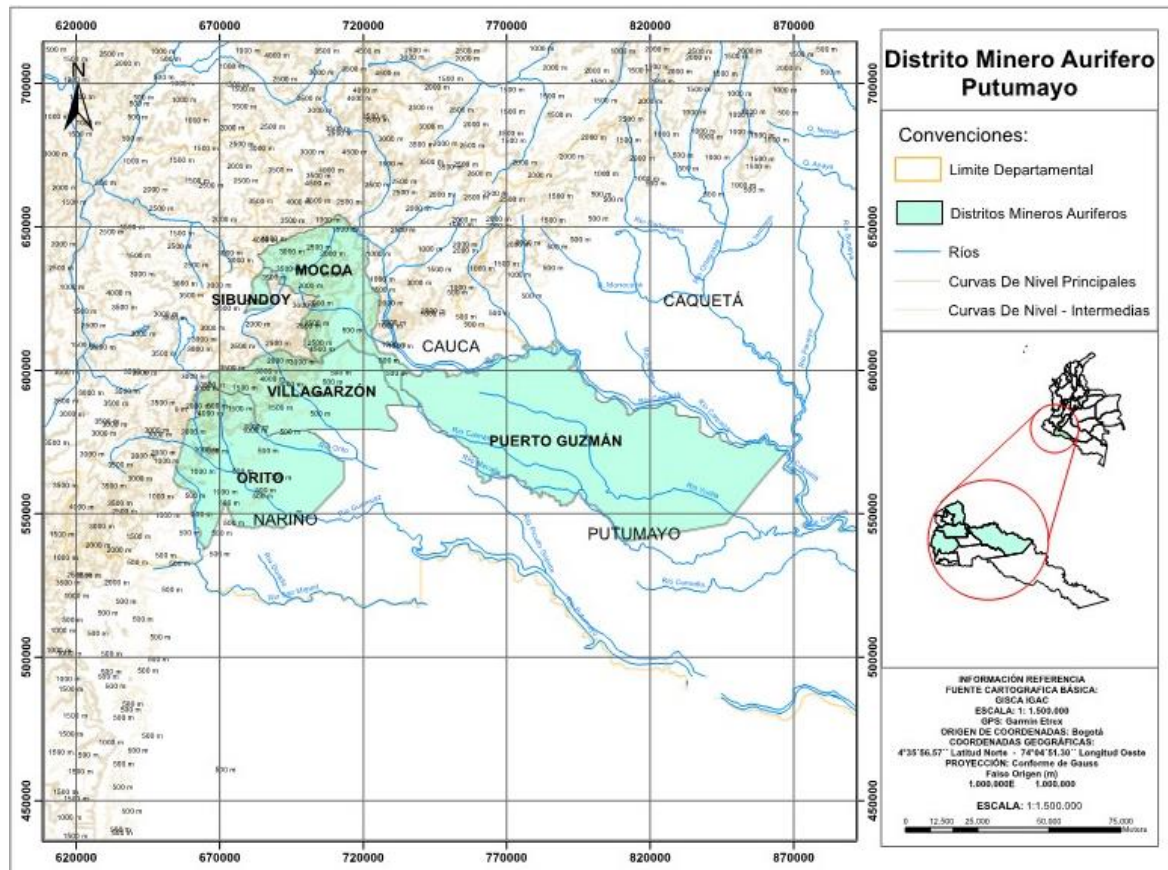
Ubicado en el occidente del departamento del Putumayo, conformado por los municipios: Puerto Guzmán, Mocoa, Sibundoy, Orito y Villagarzón (Mapa 14).

El acceso terrestre al distrito es por la carretera que une a Puerto Asís y Mocoa, con el interior del país, además en plena selva esta un tramo entre Taquí y Puerto Leguizamo

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

que une con los ríos Caquetá y Putumayo, además de los dos puertos fluviales en Puerto Asís y Puerto Leguizamós. También se cuenta con cuatro aeropuertos situados en Puerto Asís, Villagarzón, Oirto y Puerto Leguizamós.

Mapa 14. Ubicación distrito minero Putumayo



2.14.1 Características Geológicas

El Distrito se caracteriza por predominar los depósitos de aluviones en los ríos: San Pedro, San Francisco, Afán, Indiyaco, Yarumo, Orito, Caquetá, San Miguel, Mocoa, Putumayo y algunos afluentes y quebradas de estos ríos. Mas en el sector Mocoa-San Francisco, se centran las explotaciones de oro vetiforme, y a su vez existe un depósito de molibdeno.

Los depósitos aluviales son el resultado de la erosión de cuerpos andesíticos -dacíticos hipoabisales del Paleógeno, que afloran en el departamento de Nariño y son las rocas encajante de filones de oro. INGEOMINAS asumió que existen mineralizaciones filoníanas, skarns auríferos y posiblemente oro diseminado.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.14.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

En el distrito existen depósitos de veta y aluvión, pero este último es la más usual por los mineros de la zona. La actividad minera la conforman las asociaciones de mineros: Puerto Limón en Mocoa y Jauno en Puerto Guzmán.

Las labores mineras realizadas por estas asociaciones, utilizan herramientas manuales, motobombas, sistema de cargue manual y en algunos casos elevadoras y retroexcavadoras, para la ejecución de las de arranque y cargue. Las operaciones de transporte son usadas costales y canastas con tracción humana, carretillas y vagonetas de madera sobre rieles de madera. Para la obtención del mineral preciso se utilizan procesos de amalgamación artesanal.

2.14.3 Producción de Oro

En la tabla 14 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito.

Tabla 14. Producción de oro del distrito Putumayo

| Putumayo | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------|--------|----------|---------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|---------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Mocoa | 0 | 0 | 27333,82 | 572,75 | 616,06 | 840,43 | 3808,45 | 4378,34 | 13100,94 | 1986,43 | 1202,18 |
| Orito | 0 | 39,74 | 0 | 0 | 257,89 | 132,28 | 959,58 | 62,85 | 0 | 0 | 4209,29 |
| Puerto Guzmán | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2879,42 | 113,41 | 1510,66 |
| Sibundoy | 0 | 25,36 | 15453,62 | 2971,15 | 0 | 5649,3 | 8903,49 | 0 | 19428,43 | 37223,42 | 0 |
| Villagarzón | 0 | 217,64 | 99,16 | 0 | 48,68 | 683,6 | 905,67 | 1233,18 | 936,05 | 180,21 | 0 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

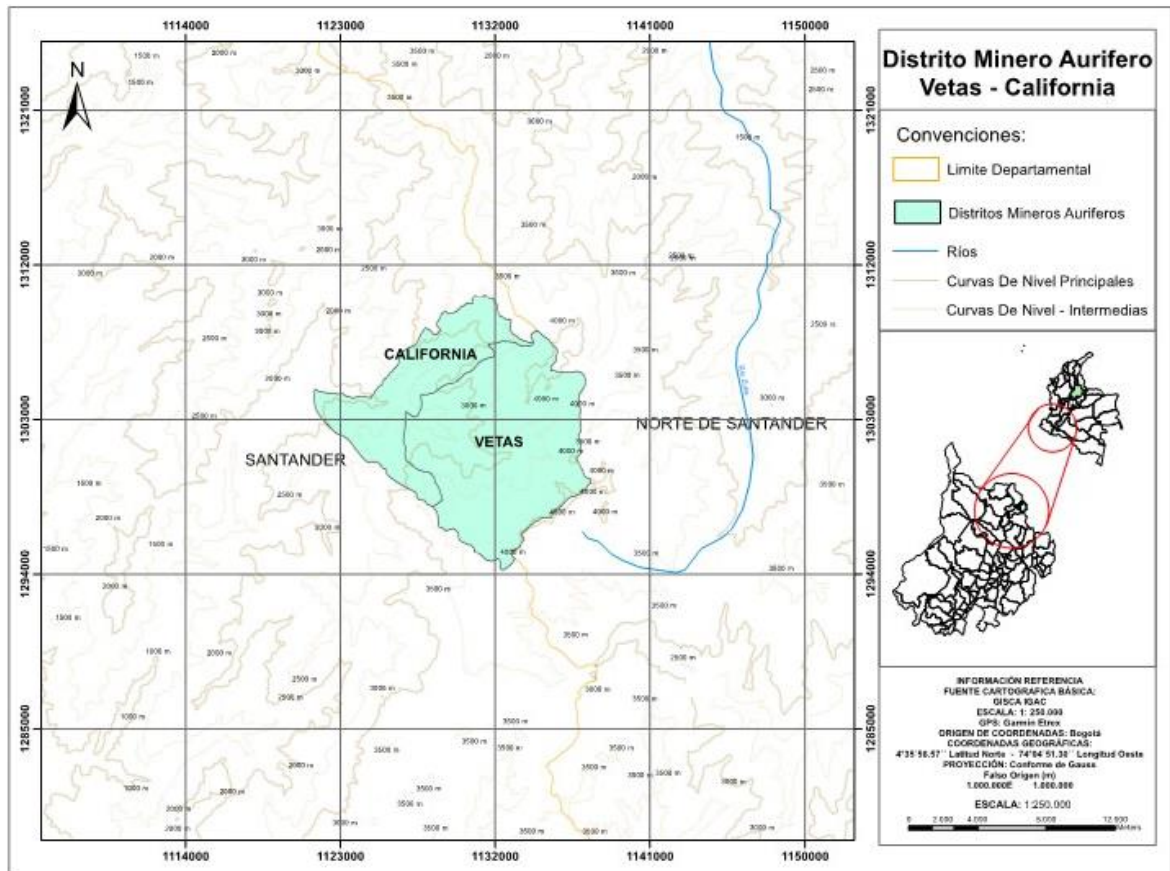
2.15 VETAS-CALIFORNIA

Ubicado en el oriente del país, en el macizo de Santander de la región andina, sobre la Cordillera Oriental y cercana al valle medio del Magdalena. El distrito lo componen los municipios de Vetás y California, en el departamento de Santander (Mapa 15).

Los municipios tienen dos ejes viales que los conecta con la ciudad de Bucaramanga: vía Bucaramanga – Cúcuta (ruta 66B) y Matanza – Surat, a estas vías se le conoce como el “Circuito del Oro”. En el distrito se encuentra la cuenca principal del río Suratá, corren los valles profundos de los ríos Vétas y Baja.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 15. Ubicación del distrito minero Vetas-California



2.15.1 Características Geológicas

El distrito es la única zona de la cordillera Oriental donde afloran rocas metamórficas de alto grado y medio de edad precámbrica, instruidas por rocas ígneas ácidas e intermedias de edad Jurásica, correspondientes a granitos, cuarzomonzonitas, granodioritas y cuarzdioritas (INGEOMINAS, 1989). Estas rocas se rodean por diques y stocks de rocas porfíricas de composición dacítica de posible edad cretácico inferior, los cuales forman los depósitos filoneanos.

Los filones están asociados con pórfidos, amplias zonas de alteración hidrotermal. Entre el filon se observa cuarzo lechoso con sulfuros, zonas stockwork con pirita y oro asociadas a zonas de intenso fracturamiento. Los minerales típicos son: pirita, calcopirita, molibdenita, galena, oro y plata (INGEOMINAS, 1989).

Fallas regionales con dirección norte a noreste han afectado la distribución de las mineralizaciones de metales preciosos y metales base en el distrito. Al norte de California

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

se encuentra la formación Tambor y Rosablanca donde afloran rocas sedimentarias de edad Cretácea (INGEOMINAS, 1989).

2.15.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

En el distrito se explotan los depósitos por pequeños mineros a partir de los métodos subterráneos de guías y ensanche de tambores. Para arrancar el material se utilizan explosivos, luego son transportados por tracción humana para ser procesados a través de técnicas gravimétricas.

2.15.3 Producción de Oro

En la tabla 15 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito. Sin embargo SIMCO no reporto las cantidades de oro provenientes del municipio de California.

Tabla 15. Producción de oro del distrito Vetas-California

| Vetas - California | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Vetas | 66867,81 | 214985,69 | 136027,21 | 31823,67 | 32163,06 | 50281,03 | 103068,42 | 40205,08 | 47939,13 | 24734,61 | 27608,54 |
| California | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

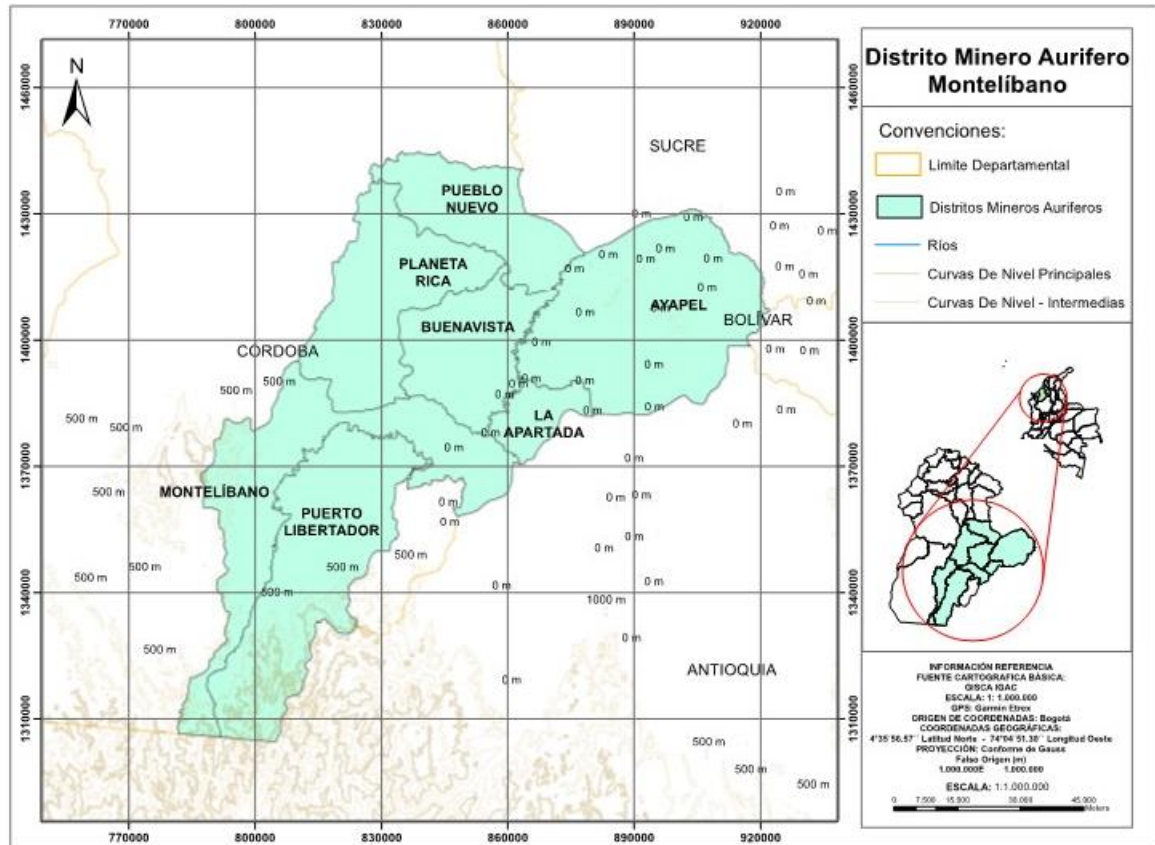
2.16 MONTELIBANO

Ubicado al norte del país en la región de la llanura del caribe, pertenecientes a los valles del Sinú y San Jorge, además de estar constituida por la serranías de Abide. El distrito está conformado por los municipios: Buenavista, La Apartada, Montelibano, Planeta Rica, Pueblo Nuevo, Ayapel y Puerto Libertador, en el departamento de Córdoba (Mapa 16).

El distrito cuenta con una vía que recorre los municipios comprendidos por el distrito, es decir, la carretera Caucasia – Planeta Rica – Montería, además de contar con el sistema fluvial de los ríos San Jorge, Sinú, Magdalena y el Canal del Diques para la comunicación entre Puerto Libertados y Cartagena.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 16. Ubicación del distrito minero Montelibano



2.16.1 Características Geológicas

El distrito presenta depósitos de aluviones sedimentarios y de tipo terrazas. Los yacimientos se encuentran principalmente en la cuenca alta y media del río San Jorge, en las poblaciones de Juan José, Pica Pica y Bocas de Uré, pero existen también en la cuenca quebrada San Pedro al sureste del departamento. La información de este tipo depósitos en la zona es escasa.

2.16.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

Las labores mineras en esta zona son realizadas de manera rudimentarias y artesanales, es decir, que la mayoría del oro extraído en esta zona es producto de barequeo. Sin embargo en algunas zonas es realizado remoción del mineral por retroexcavadoras, motores hidráulicos, motobombas e incluso mini dragas.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

En cuanto al procesamiento de material algunos mineros realizan procesos de trituración, concentración y separa el oro libre, pero otros utilizan el método de amalgamación para extraer el mineral aurífero.

2.16.3 Producción de Oro

En la tabla 16 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito.

Tabla 16. Producción anual de oro del distrito Montelíbano

| Montelíbano | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|------------|------------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Ayapel | 2935,47 | 27149,58 | 0 | 0 | 0 | 56413,91 | 90084,01 | 180730,48 | 58478,77 | 414971,33 | 412457,81 |
| Buenavista | 2434316,77 | 1899001,71 | 1751341,56 | 80833,2 | 56,84 | 1890,17 | 105155,79 | 322586,2 | 0 | 0 | 0 |
| La Apartada | 136411,76 | 1327033,7 | 236274,28 | 0 | 0 | 0 | 175556,57 | 93599,68 | 0 | 0 | 0 |
| Montelíbano | 217,83 | 370376,63 | 946590,83 | 377364,16 | 12226,09 | 0 | 1467,31 | 271,55 | 0 | 824,29 | 849,6 |
| Planeta Rica | 2736742,04 | 1938814,16 | 391729,04 | 0 | 1313,32 | 0 | 0 | 457,73 | 0 | 592,33 | 1257,26 |
| Pueblo Nuevo | 1661987,69 | 390624,21 | 278259,12 | 0 | 141,39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Puerto Libertador | 1134635,69 | 1271329,17 | 116549,43 | 3820,46 | 508,34 | 23349,78 | 55978,81 | 32702,41 | 9067,48 | 339349,78 | 77935,1 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

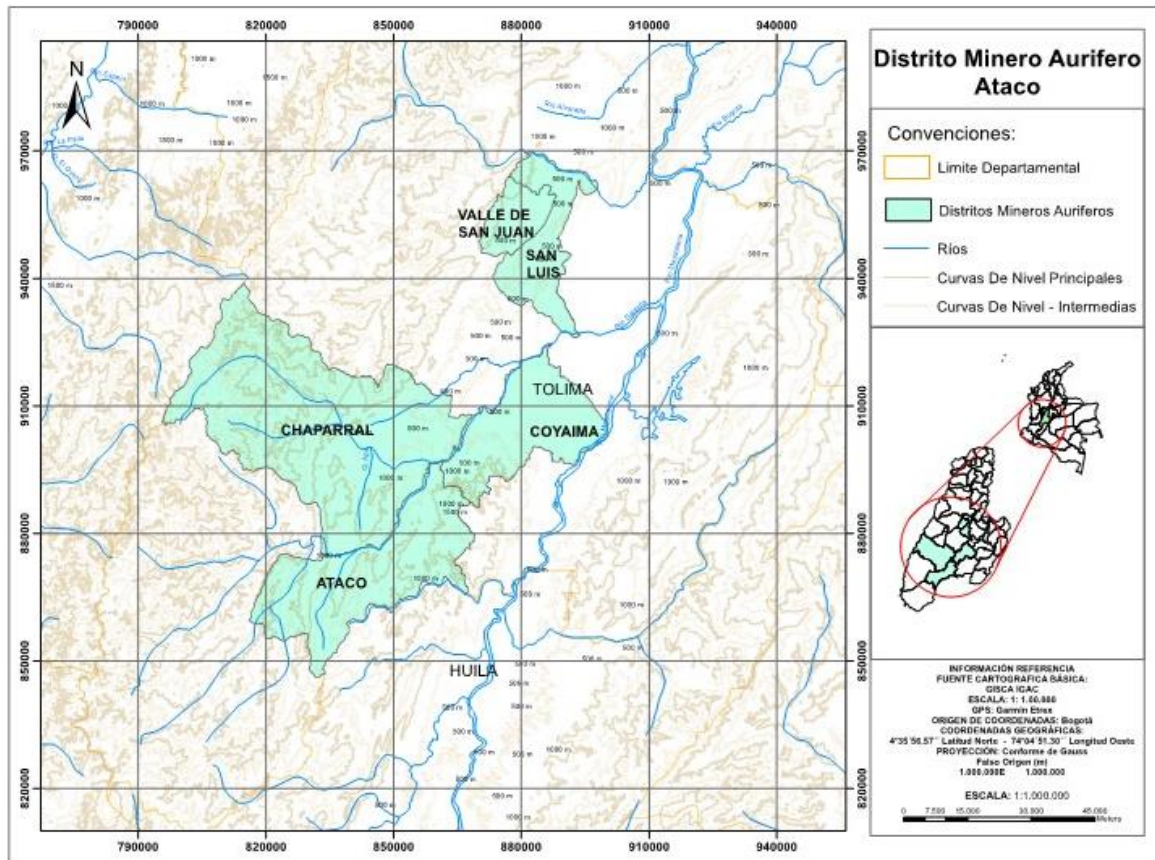
2.17 ATACO

Ubicado en el centro sur del territorio del departamento del Tolima, sobre el valle del río Magdalena, intercalado entre las cordilleras Central y Oriental.

Los municipios tolimenses que conforman esta zona minera son: Ataco, Chaparral, Coyaima, San Luis y Valle de San Juan (Mapa 17). El distrito está conectado por tres ejes viales primarios: Ruta 45 (conecta a los municipios del distrito con Bogotá y Neiva), Ruta 36 (Parte de la ruta 45 en el Guamo, y conecta con el municipio de Chaparral), Ruta 40 (Espinal – Ibagué y cruza con los municipios de Coello e integra con vías secundarias para dar conexión a San Luis).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 17. Ubicación del distrito minero Ataco



2.17.1 Características Geológicas

El distrito se caracteriza por presentar depósitos aluviales auríferos transportados por el río Saldaña provenientes del grupo Cajamarca y al Batolito de Ibagué. La cinta aurífera se localiza en la parte inferior encima de la roca basal (INGEOMINAS, 1991).

2.17.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

En el distrito las labores mineras son realizadas por mineros artesanales, quienes explotan los depósitos por barequeo, el método de apiques y monitores hidráulicos. En general las actividades extractivista son de la índole de minería de subsistencia y aquellas en mayor escala son realizadas por personas naturales.

Para ala obtención de oro y plata se usan procesos gravimétricos artesanales y amalgamación.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.17.3 Producción de Oro

En la tabla 17 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito.

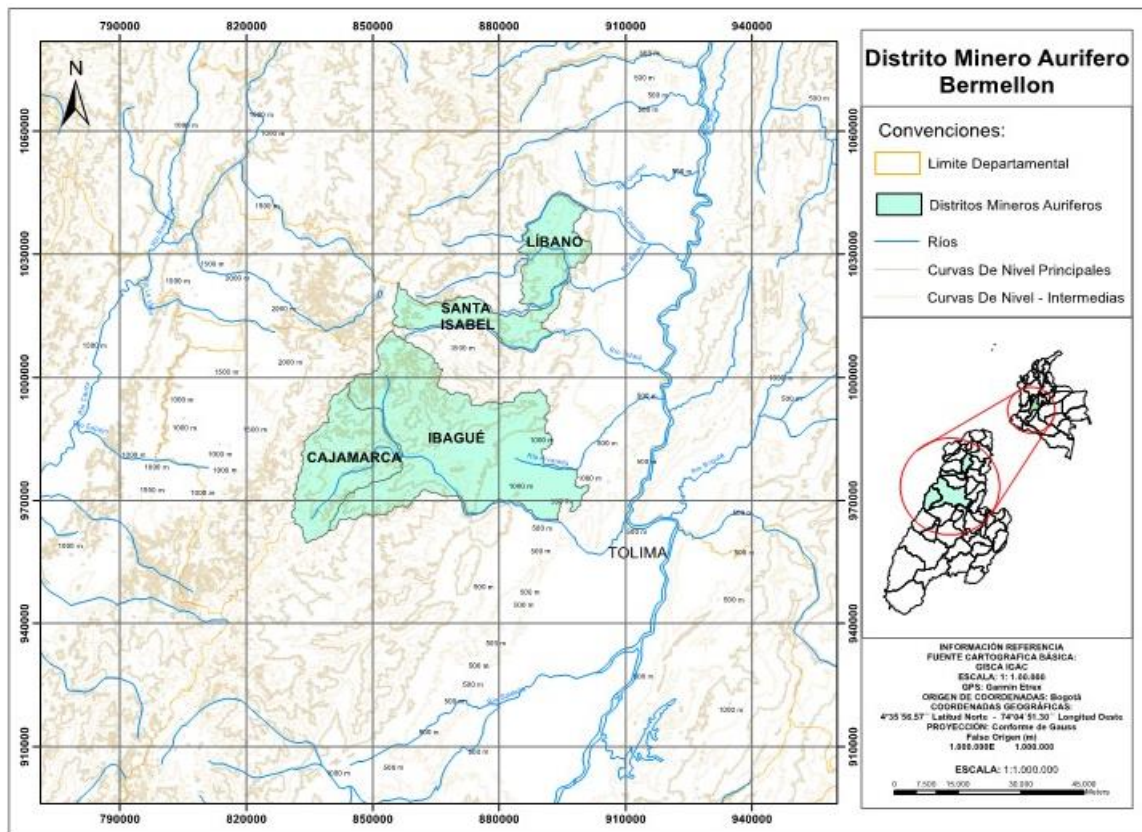
Tabla 17. Producción anual de oro del distrito Ataco

| Ataco | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|-----------|----------|----------|----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Ataco | 401571,01 | 280018,81 | 86515,85 | 45173,43 | 12253,33 | 8249,82 | 5669,51 | 213811,36 | 27729,22 | 7787,79 | 32785,08 |
| Chaparral | 1010,91 | 976,17 | 1315,42 | 598,49 | 686,03 | 1200,01 | 2471,44 | 14485,87 | 666,38 | 381,95 | 750,77 |
| Coyaima | 0 | 0 | 761,81 | 1363,15 | 6490,29 | 221,3 | 1381,76 | 4516,32 | 5458,07 | 2194,39 | 1842,78 |
| San Luis | 273,22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,77 |
| Valle de San Juan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1132,13 | 0 | 84,17 | 20028,59 | 5255,09 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

2.18 BERMELLÓN

Mapa 18. Ubicación del distrito minero Bermellon



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Ubicado en la región noroccidental del departamento del Tolima sobre la vertiente oriental de la cordillera Central y en algunos sectores se sitúan sobre el Valle del Magdalena. El distrito está conformado por los municipios de Ibagué, Cajamarca, Santa Isabel y Líbano (Mapa 18).

El distrito se encuentra ubicado en el cruce de las principales vías terrestres del país: la carretera transversal (Bogotá –Buenaventura), la carretera de la Paz y La troncal del Norte. Además se tienen accesos a los servicios de los aeropuertos en Ibagué, Flandes y mariquita, sumados a las pistas de aterrizaje en algunos municipios, aledaños.

2.18.1 Características Geológicas

Los depósitos de esta zona hacen parte del complejo Cajamarca, Quebrada grande y el cuerpo intrusivo neisisco de La Línea. La mineralogía predominante de la zona está conformado por esquistos, cuarcitas, mármoles y anfibolitas. La presencia de rocas hipoabisales formadas por diques y cuerpos subvolcánicos de composición dacítica – andesítica, microdiorítica y tonalítica (Núñez Tello, A. ,1981).

2.18.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

En el municipio de Santa Isabel opera la compañía minera canadiense Sector Resources, quienes realizan la explotación de la mina de oro “Las Animas”; en el municipio del Líbano también se encuentran en otras minas de pequeña a mediana escala, como son “El Porvenir”, “El Oasis”, “El Cairo”, “El Gran Porvenir” y “El Éxito”. En los demás municipios existe minería ilegal y está en el municipio de Cajamarca el Proyecto minero “La Colosa”, que en estos momentos se encuentra en etapa de factibilidad.

2.18.3 Producción de Oro

En la tabla 18 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito.

Tabla 18. Producción anual de Oro del distrito Bermellón

| Bermellón | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Cajamarca | 0 | 168,84 | 0 | 0 | 0 | 36,89 | 0 | 178,67 | 0 | 0 | 0 |
| Ibagué | 56,74 | 545,16 | 1775,69 | 0 | 0 | 6277,2 | 0 | 6786,04 | 947,44 | 0 | 7343,88 |
| Líbano | 1707,78 | 1696,82 | 16024,31 | 38959,14 | 113438,34 | 116095,48 | 117810,8 | 119668,01 | 119138,53 | 111712,96 | 125126,6 |
| Santa Isabel | 965,86 | 12973,94 | 131504,76 | 154928,06 | 121331,32 | 84662,48 | 147333,92 | 117394,52 | 63577,92 | 112987,31 | 102396,74 |

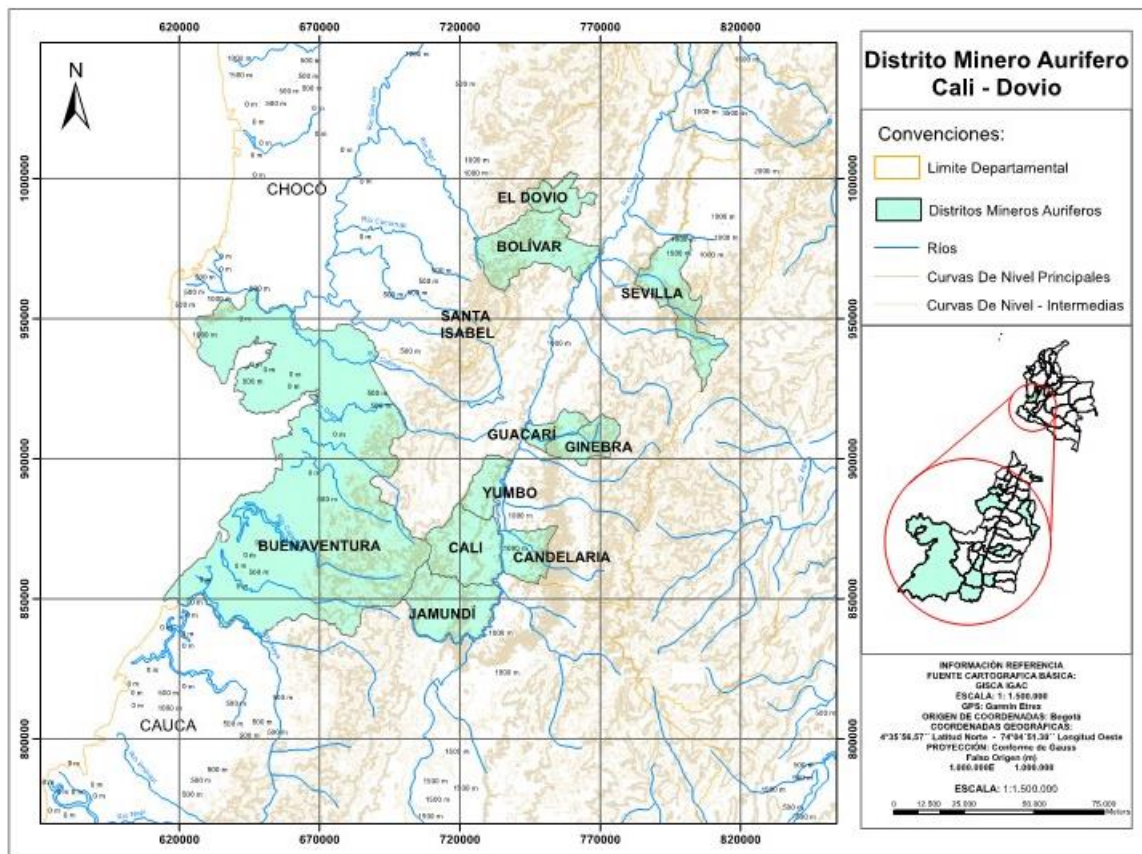
Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.19 CALI-DOVIO

Ubicado en las zonas mineras auríferas de los municipios: Bolívar, Buenaventura, Candelaria, El Dovio, Jamundí, Guacarí, Ginebra, Yumbo, Sevilla y Cali, en el departamento del Valle del Cauca (Mapa 19).

Mapa 19. Ubicación del distrito minero Cali-Dovio



2.19.1 Características Geológicas

Los yacimiento auríferos del Valle del Cauca están asociados a la actividad ígnea en la Cordillera Central y acumulaciones sedimentarias en la vertiente pacífica de la Cordillera Occidental.

En los municipios de Ginebra y Guacarí, se concentra la explotación de oro de veta, definido por la zona de contacto del Macizo de Ginebra con el Batolito de Buga. Los depósitos aluviales son acumulaciones cuaternarias ubicadas en el flanco oeste de la Cordillera Occidental a lo largo de la desembocadura del Océano Pacífico; específicamente en las cuencas de los ríos Anchicayá, Raposos, Calima y Aguaclara.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.19.2 Actividades Minero-Metalúrgicas

En Buenaventura los depósitos aluviales se emplean excavadoras, para la extracción del material en el cauce del río, pero otros mineros utilizan tolvas móviles, monitores hidráulicos y mini dragas. Pero la minería filoneana se realiza por el método de guías, con herramientas de mano, tracción humana y en algunos casos el arranque es realizado con explosivo, mas eso depende de la dureza del macizo.

En general Ingeominas determino que el 60% de las explotaciones en la zona son extractivo-beneficiador, es decir, el material sacado de mina es llevado a un molino rudimentario con el fin de recuperar el oro libre con la ayuda del mercurio.

2.19.3 Producción de Oro

En la tabla 19 se observa los gramos de oro producidos en los últimos 10 años en el distrito.

Tabla 19. Producción anual de oro del distrito Cali-Dovio

| Cali - Dovio | Producción Anual (gr) | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Bolívar | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 213,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Buenaventura | 19938,61 | 13538,82 | 15255,96 | 27893,99 | 21077,21 | 56653,98 | 290499,4 | 407874,18 | 74753,74 | 537094,48 | 644528,14 |
| Cali | 79482 | 51918,48 | 60390,28 | 9244,58 | 4041,73 | 108764,24 | 254108,85 | 67564,14 | 98821,91 | 88977,96 | 11058,4 |
| Candelaria | 83069,78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,14 | 0 | 0 |
| El Dovio | 1569,33 | 2296,09 | 998,55 | 1141,23 | 0 | 50,91 | 0 | 28,12 | 0 | 110,57 | 0 |
| Ginebra | 23707,75 | 21543,65 | 30546,87 | 20782,35 | 17488,37 | 30044,89 | 19203,32 | 42513,7 | 6057,45 | 4389,14 | 1674,88 |
| Guacarí | 0 | 0 | 2990,66 | 2352,23 | 3218,33 | 1046,72 | 17,92 | 41,77 | 8517,23 | 0 | 0 |
| Jamundí | 749,44 | 209,24 | 0 | 45,95 | 6,93 | 179,71 | 2630,7 | 241,25 | 910 | 744,56 | 304,71 |
| Sevilla | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 791,19 | 166,44 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Yumbo | 160,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1500 | 0 | 172,69 | 6965,03 | 1891,24 | 0 |

Fuente: Elaboración propia, basado (SIMCO, 2014)

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

3. LA DEMANDA TOTAL DE MERCURIO EN LAS PRINCIPALES ZONAS CALIENTES DEL PAÍS

3.1 PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN DE ORO DE FILÓN Y DE ALUVIÓN

Del informe Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala tomamos la siguiente información que nos será de utilidad más adelante.

Tabla 20. Porcentaje de producción de oro de filón y aluvión

| DEPARTAMENTO | PRODUCCIÓN DE ORO DE FILÓN (%) | PRODUCCIÓN DE ORO DE ALUVIÓN (%) |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Cauca | 47 | 53 |
| Huila | 91 | 9 |
| Nariño | 21 | 79 |
| Tolima | 72 | 28 |
| Valle del Cauca | 63 | 37 |
| Chocó | 0 | 100 |
| Santander | 100 | 0 |
| Antioquia | 27 | 73 |
| Bolívar | 52 | 48 |
| Córdoba | 0 | 100 |
| Caldas | 98 | 2 |
| Risaralda | 100 | 0 |
| Putumayo | 21 | 79 |

Fuente: Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala

3.2 USOS Y CONSUMO (DESCARGAS) DE MERCURIO EN LA MINERÍA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA

No toda la minería artesanal y de pequeña escala utiliza el mercurio en los procesos de beneficio del oro; algunos mineros han reemplazado el mercurio por cianuro. De este modo han implementado y mejorado los métodos de concentración para evitar, o disminuir el uso de este metal. Sin embargo, principalmente a nivel de la minería artesanal de filón, el mercurio sigue siendo utilizado.

Diferentes estudios que han realizado en el país distintas entidades tanto del sector gubernamental como privadas, indican que el consumo de mercurio varía ampliamente de acuerdo no solo con las tecnologías y técnicas de explotación y de beneficio de oro empleada, sino también con la tradición del minero y la región donde se lleva a cabo esta actividad minera, dado que ha sido legada de generación en generación. También influye en la cantidad necesaria de este metal la composición mineralógica del material; por

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

ejemplo su contenido de sulfuros, de cuarzo o el mismo contenido de otros elementos metálicos, aparte del oro.

En el proceso de amalgamación de minería de filón se llegan a usar entre 15 - 35 g Hg/g de oro recuperado cuando se utilizan canalones, de 7 - 10 g Hg/g de oro recuperado con placas amalgamadoras y entre 25 - 30 g Hg/g de oro recuperado con molinos de cocos, como ejemplo para mostrar la variabilidad que se presenta en el uso de mercurio.

El beneficio de oro para el caso de minería de aluvión a escala pequeña y artesanal, la situación es similar. En circuito abierto, las cantidades de mercurio utilizadas son en algunos casos del orden de 20,0 g Hg/g de oro recuperado, como ocurre en el sur del país. La minería aluvial que utiliza retroexcavadoras y placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones o baldes, utiliza en promedio 11,8 g Hg/g de oro recuperado; en el caso de los barequeros que utilizan bateas, el uso de mercurio es del orden de 8,7 g Hg/g de oro recuperado.

El consumo de mercurio en minería de oro aluvial se puede reducir incluso a aproximadamente 3 g Hg/g de oro recuperado en el caso de explotación con mini dragas, que utilizan concentración en canaletas y amalgamación en pequeños canalones o baldes. También es posible en el caso de dragones modificados, placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones, con utilización de retroexcavadoras para alimentar un sistema de clasificación por tamaños de mineral.

Cuando se utilizan circuitos cerrados, los consumos de mercurio disminuyen marcadamente. Para efectos de realizar la estimación de las cantidades de mercurio utilizadas en los procesos de beneficio de oro, el Ing. Oseas García en un trabajo realizado para el Ministerio de Ambiente asumió como valores de referencia de uso de mercurio aquellos que se relacionan en la Tabla 21, los cuales fueron obtenidos tanto de la información primaria levantada en las visitas a las zonas mineras del país, mediante las entrevistas directas con los mineros, la observación y la medición en campo de etapas de beneficio de oro que utilizan amalgamación, así como de información secundaria disponible de estudios realizados en diferentes departamentos del país. Se adoptan valores diferentes para distintos distritos mineros del país, considerando la similitud en las técnicas y tecnologías utilizadas y las eficiencias en los procesos.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 21. Cantidades de mercurio utilizadas de acuerdo al tipo de establecimiento de beneficio mineral

| <i>Tipo de establecimiento de beneficio mineral</i> | <i>Usos (g Hg/g Au)</i> | <i>Descargas (g Hg/g Au)</i> |
|---|-------------------------|------------------------------|
| <i>Minería de filón¹</i> | 36,04 | 12,41 |
| <i>Minería retroexcavadoras²</i> | 11,84 | 4,14 |
| <i>Minidragas³</i> | 3,28 | 1,15 |
| <i>Mineros de batea (Barequeros)</i> | 8,33 | 2,91 |
| <i>Elevadoras⁴</i> | 11,69 | 4,09 |
| <i>Dragones modificados⁵</i> | 3,43 | 2,62 |
| <i>Promedios</i> | 12,43 | 4,55 |

Fuente: Elaboración propia

Consideraciones generales al cuadro.

¹ Molinos amalgamadores, promedios de la información recibida en las diferentes regiones. ONUDI realizo en Segovia un balance másico de pérdidas de mercurio: 25 g usados y 8 g perdidos

² Placas amalgamadoras y/o Amalgamación de concentrados en pequeños canalones o baldes

³ Concentración de oro en la mini-dragas se realiza en canales y amalgamación en pequeños canalones o baldes

⁴ Las explotaciones aluviales que tienen elevadoras en la operación, utilizan placas amalgamadoras y/o Amalgamación de concentrados en pequeños canalones, utilizan la elevadora de mineral para alimentación a un sistema de clasificación por tamaños.

⁵ Placas amalgamadoras y/o Amalgamación de concentrados en pequeños canalones, utilizan retroexcavadoras para alimentar mineral a un sistema de clasificación por tamaños

Igualmente el Ing. García, Realiza una evaluación alternativa que resume en la siguiente tabla (Trabajo personal Ing. Oseas García)

Tabla 22. Uso de mercurio en métodos alternativos de estimación de uso de mercurio

| Región | Bajo Cauca | Nordeste | Chocó | Bolívar | Córdoba | Otros | Totales |
|---|-------------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| Minería con Retroexcavadoras (unidades) | 700 | 460 | 800 | 200 | 100 | - | 2260 |
| Hg/mes (Kg) | 13,50 | 13,50 | 13,50 | 13,50 | 13,50 | - | - |
| Mercurio usado/mes | 9.450,00 | 6.210,00 | 10.800,00 | 2.700,00 | 1.350,00 | | 30.510,00 |
| Entables | | | | | | | |
| # Molinos amalgamadores (cocos) | - | 3.600 | - | 3.500 | - | 1.500 | 8.600 |
| Días utilizados/mes | - | 24,00 | - | 24,00 | - | 24,00 | - |
| Lotes procesados mes | - | 86400 | - | 84000 | - | 36000 | - |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

| Región | Bajo Cauca | Nordeste | Chocó | Bolívar | Córdoba | Otros | Totales |
|--------------------------------------|------------|----------|-------|----------|---------|----------|-----------|
| Mercurio usado/molino (batches)(Kg) | - | 0,05 | - | 0,06 | - | 0,06 | - |
| Mercurio usado/mes (kg) | | 4.320,00 | | 4.620,00 | | 1.980,00 | 10.920,00 |
| Minidragas | 500 | - | - | - | 50 | - | 550 |
| Hg/mes (Kg) | 0,73 | - | - | - | 0,73 | - | - |
| Mercurio usado/mes | 365,40 | | | | 36,54 | | 401,94 |
| Mineros de batea (Barequeros) | | | | | | | |
| Mineros | 11600 | - | 15000 | - | 1100 | - | 27700 |
| Hg/mes (Kg) | 0,29 | - | 0,00 | - | 0,29 | - | - |
| Mercurio usado/mes (kg) | 3.337,83 | | | | 316,52 | | 3.654,35 |

Fuente: Elaboración propia

3.3 APROXIMACIÓN A UNA ESTIMACIÓN DE USOS Y DESCARGAS DE MERCURIO POR DISTRITO

Cada minero artesanal e incluso los pequeños pierden un 50% (promedio obtenido en una serie de balance de masas realizado por la ONUDI y estudiantes de la Universidad British Columbia a partir de junio a agosto de 2010), teniendo en cuenta que cada "coco" procesa un lote de 65 kilos por día y 360 días al año, entonces la pérdida de mercurio (consumo) es de alrededor de 49 toneladas/año.

Se ha encontrado en el Sur de Bolívar que un minero puede descargar al ambiente 25 gramos de mercurio para extraer un gramo de oro. Por ello, para calcular los valores aproximados del uso y descargas de mercurio en los distritos mineros, se tuvo en cuenta la producción del 2013 reportada por SIMCO y con las siguientes consideraciones: las estimaciones del consumo de mercurio se considerará un oro de Ley 750, Se considera que la proporción de plantas de beneficio que realizan amalgamación en el país, puede ser en promedio el 75% del total de plantas. Considerando que la gran minería aurífera del país produjo en el año 2012 un total de 6.000 kg de oro (Producción de oro en 2011 de Mineros S.A) y Gran Colombia Gold (www.grancolombiagold.com), de donde la producción de oro del distrito del nordeste y Bajo Cauca, se le debe descontar este valor.

Para estimar el consumo de mercurio por distrito, se utilizara la ecuación 1, cuyos valores de A y B, serán tomados de la tabla 23.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Ecuación 1. Consumo Anual de mercurio (Kg)

$$\begin{aligned}
 & \text{Consumo anual de mercurio (kg)} \\
 & = \text{Producción de oro anual (kg)} * \frac{100 \text{ kg oro Ley 750}}{75 \text{ kg oro Ley 999,99}} * \frac{75}{100} * \\
 & \left[\frac{A \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} (\% \text{Filón}) + \frac{B \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} (\% \text{Aluvión}) \right]
 \end{aligned}$$

Fuente: Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala

Tabla 23. Usos promedio de gr Hg/gr Au recuperado

| DISTRITOS MINEROS | Uso promedio de mercurio g Hg/g de oro recuperado | |
|---|---|---------|
| | FILON | ALUVION |
| El Tambo - Buenos Aires, Costa Pacífica Sur, La Llamada, Mercaderes, Tesalia – Aipe, Cali – El Dovio, Ataco – Payandé, Vetas, Putumayo. | 14,6 | 13,5 |
| Frontino | 27,7 | - |
| Itsmina | - | 7,0 |
| Lobas, Magdalena Medio Bolivarense, Mojana Bolivarense | 97,5 | 11,1 |
| Montelibano | 5,7 | 6,4 |
| Nordeste Antioqueño | 25,0 | 9,7 |
| Vetas – California | 3,3 | - |
| Marmato | 17,2 | - |

Fuente: Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala, con la Contribución del Ing. Oseas García Rivera

A su vez se realizó una aproximación similar para estimar las descargas al medio ambiente, con la ecuación 2 y se consideraron los siguientes elementos:

- Oro de Ley 750, que es el que produce en promedio la ASM.
- Porcentaje de producción de oro de filón y el porcentaje de producción de oro de aluvión.
- Se estima que aproximadamente el 75% del oro proveniente de yacimientos de filón se procesa en circuitos abiertos y el 25% restante en circuitos semi-cerrados.
- Se estima que aproximadamente el 30% del oro proveniente de yacimientos aluviales se procesa en circuitos abiertos y el 70% restante en circuitos semicerrados.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

- Los sistemas de amalgamación en circuitos semi-cerrados reducen entre el 80% - 90% la colas contaminadas con mercurio en el beneficio de minerales primarios y entre el 98,0% - 99,5%, las colas producidas en el beneficio de aluviones.
- La destilación de amalgama en circuito cerrado mediante el uso de retorta, permite reducir las emisiones gaseosas de mercurio aproximadamente en un 98%.
- En minerales provenientes de yacimientos de filón del sur del país y amalgamados en sistemas semicerrados, una reducción en las pérdidas de mercurio del 85% respecto a circuitos abiertos.
- En minerales provenientes de yacimientos aluviales del sur del país y amalgamados en sistemas semicerrados una reducción en las pérdidas de mercurio del 98%, con respecto a circuitos abiertos.

Ecuación 2. Descarga anual de Mercurio (Kg) ¹

Descarga anual de mercurio (kg) =

$$\begin{aligned}
 & \left[\left(\text{Producción de oro anual de filón (kg)} * \frac{A \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} * 0,75 \right) + \right. \\
 & \left(\text{Producción de oro anual de filón (kg)} * \frac{B \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} * 0,25 \right) + \\
 & \left(\text{Producción de oro anual de aluvión (kg)} * \frac{C \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} * 0,30 \right) + \\
 & \left. \left(\text{Producción de oro anual de aluvión (kg)} * \frac{D \text{ kg Hg}}{\text{kg oro}} * 0,70 \right) \right] * \frac{100 \text{ kg oro Ley 750}}{75 \text{ kg oro Ley 999,99}}
 \end{aligned}$$

Donde:

A: Pérdida de mercurio en minería de filón, circuito abierto

B: Pérdida de mercurio en minería de filón, circuito semicerrado

C: Pérdida de mercurio en minería de aluvión, circuito abierto

D: Pérdida de mercurio en minería de aluvión, circuito semicerrado

Fuente: Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala

En la Tabla 24 se relacionan los valores estimados de pérdidas de mercurio en minerales provenientes de yacimientos de filón y aluviales, amalgamados en sistemas abiertos y semi-cerrados.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 24. Valores promedio de pérdidas de mercurio en distintos distritos mineros

| DISTRITOS MINEROS | Perdidas promedio de mercurio g Hg/g de oro recuperado | | | |
|---|---|----------------|------------|----------------|
| | FILON | | ALUVION | |
| | C. Abierto | C. Semicerrado | C. Abierto | C. Semicerrado |
| El Tambo - Buenos Aires, Costa Pacífica Sur, La Llamada, Mercaderes, Tesalia – Aipe, Cali – El Dovio, Ataco – Payandé, Vetas, Putumayo. | 7,7 | 1,2 | 15,5 | 0,31 |
| Frontino | 10,3 | 1,5 | - | - |
| Itsmina | - | - | 2,5 | - |
| Lobas, Magdalena Medio Bolivarense, Mojana Bolivarense | 34,1 | 5,1 | 3,9 | - |
| Montelibano | 2,0 | 0,3 | 2,2 | - |
| Nordeste Antioqueño | 8,0 | 1,2 | 3,4 | - |
| Vetas – California | 1,1 | 0,2 | - | - |
| Marmato | 6,0 | 0,9 | - | - |

Fuente: Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala, con la Contribución del Ing. Oseas García Rivera)

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 25, donde se percibe que los distritos con mayor usos y descarga de mercurio son: Tambo-Buenos Aires, Santa Rosa del Sur, San Juan – Itsmina, Cali – Dovio, Costa Pacífica del sur, Nordeste y Bajo Cauca.

Tabla 25. Usos y descargas de mercurio en los distritos mineros auríferos colombianos para 2013

| Distrito | Producción Au (Kg) | Consumo de Mercurio (Kg) | Descarga de Mercurio (Kg) |
|-----------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| Frontino | 886,16 | 1227,34 | 3588,96 |
| Nordeste y Bajo Cauca | 24375,80 | 314569,27 | 89673,92 |
| Puerto Nare | 69,29 | 11,43 | 970,74 |
| San Martin de Loba | 345,35 | 1875,24 | 6451,09 |
| Santa Rosa del Sur | 1758,03 | 9546,11 | 32840,03 |
| Marmato | 1487,67 | 1279,40 | 9372,32 |
| Litoral del Pacifico | 204,00 | 297,84 | 1652,41 |
| Mercaderes | 17,93 | 24,21 | 145,23 |
| Tambo - Buenos Aires | 1463,01 | 2055,53 | 10672,20 |
| San Juan - Itsmina | 5442,82 | 2666,98 | 5442,82 |
| Teruel – Aipe | 211,68 | 297,42 | 1544,17 |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

| Distrito | Producción Au (Kg) | Consumo de Mercurio (Kg) | Descarga de Mercurio (Kg) |
|------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Costa Pacífica del Sur | 1884,70 | 2544,35 | 15266,08 |
| La Llanada | 200,90 | 293,32 | 1627,33 |
| Putumayo | 6,92 | 9,73 | 50,49 |
| Vetas - California | 27,61 | 4,56 | 32,21 |
| Montelíbano | 492,50 | 297,96 | 613,65 |
| Ataco | 40,65 | 59,34 | 263,76 |
| Bermellon | 234,87 | 342,91 | 1902,42 |
| Cali - Dovio | 657,57 | 923,88 | 4796,73 |
| Total (Kg) | 39807,5 | 338326,8 | 186906,6 |
| Total (Ton) | 40 | 338 | 187 |

Fuente: Elaboración propia, basados en Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
**ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO**

4. LA MINERÍA EN LAS ZONAS CALIENTES

4.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE LA EXTRACCIÓN ILÍCITA EN LAS ZONAS CALIENTES Y SUS CONSUMOS DE MERCURIO ASOCIADO

La recopilación de la información sobre los mecanismos de extracción ilícita en las zonas de estudio y la forma y cantidad en que se utiliza el mercurio para la explotación aurífera en las diferentes regiones del país, es difícilmente objetiva, debido que no existe un acercamiento entre las poblaciones encargadas de explotar informalmente los yacimientos de oro del país y las instituciones o entidades que regulan este tipo de actividades.

Un cálculo de los usos de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala que utiliza este metal se podría hacer si se contara con inventarios reales y actualizados del número de minas, entables y plantas de beneficio de oro y se tuviera información cuantitativa sobre los procesos y técnicas que aplican para la recuperación del oro. El país no cuenta con la compilación de dicha información y su recolección es compleja dada las particularidades del sector tales como la informalidad, la poca permanencia (particularmente la MAAPE de aluvión que puede desarrollarse en períodos muy cortos y trasladarse de una zona a otra), la ubicación en zonas geográficas donde se presenta conflicto armado, con los diferentes actores asociados a este, como lo son la guerrilla, el paramilitarismo, bandas criminales, narcotraficantes, contrabandistas, por mencionar algunas y esto aunado a la baja capacidad del Estado para realizar este tipo de tareas.

4.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS BAREQUEROS EN LAS ZONAS CALIENTES Y SUS CONSUMOS DE MERCURIO ASOCIADO

El barequeo es una actividad típica de minería informal, la cual históricamente ha sido reconocida por las normatividad minera Colombiana.

De acuerdo con el Artículo 155 de la Ley 685 de 2001 (Código de Minas), el barequeo se entiende como el lavado de arenas por medios manuales, sin ayuda de maquinaria o medios mecánicos y con el objeto de separar y recoger metales y piedras preciosas y semipreciosas contenidos en dichas arenas.

Adicionalmente, el Artículo 12 de la Ley 1382 de 2010 (Ajustes al Código de Minas) complementa la definición de barequeo, en el sentido que se considerará legal el barequeo consistente en extracción de materiales de arrastre, siempre y cuando se realice con herramientas no mecanizadas y con una extracción que no supere un volumen de 10 metros cúbicos por día, por longitud de rivera de 200 metros de largo.

El método para extraer los minerales es cavar a cielo abierto, con palas mientras se ablanda la tierra con chorros de agua. En una vasija labrada en un tipo de madera especial, en la cual se colocan los minerales y el barro con agua, para que después de una barrida con el movimiento de las manos del minero, salga el presumido metal.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

En este mecanismo no se emplean insumos químicos ni maquinaria que afecte el medio ambiente. Esta actividad demanda una gran destreza, la cual, solo se adquiere con el pasar del tiempo.

Los barequeros, buscadores de minerales preciosos, abandonan sus actividades cotidianas por la batea y la pala, se agrupan en grandes o pequeños grupos y se instalan en zonas cerca de los ríos.

Esta acción, como actividad conocida de los habitantes de terrenos aluviales (entendidos éstos como una formación geológica de material formado por la sedimentación del río o por el material que ha sido depositado por el mismo), es permitida, con las restricciones establecidas.

Los barequeros se ubican en las regiones de explotación aurífera donde se pueda acceder a las minas, una parte de los barequeros que poseemos en Colombia, son “barequeros de maquina” que son campesinos, desplazados víctimas o pobres, es un poblador que desarrolla sus actividades en medio de las necesidades de sobrevivencia, puede ser un minero artesanal un miembro de la comunidad étnica, en resumen, cualquiera con necesidades básicas insatisfechas, que se caracterizan por ir tras de la excavadora, es errante, no tiene familia y comunidad cerca y sobre todo no protege el medio ambiente. (Informe 86113-059-05, Contraloría General de la Republica – 2013)

La información asociada al uso de mercurio por parte de los barequeros no está disponible, debido a que esta comunidad dedicada a la explotación aurífera es flotante y no permanece por tiempos largos en las zonas, adicionalmente es difícil el acceso a estos individuos, por la prevención hacia las instituciones del estado.

Los datos de campo permiten establecer una serie de información asociada, en las que no se pudo capturar la información de los barequeros.

De acuerdo con información recopilada en campo y con la revisión de información secundaria incluida en la Sinopsis Nacional de la ASGM, la recuperación de mercurio en un proceso de amalgamación de circuito abierto de pequeña minería aurífera de filón está entre el 33% y el 75% y en minería de aluvión entre el 20% y el 77%. En la Tabla 22 se relacionan algunos datos promedio de uso y recuperación de mercurio en algunos procesos típicos de extracción y beneficio de oro de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 26. Uso de mercurio en métodos alternativos de estimación de uso de mercurio

| Región | Bajo Cauca | Nordeste | Chocó | Bolívar | Córdoba | Otros | Totales |
|---|------------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| Minería con Retroexcavadoras (unidades) | 700 | 460 | 800 | 200 | 100 | - | 2260 |
| Hg/mes (Kg) | 13,50 | 13,50 | 13,50 | 13,50 | 13,50 | - | - |
| Mercurio usado/mes | 9.450,00 | 6.210,00 | 10.800,00 | 2.700,00 | 1.350,00 | | 30.510,00 |
| Entables | | | | | | | |
| # Molinos amalgamadores (cocos) | - | 3.600 | - | 3.500 | - | 1.500 | 8.600 |
| Días utilizados/mes | - | 24,00 | - | 24,00 | - | 24,00 | - |
| Lotes procesados mes | - | 86400 | - | 84000 | - | 36000 | - |
| Mercurio usado/molino (batches)(Kg) | - | 0,05 | - | 0,06 | - | 0,06 | - |
| Mercurio usado/mes (kg) | | 4.320,00 | | 4.620,00 | | 1.980,00 | 10.920,00 |
| Minidragas | 500 | - | - | - | 50 | - | 550 |
| Hg/mes (Kg) | 0,73 | - | - | - | 0,73 | - | - |
| Mercurio usado/mes | 365,40 | | | | 36,54 | | 401,94 |
| Mineros de batea (Barequeros) | | | | | | | |
| Mineros | 11600 | - | 15000 | - | 1100 | - | 27700 |
| Hg/mes (Kg) | 0,29 | - | 0,00 | - | 0,29 | - | - |
| Mercurio usado/mes (kg) | 3.337,83 | | | | 316,52 | | 3.654,35 |

Fuente: Oseas García - Elaboración propia - 2014

4.3. EL CONSUMO O USO TOTAL DE MERCURIO POR LA EXTRACCIÓN ILÍCITA EN LAS ZONAS CALIENTES

Los usos de mercurio en la explotación ilícita no se pueden calcular en primera instancia, debido a que no existe un control y una estandarización del uso de mercurio, que se acerque a valores reales confiables y consistentes, que permitan establecer una relación estequiométrica entre la cantidad de oro producido tratado con mercurio y el consumo de mercurio. De tal forma que a través de balances se pueda cruzar este cálculo con las importaciones legalmente registradas según la base de Legiscomex, reportada en el presente estudio.

Los centros mineros son una alternativa para estandarizar la relación oro producido mercurio utilizado, para darle a la población de la minería aurífera que utiliza mercurio en sus procesos valores confiables de la relación estequiométrica efectiva requerida, dependiendo de las características de los suelos en los sitios de explotación.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
**ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO**

Vale aclarar, que existe una información la cual referenciamos del documento de la Sinopsis Nacional de la ASGM del mercurio en Colombia elaborado por el PNUMA y el MADS de Colombia, donde se realiza un cálculo estimativo, conforme se ilustra a continuación:

Diferentes estudios que han realizado en el país distintas entidades tanto del sector gubernamental como privadas, indican que el uso de mercurio varía ampliamente de acuerdo no solo con las tecnologías y técnicas de explotación y de beneficio de oro empleada, sino también con la tradición del minero y la región donde se lleva a cabo esta actividad minera, dado que ha sido legada de generación en generación. También influye en la cantidad necesaria de este metal la composición mineralógica del material, por ejemplo su contenido de sulfuros o de cuarzo o el mismo contenido de otros elementos metálicos aparte del oro. Así, se encuentra que en el proceso de amalgamación de minería de filón se llegan a usar entre 15 a 35 g Hg/g de oro recuperado cuando se utilizan canalones, de 7 a 10 g Hg/g de oro recuperado con placas amalgamadoras y entre 25 y 30 g Hg/g de oro recuperado con molinos de cocos, como ejemplo para mostrar la variabilidad que se presenta en el uso de mercurio.

En el caso del beneficio de oro de pequeña minería y minería artesanal de aluvión la situación es similar; en circuito abierto, las cantidades de mercurio utilizadas son en algunos casos del orden de 20,0 g Hg/g de oro recuperado, como ocurre en el sur del país. La minería aluvial que utiliza retroexcavadoras y placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones o baldes, utiliza en promedio 11,8 g Hg/g de oro recuperado; en el caso de los barequeros que utilizan bateas, el uso de mercurio es del orden de 8,7 g Hg/g de oro recuperado. El uso de mercurio en minería de oro aluvial se puede reducir incluso a aproximadamente 3 g Hg/g de oro recuperado en el caso de explotación con minidragas, que utilizan concentración en canaletas y amalgamación en pequeños canalones o baldes y en el caso de dragones modificados y placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones, con utilización de retroexcavadoras para alimentar el mineral a un sistema de clasificación por tamaños.

En los casos en que se utilizan circuitos cerrados, los usos de mercurio disminuyen marcadamente. Así las cosas, para efectos de realizar la estimación de las cantidades de mercurio utilizadas en los procesos de beneficio de oro, en este documento se asumen como valores de referencia de uso de mercurio aquellos que se relacionan en la Tabla 8, los cuales fueron obtenidos tanto de la información primaria levantada en las visitas a las zonas mineras del país, mediante las entrevistas directas con los mineros, la observación y la medición en campo de etapas de beneficio de oro que utilizan amalgamación, así como de información secundaria disponible de estudios realizados en diferentes departamentos del país. Se adoptan valores diferentes para distintos distritos mineros del país, considerando la similitud en las técnicas y tecnologías utilizadas y las eficiencias en los procesos. En la Tabla 9 se relacionan los usos estimados de mercurio en 2011 en los principales departamentos donde se desarrolla la MAAPE del país, que corresponden en conjunto al 99,6% de la producción de oro nacional.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Los valores presentados en la Tabla 27 fueron estimados con base en la producción departamental de oro para el año 2011 reportada por SIMCO y teniendo en cuenta los porcentajes de producción de oro de filón y de aluvión. Estas cantidades de oro reportadas por el SIMCO corresponden a oro fino (oro puro Ley 999.99), por ello para las estimaciones del uso de mercurio se consideró un oro de Ley 750, que es el que produce en promedio la MAAPE y se efectuó el ajuste respectivo a las cifras; también se tuvo en cuenta la proporción de plantas de beneficio que realizan amalgamación, que en promedio en el país puede ser del 75% del total de plantas. Considerando que la gran minería aurífera del país produjo en el año 2011 un total de 6.221,1 kg de oro 11, este valor fue descontado de la producción anual del departamento de Antioquia.

Tabla 27. Valores promedio de uso de mercurio en distintos distritos mineros

| DISTRITOS MINEROS | Uso promedio de mercurio g Hg/g de oro recuperado | |
|---|---|---------|
| | FILÓN | ALUVIÓN |
| El Tambo - Buenos Aires, Costa Pacífica Sur, La Llamada, Mercaderes, Tesalia – Aipe, Cali – El Dovio, Ataco – Payandé, Vetas, Putumayo. | 14,6 | 13,5 |
| Frontino | 27,7 | - |
| Itsmina | - | 7,0 |
| Lobas, Magdalena Medio Bolivarense, Mojana Bolivarense | 97,5 | 11,1 |
| Montelibano | 5,7 | 6,4 |
| Nordeste Antioqueño | 25,0 | 9,7 |
| Vetas – California | 3,3 | - |
| Marmato | 17,2 | - |

De acuerdo con lo anterior, para la estimación de uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala y teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas, se aplicó la siguiente fórmula:

Ecuación 3. Consumo Anual de mercurio (Kg)

$$Uso\ anual\ de\ mercurio\ (kg) = Producción\ de\ oro\ anual\ (kg) * \frac{100\ kg\ oro\ Ley\ 750}{75\ kg\ oro\ Ley\ 999,99} * \frac{75}{100} *$$

$$\left[\frac{A\ kg\ Hg}{kg\ oro} (\%Filón) + \frac{B\ kg\ Hg}{kg\ oro} (\% Aluvión) \right]$$

Donde:

X corresponde al consumo de mercurio (g Hg/g oro recuperado) según el distrito minero.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

A: Uso de mercurio en minería de filón, de acuerdo con el distrito minero y B: Uso de mercurio en minería aluvial, de acuerdo con el distrito minero.

Un cálculo más riguroso de los usos de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala que utiliza este metal se podría hacer si se contara con inventarios reales y actualizados del número de minas, entables y plantas de beneficio de oro y se tuviera información cuantitativa sobre los procesos y técnicas que aplican para la recuperación del oro. El país no cuenta con la compilación de dicha información y su recolección es compleja dada las particularidades del sector tales como la informalidad, la poca permanencia (particularmente la MAAPE de aluvión que puede desarrollarse en períodos muy cortos y trasladarse de una zona a otra), la ubicación en zonas geográficas donde se Presentan conflictos y problemas de orden público, asociado al conflicto.

Los datos de balance másico, incluidos en el producto 7 de este estudio nos permitirán tener una aproximación a los datos de mercurio ingresado al país por vías diferentes a las legalmente establecidas y registradas en la base de datos Legiscomex, utilizada en este estudio como soporte de información de los datos de importación del mercurio.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

5. CONCLUSIONES

Para el 2014 la minería artesanal y pequeña escala ASM, es el principal y mayor consumidor del mercurio que llega al país, dado que las importaciones legales de esta sustancia están muy por debajo del consumo estimado, se podría anotar que entran de contrabando una cantidad apreciable de mercurio; lo que implica que no existan suficientes mecanismos de control.

Los distritos de mayor consumo de mercurio son: Santa Rosa del Sur, Costa Pacífica del Sur, Tambo – Buenos Aires, San Juan – Itsmina, Nordeste y Bajo Cauca; que están condicionados primeramente por ser zona con una alta producción de oro, además de manejarse un cultura enraizada en el entorno de procesos amalgamadores. A lo largo de la historia de estos distritos, este método metalúrgico se ha utilizado para la extracción del mineral precio, sin tener en cuenta las consecuencias ambientales y sanitarias, que trae consigo esta alta exposición que se ven reflejadas en las generaciones siguientes.

Gracias a la labor del proyecto global de mercurio, los pequeños mineros han aumentado la recuperación de oro en sus operaciones mineras y a su vez, reducir las descargas de mercurio al medio ambiente. ASM han mejorado o adicionado nuevos procesos a la amalgamación artesanal, ya sea concentración gravimétrica y amalgamar el concentrado; sin embargo, en algunos casos hacer labores extractivas con cianuración.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

6. RECOMENDACIONES

Los altos de consumo y descarga de mercurio, como el caso de los distritos del Sur de Bolívar, Chocó, Nordeste y Bajo Cauca Antioqueño, dejan como premisa la extensa gama de investigaciones que se deben realizar para enfrentar este problema de salud pública.

Dada la dificultad de estimar en campo los usos, consumos o descargas unitarias de mercurio, se deberá realizar una investigación exhaustiva que permita tener un estimativo más preciso de los coeficientes A, B, C y D que se ha estimado los usos y descargas de mercurio.

Un balance másico de usos y pérdidas de mercurio en los distintos distritos y una revisión del censo minero nacional del 2010 que podrían identificar las minas de oro que utilizan mercurio, ayudarían a tener un estimativo más cercano a la realidad

La creación de centros mineros capacitados con personal idóneo, cuyo fin sea sensibilizar, concientizar y enseñar, la aplicación de tecnologías limpias en la minería artesanal y pequeña escala. Que busquen la erradicación paulatina de la utilización del mercurio, además de mitigar los impactos ambientales y sanitarios, especialmente en los distritos anotados.

Es necesario implantar organismos de control que permitan disminuir el contrabando de mercurio ocurrente en los distritos mineros; ya que en la mayoría de estos existe una baja presencia del estado.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

CAPITULO 7

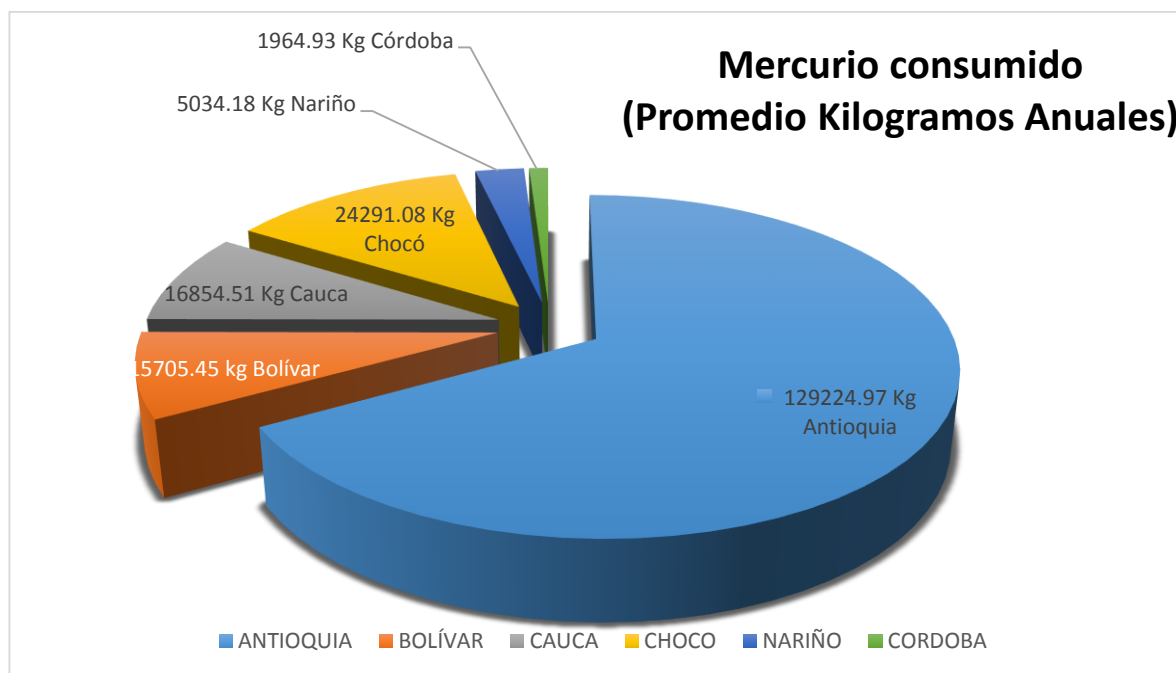
Balance másico del mercurio en toneladas en las regiones identificadas como “zonas calientes” por la demanda de mercurio.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

1. RESUMEN

Los resultados obtenidos en campo y analizados con base en la producción anual, de las zonas escogidas en el presente estudio, arrojan que el departamento de Antioquia es el mayor consumidor de mercurio elemental, con un promedio anual de aproximadamente 129.2 ton. de las 193.1 ton. calculadas para el país y acorde a esto, genera mayor contaminación por mercurio por causa de la actividad minera ilegal en su territorio, siendo el departamento del Chocó el segundo productor de oro, los volúmenes de mercurio elemental liberado y emitido en su territorio no llegan a los altos niveles de Antioquia, principalmente por el mercurio que utilizan en la recuperación de los metales auroargentíferos de este elemento, sin que ello signifique que no sea importante y preocupante los serios impactos ambientales que esta actividad deja en sus territorio. En este mismo orden, los consumos e mercurio que se utilizan el departamento de Bolívar y del Cauca, pese a su poca producción con respecto a los dos primeros departamentos, mantienen una relación alta, la cual genera en el sur de Bolívar presencia de mercurio en concentración representativa en ambientales evaluados.

Grafico 1. Kilogramos de mercurio Consumidas por los principales departamentos productores de oro en Colombia



Fuente: Elaboración propia del Estudio

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2. INTRODUCCIÓN

2.1 GENERALIDADES

Un balance de masa se define como “*la verificación de la igualdad cuantitativa de masas que deben existir entre los insumos de entrada y los productos y residuos de salida*”¹. En particular, el balance de masa del mercurio en el proceso de beneficio de oro artesanal o de pequeña escala es posible realizarlo a partir de la identificación de la relación entre el oro producido y el mercurio no recuperado en el proceso. De esta forma, a través de la identificación en campo de la cantidad de oro producido y la cantidad de mercurio utilizado para el proceso de beneficio (excluyendo la parte recuperada en la recuperación del metal aurífero) es posible estimar la cantidad de mercurio liberado y emitido al medio natural. El balance de masa de mercurio, se realizó por departamento y en función de los datos de oro producido en cada uno de ellos, según información estadística reportada en el Sistema de Información Minero Colombiano, SIMCO administrado por la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

Se realizaron visitas de campo a los principales departamentos productores de oro y a través de encuestas que se le realizaron a los pequeños y medianos mineros auríferos se capturó la información primaria que permitió las proyecciones estadísticas de las cantidades de mercurio que finalmente se disponen en el ambiente en un período de análisis de datos de 6 años (2008 – 2013).

A continuación, se presenta los resultados obtenidos luego de realizar el balance másico del mercurio dispuesto en las matrices, aire, suelo y en cuerpos hídricos en los principales departamentos productores de oro en el país.

¹ Disponible en la Guía Técnica de Producción más Limpia

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

3. BALANCE POR DEPARTAMENTO

3.1 BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

En el marco del proyecto, se visitaron en el Departamento de Antioquia 21 minas, sin embargo en una de ellas (Mina Letonia, municipio de Tarazá) no fue posible recolectar la información de producción de oro. En la Tabla 28 se muestra la relación Mercurio gastado por cada gramo de oro producido.

Tabla 28. Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Antioquia

| Punto caliente (Mina o Entable) | Municipio | Cantidad de Hg comprado (lb/mes) | Cantidad de Hg recuperado (lb/mes) | Total mercurio no recuperado (lb/mes) | Cantidad de oro producido (lb/mes) | Relación Hg/Au |
|---------------------------------|-----------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Entable El Rincón | Segovia | 4,41 | 2,65 | 1,76 | 1,32 | 1,33 |
| Entable El Relámpago | Segovia | 28,66 | 11,02 | 17,64 | 2,21 | 8,00 |
| Entable La Orquídea | Segovia | 13,23 | - | 13,23 | 3,31 | 4,00 |
| Entable JM | Segovia | 2,21 | - | 2,21 | 17,64 | 0,13 |
| Entable La Palma | Segovia | 13,23 | - | 13,23 | 0,40 | 33,33 |
| Mina Los Pujidos | Remedio | 158,73 | - | 158,73 | 9,92 | 16,00 |
| Mina La Porquera | Zaragoza | 4,41 | - | 4,41 | 10,00 | 0,44 |
| Mina Campo Alegre | Zaragoza | 1,00 | - | 1,00 | 2,00 | 0,50 |
| Mina Oro Verde 1 | Zaragoza | 2,21 | - | 2,21 | 0,04 | 55,56 |
| Mina Córdoba | Segovia | 0,17 | - | 0,17 | 0,22 | 0,76 |
| Mina El Playón | Segovia | 7,50 | - | 7,50 | 10,58 | 0,71 |
| Mina La Fe | Segovia | 2,21 | - | 2,21 | 0,22 | 10,00 |
| Mina La Tapia | Zaragoza | 2,21 | - | 2,21 | 2,21 | 1,00 |
| Mina La Florida | El Bagre | 2,20 | - | 2,20 | 0,55 | 4,00 |
| Mina El Tejar | El Bagre | 1,65 | - | 1,65 | 1,01 | 1,63 |
| Mina 505 | Zaragoza | 22,42 | 8,40 | 14,02 | 3,00 | 4,67 |
| Mina El Real 1 y 2 | El Bagre | 0,82 | - | 0,82 | 1,83 | 0,45 |
| Mina La Granja | El Bagre | 4,41 | - | 4,41 | 3,04 | 1,45 |
| Mina Puerto Escondido | Tarazá | 11,70 | - | 11,70 | 70,55 | 0,17 |
| Mina Puerto Rico | Cáceres | 8,00 | 7,2 | 0,80 | 8,000 | 0,10 |
| Promedio | | | | | | 6,92 |

Fuente: Elaboración propia. Proyecto cadena de mercurio

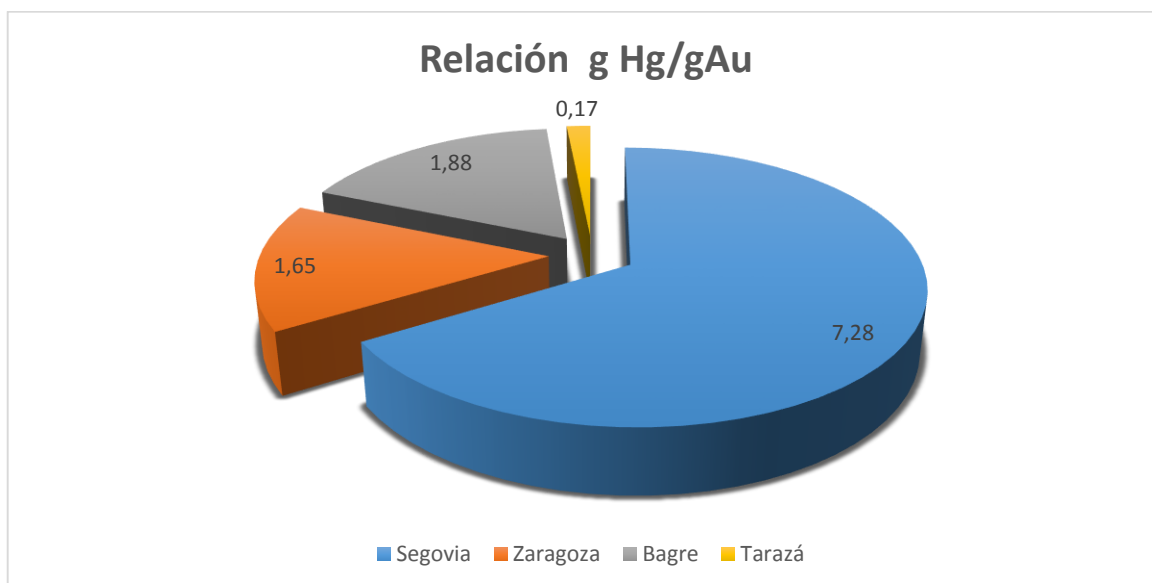
Las relaciones de mercurio no recuperado y oro producido son muy diferentes, incluso en minas ubicadas en el mismo municipio. Tal es el caso de la mina Oro Verde 1, ubicada en

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

el municipio de Zaragoza, con una relación de 55 partes de Mercurio no recuperado por cada parte de oro que se produce, otra mina que sobresale del muestreo realizado es la Palma, en el municipio de Segovia, con una relación de 33:1. Solo en tres minas se recupera parte del mercurio gastado, lo que hace preocupante la situación de riesgo ambiental por el alto impacto que genera esta actividad minera en la región.

La relación promedio de mercurio/oro producido para Antioquia es de 7,256:1. Esta relación resulta solo un poco menor a la reportada para el Bajo Cauca y Nordeste Antioqueño en la Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala, cuyo valor es de 12,90:1

Grafico 2. Relación gramos de mercurio por cada gramo de oro producido en los municipios de Antioquia.



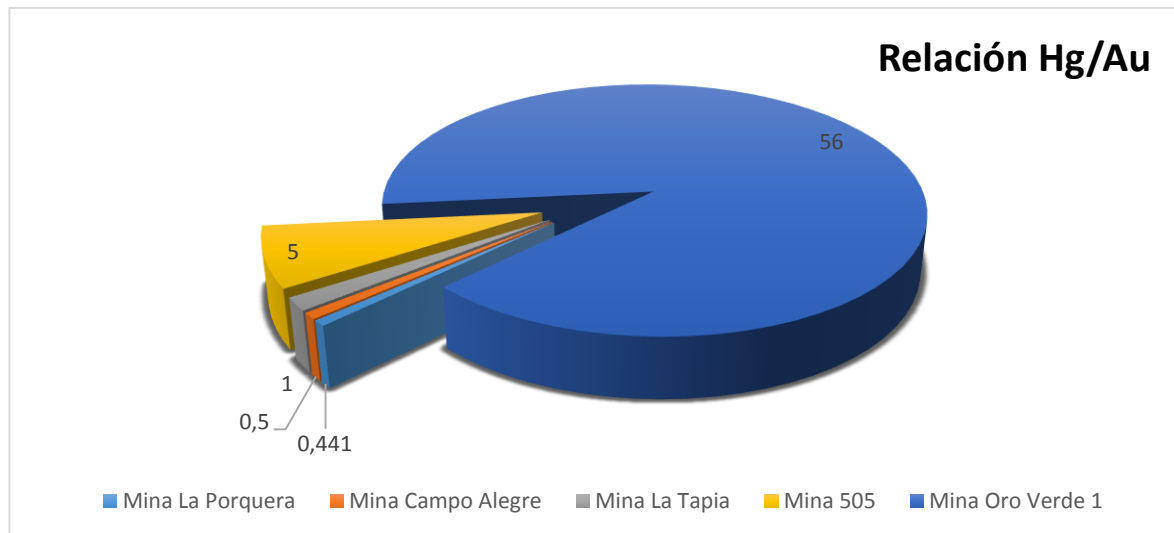
Fuente: Calculado en el estudio

Conforme lo observado en el grafico 2, se determina que la mayor relación mercurio/oro en el municipio de Segovia, seguido de los municipios de El Bagre y Zaragoza.

En Zaragoza se encontró una mina que sobrepasa el promedio de las evaluadas, con una relación de 56 gramos de mercurio por cada gramo de oro producido, conforme se puede observar en el grafico 3, donde su la mayor participación de la ilustración se debe a la mina Oro Verde.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Grafico 3. Relación gramos de mercurio por cada gramo de oro producido en los municipios de Antioquia.



Fuente: Calculado en el estudio

Por otra parte, hay que considerar que en el departamento de Antioquia dos empresas concentran el mayor porcentaje de explotación legal de oro. Estas son: Mineros S.A. y Gran Colombia Gold. En la Tabla 29, se muestra un comparativo de la cantidad de oro que se produce en Antioquia y los porcentajes que representa la productividad de estas empresas.

Tabla 29. Producción total de oro en Antioquia y oro producido por grandes Empresas

| Año | Producción de Oro Mineros S.A (kg) | Producción de Gran Colombia Gold S.A (kg) | Total Oro explotación legal (kg) | Producción de Oro Total Antioquia (Kg) | Porcentaje de oro legal en el departamento de Antioquia (%) |
|------|------------------------------------|---|----------------------------------|--|---|
| 2008 | 2534,00 | 2180,00* | 4714,00 | 25995,60 | 18,13% |
| 2009 | 2788,00 | 2180,00* | 4968,00 | 28027,85 | 17,73% |
| 2010 | 3054,00 | 2180,00* | 5234,00 | 18898,47 | 27,70% |
| 2011 | 3604,00 | 2137,00 | 5741,00 | 19156,33 | 29,97% |
| 2012 | 3682,00 | 2462,00 | 6144,00 | 27451,79 | 22,38% |
| 2013 | 3377,00 | 2495,00 | 5872,00 | 19999,24 | 29,36% |

Fuente: SIMCO, Mineros S.A. y Gran Colombia Gold S.A.

*Información de producción promedio de Mineros de Antioquia S.A

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

A partir del año 2011 y hasta el año 2013, Mineros S.A y Gran Colombia Gold, produjeron en promedio el 27,24% del oro total extraído en el departamento de Antioquia. Lo anterior resulta ser mayor a los datos reportados por la Secretaría de Minas de Antioquia y por el Censo Minero Departamental de Antioquia, realizado en los años 2010-2011, donde se determina que el 19% de las minas están legalizadas con títulos mineros y el 81% tienen explotación ilegal, ya que carecen de títulos mineros y Licencia Ambiental (Contraloría General de Antioquia, 2011).

Para el Balance de masas y el establecimiento del mercurio no recuperado, es necesario restar de la producción total de oro en el departamento, la cantidad producida por la minería legal, debido a que ésta no utiliza mercurio para el beneficio. La producción de oro en el Departamento de Antioquia, según el SIMCO, y la cantidad promedio de mercurio no recuperado correspondiente a los años 2008 a 2013, se muestra en la Tabla 30, la cual se proyectó teniendo en cuenta la relación hallada en este estudio para Antioquia (7,26:1)

Tabla 30. Producción de Oro en el Departamento de Antioquia y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural

| Año | Producción de Oro en minería de pequeña escala y/o ilegal (Kg) | Mercurio promedio no recuperado (Kg) |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| 2008 | 21281,60 | 154419,29 |
| 2009 | 23059,80 | 167321,91 |
| 2010 | 13664,47 | 99149,40 |
| 2011 | 13415,47 | 97342,65 |
| 2012 | 21307,79 | 154609,32 |
| 2013 | 14127,24 | 102507,25 |
| Promedio | | 129224,97 |

Fuente: Elaboración propia. Proyecto cadena de mercurio

Conforme los valores promedios anuales anteriormente presentados, se han generado vertimientos en los últimos años un promedio de 129,22 Toneladas de mercurio por año en el Departamento de Antioquia, debido a su uso en la recuperación y beneficio de minerales auroargentíferos.

3.2 BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

En el Departamento de Bolívar, se visitaron 20 minas. En la Tabla 31 se muestra la relación Mercurio gastado por cada gramo de oro producido. En pocas minas se recupera el mercurio que se utilizó para la obtención de la amalgama, sin embargo, no existe uniformidad en las proporciones que usan de mercurio para el beneficio del oro en el departamento de Bolívar, es decir, mientras que en unas minas utilizan 0,37 partes de

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

mercurio por cada gramo de oro extraído (Mina Laberinto), hay otras que usan hasta 21,26 gramos de Hg por cada gramo de oro extraído (Mina Córdoba). Lo que demuestra el grado de desconocimiento y la manera empírica y peligrosa como manipulan este metal pesado en la región.

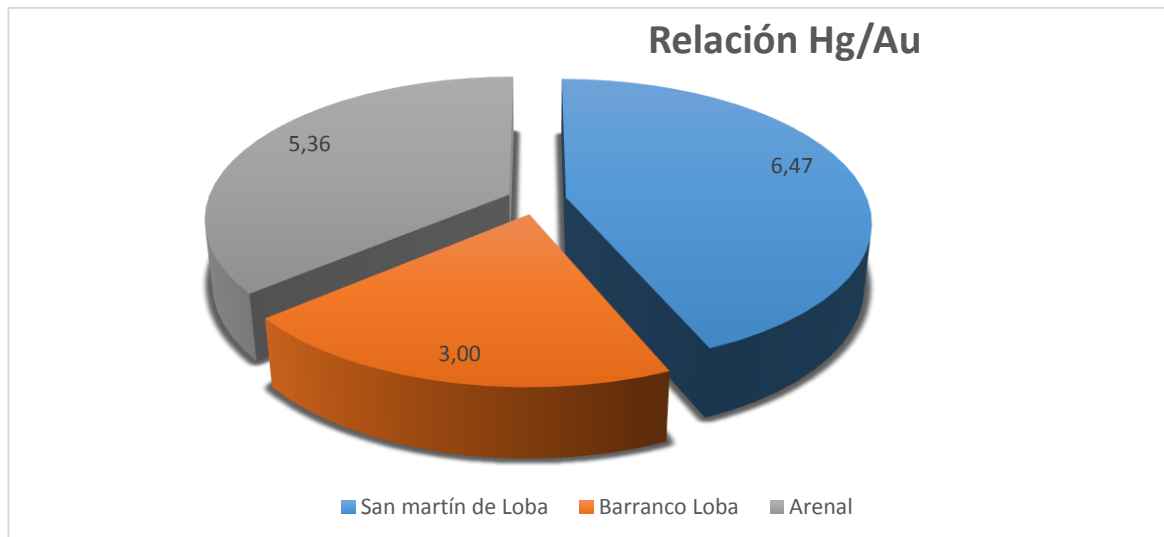
Tabla 31. Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Bolívar

| Punto caliente (Mina o Entable) | Municipio | Cantidad de Hg comprado (lb/mes) | Cantidad de Hg recuperado (lb/mes) | Total mercurio no recuperado (lb/mes) | Cantidad de oro producido (lb/mes) | Relación Hg/Au |
|--|--------------------|---|---|--|---|-----------------------|
| Mina el Caño | San Martín de Loba | 11,02 | - | 11,02 | 4,41 | 2,50 |
| Mina La Chiva | San Martín de Loba | 10,58 | - | 10,58 | 1,06 | 9,98 |
| Entable Oscar Acuña | San Martín de Loba | 33,07 | - | 33,07 | 2,65 | 12,48 |
| Entable José Armando Machado | San Martín de Loba | 4,41 | - | 4,41 | 2,65 | 1,66 |
| Mina Laberinto | Arenal | 0,33 | - | 0,33 | 0,88 | 0,37 |
| Mina Repollo | Arenal | 1,00 | 0,75 | 0,25 | 0,66 | 0,38 |
| Mina Galla | Arenal | 1,00 | 0,75 | 0,25 | 0,66 | 0,38 |
| Mina Morrórico | Arenal | 0,08 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | 1,89 |
| Mina Catanga | San Martín de Loba | 11,02 | - | 11,02 | 1,87 | 5,88 |
| Mina Santa Cruz | Barranco de loba | 19,84 | - | 19,84 | 6,61 | 3,00 |
| Mina Cooperativa Cobalta | San Martín de Loba | 19,84 | - | 19,84 | 6,61 | 3,00 |
| Entable Andrés Chávez | San Martín de Loba | 13,23 | - | 13,23 | 4,85 | 2,73 |
| Entable Moisés Cantillo | San Martín de Loba | 3,09 | - | 3,09 | 0,33 | 9,36 |
| Entable Aurelio Armenta | San Martín de Loba | 8,82 | - | 8,82 | 0,33 | 26,73 |
| Mina Córdoba | Arenal | 15,00 | 11,25 | 3,75 | 0,18 | 21,26 |
| Mina Nueva | Arenal | 4,00 | 3,00 | 1,00 | 0,18 | 5,67 |
| Mina Viejito | Arenal | 80,00 | 60,00 | 20,00 | 2,65 | 7,56 |
| Entable Víctor Quintero | San Martín de Loba | 6,61 | - | 6,61 | 4,19 | 1,58 |
| Entable Jonny Hernández | San Martín de Loba | 2,20 | - | 2,20 | 1,76 | 1,25 |
| Entable Ore | San Martín de Loba | 1,10 | - | 1,10 | 1,87 | 0,59 |
| Promedio | | | | | | 5,91 |

Fuente: Elaboración propia. Proyecto cadena de mercurio

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Grafico 4. Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento de Bolívar



El departamento de Bolívar es el tercer productor de oro en Colombia, después de los Departamentos de Antioquia y Chocó, según el censo nacional minero. Se cree que la minería de hecho o ilegal que se practica corresponde a un 70% del total de las minas del departamento, lo que quiere decir que el Departamento de Bolívar presenta altos índices de evasión de regalías (Rey, 2008).

Si consideramos que el 30% de la producción de oro del departamento es legal y que en su beneficio no se utiliza mercurio, la cantidad de oro que se extrae con mercurio por año se muestra en la Tabla 32, de acuerdo a la producción total de oro registrado en el SIMCO.

Tabla 32. Producción total de oro en Bolívar

| Año | Producción Total de Oro En Bolívar kg | Producción legal de Oro (30%) Kg | Producción Ilegal de Oro (70%) Kg |
|------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 2008 | 2389,82 | 716,946 | 1672,874 |
| 2009 | 3431,14 | 1029,342 | 2401,798 |
| 2010 | 5763,72 | 1729,116 | 4034,604 |
| 2011 | 5423,03 | 1626,909 | 3796,121 |
| 2012 | 4124,65 | 1237,395 | 2887,255 |
| 2013 | 1645,67 | 493,701 | 1151,969 |

Fuente: SIMCO

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

El Balance de masas y el establecimiento del mercurio no recuperado, se proyectó utilizando la cantidad de oro producido ilegalmente multiplicado por la relación promedio de mercurio/oro definido para el Departamento de Bolívar (5,91:1). Los resultados se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33. Producción de Oro en el Departamento de Bolívar y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural

| Año | Producción de Oro en minería de pequeña escala y/o ilegal (Kg) | Mercurio promedio no recuperado (Kg) |
|-----------------|---|---|
| 2008 | 1672,874 | 9886,69 |
| 2009 | 2401,798 | 14194,63 |
| 2010 | 4034,604 | 23844,51 |
| 2011 | 3796,121 | 22435,08 |
| 2012 | 2887,255 | 17063,68 |
| 2013 | 1151,969 | 6808,14 |
| Promedio | | 15705,45 |

Fuente: Elaboración propia. Proyecto cadena de mercurio

De acuerdo a lo anterior, se ha vertido en los últimos años un promedio de 15,70 Toneladas de mercurio por año en el Departamento de Bolívar, debido a su uso en la explotación y beneficio de oro.

3.3 BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE CAUCA

Para el Departamento de Cauca, se visitaron seis (6) minas, sin embargo en una de ellas (Mina La Turbina, municipio de Suarez) no dieron información relacionada con la cantidad de oro que extraen de la mina. En la Tabla 34 se muestra la relación Mercurio gastado por cada gramo de oro producido.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 34. Relación Mercurio gastado por oro producido en el departamento de Cauca

| Punto caliente (Mina o Entable) | Municipio | Cantidad de Hg comprado (lb/mes) | Cantidad de Hg recuperado (lb/mes) | Total mercurio no recuperado (lb/mes) | Cantidad de oro producido (lb/mes) | Relación Hg/Au |
|---------------------------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Mina Fuego Verde | Suarez | 1,10 | 0,33 | 0,77 | 0,44 | 1,75 |
| Mina El Peñón | Suarez | 0,22 | 0,08 | 0,13 | 0,26 | 0,50 |
| Mina Potosí | Buenos Aires | 4,41 | - | 4,40 | 0,44 | 10,00 |
| Mina Higuierillo | Buenos Aires | 2,20 | - | 2,20 | 0,07 | 28,57 |
| Mina Tamboral | Suarez | 61,72 | - | 61,72 | 30,86 | 2,00 |
| Promedio | | | | | | 8,56 |

Fuente: Elaboración propia. Proyecto cadena de mercurio

Gráfico 5. Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento del Cauca



Al igual que en otros departamentos, las proporciones de mercurio usado en la amalgamación con oro no son homogéneas y varían de una mina a otra. Sin embargo se estableció que en promedio la relación es de 8,56 gramos Hg por cada gramo de oro que se extrae.

Aunque existen títulos mineros otorgados a empresas multinacionales mineras como AngloGold Ashanti Colombia S.A. en el departamento del Cauca (1997 hectáreas entre Popayán y Cajibío, según datos reportados por la Agencia Nacional de Minería), esta

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

compañía esta es en la fase de exploración y para lo cual no se utiliza mercurio, es importante anotar que los procesos de beneficio de los minerales auroargentíferos, en su gran mayoría, siguen siendo una minería de tipo artesanal y de pequeña escala, por lo tanto, se asumió en el balance de masa que toda la producción de oro del departamento proviene de este tipo de extracción. En la Tabla 35, se muestra la cantidad de oro producido en el Cauca y la proyección de Mercurio para ese fin.

Tabla 35. Producción de Oro en el Departamento de Cauca y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural

| Año | Producción de Oro en minería de pequeña escala y/o ilegal (Kg) | Mercurio promedio no recuperado (Kg) |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| 2008 | 621,54 | 5320,38 |
| 2009 | 2316,77 | 19831,55 |
| 2010 | 1036,72 | 8874,32 |
| 2011 | 1127,57 | 9651,99 |
| 2012 | 3166,92 | 27108,83 |
| 2013 | 3544,39 | 30339,98 |
| Promedio | | 16854,51 |

Fuente: SIMCO

De acuerdo a lo anterior, en el departamento de Cauca, se ha vertido en los últimos años un promedio de 16,85 Toneladas de mercurio por año debido a la explotación aurífera.

3.4 BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE CHOCÓ

En el subsuelo del departamento del Chocó se encuentran importantes zonas de reservas de oro, plata y platino. Desde hace más de 200 años la actividad minera en este departamento ha sido permanente, sin embargo, esta actividad se ha incrementado exponencialmente en los últimos años. Los tipos de minería que se practican en departamentos de la costa pacífica colombiana son minería artesanal y minería a escala mediana (con maquinaria: retroexcavadoras, planchones, dragas, monitores, etc.) en su gran mayoría informal (en proceso de formalización) e ilegal (sin título, auspiciada por grupos armados ilegales). La producción de esta minería es especialmente oro, platino y plata (González, 2013).

En el marco del proyecto, se visitaron 13 minas en Chocó, pero en tres de ellas (Mina Raspadura, Mina Las Animas y Mina El Remolino, en el municipio de Unión Panamericana) no fue posible recolectar la información de producción de oro. En algunas se recuperaba parte del mercurio usado en la extracción y en otras no se recuperaba nada. En la Tabla 36 se muestra la relación de Mercurio gastado por cada gramo de oro producido.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 36. Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Chocó

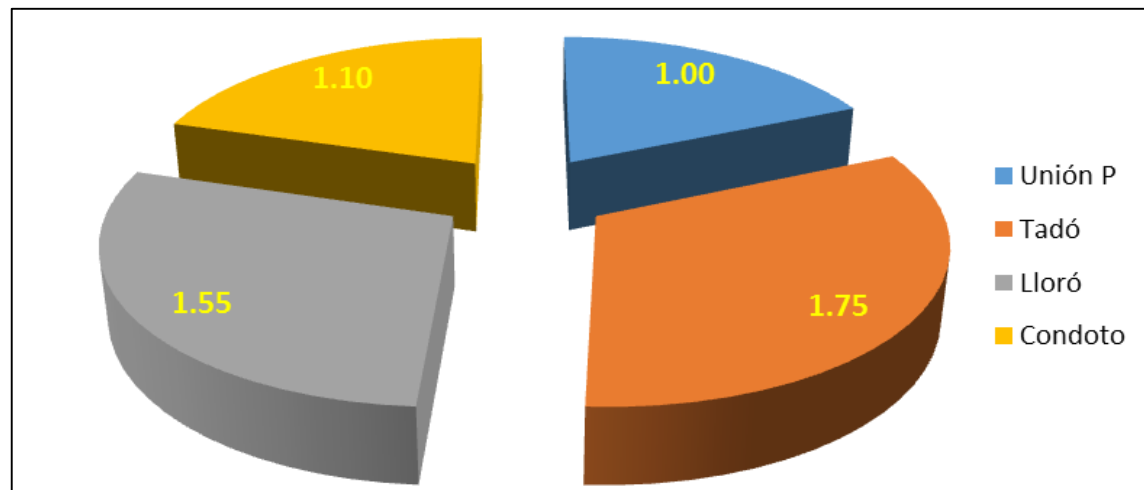
| Punto caliente (Mina o Entable) | Municipio | Cantidad de Hg comprado (lb/mes) | Cantidad de Hg recuperado (lb/mes) | Total mercurio no recuperado (lb/mes) | cantidad de oro producido (lb/mes) | Relación Hg/Au |
|--|--------------------|---|---|--|---|-----------------------|
| Mina playita | Unión Panamericana | 2,20 | | 2,2046 | 2,2046 | 1,00 |
| Mina Santa Rita | Tadó | 4,40924 | - | 4,40924 | 1,76369 | 2,50 |
| Mina San José del Cantón | Lloró | 13,22772 | 4,40924 | 8,81848 | 6,61386 | 1,33 |
| Mina Weitado | Lloró | 4,40924 | - | 4,40924 | 2,20462 | 2,00 |
| Mina Los Gañotes | Lloró | 4,40924 | - | 4,40924 | 2,20462 | 2,00 |
| Mina La Corregida | Lloró | 0,44092 | - | 0,4409248 | 0,22046 | 2,00 |
| Mina Nueva Esperanza | Unión Panamericana | 4,40924 | 2,2046 | 2,20464 | 2,20462 | 1,00 |
| Mina Enco | Lloró | 4,40924 | 2,6455 | 1,76374 | 4,40924 | 0,40 |
| Mina Estanco-Macensa-Nativo | Condoto | 88,1848 | 39,683 | 48,5018 | 44,0924 | 1,10 |
| Mina Aguas claritas | Tadó | 4,40924 | 2,2046 | 2,20464 | 2,20462 | 1,00 |
| Promedio | | | | | | 1,43 |

Fuente: Elaboración propia. Proyecto cadena de mercurio

A diferencia de otros departamentos, la proporción de mercurio consumido en la recuperación de oro es comparativamente menor y oscila entre 0,4:1 y 2,5:1. La relación promedio es de 1,43 partes de mercurio por cada parte de oro extraído.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Grafico 6. Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento del Chocó.



En la Tabla 37 se muestra la cantidad de oro producido en los últimos años en el departamento de Chocó y la cantidad de mercurio vertido al medio ambiente en el proceso de extracción, tomando como referencia la relación promedio definida en este estudio.

Tabla 37. Producción de Oro en el Departamento de Chocó y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural

| Año | Producción de Oro en minería de pequeña escala y/o ilegal (Kg) | Mercurio promedio no recuperado (Kg) |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| 2008 | 3340,44 | 4776,83 |
| 2009 | 10847,19 | 15511,48 |
| 2010 | 24529,71 | 35077,49 |
| 2011 | 27915,13 | 39918,64 |
| 2012 | 24438,01 | 34946,35 |
| 2013 | 10.850,12 | 15515,67 |
| Promedio | | 24291,08 |

Fuente: SIMCO

En promedio, anualmente en el departamento de Chocó se vierten 24,29 toneladas de mercurio al suelo y a cuerpos hídricos, en el proceso de extracción minera de oro.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

3.5 BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

El departamento de Nariño se localiza al sur occidente de Colombia, con explotaciones de oro tanto aluvial como de veta; las de tipo aluvial se localizan en la Región Pacífica, mientras que las de oro de veta y/o filón en los municipios de Samaniego, Los Andes, La Llanada, Santacruz de Guachavés, Mallama, Cumbitara, Túquerres - Yascual, El Tambo, Buesaco, Ancuya, Colón Génova, Leiva y El Rosario (UPME, 2006).

En el marco del proyecto se visitaron 5 minas, donde se extraía el oro con mercurio, cuya recuperación en muchas de ellas era mínima o nula. En la Tabla 38, se muestra la relación mercurio gastado por cada gramo de oro producido.

Tabla 38. Relación Mercurio gastado por oro producido en el Departamento de Nariño

| Punto caliente (Mina o Entable) | Municipio | Cantidad de Hg comprado (lb/mes) | Cantidad de Hg recuperado (lb/mes) | Total mercurio no recuperado (lb/mes) | cantidad de oro producido (lb/mes) | Relación Hg/Au |
|---------------------------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| Mina La Candelaria | Sotomayor | 5,00 | 0,22 | 4,78 | 1,00 | 4,78 |
| Mina Chalacanes | Colón Génova | 5,00 | 2,20 | 2,80 | 1,00 | 2,80 |
| Mina La dorada Bocamina 2 | Mallama | 44,09 | - | 44,09 | 8,82 | 5,00 |
| Mina La dorada Bocamina 3 | Mallama | 44,09 | - | 44,09 | 8,82 | 5,00 |
| Entable Luis Arcángel | Colón Génova | 5,00 | - | 5,00 | 1,00 | 5,00 |
| Promedio | | | | | | 4,51 |

Fuente: Elaboración propia. Proyecto cadena de mercurio

La relación promedio hallada para el departamento de Nariño, fue de 4,51 gramos de mercurio por cada gramo de oro extraído de la mina. En la Tabla 39 se muestra la estimación promedio del mercurio dispuesto al entorno a partir del cálculo estimado con la relación promedio de Hg/Au estimada en este estudio (4,51:1).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Grafico 7. Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento de Nariño.

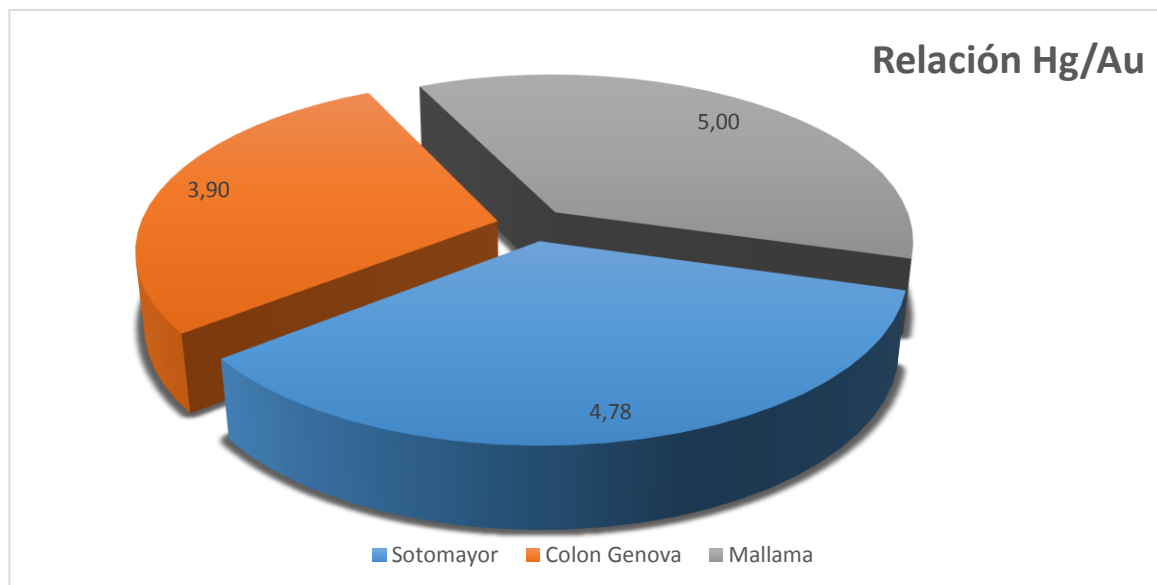


Tabla 39. Producción de Oro en el Departamento de Nariño y cantidad promedio de mercurio no recuperado y liberado y emitido al ambiente natural

| Año | Producción de Oro en minería de pequeña escala y/o ilegal (Kg) | Mercurio promedio no recuperado (Kg) |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| 2008 | 238,67 | 1076,40 |
| 2009 | 442,66 | 1996,40 |
| 2010 | 328,83 | 1483,02 |
| 2011 | 235,77 | 1063,32 |
| 2012 | 2827,87 | 12753,69 |
| 2013 | 2.623,56 | 11832,26 |
| Promedio | | 5034,18 |

Fuente: SIMCO

De acuerdo a la Tabla 39, en promedio, en el departamento de Nariño se liberan 5,0 toneladas anuales de mercurio al suelo y a cuerpos hídricos, en el proceso de la extracción minera de oro. Hay que considerar que en algunas minas de la región no utilizan mercurio sino cianuro, pero en proporciones que el promedio estimado puede tolerar.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

3.6 BALANCE DE MASA PARA EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

En el departamento de Córdoba, según datos suministrados por la contraloría departamental la extracción de oro se realiza sin el completo cumplimiento de los trámites legales exigidos en la normatividad minera nacional, por consiguiente, el beneficio de este mineral, en particular en los municipios de Ayapel y Puerto Escondido se realiza de manera ilegal en un alto porcentaje.

En el marco del proyecto, se visitaron en el municipio de Puerto Libertador, Departamento de Córdoba, tres (3) asentamientos mineros², donde se compra pocas cantidades de mercurio debido a que la productividad de las minas. En la Tabla 40 se muestra la relación mercurio gastado por cada gramo de oro producido.

Tabla 40. Relación Mercurio consumido por oro producido en el Departamento de Córdoba

| Punto caliente Asentamiento minero | Municipio | Cantidad de Hg comprado (lb/mes) | Cantidad de Hg recuperado (lb/mes) | Total mercurio no recuperado (lb/mes) | cantidad de oro producido (lb/mes) | Relación Hg/Au |
|--|----------------------|---|---|--|---|-------------------|
| Mina Teherán | Puerto Libertador | 0,50 | - | 0,50 | 0,22 | 2,27 |
| Mina San Matías | Puerto Libertador | 2,20 | 1,10 | 1,10 | 0,22 | 5,00 |
| Mina El Alacrán | Puerto Libertador | 4,41 | 1,10 | 3,31 | 0,44 | 7,50 |
| Promedio | | | | | | 4,92 |

Fuente: Elaboración propia. Proyecto cadena de mercurio

A partir de la producción de oro registrada en el Sistema de Información Minera de Colombia (SIMCO) y con la relación promedia de mercurio no recuperado en el beneficio del oro (4,92:1), se proyectó la cantidad de mercurio dispuesta en el medio natural para esta región. Los datos se muestran en la Tabla 41.

² Conformado por varias labores mineras en una localidad específica

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Grafico 8. Comportamiento de la relación mercurio/oro en zonas del departamento de Córdoba.

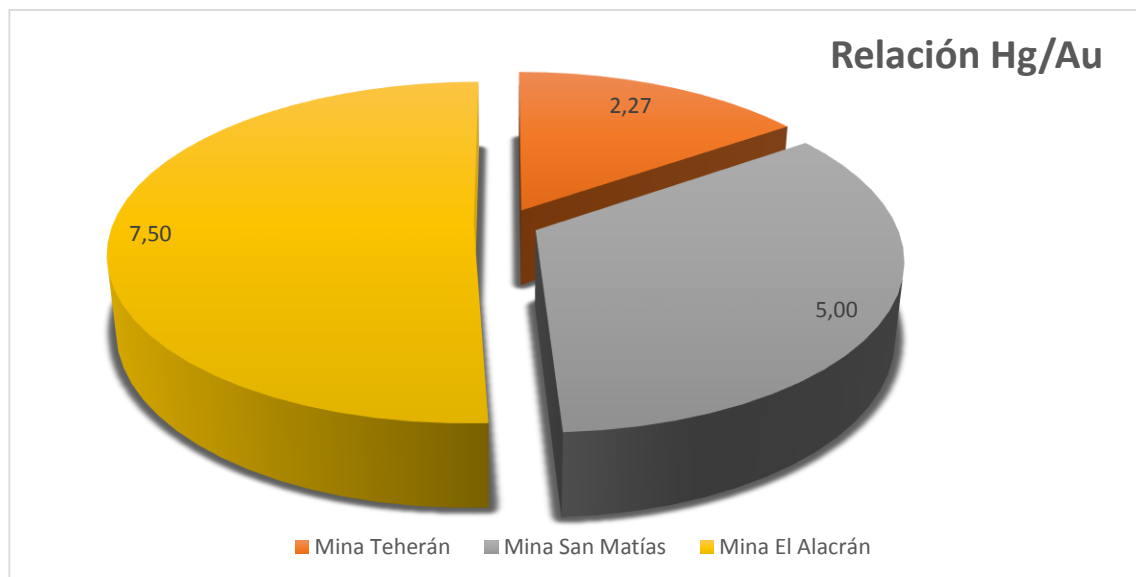


Tabla 41. Producción de Oro en el Departamento de Córdoba y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural

| Año | Producción de Oro en minería de pequeña escala y/o ilegal (Kg) | Mercurio promedio no recuperado (Kg) |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| 2008 | 82,02 | 403,54 |
| 2009 | 454,79 | 2237,57 |
| 2010 | 638,22 | 3140,04 |
| 2011 | 69,18 | 340,37 |
| 2012 | 759,93 | 3738,86 |
| 2013 | 392,11 | 1929,18 |
| Promedio | | 1964,93 |

Fuente: SIMCO

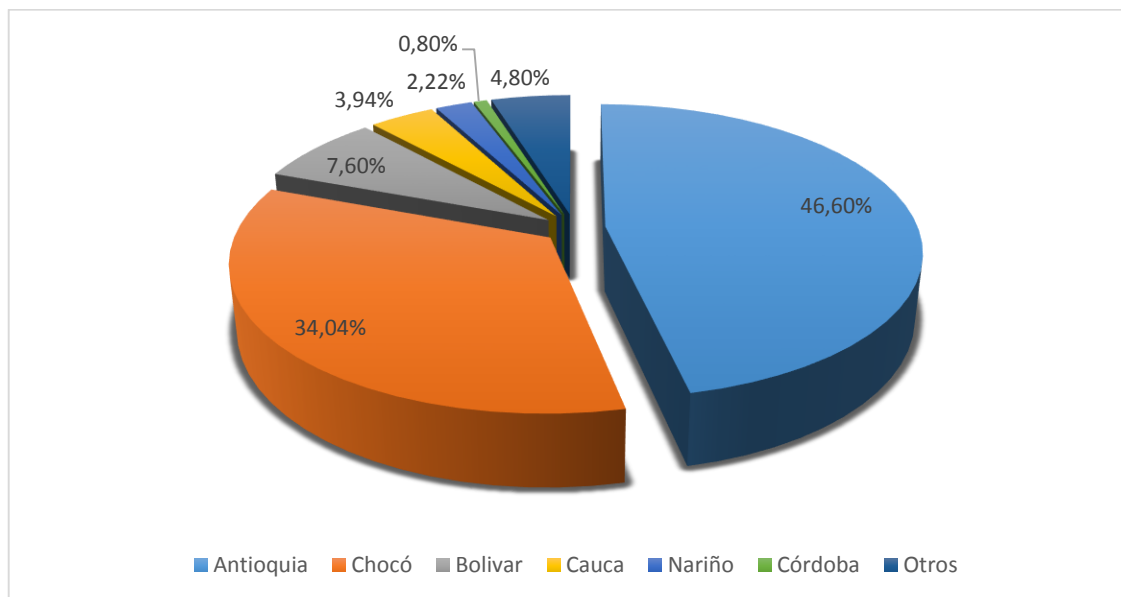
Es posible estimar una disposición promedio de mercurio en el medio natural, para el departamento de Córdoba, de aproximadamente 1,96 toneladas por año.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

4 PRODUCCIÓN DE ORO Y DISPOSICIÓN DE MERCURIO POR DEPARTAMENTO

De acuerdo con la información estadística disponible en el SIMCO, es posible definir la participación de cada departamento en la producción total de Oro en Colombia durante el período comprendido entre 2008 y 2013. En el grafico 9, se muestra estas proporciones.

Grafico 9. Aporte de producción de oro por Departamentos en Colombia, durante el período 2008 a 2013.

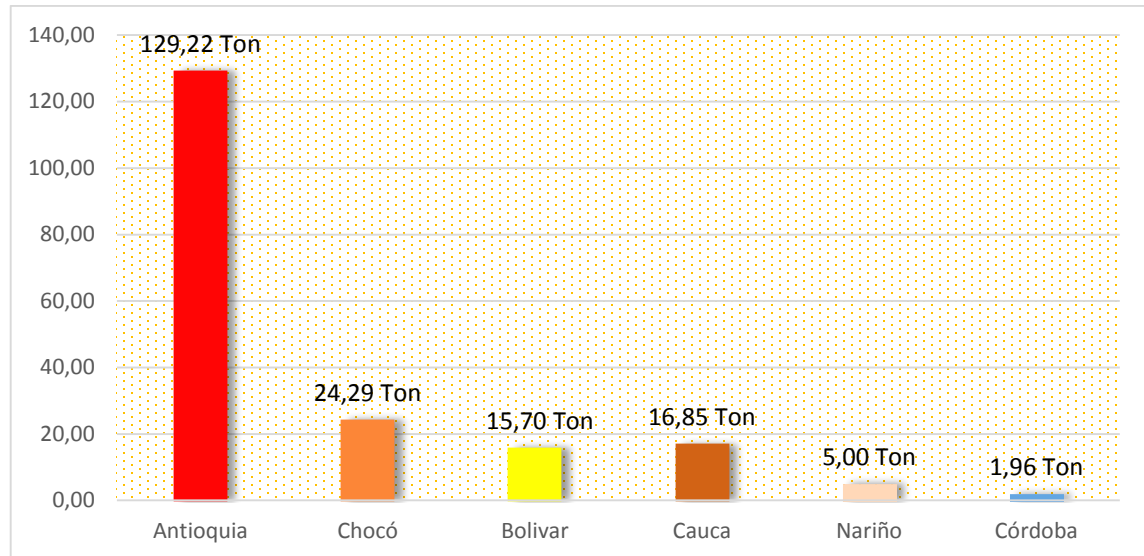


De acuerdo al grafico 9, los dos principales departamentos productores de oro son Antioquia y Chocó, con un 46,6% y 34,04% respectivamente de la producción total aurífera en Colombia. Luego sigue Bolívar con 7,6%, Cauca con 3,94% y Nariño con 2,23%. El resto de los departamentos solo logran aportar entre ellos el 5,54% del total de la producción aurífera nacional.

Consecuentemente, la mayor liberación y emisión de mercurio en el ambiente también es aportada por los departamentos más productores, que según lo estimado en este estudio disponen un total promedio anual de 193,0 toneladas por año. En el grafico 10, se muestra un comparativo entre los departamentos analizados. Los resultados hallados están acordes con los estimados en el informe preliminar presentado por el proyecto, donde se estima un aporte de mercurio de 187,0 toneladas para el año 2013 en el país.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Gráfico 10. Toneladas de mercurio aportadas por los principales departamentos productores de oro en Colombia



Es evidente que el departamento de Antioquia es el que mayor contaminación por mercurio genera a partir de la actividad minera ilegal en su territorio, y aunque el departamento de Chocó sea el segundo productor de oro, los niveles de mercurio dispuestos en su territorio no llegan a los altos niveles de Antioquia, principalmente por la cantidad de mercurio que utilizan en la recuperación de los metales preciosos, sin que ello signifique que no sea importante y preocupante los serios impactos ambientales que esta actividad deja en su territorio.

En términos generales, el consumo de mercurio en minería de oro aluvial se puede reducir incluso a aproximadamente 3 gr Hg/gr de oro recuperado en el caso de explotación con mini dragas, que utilizan concentración en canaletas y amalgamación en pequeños canalones o baldes. También es posible en el caso de dragones modificados, placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones, con utilización de retroexcavadoras para alimentar un sistema de clasificación por tamaños de mineral.

Por otra parte, en el proceso de amalgamación de minería de filón se llegan a usar entre 15 y 35 gramos de Hg por cada gramo de oro recuperado. Cuando se utilizan canalones, de 7 a 10 gramos Hg por cada gramo de oro recuperado con placas amalgamadoras y entre 25 y 30 gramos de Hg por gramo de oro recuperado con molinos amalgamadores o cocos granuladores. Lo anterior demuestra la variabilidad que se presenta en el uso de mercurio en la minería aurífera.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sin lugar a dudas, los Departamentos responsables de los mayores aportes de mercurio por minería artesanal y a pequeña escala son Antioquia, Chocó, Cauca y Bolívar, representando más del 90% del aporte total de este contaminante en el medio ambiente.

Por otra parte, no existe un patrón claramente definido en la cantidad de mercurio usado y que realmente sea el necesario para la amalgamación del oro, es decir, independiente del sitio o mina donde se realice la extracción, los gramos de Hg consumidos en la recuperación de oro aluvión o de filón para obtener un gramo de oro, van desde 0,5 gramos a 30,0 gramos de mercurio, lo que deja en evidencia la ignorancia y la falta de capacitación de los mineros artesanales y de pequeña escala en la técnica de extracción aplicada.

Dada esta situación es recomendable aplicar en las zonas de mayor impacto (Antioquia, Chocó, Bolívar y Cauca) programas de transferencia de tecnologías más limpias que sirvan de sustituto del mercurio en los procesos de beneficio de oro.

Los pequeños mineros en su proceso de beneficio, cuando están moliendo el mineral acostumbran utilizar mercurio en los molinos amalgamadores y en cantidades desproporcionadas, durante la operación de la molienda se producen gotas diminutas y dispersas (“harina de mercurio”), imposibles de capturar, lo que resulta en sitios contaminados con mercurio que son muy difíciles de limpiar.

La técnica de amalgamación practicada por los pequeños y medianos mineros auríferos es ineficiente y pocas veces se puede recuperar más del 30% del oro, lo que resulta en grandes pérdidas de mercurio que terminan en las colas (o relaves, es decir los residuos).

Los impactos generados por la actividad minera aurífera artesanal y de pequeña escala va desde la alteración de la oferta de bienes y servicios ecosistémicos indispensables para garantizar la vida humana, hasta la modificación de la geomorfología y morfodinámica de los cauces de los ríos, la remoción de suelos, deterioro de la calidad de las aguas superficiales por la contaminación con mercurio, fragmentación de ecosistemas y hábitats, entre otros.

Adicionalmente, el PNUMA ha identificado la minería de oro artesanal y de pequeña escala como la mayor fuente de emisiones de mercurio al aire y es más grave la situación si consideramos que el mercurio liberado y emitido en las distintas matrices ambientales (agua, aire y suelo) es capaz de permanecer en ellas por varios siglos, lo cual hace inevitable reducir sus niveles actuales de afectación.

Por otra parte, la institucionalidad del Estado debe implementar estrategias que sirvan para aplicar buenas prácticas en el subsector de la pequeña y mediana minería aurífera, entre las cuales están: i) Identificación de títulos mineros ubicados en zonas excluibles de minería, ii) identificación de pasivos ambientales mineros generados por la actividad de

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

extracción aurífera artesanal y de pequeña escala y, iii) controlar la explotación ilícita de minerales.

Se recomienda a las entidades mineras en el marco de sus competencias que se promueva y se masifique la operación de concentración gravimétrica, con equipos como (mesas concentradoras, Jig, Espirales, concentradores centrífugos, etc.) y química (flotación espumante), esta concentración se puede realizar de varias maneras y en varias etapas; la gran mayoría utilizan la gravedad para separar las partículas pesadas, como el oro, de las partículas más ligeras. La concentración reduce la masa del material a procesar y elimina la necesidad de amalgamar la roca entera, por consiguiente, reduce la cantidad de mercurio necesaria para la amalgamación, hasta aproximadamente un gramo de mercurio por un gramo de oro recuperado (1 a 1). Además, si se recicla el mercurio, las pérdidas se disminuyen hasta en un 95%. Si la concentración se tecnifica, es posible eliminar el uso de mercurio por completo.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

BIBLIOGRAFÍA

- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2006. *Formulación de una iniciativa de producción más limpia para el sector de los metales preciosos en pequeña escala en Colombia*. Contrato No. 1517-28-2005. Geominas S.A Ingenieros. Medellín.
- Rey Quijano, Jeison. 2008. Tesis de grado: *La explotación minero aurífera ilegal en el sur de Bolívar Colombiano; análisis en el distrito minero de Santa Rosa (2002 -2008)*. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Derecho. Bucaramanga.
- González Perafán, Leonardo. 2013. *Impacto de la minería de hecho en Colombia, estudios de caso: Quibdó, Istmina, Timbiquí, López de Micay, Guapi, El Charco y Santa Bárbara*. Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz- INDEPAZ. Bogotá.
- Contraloría departamental de Córdoba. 2013. *Informe del estado de los recursos naturales en el departamento de Córdoba*. Montería.
- Mineros S.A. 2013. *Informe Financiero*. Bogotá
- Mineros S.A. 2008. *Informe Financiero*. Bogotá
- Contraloría General de la República. 2013. *Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2012 -2013*. Bogotá.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA y Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible – MADS. 2012. *Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala*. Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2010. *Panorama del sector Minero*. Contrato No. 059-410312-2010. Ponce Muriel, Álvaro. Bogotá.
- Villa Posada, Viviana; Franco Sepúlveda, Giovanni. 2013. *Diagnóstico Minero y Económico del Departamento de Antioquia*. Boletín Ciencias de la Tierra, Nro. 33, pp. 125-134. Medellín.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

CAPITULO 8

Mapa en plataforma de sistema de información geográfica que permita analizar los tipos de transporte utilizados; a partir de lo anterior realizar un análisis DOFA que permita determinar posibles acciones para mejorar los niveles de control asociados al comercio del mercurio e identificar posibles rutas de contrabando para usos asociados a procesos de beneficio de oro en el país.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

1. INTRODUCCIÓN

El soporte gráfico del estudio se ha consolidado en una cartografía, de la cual se ha elaborado un atlas que permite visualizar todos los aspectos relativos a la comercialización, movilidad, interna e internacional del mercurio y sus rutas comerciales legales y las ilegales que se han identificado a través de información primaria obtenida de los sitios muestreados. Este documento se acompaña de la información cartográfica en medio digital y del atlas, el cual posee un compendio de mapas e imágenes satelitales que permiten visualizar las zonas y rutas de estudio del mercurio.

En la primera parte de este documento se exponen los diferentes argumentos técnicos que darán soporte a la posterior construcción de la matriz de impactos ambientales y el análisis DOFA.

El segundo capítulo presenta los argumentos de selección de las áreas consideradas de interés para muestreo de mercurio en los ocho departamentos con mayor producción de oro para el período comprendido entre 2001 y 2013 según los reportes de las autoridades mineras correspondientes, es decir, Minercol (2001 – 2003), Ingeominas (2004 – 2010) y Agencia Nacional de Minería (2011 – 2013).

La producción aurífera colombiana es estimada a partir de los registros de pago de regalías con lo que, además de la actividad minera, se incluyen explotaciones ilegales, tránsito de regalías y lavado de activos, entre otras prácticas al margen de la ley. Esta situación es analizada en el Plan Nacional de Desarrollo Minero al 2014 (UPME, 2012³).

Se identificaron 75 municipios distribuidos en 19 regiones, caracterizadas espacialmente, con relevancia para el análisis de consumo de mercurio en los ocho departamentos analizados así: cuatro en Chocó, tres en Antioquia y Bolívar, dos en Córdoba, Caldas, Nariño y Tolima y una en Cauca. Los resultados se cotejaron con los municipios propuestos por la Contraloría General de la República (CGR, 2014⁴).

La matriz de impactos ambientales se construyó específicamente para la actividad minera considerando diferentes etapas y dos escenarios: 1) un escenario de cumplimiento normativo y buenas prácticas y; 2) un escenario de ilegalidad e inobservancia normativa. Por último se realizó un completo análisis de DOFA para determinar las estrategias requeridas para mejorar el control sobre el comercio de mercurio dirigido a la minería artesanal y de pequeña escala –MAPE- y las explotaciones ilegales.

³ UPME. 2012. Plan nacional de desarrollo minero al 2014: Sector minero de cara a la sociedad. 100 pág. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Minero/2012/PNDM2014.pdf

⁴ CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA -CGR. 2014. Función de advertencia: contaminación de fuentes hídricas por utilización de mercurio (en mayor proporción y en otros casos cianuro) en minería ilegal de oro. 17 pág.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

1.1 USOS DE MERCURIO EN PROCESO AURÍFERO

La amalgamación es una mezcla no homogénea producida por la alta densidad de algunos metales, entre ellos el oro, que logran romper las fuerzas de tensión superficial del mercurio para quedar atrapados dentro de éste. Por esta razón, algunos mineros “*agregan otros ingredientes como melaza, jugo de limón, bicarbonato de sodio, entre otros, con el objeto de reducir la tensión superficial del mercurio para poder atrapar más oro*” (García y Molina, 2010⁵)

La amalgamación en el beneficio del oro se realiza bajo diferentes técnicas según las características del depósito, siendo la más común la gravimetría que consiste en la separación de minerales según sus diferentes pesos específicos que permite concentrarlos en trampas ubicadas en un trayecto hidráulico o un medio acuoso. A continuación se describen algunas de estas técnicas (UPME, 2007⁶).

La técnica más común es el uso de canaletas o canalones en donde el material fluye a lo largo de un canal con trampas en el lecho (tabiques, mallas, alfombras, fique, etc.) que causan la sedimentación de los minerales más pesados. La capacidad de recuperación está en función de la turbulencia y velocidad del flujo, ambas dominadas por la pendiente del canal y el caudal. Adicionar mercurio en el canal es una práctica común que causa pérdidas de mercurio y oro por exceso en la fuerza de arrastre de caudales no diseñados.

Las mesas concentradoras consisten en un flujo de agua sobre un plano levemente inclinado con movimiento vibratorio que obliga la separación de los minerales formando bandas (cejas) según su peso específico y granulometría. Son más utilizados en la minería de filón para la recuperación de oro fino (0.1 mm – 0.2 mm) del material de mina o de las colas provenientes de canalones.

En las planchas amalgamadoras, la pulpa resultante de la amalgamación durante la molienda fluye sobre una plancha de cobre ligeramente inclinada que puede contar con una capa de plata aplicada electrolíticamente. El oro fino se concentra en el fondo de la pulpa donde entrará en contacto con el mercurio originando la amalgama.

La trampa o batea cónica consiste en un cono invertido que recibe el material minado y el mercurio adicionado; en la parte inferior se inyecta agua a presión para generar una turbulencia que sobreeleva el material liviano en el cono para evacuarlo por una tubería ubicada en el tercio superior y concentra los metales pesados y la amalgama en el vértice. El elutriador o hidroseparador consta de un cono invertido que recibe la pulpa por encima mientras que una inyección de agua en contraflujo desde su vértice sobreeleva las

⁵ GARCÍA, O. y MOLINA, J. 2010. Introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, en el Nordeste Antioqueño y Bajo Cauca Antioqueño, Colombia. En: Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológicos mineros. Ed. E. Berrezueta y M. J. Domínguez. Red Minera XXI. CYTED., Pp. 51-64. Recuperado de:

http://www.sedpgym.es/descargas/libros_actas/POTOSI_2011/17_OSEAS_271-280.pdf

⁶ UPME. 2007. Producción más limpia en la minería del oro en Colombia: mercurio, cianuro y otras sustancias. Bogotá. 64 Pág. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria_limpia.pdf

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

partículas de arenas negras y pirita hasta un rebosadero para depositarlas en el cuello de recepción mientras que el oro y la amalgama se concentran en el vértice.

El *jig* es un equipo que alterna las sedimentaciones libres y obstaculizadas mediante pulsos del fluido que en la versión hidráulica se producen por la presión del agua que mueve una válvula de diafragma y en la versión mecánica por un diafragma accionado por motor. Se utiliza con más frecuencia en el beneficio de oro laminar.

El concentrador de espiral está constituido por una helicoidal que puede semejar a una secuencia de trampas cónicas, donde la fuerza centrífuga lleva los minerales livianos hacia los bordes mientras que los pesados permanecen en el centro. Ofrece mejores resultados en depósitos con oro muy grueso (0.3 mm – 1 mm).

Finalmente, están los concentradores centrífugos basados en el incremento de la gravedad por aplicación de la fuerza centrífuga para aumentar el diferencial entre las densidades y separar así los metales más pesados. Tiene mayor rendimiento en yacimientos con oro fino y laminado, en particular en el beneficio de colas ya tratadas.

1.2 MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES.

En la construcción de la matriz cualitativa de impactos ambientales se consideraron dos escenarios correspondientes a condiciones adversas, el primero plantea pérdidas y derrames bajo cumplimiento de la normatividad vigente y el segundo en ilegalidad e incumplimiento normativo. En la Tabla 42 se describen los diferentes criterios de evaluación utilizados.

En la evaluación de impactos se consideraron cuatro: 1) etapas el transporte entre el puerto y la bodega del importador; 2) el almacenamiento en dicha bodega; 3) la distribución local y regional del mercurio y; 4) su uso en amalgamación minera.

El primer escenario, mostrado en la Tabla 43, representa los impactos relacionados con posibles accidentes en cada una de las etapas consideradas en condiciones de cumplimiento normativo y buenas prácticas. El segundo escenario, presentado en la Tabla 44, representa la condición dominante para el mercurio de contrabando utilizado sin técnica alguna.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 42. Criterios de evaluación

| CRITERIO | CONCEPTO | ESCALA | | |
|---------------------------|--|---|--|--|
| | | Sin afectación (S.A.) | Afectación negativa (A.F.) | |
| Carácter | Capacidad de generar afectación | Sin afectación (S.A.) | Afectación negativa (A.F.) | |
| Posibilidad de ocurrencia | Posibilidad de que ocurra la afectación | Baja (B). Poca posibilidad | Moderada (M). Existe la posibilidad | Alta (A). La ocurrencia es un hecho cierto |
| Reversibilidad | Posibilidad de retornar a la condición previa al impacto | Reversible (R). El efecto se elimina en el tiempo | No reversible (NR). Los efectos permanecerán | |
| Intensidad | Cambio en la calidad ambiental | Baja (B). Cambios menores | Moderada (M). Cambios moderados | Alta (A). Grandes cambios |
| Magnitud | Severidad del efecto | Baja (B). Alteraciones mínimas | Moderada (M). Afectación media | Alta (A). Alteración significativa |
| Alcance | Área de influencia de impacto | Puntual (P). Impacto restringido al sitio | Local (L). Impacto afecta a nivel municipal | Regional (R). Impacto afecta más de un municipio |
| Duración | Permanencia del efecto adverso | Breve (B). Corto lapso | Temporal (T). Lapso moderado | Permanente (P). Efecto permanece en el tiempo |
| Normatividad asociada | Existencia de normatividad relacionada | Si. Existe normatividad | No. No existe normatividad | |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Tabla 43. Matriz ambiental primer escenario (cumplimiento normativo y buenas prácticas)

| ETAPA | FACTOR | PARÁMETROS PARA CALIFICACIÓN DE IMPACTOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------------|--|------|---------------------------|---|---|----------------|----|------------|---|---|----------|---|---|---------|---|---|----------|---|---|-----------------------|----|--|--|
| | | Carácter | | Posibilidad de ocurrencia | | | Reversibilidad | | Intensidad | | | Magnitud | | | Alcance | | | Duración | | | Normatividad asociada | | | |
| | | S.A. | A.N. | B | M | A | R | NR | A | M | B | A | M | B | P | L | R | B | T | P | Si | No | | |
| TRANSPORTE | Salud | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cobertura vegetal | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fauna | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| | Suelos | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| | Calidad de aire | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de agua | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALMACENAMIENTO | Calidad de agua | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Suelos | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad aire | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cobertura vegetal | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Paisaje | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Salud | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DISTRIBUCIÓN | Salud | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fauna | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de agua | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Suelos | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cobertura vegetal | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Paisaje | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BENEFICIO | Salud | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fauna | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de agua | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Suelos | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad del aire | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cobertura vegetal | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 44. Matriz ambiental segundo escenario (mercurio de contrabando y malas prácticas)

| ETAPA | FACTOR | PARÁMETROS PARA CALIFICACIÓN DE IMPACTOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------------|--|------|---------------------------|---|---|----------------|----|---|------------|---|---|----------|---|---|---------|---|---|----------|---|----|-----------------------|--|
| | | Carácter | | Posibilidad de ocurrencia | | | Reversibilidad | | | Intensidad | | | Magnitud | | | Alcance | | | Duración | | | Normatividad asociada | |
| | | S.A. | A.N. | B | M | A | R | NR | A | M | B | A | M | B | P | L | R | B | T | P | Si | No | |
| TRANSPORTE | Salud | X | | X | | | X | | | X | | | | | | | | | X | | | | |
| | Cobertura vegetal | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | |
| | Fauna | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Suelos | | X | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de aire | | X | X | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de agua | | X | X | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALMACENAMIENTO | Paisaje | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Salud | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fauna | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de agua | | X | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Suelos | | X | X | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de aire | | X | X | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DISTRIBUCIÓN | Cobertura vegetal | X | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Paisaje | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Salud | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fauna | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de agua | | X | X | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | Suelos | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BENEFICIO | Cobertura vegetal | X | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Paisaje | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Salud | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fauna | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Calidad de agua | | X | X | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | Suelos | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2. LAS ZONAS CALIENTES POR CONTAMINACIÓN DE MERCURIO PRODUCTO DE LOS PROCESOS MINEROS EN EL PAÍS

2.1 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE LAS ZONAS CALIENTES

La metodología empleada se fundamentó en el análisis de informes y estadísticas de los siguientes documentos:

- Estadísticas históricas del Sistema de Información Minero Colombiano-SIMCO, el resultado de este proceso fue la identificación de los departamentos con mayor producción de oro en los últimos diez años (2003 a 2013)
- Censos mineros Departamentales.
- Datos de producción de la Agencia Nacional de Minería y el Banco de la República.
- Los informes de advertencia de la Contraloría General de la República sobre este tema hechos al Ministerio de Minas y Energía.

Teniendo en cuenta que los departamentos con mayor producción de oro son en su orden: Antioquia, Chocó, Bolívar, Cauca, Caldas, Valle del Cauca, Tolima, Nariño, Córdoba, Santander, Risaralda, Putumayo y Huila, se seleccionaron los departamentos que se encuentran equidistantes para tener mayor cobertura del país, por lo que excluyeron Valle del Cauca y Santander.

Para las regiones se tuvo en cuenta los distritos mineros legalmente reconocidos en cada uno de estos departamentos:

Adicionalmente se tuvo en cuenta el acceso a los sitios calientes teniendo como base las vías y temas relacionados con el orden público.

Como muestra la Tabla 45, en los últimos 13 años el 98.2 % de la producción aurífera acumulada ha correspondido a los departamentos de Antioquia (50.8 %), Chocó (23 %), Bolívar (8.6 %), Córdoba (6.9 %), Caldas (3.3 %), Cauca (3.1 %), Nariño (1.8 %) y Tolima (0.7 %). Con excepción de Valle del Cauca (0.8 %) los otros 20 departamentos registran producciones marginales.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 45. Producción acumulada por departamentos entre 2001 y 2013

| DEPARTAMENTO | PRODUCCIÓN ACUMULADA (Oz) | PRODUCCIÓN ACUMULADA (t) | PARTICIPACIÓN NACIONAL (%) |
|--------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Antioquia | 8,124.40 | 252,693.34 | 50.76% |
| Chocó | 3,678.26 | 114,404.93 | 22.98% |
| Bolívar | 1,375.49 | 42,782.02 | 8.59% |
| Córdoba | 1,104.63 | 34,357.41 | 6.90% |
| Caldas | 534.50 | 16,624.45 | 3.34% |
| Cauca | 491.08 | 15,274.08 | 3.07% |
| Nariño | 285.63 | 8,883.93 | 1.78% |
| Valle | 128.38 | 3,992.85 | 0.80% |
| Tolima | 109.65 | 3,410.60 | 0.69% |
| Santander | 60.30 | 1,875.52 | 0.38% |
| Risaralda | 27.18 | 845.34 | 0.17% |
| Sucre | 25.15 | 782.30 | 0.16% |
| Huila | 21.98 | 683.67 | 0.14% |
| Guanía | 20.65 | 642.41 | 0.13% |
| Putumayo | 8.65 | 269.12 | 0.05% |

| DEPARTAMENTO | PRODUCCIÓN ACUMULADA (Oz) | PRODUCCIÓN ACUMULADA (t) | PARTICIPACIÓN NACIONAL (%) |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Quindío | 3.96 | 123.26 | 0.02% |
| Vaupés | 1.89 | 58.76 | 0.01% |
| Norte de Santander | 0.75 | 23.29 | 0.00% |
| Amazonas | 0.70 | 21.81 | 0.00% |
| Caquetá | 0.65 | 20.07 | 0.00% |
| Magdalena | 0.48 | 14.93 | 0.00% |
| Atlántico | 0.44 | 13.62 | 0.00% |
| Boyacá | 0.08 | 2.34 | 0.00% |
| Vichada | 0.07 | 2.18 | 0.00% |
| Cundinamarca | 0.02 | 0.69 | 0.00% |
| Meta | 0.02 | 0.62 | 0.00% |
| Cesar | 0.02 | 0.61 | 0.00% |
| Arauca | 0.01 | 0.43 | 0.00% |
| Guaviare | 0.00 | 0.00 | 0.00% |
| TOTAL NACIONAL | 16,005.03 | 497,804.57 | 100.00% |

Fuente: Minercol (2001 – 2003), Ingeominas (2004 – 2010), ANM (2011 – 2013)

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

La única fuente sobre las unidades productivas mineras (UPM) en Colombia es el Censo Minero Departamental (CMD) realizado por el Ministerio de Minas entre 2010 y 2011⁷ que, con reconocidas debilidades en la captura y la compilación de información (Escobar y Martínez, 2014⁸), ofrece datos sobre 537 municipios (48.7 %) distribuidos en 23 departamentos (72 %). De las 14.357 UPM encuestadas el 28.8 % (4.133) son auríferas, 2116 (51.2 %) de aluvión y 2017 (48.8 %) de veta. La información sobre mercurio se capturó únicamente en Antioquia y en total sólo se registraron 107 barequeros.

Grafico 11. Distribución porcentual de UPM según el Censo minero (MME, 2012)

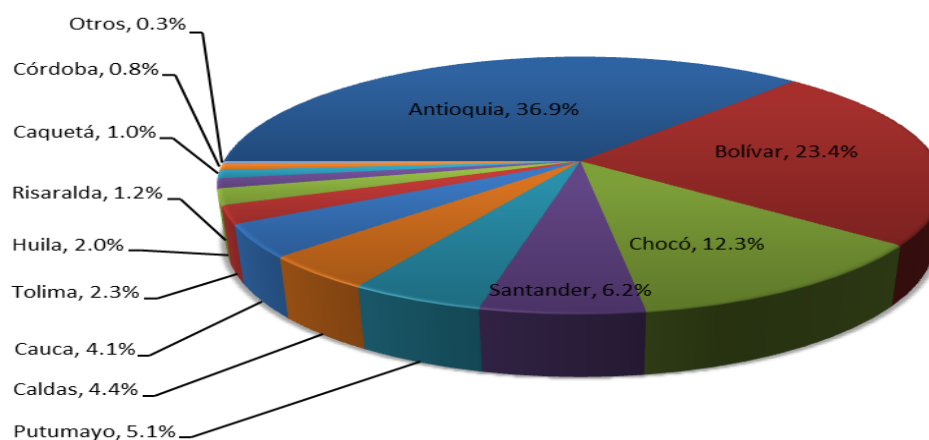


Tabla 46. Unidades productivas mineras (UPM) auríferas (MME, 2012)

| Departamento | UNIDADES AURÍFERAS | | Departamento | UNIDADES AURÍFERAS | |
|--------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|----------------|
| | NÚMERO | % | | NÚMERO | % |
| Antioquia | 1,526 | 36.92% | Risaralda | 51 | 1.23% |
| Bolívar | 967 | 23.40% | Caquetá | 42 | 1.02% |
| Chocó | 507 | 12.27% | Córdoba | 33 | 0.80% |
| Santander | 255 | 6.17% | Norte de Santander | 5 | 0.12% |
| Putumayo | 209 | 5.06% | Magdalena | 4 | 0.10% |
| Caldas | 181 | 4.38% | Valle del Cauca | 4 | 0.10% |
| Cauca | 170 | 4.11% | Boyacá | 1 | 0.02% |
| Tolima | 94 | 2.27% | TOTAL | 4,133 | 100.00% |
| Huila | 84 | 2.03% | | | |

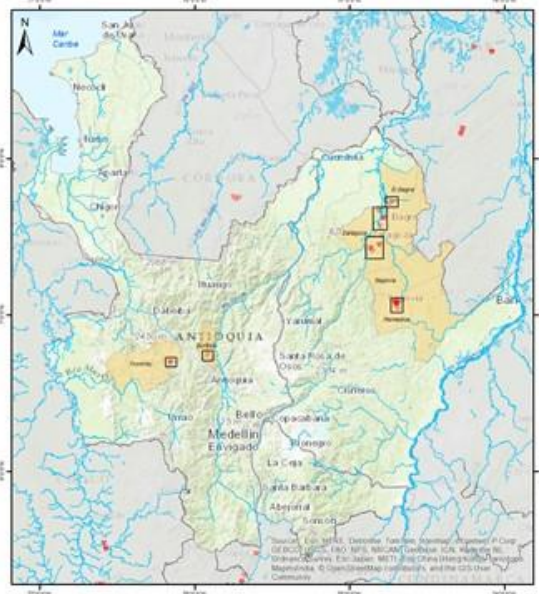
⁷ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA –MME. 2012. Censo minero departamental 2010 – 2011.

⁸ ESCOBAR, A. y MARTÍNEZ, H. 2014. El Sector minero colombiano actual. En: Insumos para el desarrollo del plan nacional de ordenamiento minero. Informe preparado por la Universidad de Los Andes para la UPME. Recuperado de:

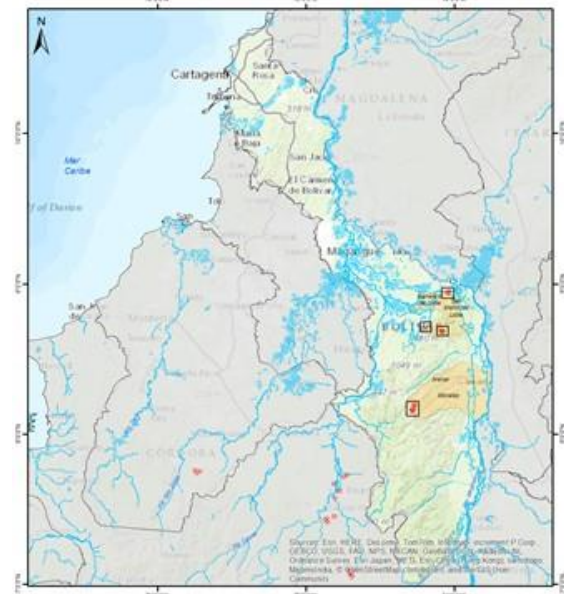
<http://cider.uniandes.edu.co/@Publicaciones/PublicacionesCoedicion/PlanOrdenamientoMinero.pdf>

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

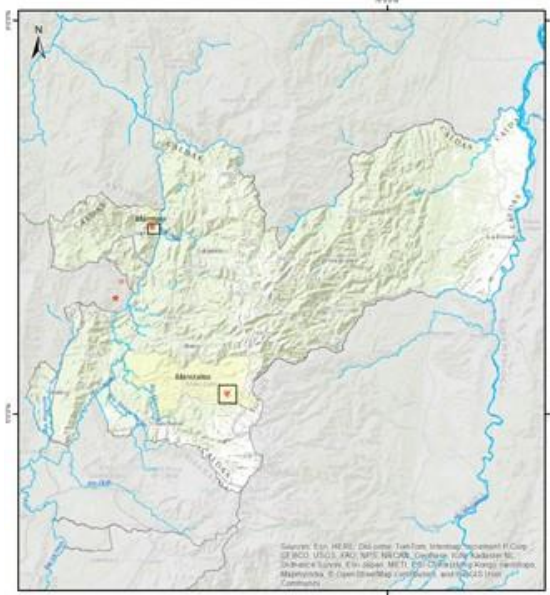
Mapa 20. Sitios Calientes



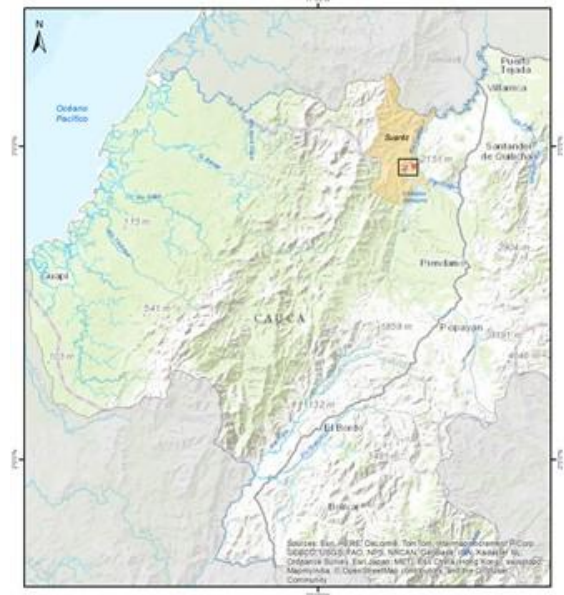
Antioquia



Bolívar



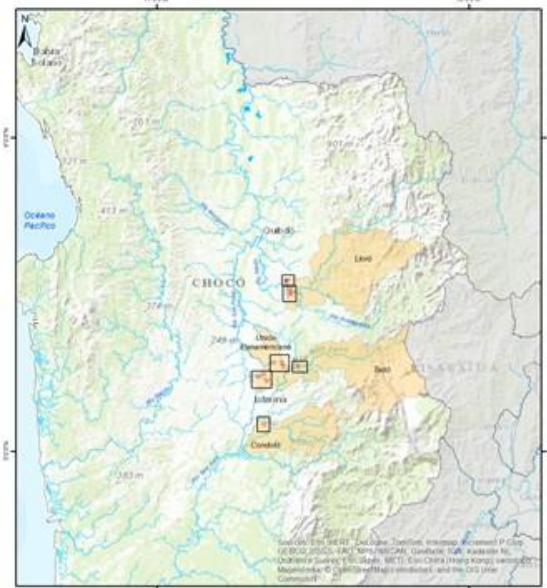
Caldas



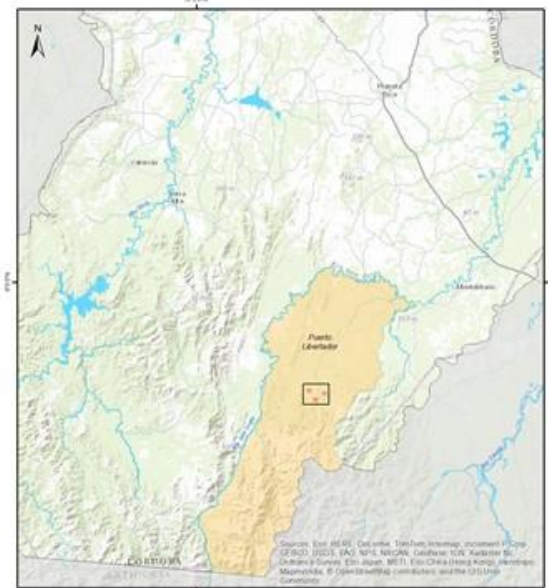
Cauca

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

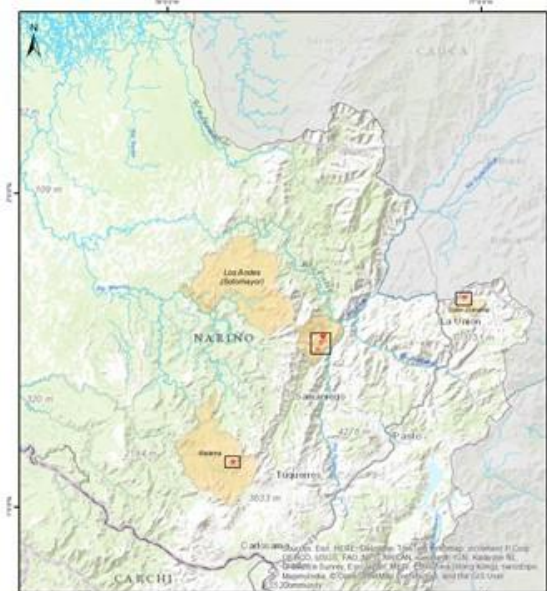
Mapa 20. (Continuación)



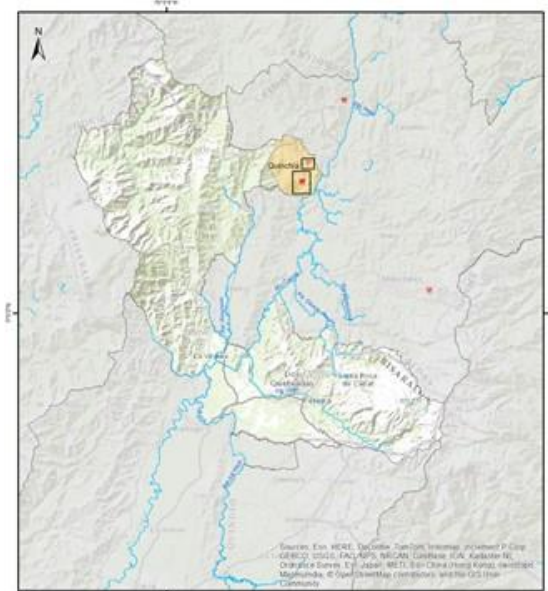
Chocó



Córdoba



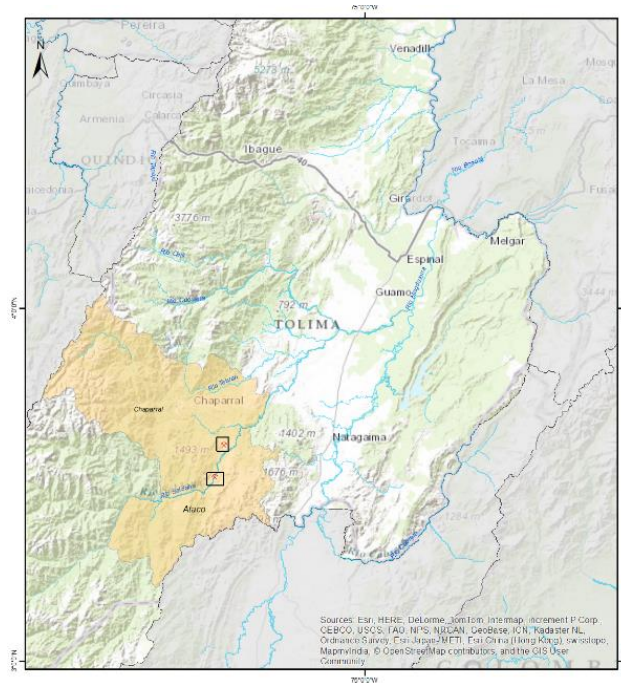
Nariño



Risaralda

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 20. (Continuación)



Tolima

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS CALIENTES Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

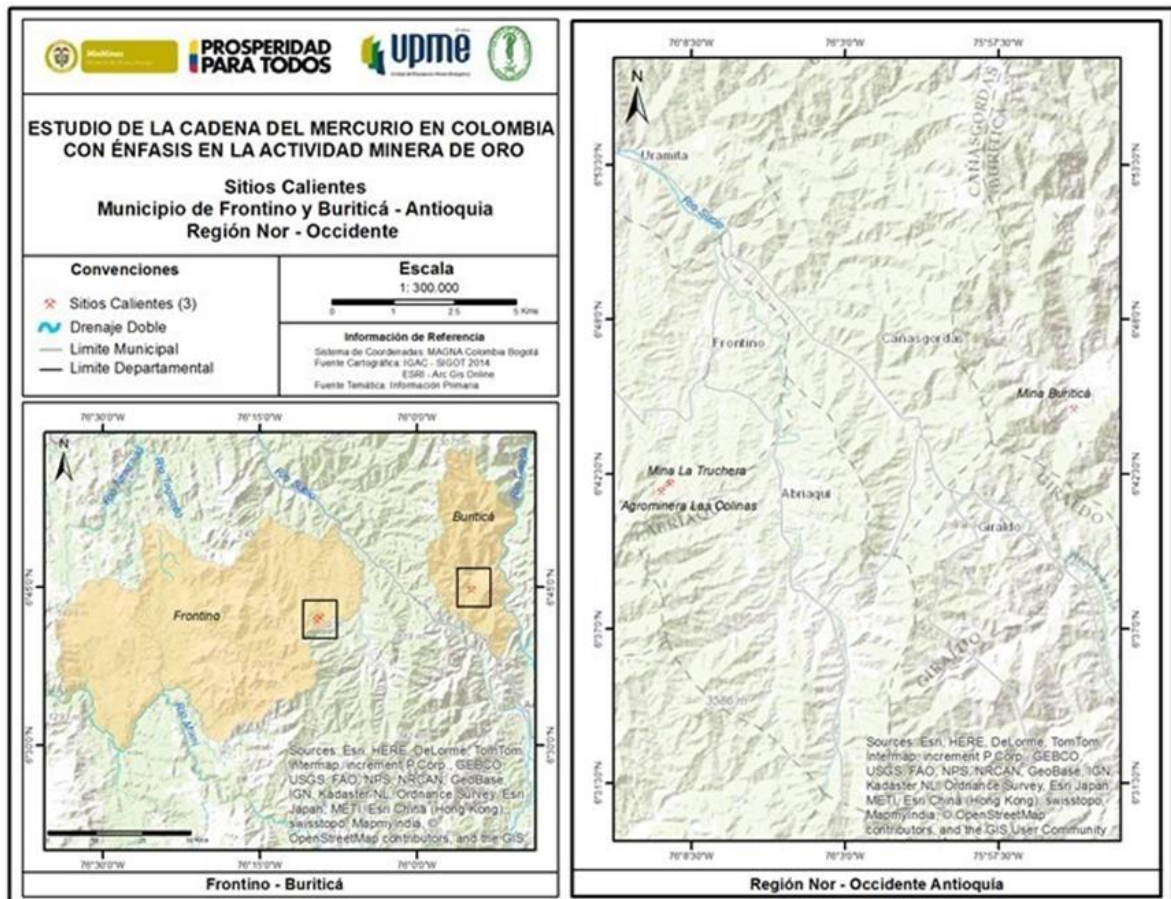
2.2.1 Antioquia

Se determinaron cinco puntos calientes:

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.2.1.1 Frontino ⁹

Mapa 21. Ubicación Zonas Calientes Municipio de Frontino



El municipio se encuentra localizado en la subregión Occidente del departamento de Antioquia. Limita con los municipios de Uramita, Dabeiba, Murindó, Vigía del Fuerte, Uraao, Abriaquí y Cañasgordas. Su cabecera municipal está a 172 kilómetros de Medellín; distancia que recientemente ha sido acortada en 26 kilómetros con la inauguración del Túnel de Occidente. El área municipal es de 1263 km², con un territorio montañoso correspondiente a la cordillera Occidental de los Andes, La cabecera del municipio de Frontino está ubicada a 1.350 metros sobre el nivel del mar y una temperatura de 21°C. Su agricultura se caracteriza por la siembra de caña de azúcar, frijol y maíz entre otros. Clima cálido, poca población, es rico en flora y fauna.

Frontino es considerado en la subregión, como el Municipio con las principales cualidades para consolidarse como líder prestador de servicios de la subregión, así mismo cuenta

⁹ http://www.frontino-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

con importantes áreas de vocación turística; Por su belleza paisajística, cuenta además en su área rural con zonas de reserva ecológica y cultural, grandes potencialidades ambientales como el Parque Nacional de las Orquídeas; Todas estas ventajas posibilitaran en el Municipio estrategias de turismo ecológico para ofrecerla en todo el occidente Antioqueño y el Valle de Aburra.

Se seleccionaron como sitios de estudios:

- Minas Agrominera Las Colinas
- Mina La Trunchera

2.2.1.2 Buritica¹⁰

El municipio de Buriticá, localizado en la subregión Occidente del departamento de Antioquia. Limita por el oeste con el municipio de Cañasgordas, por el sur con los municipios de Giraldo y Santafé de Antioquia, por el norte con el municipio de Peque, y por el oriente con los municipios de Sabanalarga y Liborina. Su cabecera dista 127 kilómetros de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia, y el municipio posee una extensión de 364 kilómetros cuadrados, una altura sobre el nivel del mar de 1.625 metros y un clima de 21°C.

La economía está fundamentada en los cultivos de café, maíz, frijol, caña y en menor escala en la ganadería de doble propósito de carne y lechera. La explotación del oro ha sido tradicional desde la época de la Conquista en la producción económica de este distrito. En la actualidad la Compañía CG Sucursal Colombia es la única compañía autorizada para la exploración y producción de oro en el municipio, En la actualidad construye el primer proyecto de minería moderna en la región con más de 600 empleados de los cuales el 80% son de Buriticá. Un grupo de mineros informales ha llegado también al municipio en el último año, provenientes de otros lugares de Colombia como Marmato, Remedios y Segovia para trabajar de manera rudimentaria. Éstos, a pesar de no tener un título minero, aspiran a poder trabajar algunas zonas del municipio. En este oficio laboran alrededor de 200 personas.

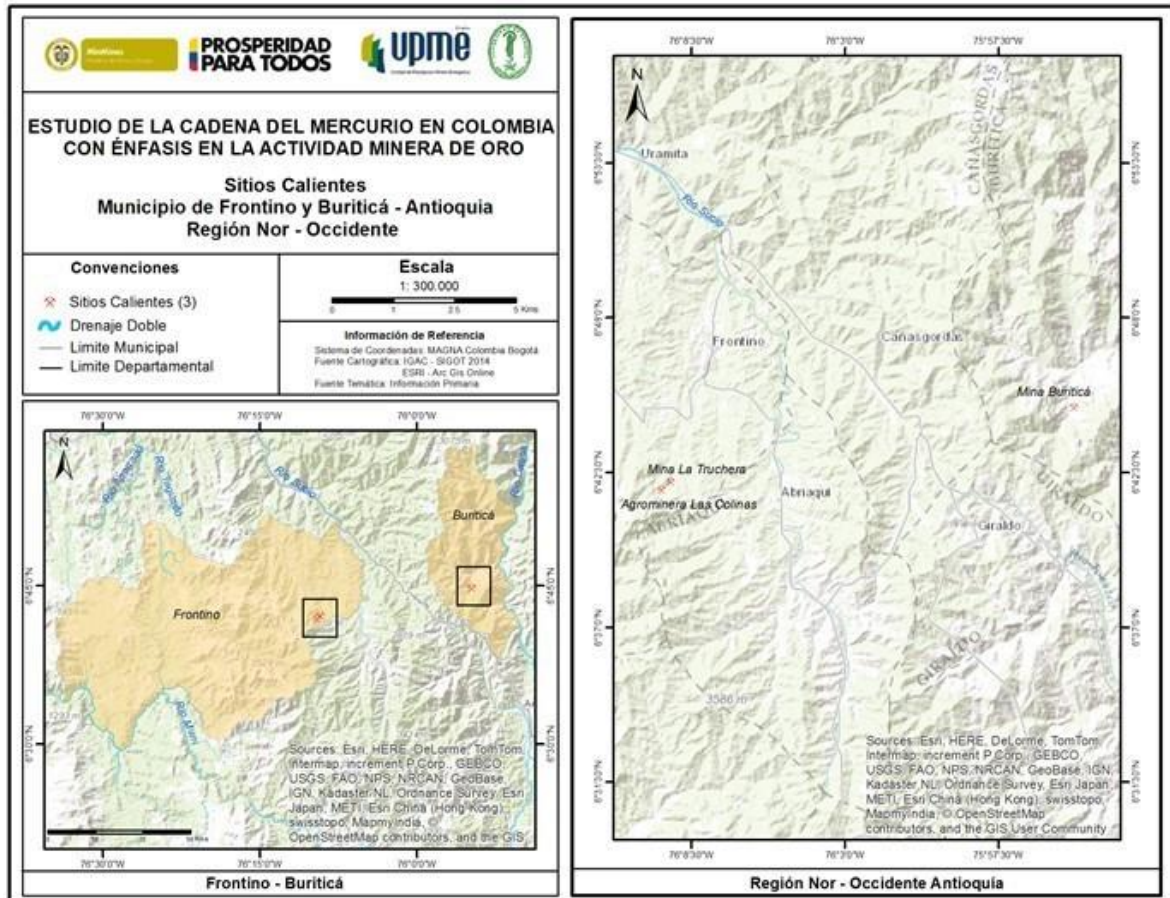
Se seleccionó como sitio caliente el corregimiento Llanos de Uruarco en la microcuenca de la quebrada Bemango afluente de quebrada La Clara que vierte directamente al río Cauca.

- Mina Buriticá.

¹⁰ http://www.buritica-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 22. Ubicación Zonas Calientes Municipio de Buritica

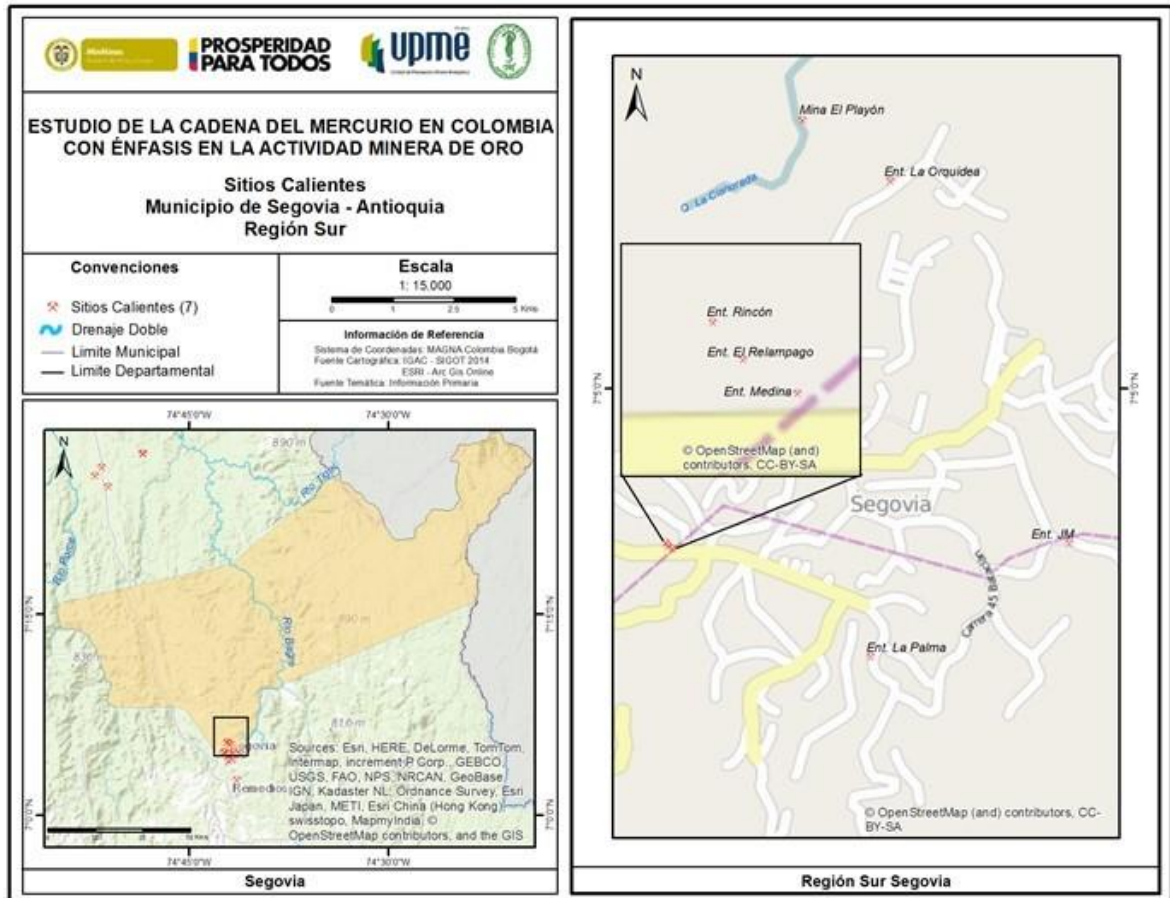


2.2.1.3 Segovia

El municipio de Segovia- Antioquia, se encuentra localizado en las coordenadas N 7° 04' 28" latitud Norte y a 74° 41' 56" longitud Oeste. Este municipio limita al Norte con los municipios de Zaragoza y Bagre, al Oriente con el Departamento de Bolívar, al Occidente con los municipios de Amalfi y Anori y al Sur con el municipio de Remedios. La zona presenta un clima cálido muy húmedo, con temperatura promedio >24° C, con precipitaciones entre 3.001 a 7000 mm/año, la zona es característica de tener una cobertura de pasto, utilizada generalmente para actividades ganaderas.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 23. Ubicación zonas calientes municipio de Segovia



La economía del municipio se manifiesta mediante la minería de oro, el comercio (entables, compras de oro, provisión de víveres, venta de licores y misceláneas), la ganadería, la explotación maderera y la agricultura. La actividad de exploración y explotación de material aurífero es la principal actividad económica del municipio, la ganadería es poca en la región por la dificultad de producir pastos saludables y el medio ambiente no es el adecuado, la producción maderera no se la más adecuada, debido a que deteriora la selva virgen tropical y la agricultura es poco tecnificada, sólo se produce para el consumo interno los productos como el plátano, la yuca, el maíz y el arroz.

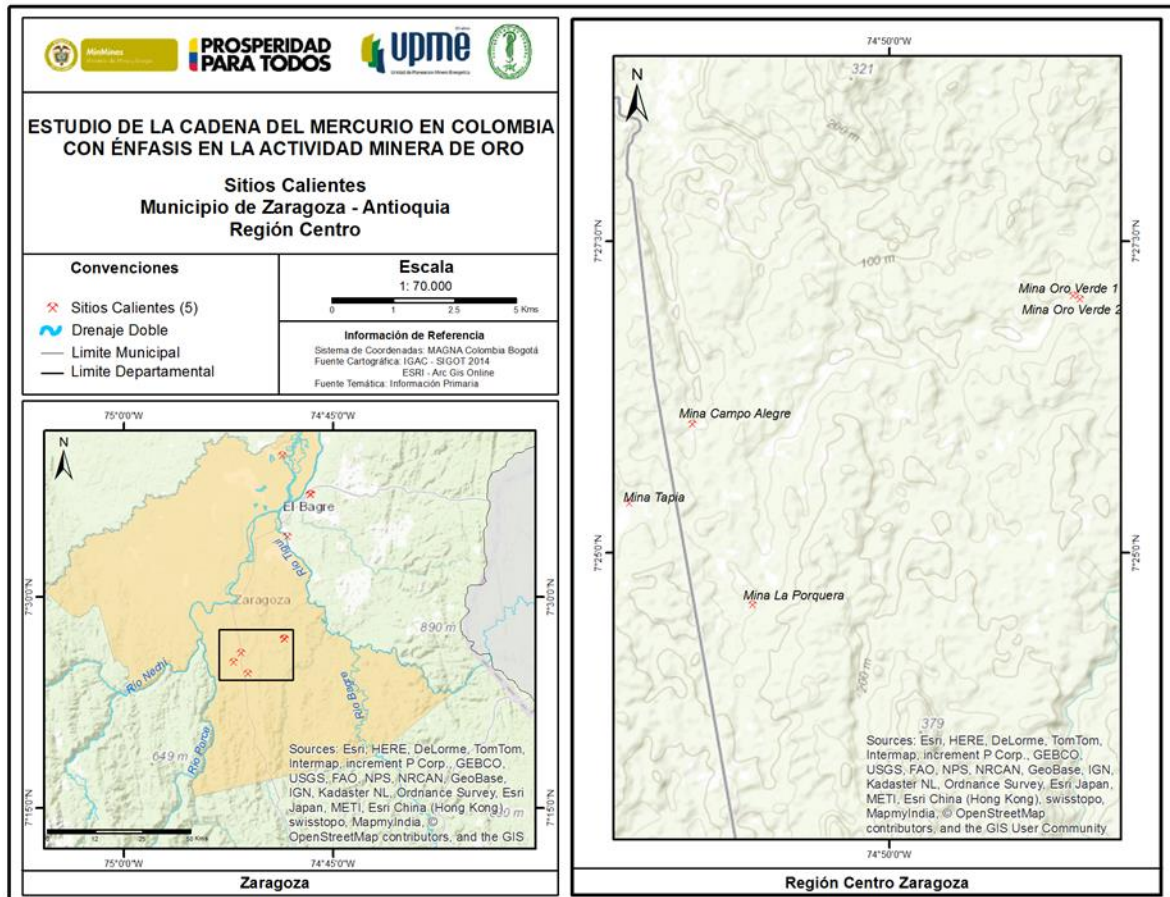
Se seleccionó para el presente estudio el área comprendida entre ambas cabeceras municipales donde existe una gran concentración de minas talleres de beneficio de oro (entables)

- Segovia: Minas Córdoba y El Playón; entables La Palma, Medina, El Relámpago, JM, Rincón y La Orquídea.
- Remedios: Minas Los Pujidos, Las Palmeras y La Fe.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.2.1.4 Zaragoza

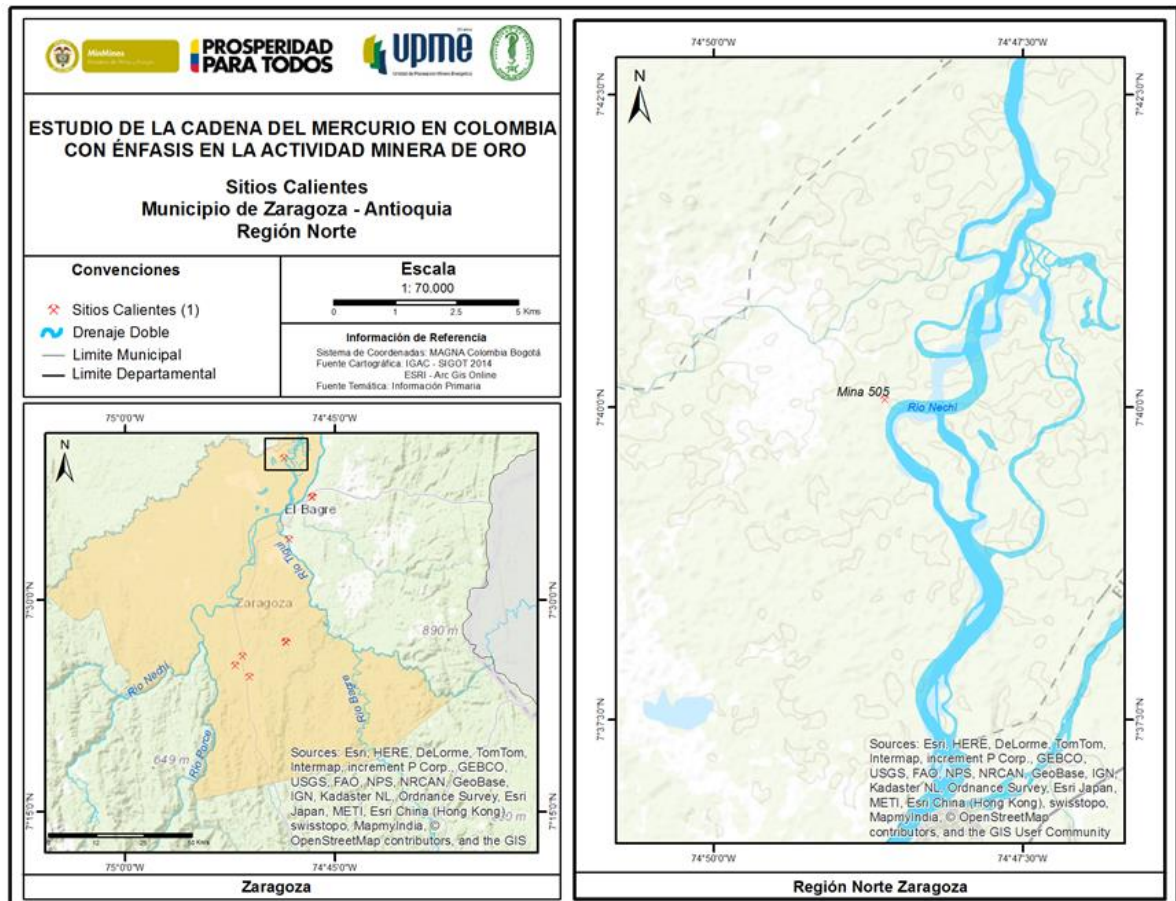
Mapa 24. Ubicación zonas calientes municipio de Zaragoza, Región Centro



El municipio de Zaragoza se encuentra localizado en la subregión del Bajo Cauca el Municipio de Zaragoza al Noreste del Departamento de Antioquia, limita geográficamente por el Oriente con el Municipio de El Bagre, por el Norte con Caucaasia, por el Occidente con los Municipios de Anorí y Cáceres y por el Sur con Segovia; su territorio tiene una extensión 1.064 Km² (12.5% del total del territorio de la subregión) constituido por los corregimientos Buenos Aires-Palizada y Pato subdivididos en un total de 64 veredas.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 25. Ubicación zonas calientes municipio de Zaragoza, Región Norte



El municipio de Zaragoza se localiza en la zona climática de la serranía de San Lucas, corresponde al piso térmico que va de 0 a 800 m.s.n.m. cuyos patrones climáticos corresponden a la región Caribe, aunque con influencia de la región Centroandina. Esta región se caracteriza por precipitaciones entre los 3001 y 7000 mm anuales y temperaturas medias por encima de los 24° C. El territorio de Zaragoza se extiende desde los 50 metros sobre el nivel del mar (Vereda Vegas de Zaragoza) hasta los 600 metros (cerro El Totumo en la vereda Pocuné Medio), lo que implica temperaturas medias que fluctúan entre los 28° (hacia la planicie aluvial del Río Nechí) y los 25° C (en las estribaciones de la Cordillera Central, sector sur del municipio).

Debido a la alta precipitación, la producción agrícola y ganadera en terrenos con pendientes moderadas y fuertes demandan prácticas intensivas de conservación de suelos, a fin de reducir la erosión y mantener su potencial productivo; en cuanto a uso y cobertura del suelo, la zona presenta en general una vegetación secundaria o vegetación de baja altura, que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

cultivos hacia coberturas arbóreas. Se encuentran rastros y cobertura vegetal en estado de sucesión temprano.

La economía de este municipio se basa en el desarrollo de la actividad minera de oro y plata, especialmente la aurífera, así también, la actividad maderera, la pesca, la agricultura y la ganadería de levante.

En Municipio las minas seleccionadas están ubicadas en las siguientes zonas:

- Veredas La Porquera, El Retiro y El Limón: Minas La Porquera, Tapia, Campo Alegre y Oro Verde
- Vereda Tosnován Dos: Mina 505

2.2.1.5 El Bagre¹¹

El municipio de El Bagre, se encuentra localizado en la subregión del Bajo Cauca del departamento de Antioquia, a 326 km de la capital del departamento, Medellín. Cuenta con una extensión de 1.563 Km², ubicado a 50 m.s.n.m en su cabecera municipal, a orillas del río Nechí, en la confluencia con el río Tigüí, el cual es afluente del río Nechí y este del río Cauca.

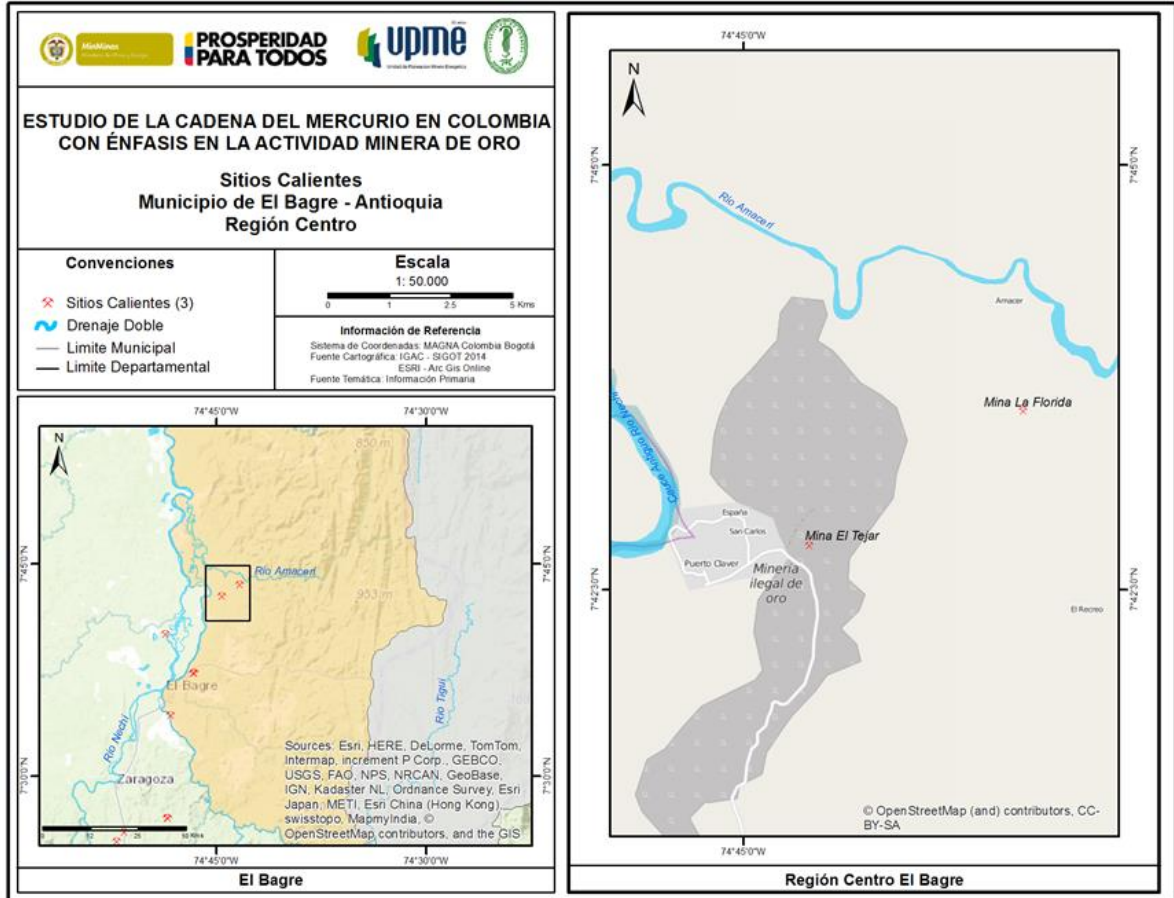
El municipio de El Bagre se encuentra en la unidad biogeográfica Provincia del Choco – Magdalena, en la cuenca hidrológica del río Nechí. Presenta una temperatura promedio de 37°C, experimenta un tipo de clima cálido muy húmedo, con precipitaciones que rondan los 3001- 7000 mm/año en un bioma de Bosque Húmedo Tropical.

El municipio de El Bagre la principal actividad económica es la minería, siendo el oro el principal metal precioso producido en el municipio. Además de ser principal productor de oro del departamento de Antioquia; seguido se encuentran otros minerales como la plata y en menor significancia el platino. La producción de oro muestra una tendencia cíclica, con una tendencia creciente a partir del año 2010. La oferta agrícola, en conjunto, está determinada por el cultivo de yuca, maíz, plátano, arroz, cacao y en los últimos años el caucho al cual le ha apostado el municipio del Bagre. Pero se han evidenciado cambios drásticos en el municipio, debido principalmente a su vocación minera. Del 2000 al 2011, las áreas sembradas pasaron de 6.479 a 3.672 ha y las áreas cosechadas de 6.457 a 2.785 ha respectivamente.

¹¹ Alcaldía Municipal de El Bagre. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.elbagre-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml

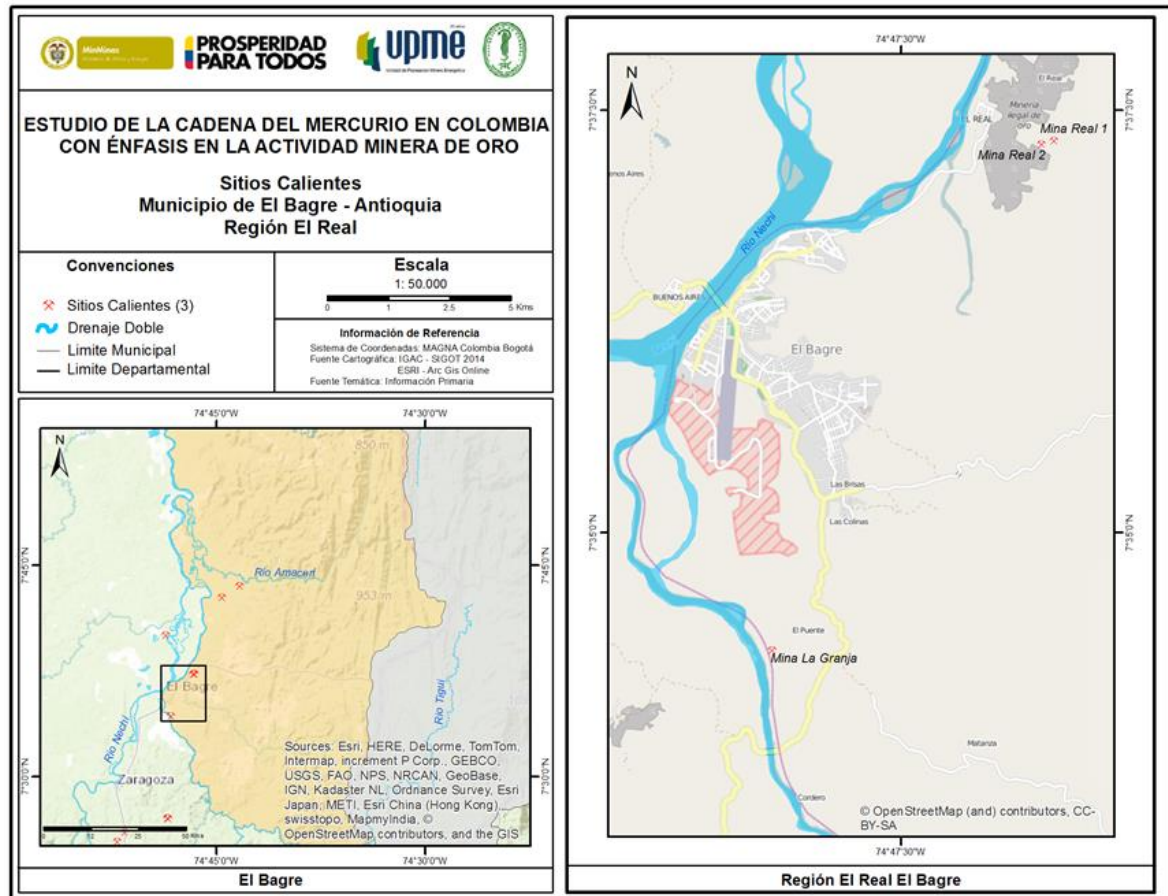
CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 26. Ubicación zonas calientes municipio de El Bague, Región Centro



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 27. Ubicación zonas calientes municipio de El Bagre, región El Real



En Municipio de El Bagre las minas seleccionadas están ubicadas en las siguientes zonas:

- Zona rural de la cabecera municipal, margen derecha del río Tigüi. Mina La Granja
- Vereda El Real. Mina El Real
- Vereda Amaceri. Minas Puerto Claver y La Florida

2.2.1.6 Remedios¹²

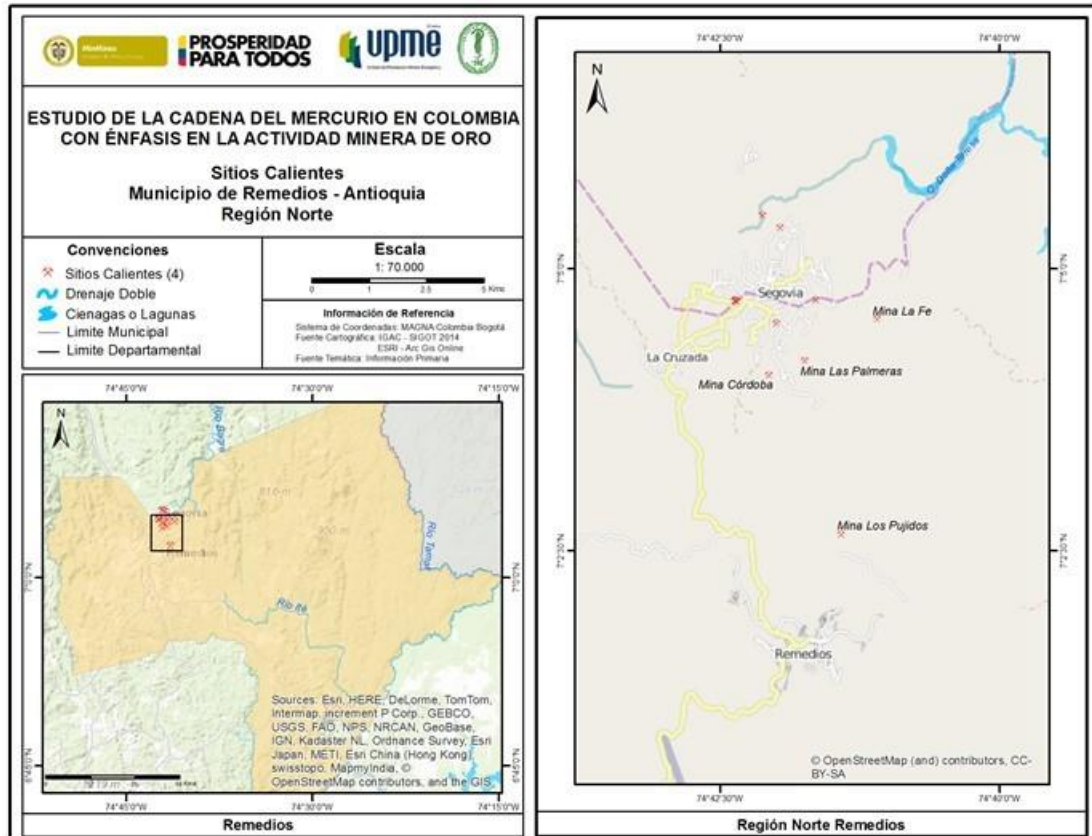
El municipio de Remedios se encuentra ubicado al nordeste el departamento de Antioquia sobre las coordenadas 07° 01'21" de latitud norte y 74° 41'46" de longitud oeste. El casco urbano de Remedios se encuentra a una altura promedio de 700 m.s.n.m. y una temperatura media de 24°C. A una distancia de 190 Km de Medellín, su principal vía de comunicación es la carretera o Troncal del Nordeste, en pésimas condiciones y el

¹² <http://www.remedios-antioquia.gov.co/-2012>

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

aeropuerto Alberto Jaramillo Sánchez en la vereda Otú; los límites de Remedios son: Segovia al norte; sur del departamento de Bolívar al nororiente; Yondó y Puerto Berrío al oriente; Yolombó al sur y Yalí, Vegachí y Amalfi al occidente.

Mapa 28. Ubicación zonas calientes municipio de Remedios.



Remedios tiene una extensión de 1985 kilómetros cuadrados, con una población de aproximadamente 25.000 habitantes, por lo menos dos terceras partes habitan en el área rural. La región está surcada de importantes ríos tales como. El Mata, el Ité, el Tamar, Alicante, San Bartolomé, el Bagre, la Honda y el Pocuné.

La base principal de la economía que encontramos en Remedios es la minería, todo gira alrededor de las minas y su explotación. Minas que en su gran mayoría son trabajadas en forma artesanal y en las que sus trabajadores reciben como salario lo producido en las minas, es decir, material aurífero que deben procesar en los entables que existen en el municipio, trabajo que lógicamente no es estable, también se cuenta con recursos económicos vegetales, calculándose en 120.000 hectáreas de árboles maderables como son: El Abarco, Guayacán, Caobo, Canelo, Perillo, Nazareno, Cedro, Chingalé, Parasiempre y Coco Cristal. Los pastos ocupan un área de 50.000 hectáreas

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

aproximadamente. La producción agrícola es escasa, se produce yuca, naranja, plátano, maíz, arroz, caña de azúcar y algunos frutales, alcanzan para abastecer el consumo de la población. La mayor parte de los alimentos son traídos de otros lugares. También se cuenta con recursos pecuarios. Bovino y vacuno, se presentan las siguientes razas: Cebú, Blanco, Obón, Pardosuizo, Charolaise, Holtein, Criollo y Manchado Alemán.

2.2.2 Choco

Se determinaron cuatro puntos calientes:

2.2.2.1 Lloró¹³

El municipio de Lloró está situado a 5°29'54" Norte y 76°32'29" Oeste en la zona Occidental del departamento del Choco parte alta del río Atrato a 12 Km. del Municipio del Atrato, posee una extensión total de 905 Km² y una altitud de 69 msnm en la cabecera municipal. Los asentamientos de sus pobladores se distribuyen a lo largo de cuatro ríos las cuales son el Atrato, Andagueda, Capa y Tumutumbudo. El municipio de Lloró limita al norte con Municipio de Quibdó y el Carmen de Atrato, al sur con los municipios de Tadó y Bagadó, al oriente con los municipios del Carmen de Atrato y Bagadó; al occidente con el Municipio de Atrato.

El municipio de Lloró posee una temperatura promedio de 26°C. La zona presenta un clima cálido muy húmedo, hace parte del Bacín del Atrato y está localizado sobre el sistema de colinas que varían entre 50 y 100 m.

La red hidrográfica del Municipio de Lloró, se ubica en la cuenca del río Atrato, con las subcuencas del río Capa y Andagueda. Una característica importante en esta subcuenca es cristalinidad de las aguas de todos sus afluentes. En donde se localizan las poblaciones de Villaclareth, El Llanito, Perico y los resguardos indígenas de Río Lana – Capa, Río Mumbu.

El municipio de Lloró está conformado por dos regiones fisiográficas: la Cordillera Occidental que comprende una superficie de 334,8 km² correspondiente al 37% del territorio y la depresión del Atrato que ocupa una extensión de 562,4 km² equivalente al 63%.

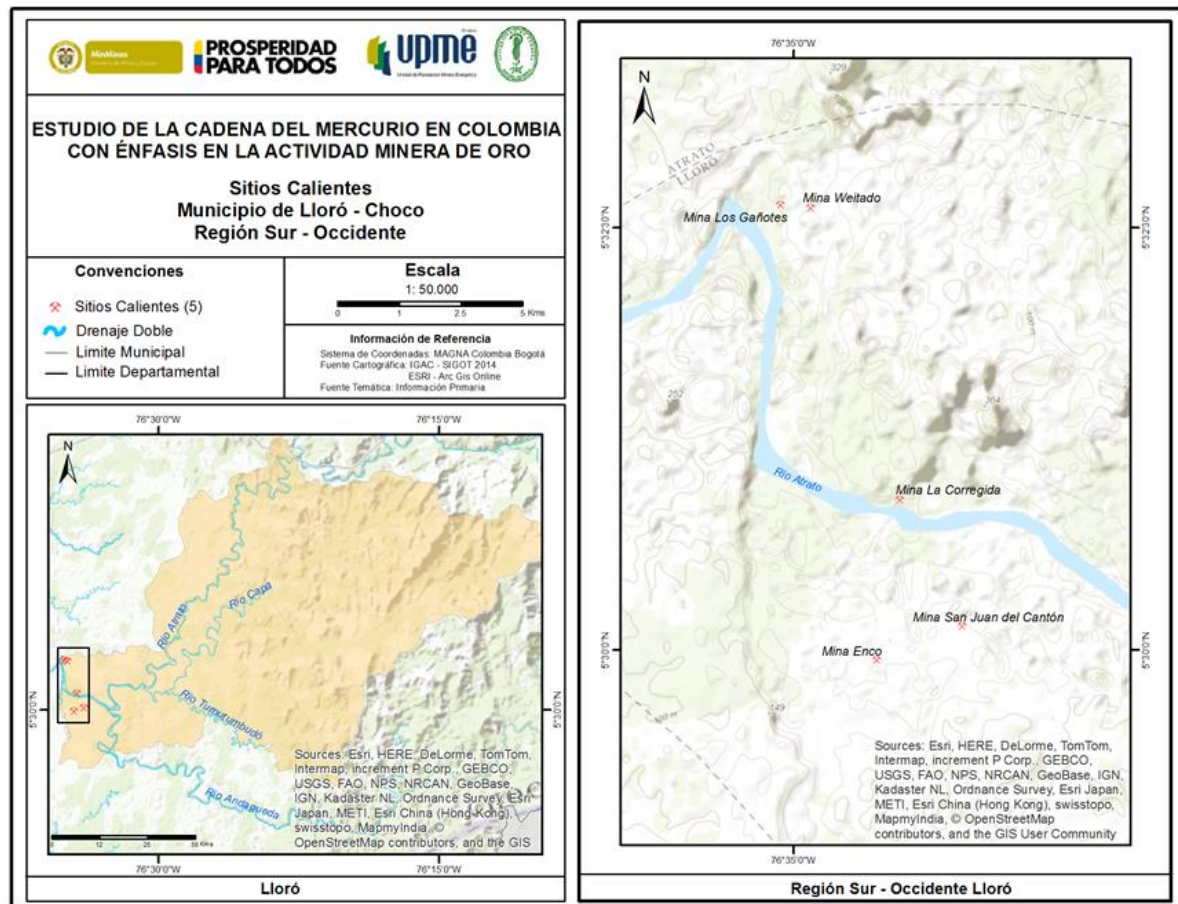
Según datos proporcionados por la administración municipal, el área afectada por la actividad minera son 800 hectáreas distribuidas principalmente en la microcuenca del río Andagueda el 50 % equivalente a 400 hectáreas; en el carretable Yuto - Lloró 15% (120 hectáreas); en la microcuenca del río Atrato aguas arriba desde la cabecera municipal 15% hasta la comunidad de Currupá (120 hectáreas) y en esta misma cuenca desde Lloró aguas abajo hasta los límites con el municipio de Atrato 10% (80 hectáreas). Además, en

¹³ Alcaldía Municipal de Lloró. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.lloro-choco.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

la zona que comunica a Lloró con el corregimiento de La Vuelta el 10 % restante (80 hectáreas). Se presenta la tala indiscriminada de árboles, el comercio de madera, minería ilegal con maquinaria (retroexcavadoras, dragas y dragones).

Mapa 29. Ubicación sitios calientes municipios de Lloro



Las actividades económicas del Municipio de Lloró, corresponden principalmente al sector primario de la economía, sobresale la agricultura, la minería y la explotación forestal, es decir este municipio depende exclusivamente del aprovechamiento de los recursos naturales en forma artesanal, sin embargo en el caso de la minería se viene explotando este recurso a gran escala con maquinaria pesada, lo que ha generado deforestación en bosques y suelos cultivables.

Las zonas seleccionadas fueron como sitios calientes fueron:

- Corregimiento La Vuelta. En inmediaciones de la desembocadura del río Andagueda en el Atrato.
 - Minas Enco y San Juan del Cantón.

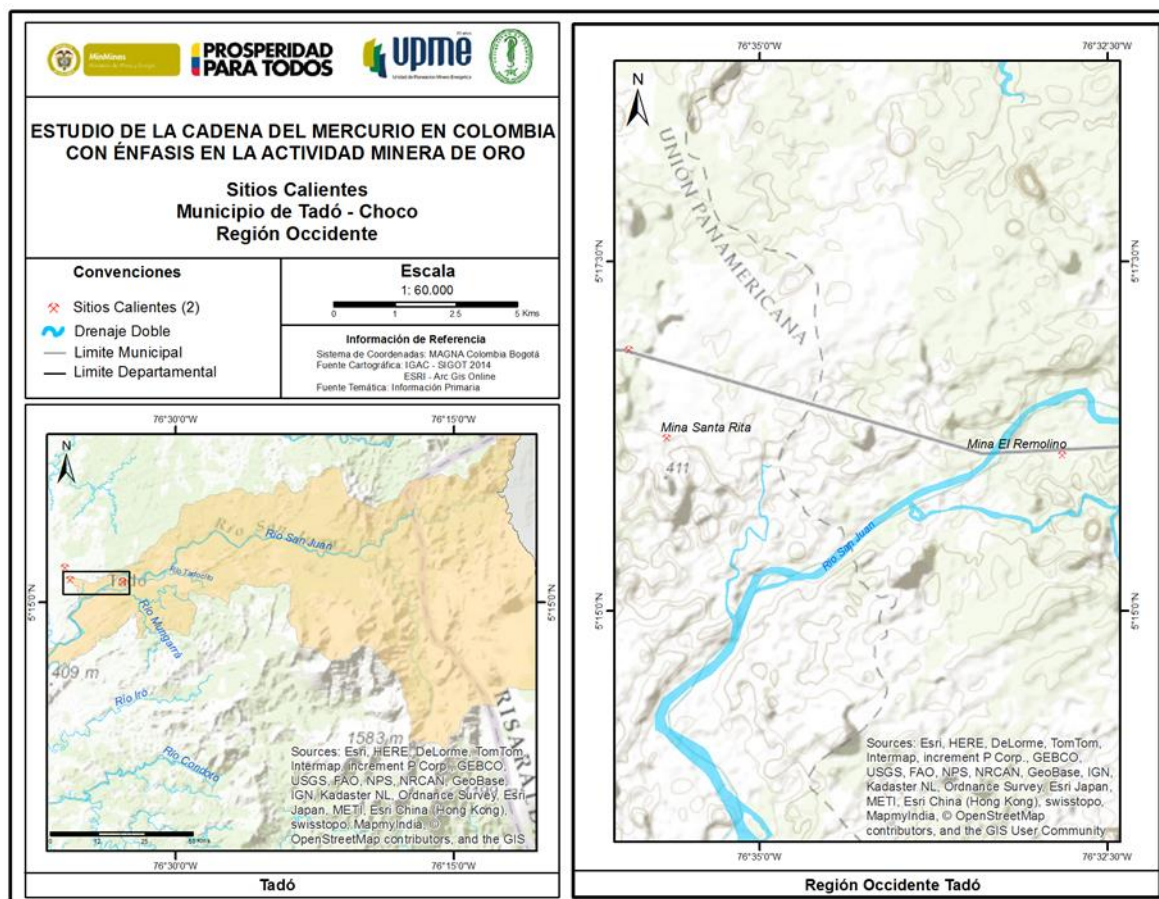
CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- Municipio de Atrato, vereda Boca de Cascajo.
 - Minas Gañote y Weitado

2.2.2.2 Tadó

El municipio de Tadó – Chocó, se encuentra en la parte oriental del departamento de Chocó, limita al Norte con los municipios de Certegui y Bagadó, al Sur con el municipio de Río Iró, al Occidente con el municipio de Unión Panamericana y al Oriente con el Departamento de Risaralda. La cabecera municipal se encuentra a una altura de 75 m.s.n.m.

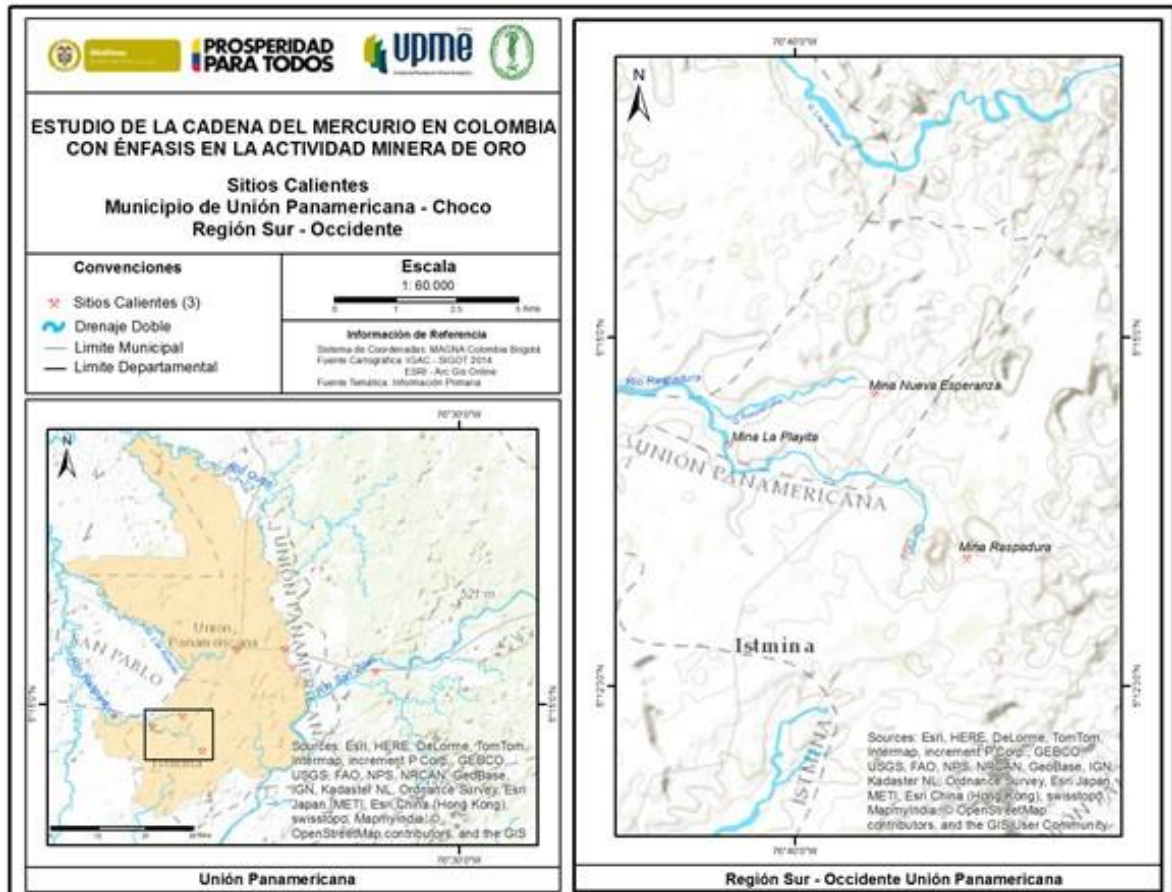
Mapa 30. Ubicación sitios calientes municipio de Tadó



El clima es cálido, con temperatura > 24 °C y precipitaciones de 7.001 mm/año, el uso y cobertura donde está ubicada La Mina se considera áreas agrícolas heterogéneas, donde existen áreas que presentan mezcla de diferentes tipos de cultivos, a manera de

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 32. Ubicación sitios calientes municipio Unión Panamericana, Región Sur - Occidente



La producción minera es la base económica del municipio, como fuente de ingresos y empleo de la región seguida por la extracción maderera, la pesca es bastante escasa y la agricultura es interna para el consumo (cultivos de pan coger), donde los productos característicos son el plátano, el ñame, maíz, yuca y frutales como borjón, zapote, papaya, piña aguacate, guanábana, guayaba, cítricos chontaduro, coco. Esto se debe a que existe poca asistencia técnica a los habitantes para fomentar proyectos agropecuarios, además, la minería es una actividad tradicional que no permite extender la actividad económica con la implementación de actividades que eviten el deterioro del ambiente.

El clima – subclima predominante es cálido – pluvial, precipitación de 7.001 mm/año, uso y cobertura es bosque natural, dominadas por árboles de altura promedio superior a 5 m y con densidad de copas superior al 70% con una extensión superior a las 50 ha, también incluye bosques densos, fragmentados, de galería o riparios, y manglares, el río Atrato es la cuenca hidrológica predominante, el paisaje es característico por planicie y ambiente

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

aluvial, la pendiente es < 7% con un drenaje imperfecto a excesivo, el orden de los suelos en esa zona es, Entisoles, Inceptisoles, Oxisoles.

En estos dos municipios las zonas calientes seleccionadas son:

- Cabecera de la subcuenca del río Ibordo afluente del río Quito:
 - Minas La Unión, Ánimas y Agua Clarita
- Microcuenca de la quebrada Las Ánimas, afluente del río San Pablo que vierte sus aguas al río Quito:
 - Minas Raspadura, La Playita, Nueva Esperanza, El Remolino.

2.2.2.4 Condoto¹⁴

El municipio de Condoto ubicado a los 5°, 0.6' de latitud Norte y a los 2°, 32' 44" de longitud occidental, se encuentra localizado en la parte sur oriental del departamento del Chocó, en la subregión del San Juan, la segunda zona en importancia política, económica y administrativa del departamento, a una distancia aproximada de 90 kilómetros de Quibdó. Cuenta con área total de 890 Km², con una extensión urbana de 17 Km² y una área rural 873 Km². La cabecera municipal se encuentra situada en la margen izquierda del río Condoto a una altitud de 70 m.s.n.m. Limita: por el Norte con el municipio de Río Iró, en el Sur con Novita, por el Oriente con el Municipio de San José del Palmar, y por el Occidente con el Municipio del Medio San Juan.

El clima del municipio de Condoto es cálido húmedo con una temperatura de 28°, con una altitud de 70 metros y 800 mm de lluvia anual. La repartición pluviométrica en el curso del año es alternada, bajo las condiciones de tropicalidad, es decir, por periodos de sequedad y de lluvias, con un promedio de lluvias de > 7.001 mm/año.

Son varios los ríos que circundan en el municipio de Condoto constituyendo su principal hoya hidrográfica los ríos de Condoto, Taguato y otros como Opogodó, San José, Tapacundó, soledad y muchas corrientes menores. El río Condoto es la principal fuente hidrográfica; nace en las estribaciones del cerro Tarena y desemboca en el río San Juan constituyendo el estuario, de Andagoya; a éste río vierten sus aguas el río Tajuato, las quebradas mestizas, Vira – Vira, Chirincha, Corodó, Angostura, Apartadó, Apotó y Antràpera. El río Condoto es de regular caudal, es navegable en lancha de calado aceptable, motores fuera de borda, chalupas etc.

El suelo de Condoto en su mayor parte es montañoso y su relieve corresponde a la cordillera occidental de los Andes, con altura superior a 1.800 m.s.n.m en los cuales se encuentran los cerros de Chigorodó con 185mts y Tarena con 1.800 m. Posteriormente viene la serranía de Iró cuyo pico principal es el territorio volcán de Iró con 190 m. Esta serranía se interna en el territorio hasta remontar en las vecindades del municipio de Itsmina con los cerros de la mojarra centros de especies herbarias.

¹⁴ Alcaldía Municipal de Condoto. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.condoto-choco.gov.co/informacion_general.shtml

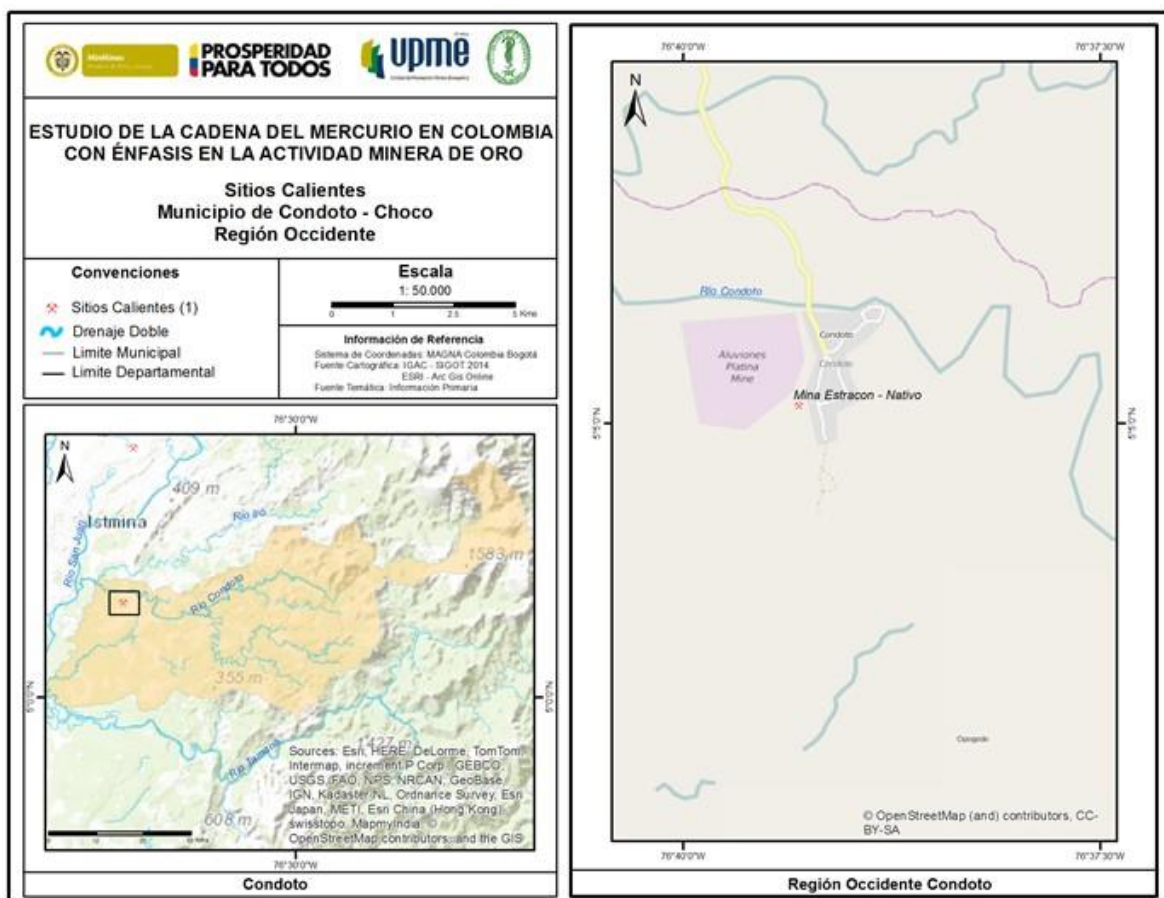
CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

La principal fuente de riqueza del municipio reside en la explotación de metales preciosos (oro y platino). El oro chocono goza de excelente fama por su elevado grado de pureza. Existen deferentes formas de explotación minera entre ellas tenemos: minería manual, holladera el socavón, zabullido, mina corrida, mazamorreo, minería tecnificada.

En Condoto se seleccionó la zona de la cuenca baja del río Condoto afluente del río San Juan en los corregimientos de Hilaria, Opogodó y Aguacate.

- Mina Estracón.

Mapa 33. Ubicación sitios calientes municipio de Condoto



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.2.3 Bolívar

Cuatro puntos se consideraron de particular importancia para realizar los muestreos:

2.2.3.1 Arenal¹⁵

El Municipio de Arenal se encuentra localizado a sureste del Departamento del Bolívar, tiene un área de 534 Km², su territorio se extiende desde la Serranía de San Lucas, en el sur, hasta la zona pantanosa del Cerro de Gómez en la vereda Sereno en el Norte. La posición geoespacial del municipio está comprendida entre los paralelos 73° 52', hasta los 74° 18' de longitud Occidental y los 8° 18' y los 8° 29' de latitud Norte del meridiano Greenwich. Lo constituyen los corregimientos de Buenavista, San Rafael y Carnizala y las veredas de Los Peñones, Tequendama, Paraíso, Caña Braval, Muela, la Sabana, Santo Domingo, Sereno, Soya y Zabaleta. Este municipio limita por el norte con el municipio de Río Viejo, por el Este con el municipio de Morales, por el Oeste, también, con el municipio de Río Viejo y de Montecristo y por el sur, nuevamente con el municipio de Morales.

Se presenta en la zona paisaje de montaña, originado en ambiente Fluvio Gravitacional, con pendientes menores a 50% y un drenaje Imperfecto a excesivo, por estar ubicados en la Codillera Central se pueden encontrar ambientes ígneometamórficos con posibilidades hidrogeológicas desconocidas y restringidas.

En esta región se encuentran dos zonas de reserva, la Reserva Forestal del Río Magdalena (Ley 2 de 1959 y Decreto 2811 de 1974 CNR), con jurisdicción compartida de Bolívar con Antioquia, Cesar, Santander y Norte de Santander; y la Reserva Campesina Piloto Sur de Bolívar que comprende los municipios de Arenal y Morales con una extensión aproximada de 30.000 has.

El municipio presenta una temperatura promedio entre 28°C a 35°C, de acuerdo al mapa climatológico del Departamento, el clima del municipio para el sector nororiental, suroriental y noroccidental presenta un clima cálido seco, con temperaturas promedio de 24°C y precipitaciones entre los 1.000 y 2.000 mm anuales. Las lluvias se distribuyen en un patrón bimodal con valores máximos en los meses de septiembre-noviembre y mayo-junio. La evapotranspiración potencial promedia anual es de más de 1.400 mm y la humedad relativa varía entre el 75% y el 85%. El clima del municipio según la clasificación climática de Koeppen es Awi denominada tropical lluviosa de Bosque¹⁶.

La hidrografía del municipio es muy variada. Se destaca las Quebradas de Arenal y la Dorada que atraviesan el territorio municipal desde el suroccidente hasta el noreste. La mayor afluente de la cabecera es la quebrada de Arenal, la cual nace en la Serranía de San Lucas y en su recorrido de sur a norte, llega hasta la ciénaga de Pajalar en el municipio de Río Viejo. Las principales quebradas con que cuenta el municipio son la Quebrada de Arenal, Quebrada La Honda, Quebrada La Dorada, Quebrada Chiquillo y

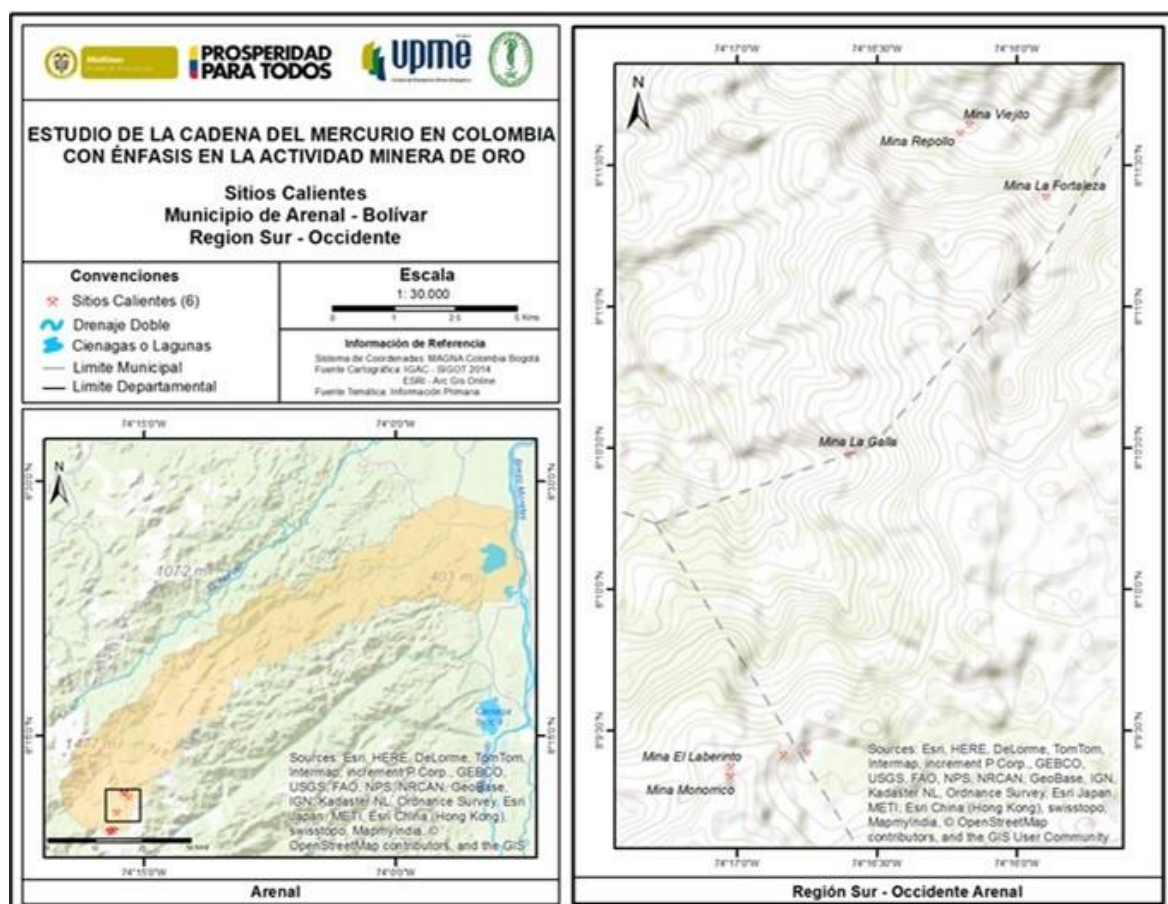
¹⁵ <http://www.arenal-bolivar.gov.co>

¹⁶ PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL. ARENAL, SUR DE BOLÍVAR. 2008-2011

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Quebrada San Agustín; además, cuenta con la ciénaga de Morrocoy ubicado en el corregimiento de San Rafael y la ciénaga del Pajalar entre otras.

Mapa 34. Ubicación sitios calientes municipio de Arenal



El municipio de Arenal, tiene un asentamiento de economía campesina, su vocación fundamental es la labor agropecuaria combinada con la ganadería extensiva, la pesca y la minería. La agricultura es la actividad económica que más se desarrolla y en donde se basa la productividad del municipio. De las 53.400 hectáreas que componen todo el territorio municipal, son aptas para la explotación agrícola, 21.758 hectáreas que correspondería al 40.74% del total del territorio.

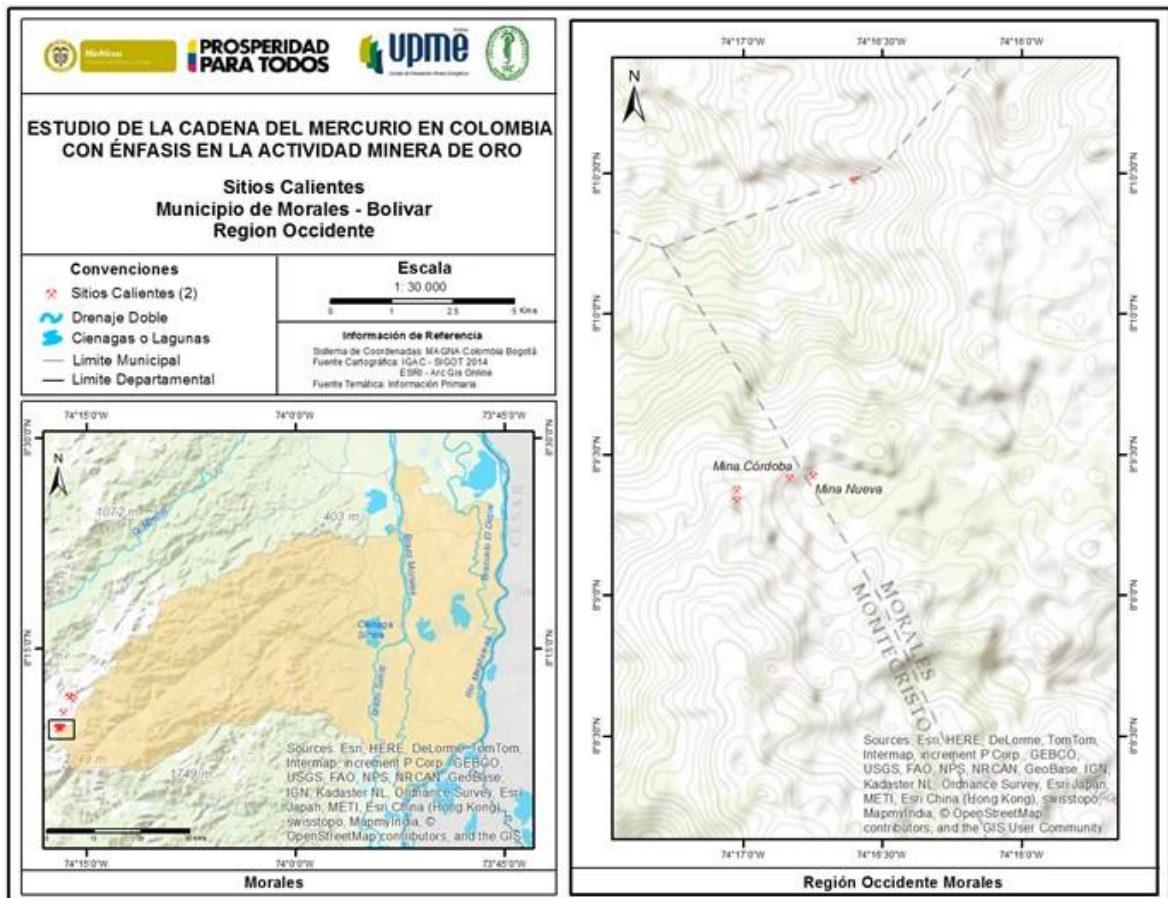
La ganadería al igual que la agricultura es base de la economía de la zona, se desarrolla la ganadería extensiva, siendo esta actividad segunda en importancia, la pesca también figura dentro de los renglones económicos característicos para este municipio, esta actividad se da de forma artesanal, la actividad maderera se encuentra dentro de las actividades económicas y la minería de oro.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Los yacimientos auríferos del municipio de Arenal se encuentran ubicados en la Serranía de San Lucas, en esta zona se encuentran los límites de los municipios Santa Rosa del Sur, Morales, Montecristo y Simití con los límites del municipio de Arenal, debido a esto y a las formas topográficas, la falta de linderos claros y a las dificultades en el orden público, no hay claridad acerca de la pertenencia de las diferentes minas, lo cual repercute en que las regalías por este concepto son percibidas por otros municipios.

2.2.3.2 Morales

Mapa 35. Ubicación sitios calientes municipio de Morales



El municipio de Morales, se encuentra ubicado en el sur del departamento de Bolívar, en la Serranía de San Lucas. Éste pertenece a los municipios del Magdalena medio Bolivarense.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

El municipio se caracteriza por tener un clima-Subclima templado húmedo con temperaturas entre 18°C y 24°C y precipitación promedio de 2.001 a 3.000 mm/año, característico de la unidad geológica de relieve de montaña formado en ambiente fluvio-Gravitacional, con pendientes menores al 50% y drenaje imperfecto a excesivo por lo que los suelos de la zona son del orden de los Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles, Andisoles y Alfisoles principalmente.

Pertenece a la cuenca hidrológica del Magdalena y a la unidad biogeográfica Provincia del Choco-Magdalena. La vegetación de la zona es de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas. Se encuentran rastrojos y cobertura vegetal en estado de sucesión temprano. Cabe resaltar que el municipio se encuentra dentro del área de Reserva Forestal del Río Magdalena según Ley 2 del año 1959.¹⁷

El departamento de Bolívar está dividido en Zonas Especiales de Desarrollo Económico y Social (ZODES) en consideración con su diversidad geográfica, económica, social y cultural¹. Dada la ubicación del municipio, este pertenece al ZODES Magdalena Medio, la cual según el Plan Departamental de Gestión del Riesgo, entre sus principales actividades de desarrollo económico están, la actividad agropecuaria y la minería aurífera.

En el municipio de Morales se practican principalmente la actividad agrícola, pecuaria y la explotación de yacimientos auríferos. La actividad minera se encuentra organizada por la Federación de Mineros del Sur de Bolívar. Esta explotación se lleva a cabo con poco control y supervisión de carácter ambiental, por lo que las fuentes hídricas de la región presentan altos niveles de contaminación con químicos como cianuro y mercurio.¹⁸

2.2.3.3 Barranco de Loba^{19 20}

El Municipio de Barranco de Loba se encuentra localizado en el sur del departamento de Bolívar, a 395 km de Cartagena. Tiene una extensión territorial de 416 Km² correspondientes al 1,60% del territorio bolivarense, y una altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar) de 23 metros, limitando por el sur y oriente por las cuchillas de la Mojana y las Playitas respectivamente; ambas fallas geológicas pertenecientes a la serranía de San Lucas y Montecristo. Por la parte lateral norte lo baña el río Magdalena, que en esta parte toma el nombre de "brazo de Loba", el cual penetra en su territorio desde la vereda Bellavista hasta frente a Santa Rosa en el municipio de Pinillos, punto donde lo bordea el Brazo Guayabal, hasta encontrar el brazo de la Victoria. La población del municipio de Barranco de Loba, según datos censo 2005, a 31 de diciembre de 2011,

¹⁷ GOBERNACIÓN DE BOLIVAR, (2011). Plan Departamental de Gestión del Riesgo.

¹⁸ ALCALDÍA DE MORALES, (2013). Economía. 04 de Noviembre de 2014, de Sitio oficial de Morales en Bolívar Sitio web: http://www.morales-bolivar.gov.co/informacion_general.shtml#economia

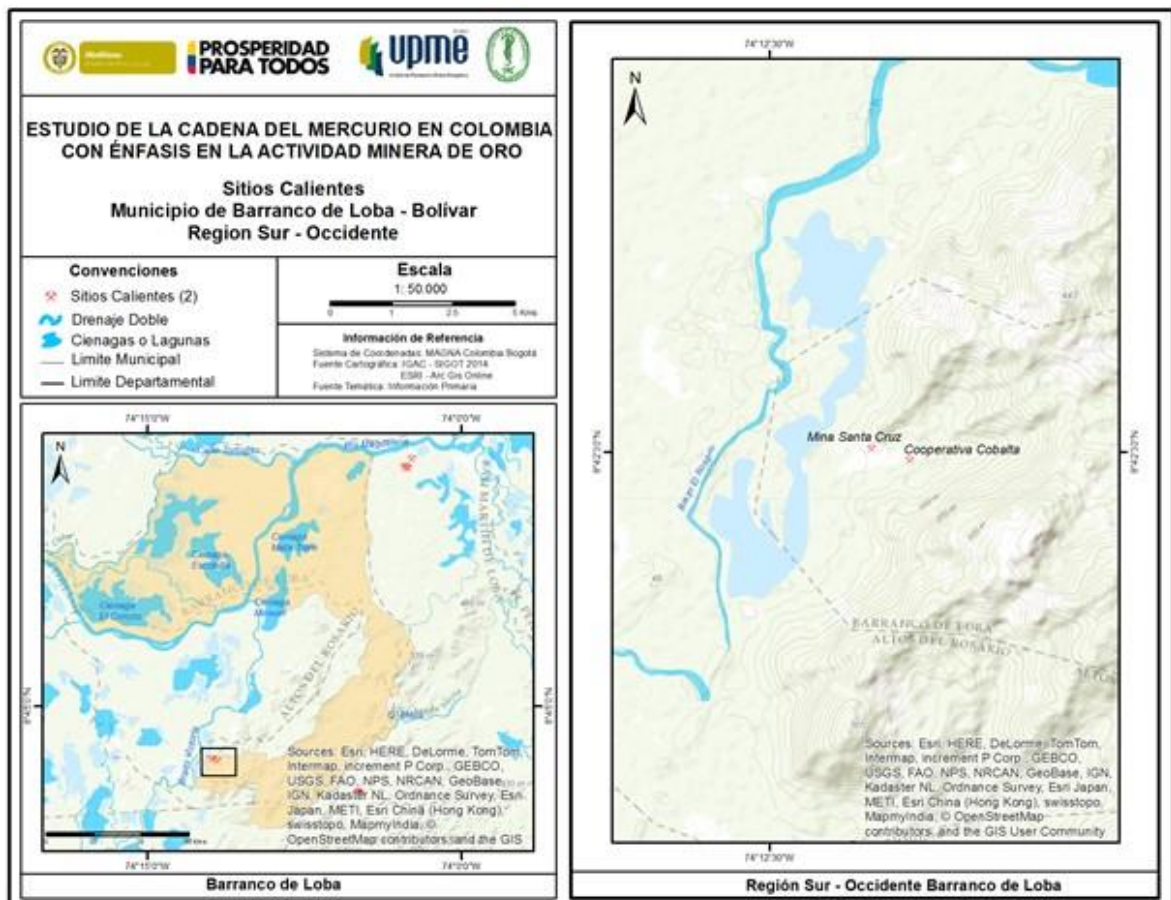
¹⁹ Alcaldía Municipal de Barranco de Loba (2012). Plan de Desarrollo "Bienestar para Todos, 2012-2015" del Municipio de Barranco de Loba, Bolívar.

²⁰ Alcaldía Municipal de Barranco de Loba. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.sanmartindeloba-bolivar.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

es de 16.595 personas, de los cuales 5.624 están ubicados en la cabecera (66,11%) y 10.971 en los corregimientos y veredas (33,89%) que conforman el municipio.

Mapa 36. Ubicación sitios caliente municipio barranco de loba



Presenta una temperatura de 37°C en promedio, experimenta los tipos de clima cálido – seco a templado muy húmedo, con precipitaciones que rondan los 2.001 - 3.000 mm/año en un bioma de Bosque Húmedo Tropical, su territorio hace parte de la Depresión Momposina, donde confluyen los ríos Magdalena, Cesar y Cauca. Formando el sistema cenagoso más grande del país, de esta manera, es un territorio con gran riqueza hídrica. La temporada invernal se presenta con fuertes vendavales y descargas eléctricas y las inundaciones se hacen presentes cada año afectando notoriamente la productividad de la región.

El municipio carece de una política ambiental definida y no hay claridad sobre las dependencias que se encargan del manejo de los recursos ambientales. Una de las mayores problemáticas ambientales del municipio es el deterioro de los cuerpos de agua;

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

además de procesos morfo-dinámicos como compactación de los suelos por la ganadería y una erosión ligera que genera pérdidas menores al 25% del horizonte A de suelos por afectaciones parciales naturales y antrópicas, que se extiende en amplias zonas de las cordilleras Central y Occidental, y en la Orinoquia. Adicional a lo anterior, se encuentra una explotación minera con poco control que ha venido deteriorando los recursos naturales y el medio ambiente en dicho territorio que lleva a la contaminación hídrica (en Pueblito Mejía, la quebrada la azulita y en Minas de Santa Cruz, Ciénaga la Redonda y Las Delicias, Quebrada La Nigua en la vereda de su mismo nombre) y pérdida de flora y fauna.

El municipio de Barranco de Loba cuenta con una extensión apta para la agricultura comercial de 6.360 hectáreas, 4.926 para cultivos transitorios y permanentes, 4.260 para cultivos de subsistencia y ganadería extensiva, 8.920 que son inundables periódicamente y 19.160 que son pantanos.

Otro renglón importante de la economía primaria lo constituye la explotación de la minería de Oro, con presencia importante en los corregimientos de Minas de Santa Cruz y Pueblito Mejía, la cual se realiza de forma rudimentaria y artesanal, utilizando maquinaria como la retroexcavadora y el barequeo; existe interés de empresas multinacionales de entrar a explotar de forma empresarial dicho preciado mineral.

2.2.3.4 San Martín de Loba^{21 22}

El Municipio de San Martín de Loba se encuentra localizado al norte del país y al sur oriente del departamento de Bolívar a 445 km de la capital del departamento, Cartagena y 15 minutos por vía fluvial del Municipio de El Banco- Magdalena, encontrándose incomunicado por vía terrestre de los departamentos limítrofes. Abarca una extensión superficial de 414 Km² y una altura de 10 m.s.n.m en la cabecera municipal. Pertenece a la cuenca de la región Momposina, a la margen sur del Brazo de Loba del río Magdalena.

El paisaje del municipio es de lomerío con pendientes menores a 25% y de montaña, localizados en la serranía San Lucas hasta las proximidades de la cuchilla de Papayal, con pendientes mayores a 50%, con drenaje imperfecto a excesivo y suelos de tipo Inceptisoles, Oxisoles, Entisoles, Mollisoles, Andisoles, Alfisoles. El municipio de San Martín de Loba no cuenta con área de reserva forestal. Los cultivos más frecuentes para la zona son, el maíz, la yuca, el plátano, el mafufo y la ahuyama. Al mismo tiempo que es rico en especies vegetales maderables como, Guamo, el Piñón, Solera, Cañaguatate, Jobo, Algarrobo, Cusú, Tolú, Tomasuco, Gualanday, Roble, Mimbrillo.

El territorio presenta dos tipos de clima, cálido húmedo para las zonas con una altitud menor de 1000 metros y temperatura promedio mayor a 24° C, y precipitaciones que

²¹ Alcaldía Municipal de San Martín de Loba (2012). Pla de Desarrollo Municipal “Unidos Somos Más 2012-2015” del Municipio de San Martín de Loba, Bolívar.

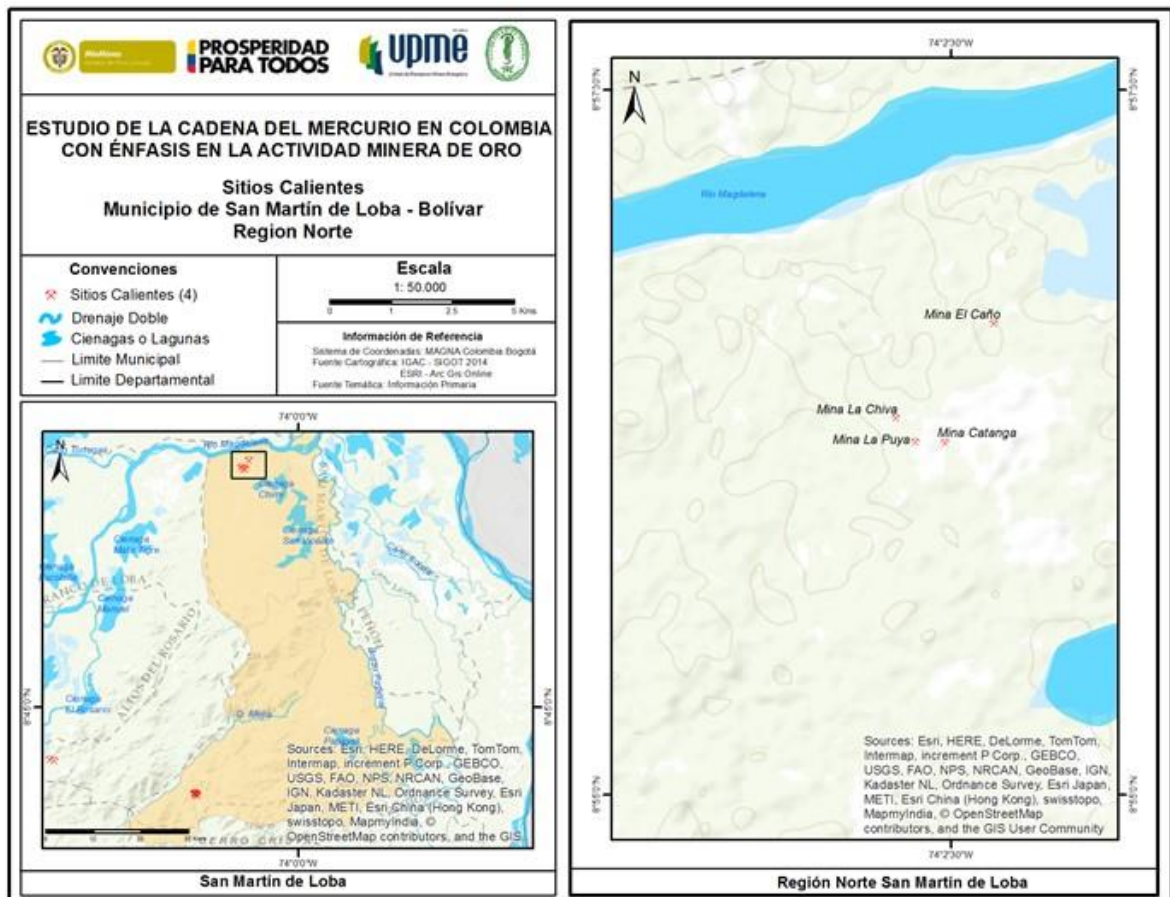
²² Alcaldía Municipal de San Martín de Loba. Información general del municipio. Rescatado el 04 de noviembre de 2014 de: http://www.sanmartindeloba-bolivar.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

rondan entre los 2000 – 4000 mm/año, en un bioma de Bosque Húmedo Tropical, representando el 74.12% del territorio.

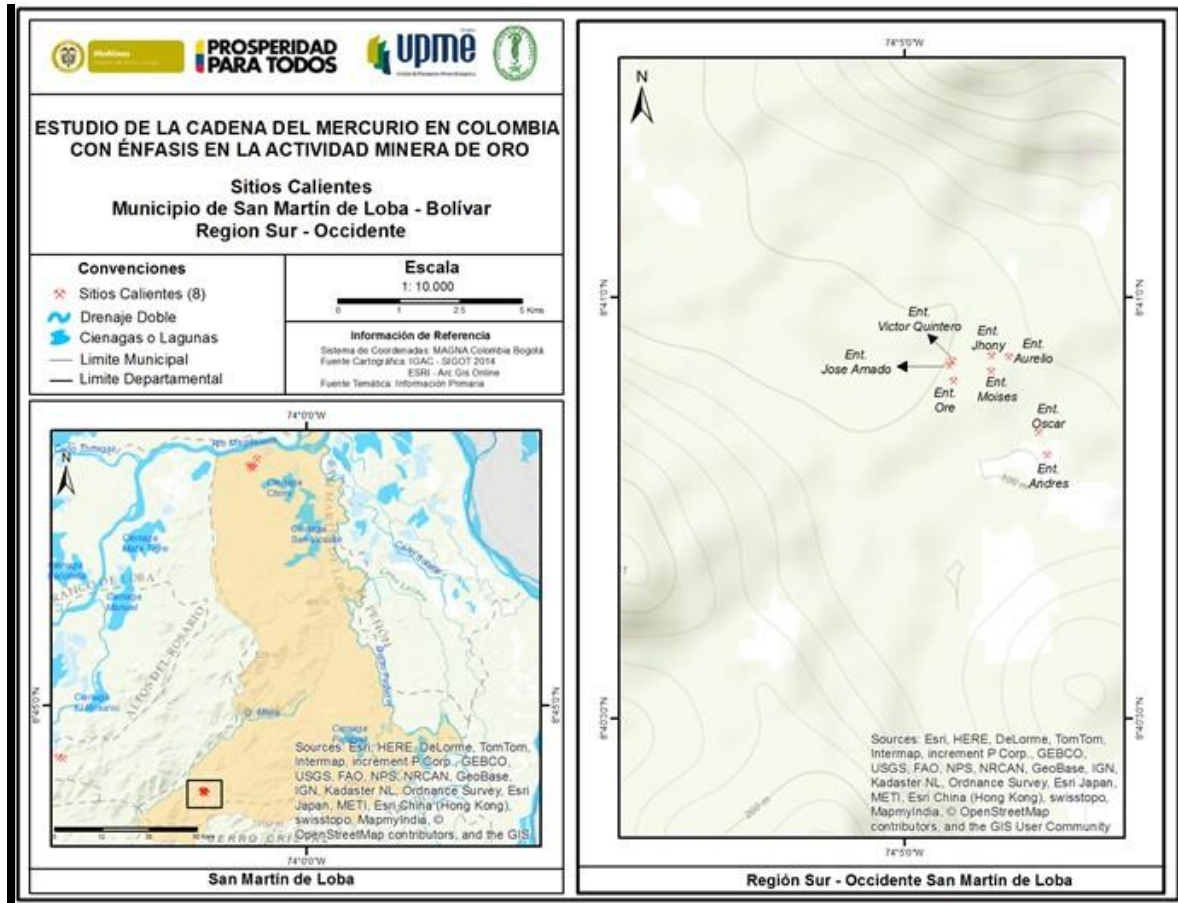
San Martín de Loba es una población de origen indígena, que se encontraba bajo el dominio de los indios Malibúes, evolucionando a través del tiempo, pasando de una comunidad indígena con vocación minera a una comunidad mestiza y de vocación minera, agropecuaria y pesquera. Siendo actualmente la base de la actividad económica las actividades agrícola, pecuaria, pesquera, minera y comercial.

Mapa 37. Ubicación Sitios Calientes municipio de San Martín de Loba, Región Norte y región Sur-occidente



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Mapa 38. Ubicación sitios calientes municipio de San Martín de Loba, región Sur-occidente



2.2.4 Córdoba

2.2.4.1 Puerto Libertador²³

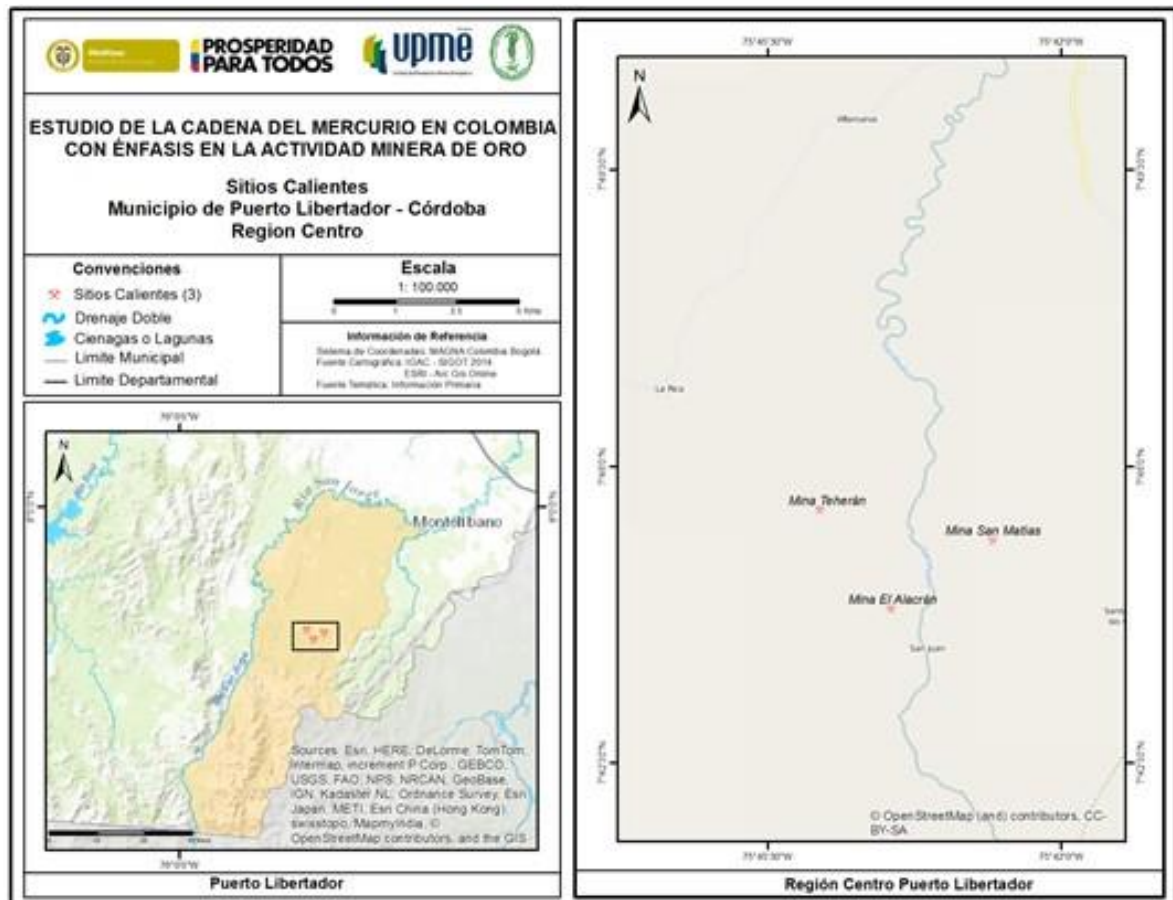
El municipio de puerto libertador se encuentra ubicado al sur del departamento de Córdoba, con una extensión aproximada de 1.472 kilómetros cuadrado y una distancia de su capital 168 kilómetros, encontrándose a 90 metros sobre el nivel del mar, el municipio está ubicado dentro de la Cuenca alta del Río San Jorge, a la que confluyen tres microcuencas importantes: La del Río San Pedro, la del Río San Juan y la del Río Uré. Limita al norte, con el Río San Jorge que lo separa del Municipio de Montelibano; al sur, con el Departamento de Antioquia; al este, con las Quebradas Cristalina, San Antonio, y Uré, que lo separan del Municipio de Montelibano; y al oeste, con el Río San Jorge que lo

²³ http://www.puertolibertador-cordoba.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

separa del Municipio de Montelibano. El municipio cuenta con una temperatura media 27°C y clima cálido.²⁴

Mapa 39. Ubicación sitios calientes municipio Puerto Libertador



El municipio cuenta con una precipitación anual de 2.001 –3000 m/m, piso térmico de 0 – 800 m.s.n.m., se encuentra en la unidad biogeográfica provincia del Choco – Magdalena; el uso y cobertura del suelo son vegetación secundaria, Vegetación de baja altura que generalmente es producto del proceso de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas. Se encuentran rastrojos y cobertura vegetal en estado de sucesión temprano; la orden de suelo son Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles, Ultisoles. Su cuenca hidrológica es el bajo Magdalena y unidad geológica piedemonte Coluvio Aluvial, < 12%, Imperfecto a excesivo, su paisaje es piedemonte. Su hidrogeología cordillera occidental, Ambientes ígneometamórficos con posibilidades hidrogeológicas desconocidas y restringidas; con amenaza por remoción en masa que comprende provincias I-II Amenaza Muy Alta.²⁵

²⁴ <http://www.puertolibertador-cordoba.gov.co/-2013>

²⁵ IGAC-SIGOT 2014

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

La economía del municipio inicialmente se basó en la extracción de oro, raicilla, caucho y madera. Hoy la agricultura ocupa lugar importante, seguidos por la minería, la ganadería, la caza y la pesca. Se explota el carbón por Carbones del Caribe.²⁶

Las dos áreas con mayor relevancia para análisis mercurial pertenecen a la cuenca alta del río San Jorge en el municipio de Puerto Libertador:

- Subcuenca del Río San Pedro:
 - Microcuenca quebrada San Matías: Mina San Matías
 - Microcuenca de la quebrada El Salado: El Alacrán y Mina Teherán

2.2.5 Caldas

2.2.5.1 Marmato²⁷

Marmato está localizado en el flanco oriental de la cordillera occidental y en la vertiente occidental del río Cauca. Se encuentra topográficamente en el occidente del relieve conocido como el macizo de los mellizos. Sus coordenadas son 5°29' latitud norte y 75°36' longitud oeste. Está ubicado a una altura de 1310 msnm, a una distancia de 90,4 kilómetros de Manizales. Tiene una extensión de 44 Km² y posee una temperatura promedio de 23°C. Debido a su topografía arisca que no permite delinear calles simétricas, algunas de las viviendas fueron levantadas sobre muros de piedra o tapias pisonadas. Sobre el cerro se observan las entradas a los socavones de las minas, como expresión de su riqueza aurífera.

En el municipio se encuentran las famosas minas de oro de Marmato y Echandía, en explotación desde 1537, las cuales constituyen un distrito minero de aproximadamente 25 Km².

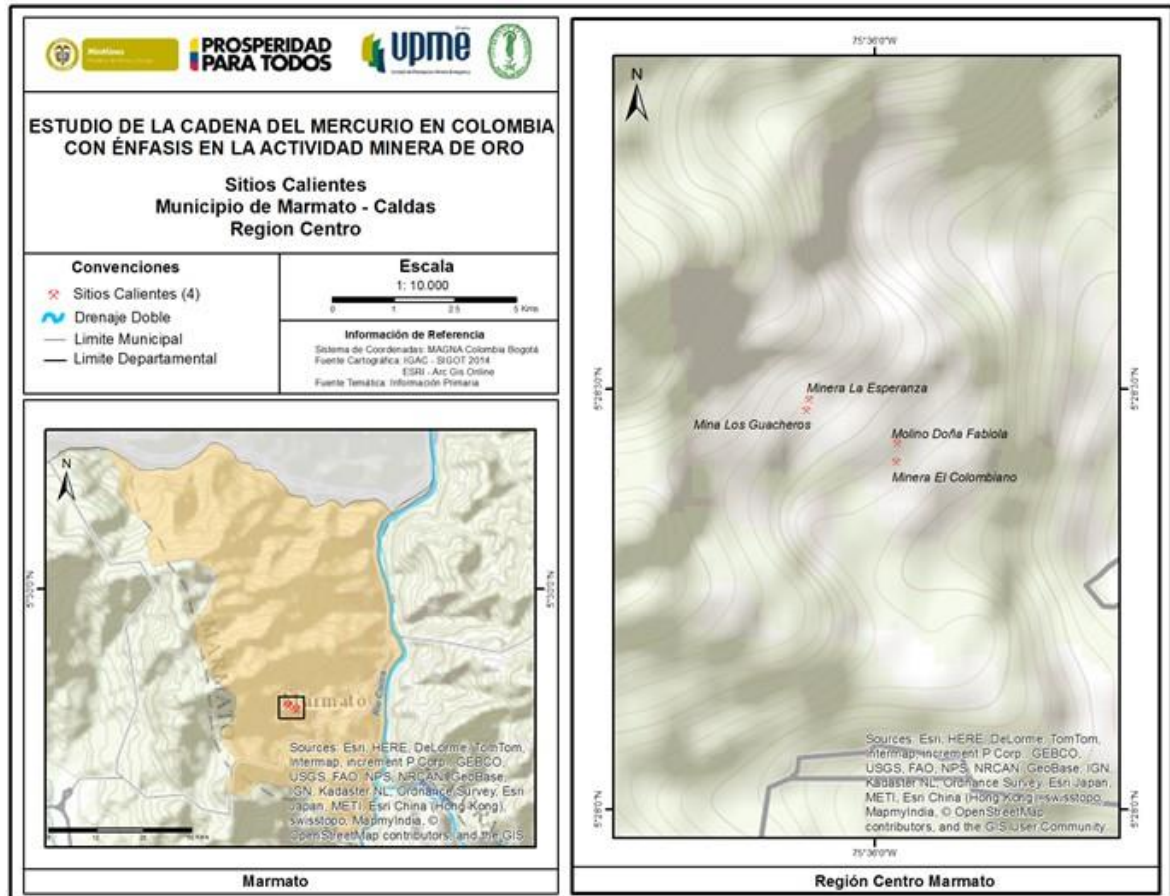
El municipio cuenta con una precipitación anual de 2.001 – 3000 m/m, piso térmico de 800 – 1800 m.s.n.m., se encuentra en la unidad biogeográfica provincia Norandina; el uso y cobertura del suelo son cultivos anuales o transitorios, áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo dura un año o menos, llegando incluso a ser de unos pocos meses. Se caracterizan fundamentalmente porque, después de la cosecha, es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo.

²⁶ <http://www.puertolibertador-cordoba.gov.co/-2013>

²⁷ http://www.marmato-caldas.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 40. Ubicación sitios calientes municipio Marmatos



La economía de municipio está basada en varias actividades entre ellas:

- La explotación minera, históricamente el municipio de Marmato ha sustentado su economía en la explotación minera, constituyéndose esta actividad en la principal fuente de ingresos y empleo para sus habitantes. Los ingresos varían de acuerdo a la cantidad y calidad del oro extraído. Marmato es el primer productor de oro en el departamento de Caldas y el más antiguo del país. La zona Minera del Área rural está localizada en cinco zonas, que de acuerdo al artículo 37 de la Ley 685/01, no se pueden excluir zonas transitorias o permanentemente de la minería. También se ajustan al artículo 38 de la misma ley que estas zonas se establecen de acuerdo a la información geológico-minera disponible.
- La actividad agrícola, de acuerdo al uso agropecuario potencial de la tierra. El 89% de los suelos del Municipio se encuentra dentro de la clase agrológica VII. Son suelos de relieve quebrado escarpado con pendientes del 12% a mayores del 50%, de baja fertilidad, con alta susceptibilidad a la erosión, por lo que requieren tener una cobertura vegetal que atenúe sus efectos. El producto con mayor

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

mercadeo es el café, seguido por el plátano y panela. Marmato registra déficit en cuanto autoabastecimiento de productos agrícolas respecta, observándose únicamente un exceso de producción de plátano.

- La actividad ganadera, el ganado vacuno se cría en las fincas de más de una hectárea, siendo este un renglón bajo en la economía del Municipio. En el Municipio de Marmato hay un total de 1.500 Has, dedicadas a pastos, de las cuales el 81% son pastos naturales.

2.2.5.2 Manizales

El municipio (capital) de Manizales está situado en el centro occidente de Colombia, sobre la Cordillera Central de los Andes, cerca del nevado del Ruiz; su área metropolitana está conformada por los municipios de Manizales, Neira, Villamaría, Palestina y Chinchiná, y es también conocida como la subregión Centrosur de Caldas. Hace parte, junto con Risaralda, Quindío, el nor-occidente de Tolima, el Norte del Valle y el suroeste antioqueño del eje cafetero colombiano. Se encuentra a una altura de 2.153 m.s.n.m, la temperatura promedio del municipio es de 16,7°C y los alrededores de la ciudad ofrecen gran diversidad climática, desde las nieves perpetuas del Nevado del Ruiz con sus paisajes de páramo y aguas termales, hasta el valle de la vereda Km 41, con paisajes de clima cálido, variada vegetación, ríos y quebradas.²⁸

El municipio cuenta con una precipitación anual de 1.001 – 2000 m/m, piso térmico de 1800 – 2800 m.s.n.m., se encuentra en la unidad biogeográfica provincia Norandina; el uso y cobertura del suelo son áreas agrícolas heterogéneas, áreas que presentan mezcla de diferentes tipos de cultivos, a manera de mosaicos de cultivos anuales y permanentes; pastos y cultivos; cultivos, pastos y espacios naturales; la orden de suelo son Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles, Andisoles, Alfisoles. Su cuenca hidrológica es medio Cauca y unidad geológica montaña fluvio gravitacional < 50%, imperfecto a excesivo, su paisaje es montañoso. Su hidrogeología cordillera central, posibilidades desconocidas o restringidas; con amenaza por remoción en masa que comprende provincias I-II amenaza Muy alta, áreas montañosas de pendiente media con rocas meteorizadas y alta precipitación Alta susceptibilidad a deslizamientos, flujos y avalanchas.²⁹

La economía del municipio de Manizales su actividad central, tradicionalmente ha sido el cultivo y producción del café. Este cultivo permitió la creación de nuevas fuentes de trabajo y de fábricas diversas, algunas de las cuales permanecen en el área metropolitana mientras otras han disminuido sus operaciones o se han desplazado a otras ciudades agravando el problema del desempleo. Estas empresas se dedican a productos como licores, zapatería, cauchos, chocolate, bancos, detergentes y jabones, trillado y empaçado del café, dulces y metalúrgicas entre otras. Además se encuentran instituciones y empresas dedicadas al sector cafetero como: el Comité Departamental de Cafeteros de

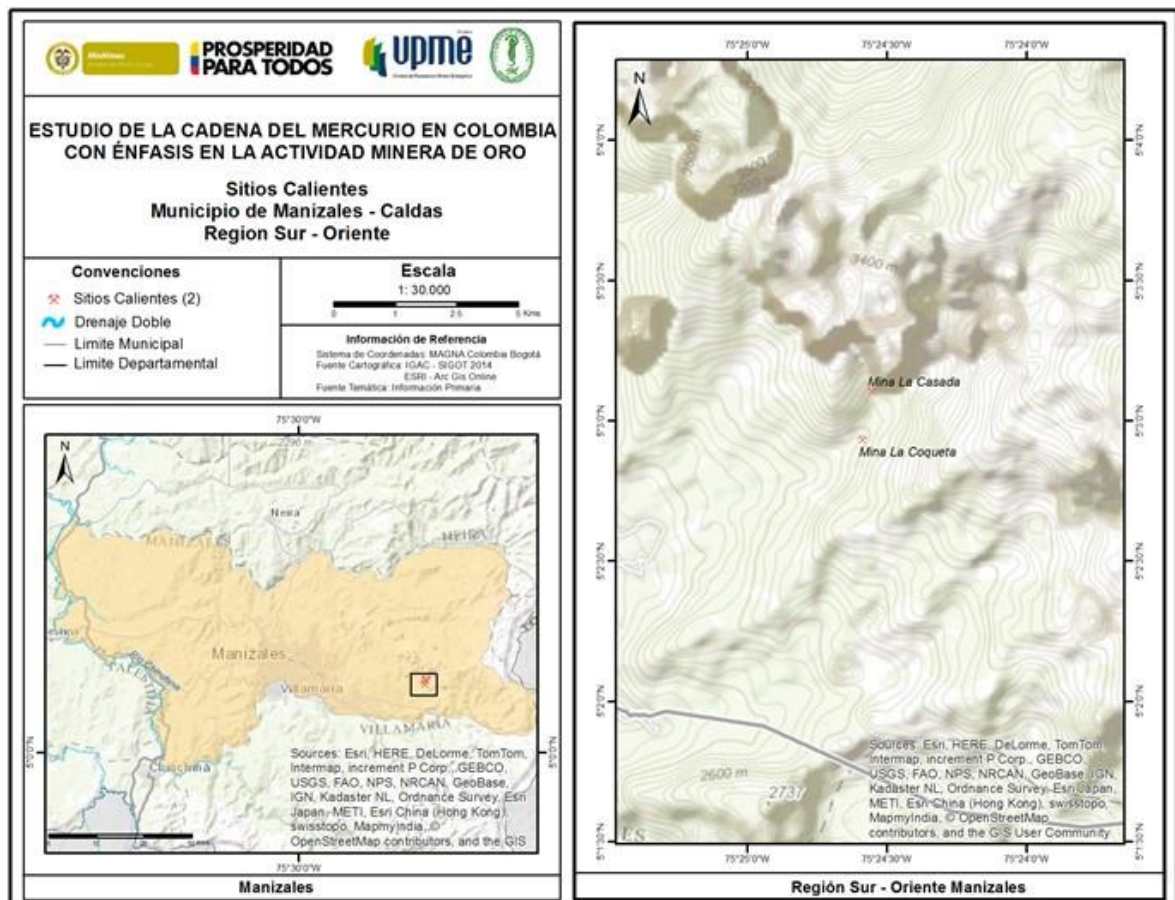
²⁸ <http://www.manizales.gov.co/>-2014

²⁹ IGAC-SIGOT 2014

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Caldas, Almacafé, Cenicafe, y otro gran número de industrias dedicadas al procesamiento del café (Trilladoras, Cooperativas, Exportadores).³⁰

Mapa 41. Ubicación sitios calientes Municipios de Manizales



2.2.5.3 Quinchia

El municipio de Quinchía está situado en el noroccidente del departamento de Risaralda. Limita al norte con el Municipio de Riosucio; Al sur con Anserma, por el oriente con los municipios de Filadelfia y Neira, en el departamento de Caldas y por el occidente con el municipio de Guática en Risaralda. Está a 110 km de Pereira, la capital del departamento. Cuenta con una extensión territorial de 149,8 km². Se encuentra a una altura de 1.825 m.s.n.m, y la temperatura promedio del municipio es de 18°C y en su territorio se presentan todos los climas, desde el cálido del corregimiento de Irra, hasta el frío de la vereda de La Ceiba.³¹

³⁰ <http://www.manizales.gov.co/-2014>

³¹ <http://www.quinchia-risaralda.gov.co/-2012>

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

El municipio cuenta con una precipitación anual de 2.001 – 3000 m/m, piso térmico de 800 – 1800 m.s.n.m., se encuentra en la unidad biogeográfica provincia Norandina; el uso y cobertura del suelo son cultivos anuales o transitorios, Áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo dura un año o menos, llegando incluso a ser de unos pocos meses. Se caracterizan fundamentalmente porque, después de la cosecha, es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo; la orden de suelo son Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles, Andisoles, Alfisoles. Su cuenca hidrológica es medio Cauca y unidad geológica montaña fluvio gravitacional > 50%, imperfecto a excesivo, su paisaje es montañoso. Su hidrogeología posibilidades desconocidas o restringidas; con amenaza por remoción en masa que comprende provincias I-II amenaza Muy alta, Áreas montañosas de pendiente media con rocas meteorizadas y alta precipitación Alta susceptibilidad a deslizamientos, flujos y avalanchas. La mayor concentración y frecuencia de deslizamientos y otros procesos de inestabilidad de taludes y laderas se presentan en las dos provincias consideradas dentro de la Categoría de Amenaza Muy Alta. En el occidente, extensas zonas de reptación, erosión. La amenaza sísmica es intermedia, regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva mayores de 0.10g. y menores o igual de 0.20g. Alrededor del 22% del territorio se encuentra incluido en esta zona.³²

La economía básica de la región la podemos resumir en dos: agrícola y minera, dada su posición geográfica equidistante a los principales centros del país como son Medellín, Pereira, Manizales, Bogotá y Cali. Quinchía se ha convertido en un municipio de gran futuro y dinamismo en la economía regional. La producción de café es de excelente calidad, también es importante por sus cultivos de plátano, yuca, caña panelera y en los últimos años se ha posicionado como uno de los municipios con mayor producción de mora; en la parte minera se destaca Quinchía por ser importante productor de oro y en menor escala de carbón. Referente a la explotación de oro en la zona aurífera del municipio se ha continuado con las diferentes asociaciones mineras de Quinchía.³³

2.2.6 Cauca

2.2.6.1 Suarez³⁴

El municipio se encuentra ubicado al Noroccidente del Departamento del Cauca, entre las coordenadas IGAC 1'026.000 E, 802.000 N a 1'048.000 E, 832.000 N. Limita al norte y oriente con el municipio de Buenos Aires, al Suroriente y al Sur con el Municipio de Morales y al Occidente con López de Micay, con una extensión de 389,87 Km², de los cuales 3,57 Km² corresponde a la parte urbana. Con una altura sobre el nivel del mar de 1.050 m, temperatura media 27°C. Dista de la capital del departamento, Popayán 107 Km. Cuenta con ríos importantes como el Cauca, Ovejas, Marilopito, Damián, Inguító, Asnazú y Marilópez, con las Quebradas El Chupadero, La Chorrera, Los Pasos, Los Morados, La

³² IGAC-SIGOT 2014

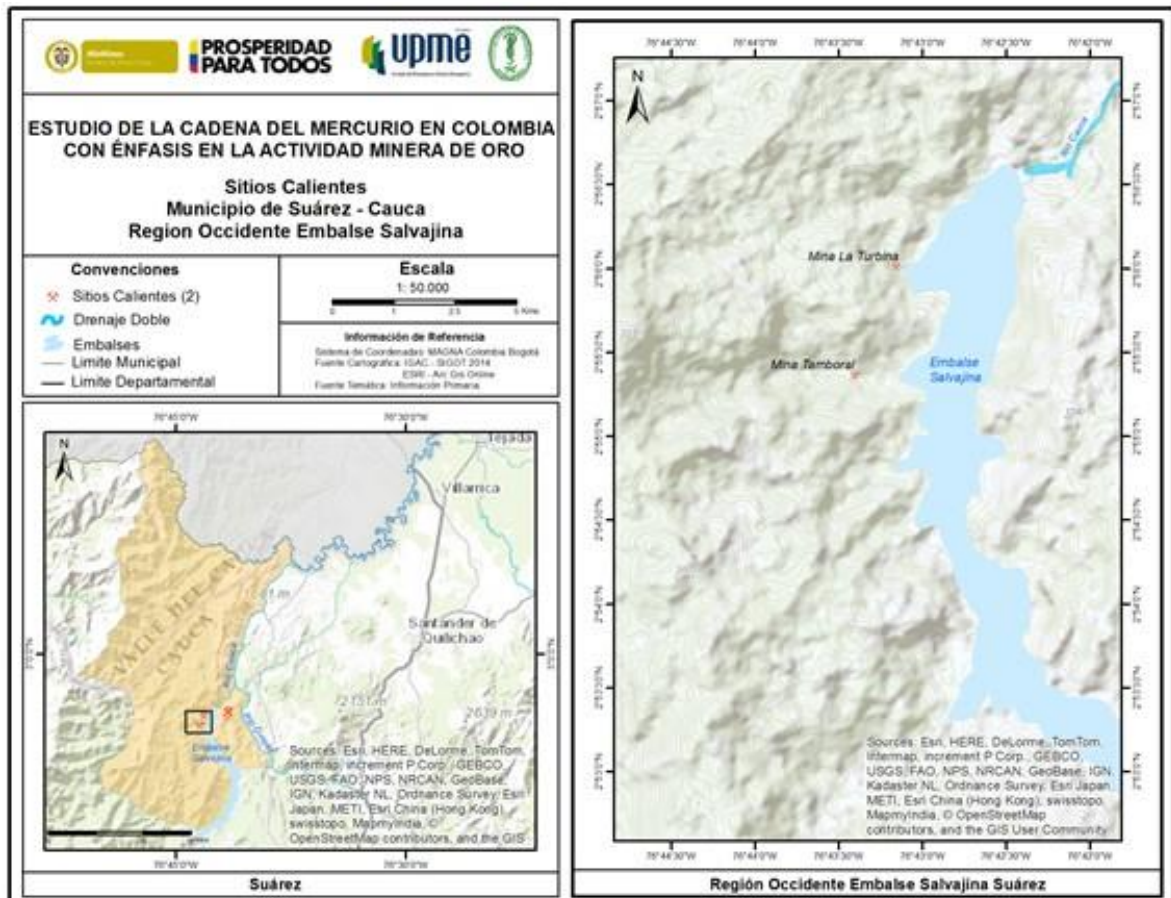
³³ <http://www.quinchia-risaralda.gov.co/-2012>

³⁴ <http://suarez-cauca.gov.co/-2012>

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

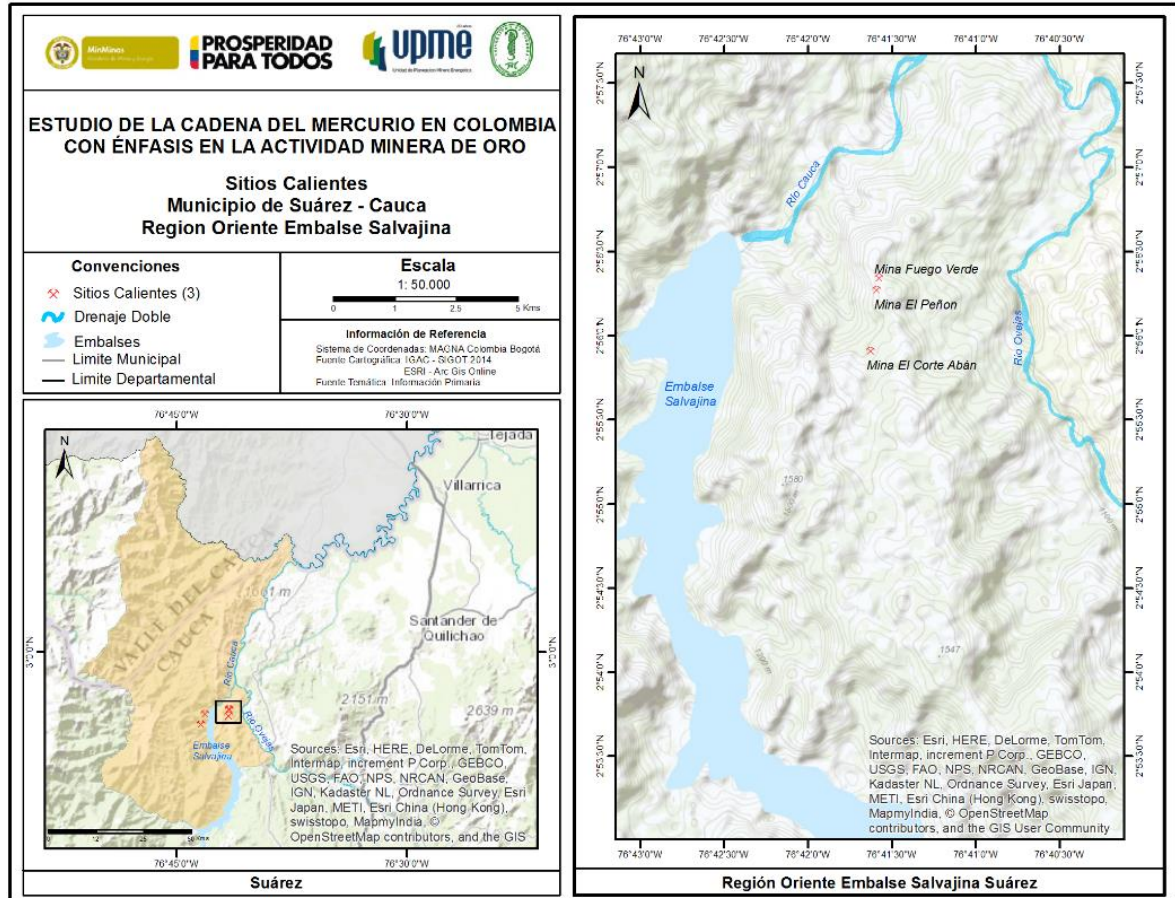
Laja, El Danubio y san miguel. Un Embalse Artificial en la Hidroeléctrica de SALVAJINA, llamada Presa Ciro Molina Garcés.

Mapa 42. Ubicación sitios calientes municipio de Suarez



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 24. (Continuación)



La economía del municipio de Suarez está basada fundamentalmente en el sector primario; agricultura (café, yuca, caña panelera, maíz, frijol, frutales entre otros) y minería principalmente. La extracción del oro se realiza en la zona Suroriental del municipio en inmediaciones de los corregimientos de La Toma y Mindalá, siendo esta la principal fuente de explotación. En la zona noroccidental la producción agropecuaria es la actividad económica más importante, a tal punto que la agricultura participa en un 52% de la producción del municipio, seguido de la actividad minera con un 27%, el comercio con un 3% y el 18% restante está en actividades como piscicultura, avicultura, ganadería, entre otros. En algunos sectores se practica la actividad forestal por Smurfit Cartón de Colombia. El turismo no presenta aún una actividad económica importante para el Municipio por su deficiente infraestructura y publicidad, pero este sector promete convertirse en una actividad líder si se aprovechan las ventajas escénicas naturales y artificiales que tiene este municipio, sobre todo la representada por el lago o embalse de Salvajina y el Sistema Hídrico Municipal incluyendo sus principales ríos.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

En la actualidad persiste esta concentración que según CRC excede las 70 boca minas (conocidas localmente como guerreras) en los alrededores del embalse de Salvajina en el municipio de Suárez y que genera los siguientes puntos calientes.

- Corregimiento La Toma. La cuenca del río Ovejas tiene reportes de minería desde 1544 y actualmente está a cargo del Consejo Comunitario.
 - Minas El Peñón, El Corte y Fuego Verde
- Corregimiento Mindala, ubicado en sobre la orilla occidental del embalse de Salvajina.
 - Vereda La Turbina, mina La Turbina
 - Vereda El Tambora en el entable de la Cooperativa de mineros.

2.2.7 Nariño

2.2.7.1 Los Andes^{35 36}

Los Andes-Sotomayor o simplemente Los Andes es un municipio de Colombia, situado al suroeste del país, en el departamento de Nariño. El municipio de Los Andes está ubicado al noroccidente central del departamento de Nariño. Coordenadas 1°29, 40 latitud norte 77°31 26 latitud al Oeste del meridiano de Greenwich. Su territorio, cima hacia la fosa interandina del Patía y piedemonte de la cordillera occidental y la Llanura del Pacífico. Localizado sobre la Cordillera Occidental, en el extremo sur de Colombia. El municipio se ubica dentro de los límites territoriales al norte con los municipios de Cumbitara y Policarpa, sur con el municipio de La Llanada, oriente con el municipio El Peñol y Linares, occidente con el municipio de Barbaçoas.

Presenta una temperatura entre los 12°C y 18°C en promedio, experimenta un clima templado – seco con precipitaciones que rondan los 1.001 - 2.000 mm/año, con elevación sobre el mar entre los 800 - 1.800 msnm con presencia de un bioma de Bosque Húmedo Tropical en el orobioma bajo de Los Andes. El municipio de Los Andes es irrigado por una amplia red hídrica de la vertiente del Pacífico, conformada por la región hidrográfica del río Patía, subcuenca Guáitara, y subcuenca Telembí.

El territorio del municipio de Los Andes desempeña un papel importante en la economía del departamento, teniendo en cuenta que es uno de los municipios importantes en la extracción minera; hace parte del Distrito Minero de La Llanada, conjuntamente con los municipios de Santacruz, La Llanada, Samaniego, Cumbitara, y Mallama, tierras caracterizadas por la riqueza de minas de oro de filón, y de veta de alto quilate, cuya explotación viene desde tiempos anteriores a la conquista española. La actividad minera, ocupa el segundo renglón después de la agricultura en importancia económica. Las áreas mineras del municipio de Los Andes se ubican en las veredas: Los Guabos, La Travesía,

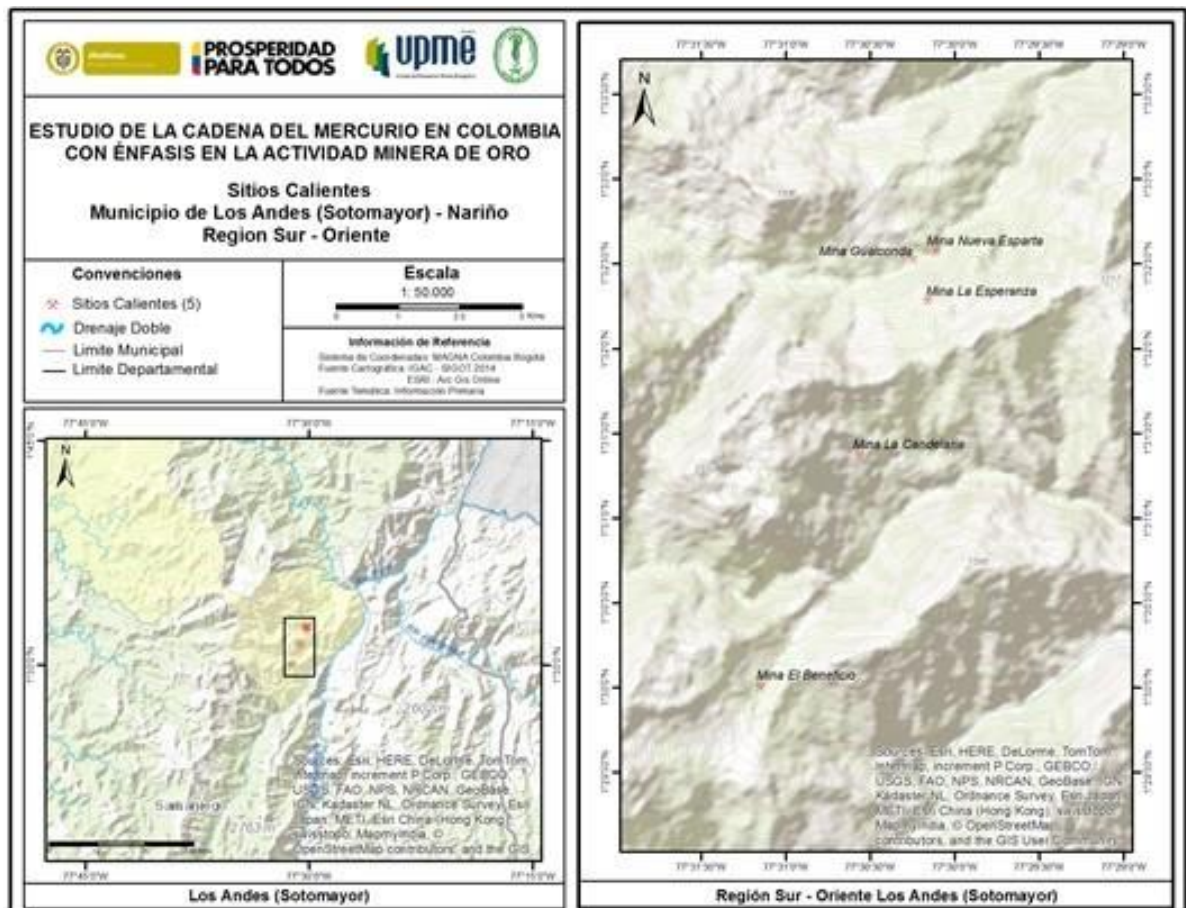
³⁵ Alcaldía Municipal de Los Andes Sotomayor (2012). Plan de Desarrollo Municipal, 2012-2015 del Municipio de Los Andes Sotomayor, Nariño.

³⁶ Alcaldía Municipal de Los Andes Sotomayor. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.losandessotomayor-narino.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Las Delicias, San Vicente, La Planada, Providencia, El Alto, San Francisco, El Placer, San Pedro, El Carrizal, Guayabal, El Huilque y Boquerón, el oro de aluvión sobre las riveras de los ríos Patía, Guaitara y Pacual.

Mapa 43. Ubicación sitios calientes municipio Los Andes Sotomayor



La cuenca del río Patía en la región andina se considera una de las zonas más afectadas por la actividad minera a lo largo de la historia. Se escogieron dos sectores en el municipio de Los Andes (Sotomayor) por considerarse de gran relevancia:

- La subcuenca de la quebrada Piscoyaco alberga al menos 13 unidades mineras entre las que se cuentan La María, La Cordillera, Arena Santa, La Esmeralda, La Redención, La Camelia, El Arenal, El Rosal, La Virginia, San Sebastián, La Victoria, La Gualconda y La Nueva Esparta. Adicionalmente,
- Microcuenca de la quebrada Piscoyaco en la vereda El Carrizal con presencia de múltiples minas artesanales y de pequeña escala, entre las que se cuentan Señor Iscayac, La Golondrina, El Huilque, El Rosario, La Gaviota, El Lucero y La

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Cooperativa. En esta subcuenca se encuentra el distrito de riego Piscoyaco (Asopiscoyaco)

2.2.7.2 Colon Génova.³⁷

El municipio de Colón Génova se localiza entre los 1° 38' 12" latitud Norte y los 76° 58' 0" de longitud al Oeste, en tierras de la cordillera centro oriental. Se sitúa al Norte del Departamento de Nariño sur occidente de Colombia. El municipio cuenta con una extensión aproximada de 80 km² y 9.6721 habitantes. Hace parte de un sistema montañoso, fuertemente quebrado a muy escarpado, en el municipio se destacan los cerros El Pílpito, El Veneno y San Cristóbal, catalogados como cerros tutelares abastecedores de agua para los acueductos urbanos y rurales. Pertenece a la subregión del río Mayo – Zona Nororiental. Tiene como límites geográficos al Norte municipio de San Pablo; al Oriente, municipio de La Cruz; Sur, municipio de Belén; y al Occidente, municipio de La Unión.

Colon Génova se caracteriza por un clima cálido muy seco a templado pluvial templado y seco, con una temperatura que media anual de 16° C, valor que oscila entre una temperatura mínima de 9.1° C y una máxima de 24° C. El Municipio está ubicado a una altura entre 1.400 y 2.800 m.s.n.m., y presenta una precipitación media anual que oscila entre 1.001 - 2.000 mm/año. La zona se encuentra en un bioma de Bosque Húmedo Tropical, Orobios bajos de los Andes; Valles, Piedemontes, Altiplanicies, Lomeríos y Montañas (principalmente).

La Hidrogeología es buena con posibilidades con características de ambientes sedimentarios y vulcano clástico con buenas posibilidades hidrogeológicas. Hace parte de hidrogeología del Valle del Cauca – Patía. Se extiende sobre el sector Noroccidental, asociada a fallas geológicas, locales, subregionales y regionales, desplazadas en sentido paralelo al río Mayo.

Existe en el municipio una gran riqueza en cuanto a flora, fauna y espacios naturales turísticos entre los que se destacan: Cerro El Pílpito, Cerro Veneno, Cerro San Cristóbal y Cuchilla Palacio, donde se pueden realizar paseos ecoturísticos. Los moradores han solicitado se declare zonas de reserva forestal ya que en estos accidentes orográficos nace la mayor parte del agua que abastece los diferentes acueductos del municipio.

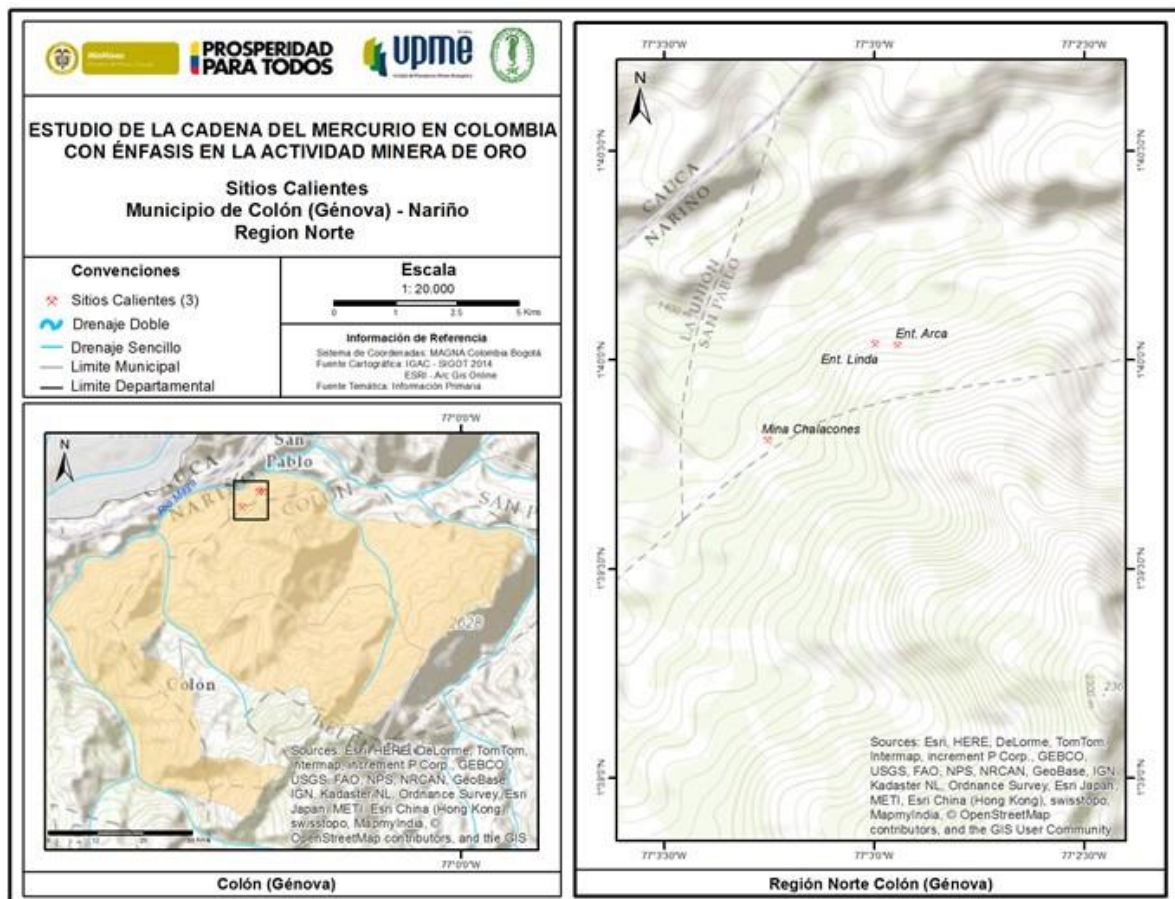
La economía del municipio se basa en el sector primario, caracterizado por el sector agrícola, los principales productos del municipio son café, maíz, plátano, caña panelera, tomate de mesa, frijol, yuca y frutales, siendo el principal renglón productivo el cultivo de café; siendo los principales sistemas de producción agrícola cultivo área (has), rendimiento (kg/ha) y número de productores; la tecnología local de producción es tradicional por lo que el rendimiento de los productos es bajo. Seguido se encuentra el sector pecuario, la ganadería está limitada a extensiones muy pequeñas con predominio

³⁷ Alcaldía Municipal de Colon Génova. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: <http://www.colongenova-narino.gov.co/index.shtml>

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

de ganado bovino de doble propósito en un 85% y ceba integral un 15%, de raza criolla y no se utilizan pastos mejorados. El sector secundario está caracterizado por la producción artesanal, es un sector importante en la economía del municipio. Para el sector terciario cuenta con comercio y servicios; este sector es relativamente escaso y está representado en: almacenes, graneros, billares, restaurantes, kiosco, papelería, Discotecas y residencias.

Mapa 44. Ubicación sitios calientes municipio de Colón



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.2.7.3 Mallama^{38 39}

El municipio de Mallama está ubicado al sur occidente de Nariño, a 121 Km de Pasto, 45 Kms de Túquerres, 20 Km a Ricaute. Tiene una extensión total de 626 Km² de los cuales 161,69 Km² corresponden al área urbana. Su ubicación geográfica es de 11° 09' latitud Norte y 77° 05' longitud Oeste. Limita al Norte con los municipios de Santa Cruz (Guachavez) y Ricaurte; al Oriente con el municipio de Santa Cruz (Guachavez); al Occidente con el municipio de Ricaurte; al Suroccidente con el municipio de Guachucal y Sapuyes y al Suroccidente con los municipios de Cumbal y Ricaurte. Corresponde a la zona comprendida por la cordillera occidental, donde predomina el paisaje montañoso con profundos valles generalmente de sección transversal en V, su parte occidental limita con la llanura Pacífica y la parte oriental limita con la estribación occidental de la cordillera centro oriental donde comienza el Altiplano Nariñense.

En cuanto a la temperatura al igual que la precipitación presenta dos periodos, a nivel de la zona Nord y Sur oriental, correspondiendo en su parte baja las regiones tropicales y en su parte alta de la zona Andina, dichas temperaturas fluctúan entre 9 °C en la zona de páramo y 21 °C en la parte plana. El municipio cuenta con seis (6) bioclimas, entre los que se encuentran Muy frío Páramo (Mayor a 3.750), Andino Alto Andino (3.500 - 3.700), Frío Andino (2.300 - 3.500), Templado Subandino (1.000 - 2.300), Cálido Ecuatorial (Menor a 1.000). El municipio de Mallama cuenta con 12 microcuencas y una subcuenca, la cual contiene 5 microcuencas (Panacual, El Carmen, Yupe, Chalá y El Arracachal); además se identificaron cinco grupos de escurrimientos directos.

El uso del suelo corresponden a unidades de Cobertura Vegetal, Agropecuaria y minera en menor grado; las unidades de uso del suelo en el municipio corresponden a: Páramo, Bosque primario, Bosque primario intervenido, Cultivos migratorios, Bosque secundario, Bosque Ripario, Cultivos limpios, Rastrojo, Pastos naturales y Pastos mejorados.

La economía de Mallama se basa, en el Sector Primario, incluye los subsectores agrícola, pecuario, forestal y minero; Sector Secundario se incluye todas las actividades industriales y agroindustriales; y Sector Terciario, las actividades de comercio y servicios.

La base económica del municipio se fundamenta en una agricultura de economía campesina. Es decir, una producción realizada en minifundios, con mano de obra familiar y con baja o nula incorporación de tecnología y con productos limpios. La pequeña industria del municipio está ubicada en la zona alta del municipio donde predomina el clima frío y en la zona baja donde predomina el clima templado. Las principales industrias con las que cuenta el municipio son: Industria de Lácteos y Panelera.

³⁸ Alcaldía Municipal de Mallama (2012). Plan de Desarrollo “Bienestar para Todos, 2012-2015” del Municipio de Mallama, Nariño.

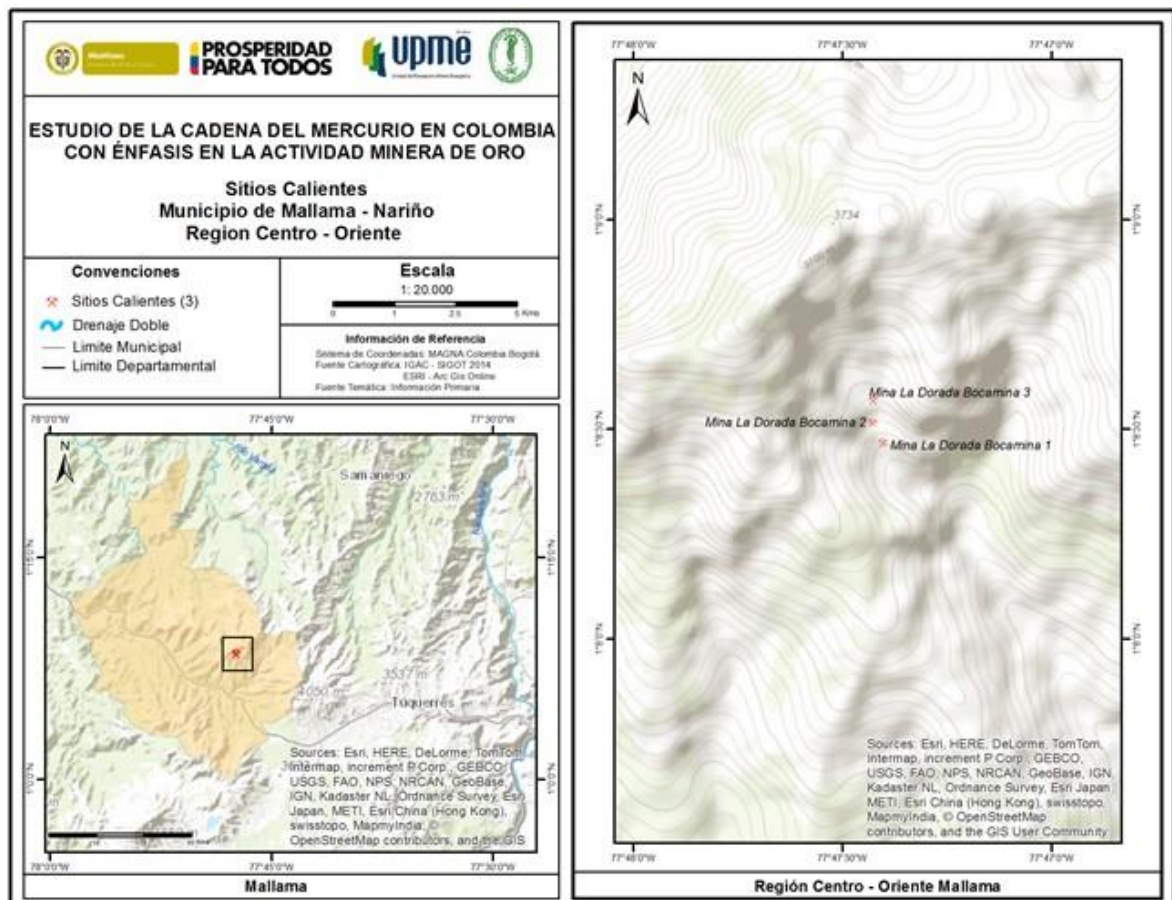
³⁹ Alcaldía Municipal de Mallama. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: <http://www.mallama-narino.gov.co/apc-aa-files/37373835326263353030393635303335/plan-de-desarrollo-mallama-2012-2015.pdf>

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

El comercio y los servicios son una importante fuente de trabajo en el municipio. La actividad comercial incluye a personas que se dedican a la distribución de productos agropecuarios, víveres y abarrotes, y en general bienes y servicios que se comercializan en diferentes sitios.

La explotación de oro en el municipio de Mallama viene en ascenso. Si bien no ha tenido el auge que presentan otras regiones como Barbacoas y Guachavez, la actividad está integrada a los planes y proyectos en entidades como CORPONARIÑO, INGEOMINAS, Ministerio de Minas y Energía, etc., debido a que en la actualidad el municipio es considerado uno de los centros mineros del Departamento.

Mapa 45. Ubicación Sitios Calientes Municipio Mallama



El municipio cuenta con una precipitación anual de 2.001 – 3000 m/m, piso térmico de 800 – 1800 m.s.n.m, se encuentra en la unidad biogeográfica provincia Norandina; el uso y cobertura del suelo son cultivos anuales o transitorios, Áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo dura un año o menos, llegando incluso a ser de unos pocos meses

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

La economía básica de la región la podemos resumir en dos: agrícola y minera, dada su posición geográfica equidistante a los principales centros del país como son Medellín, Pereira, Manizales, Bogotá y Cali. Quinchía se ha convertido en un municipio de gran futuro y dinamismo en la economía regional. La producción de café es de excelente calidad, también es importante por sus cultivos de plátano, yuca, caña panelera y en los últimos años se ha posicionado como uno de los municipios con mayor producción de mora,; en la parte minera se destaca Quinchía por ser importante productor de oro y en menor escala de carbón. Referente a la explotación de oro en la zona aurífera del municipio se ha continuado con las diferentes asociaciones mineras de Quinchía.

2.2.8 Tolima

2.2.8.1 Ataco

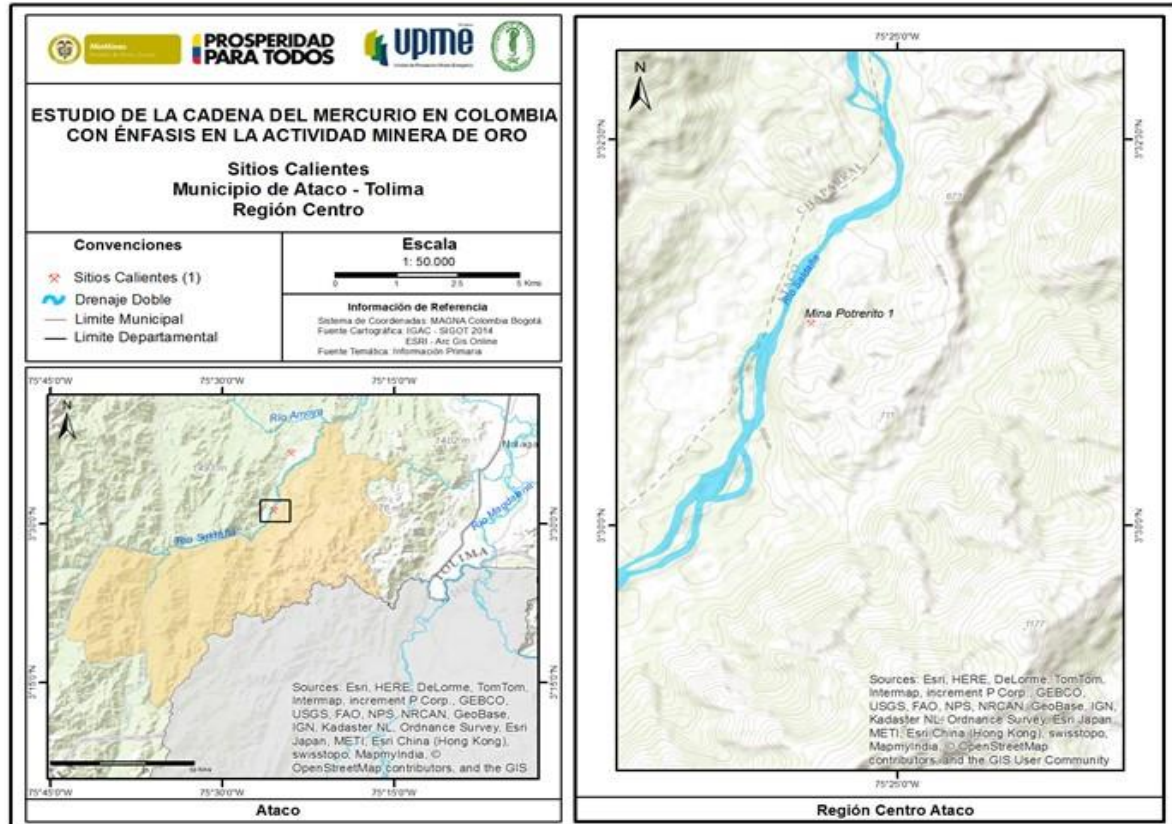
El municipio de Ataco - Tolima, se encuentra localizado al Sur del departamento del Tolima en la zona Sur - Oriental, la cabecera municipal está ubicado a una altura de 446 m.s.n.m. Está ubicada a una distancia de 153 kilómetros a Ibagué, la capital del departamento. El municipio limita al Norte con los municipios de Chaparral, Coyaima y Rioblanco, al Oriente con el municipio de Natagaima, al Occidente con el municipio Planadas y al Sur con el departamento del Huila.

Presenta un clima cálido húmedo, con temperatura $> 24^{\circ}\text{C}$, con precipitaciones entre 2.001 a 3.000 mm/año, El uso y cobertura más frecuente que se observa en la zona es de pasto, generalmente utilizadas para actividades ganaderas, la cuenca hidrográfica a la que pertenece es al Alto Magdalena y posee un relieve montañoso, y pendientes $< 50\%$, drenaje imperfecto a excesivo. El orden de suelos es Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles, Andisoles, Alfisoles, su hidrogeología pertenece a la Cordillera Central, con ambientes ígneometamórficos.

La economía del municipio se encuentra caracterizada por agricultura y ganadería, la minería se realizada de manera artesanal y también es fuente de ingresos para la comunidad del municipio. El gran bioma al que pertenece la zona es Bosque Húmedo Tropical y al bioma Orobiomas bajos de los Andes característico por climas cálido muy seco a templado pluvial; Valles, Piedemontes, Altiplanicies, Lomeríos y Montañas (principalmente).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 46. Ubicación sitios calientes municipio de Ataco



Debido a la desbordada fiebre de oro sufrida por la cuenca del río Saldaña se considera establecieron dos puntos calientes.

- Municipio de Ataco, corregimiento El Viso al que pertenece la cuenca de la quebrada Agua Fría que abastece el acueducto que surte el 40 % de las veredas y donde se realiza minería artesanal y explotaciones ilegales.
 - Mina Potrerito 1.

2.2.8.2 Chaparral

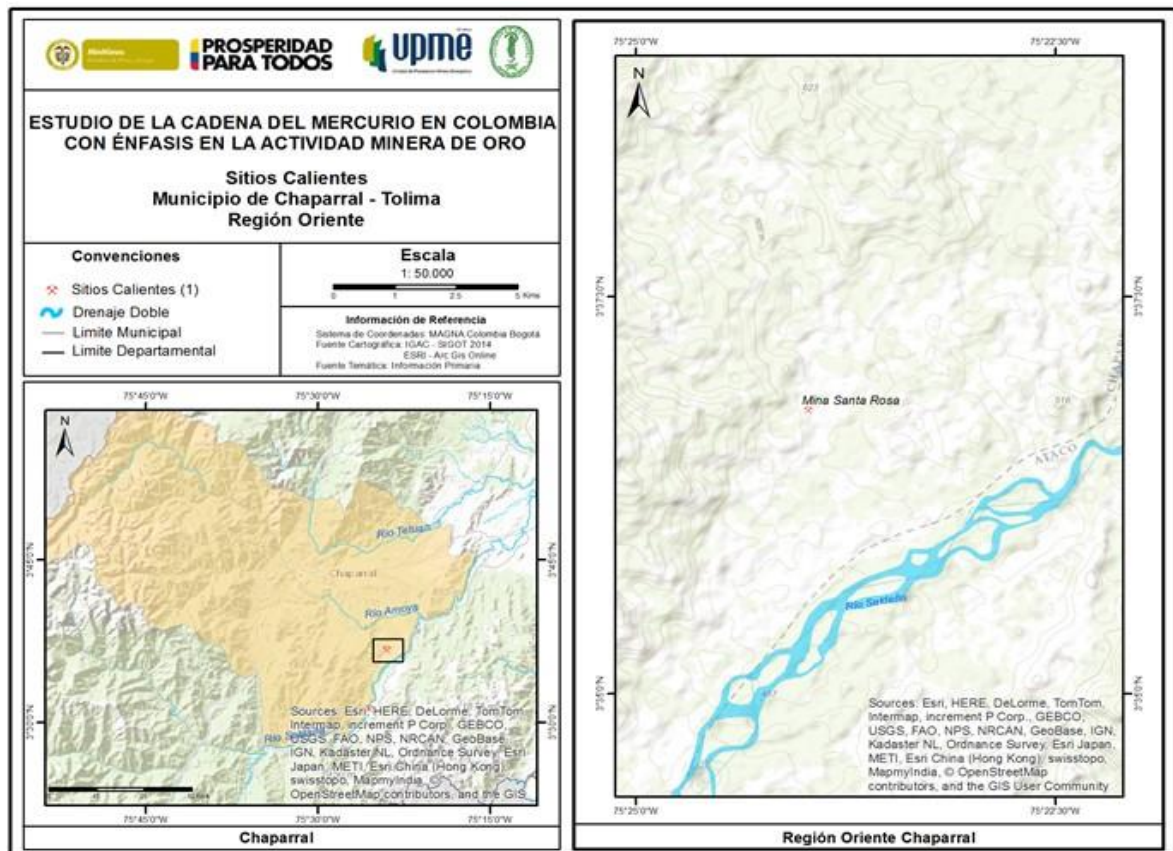
El municipio de Chaparral - Tolima, se encuentra localizado al suroccidente del departamento del Tolima, está ubicado a una altura de 854 m.s.n.m. y limita al Norte con los municipios de Roncesvalles, San Antonio y Ortega, al Oriente limita con los municipios de Coyaima y Ataco, al Sur con los municipios de Rioblanco y Ataco y al Occidente con los municipios de Tuluá, Buga, Cerrito y Pradera localizados en el departamento del Valle del Cauca. Presenta un clima cálido húmedo, con temperatura > 24°C, con precipitaciones entre 2.001 a 3.000 mm/año, El uso y cobertura más frecuente que se observa en la zona es de pasto, generalmente utilizadas para actividades ganaderas, la cuenca hidrográfica a

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

la que pertenece es al Alto Magdalena y posee un relieve montañoso, y pendientes < 50%, drenaje imperfecto a excesivo. El orden de suelos es Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles, Andisoles, Alfisoles, su hidrogeología pertenece al Valle Superior del Magdalena, con ambientes sedimentarios y vulcano clástico.

La economía del municipio principalmente es la ganadería y la agricultura, siendo el café el producto principal, también en algunos sitios se desarrolla actividad aurífera como otra alternativa de sustento económico. El gran bioma al que pertenece la zona es Bosque Húmedo Tropical y al bioma Orobiomas bajos de los Andes característico por climas cálido muy seco a templado pluvial; Valles, Piedemontes, Altiplanicies, Lomeríos y Montañas (principalmente).

Mapa 47. Ubicación sitios calientes municipio de Chaparral



Municipio de Chaparral, corregimiento de Amoyá en la cuenca del río del mismo nombre. En donde se desarrollan actividades mineras legales e ilegales.

- Mina Santa Rosa, propiedad de la Cooperativa Agroindustrial de Ataco desde que sus miembros fueron desplazados de las minas en Ataco.

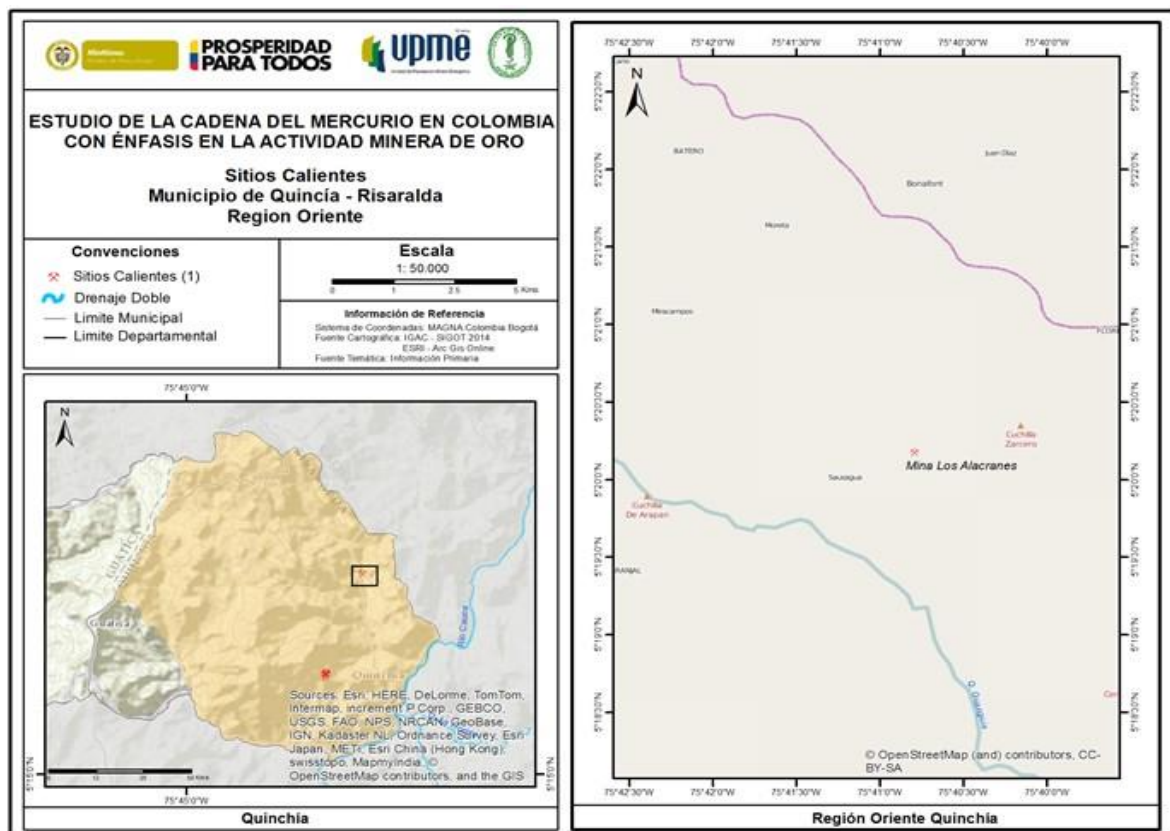
CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.2.9 Risaralda

2.2.9.1 Quinchía⁴⁰

El municipio está situado en el noroccidente del departamento de Risaralda. Limita al norte con el Municipio de Riosucio; Al sur con Anserma, por el oriente con los municipios de Filadelfia y Neira, en el departamento de Caldas y por el occidente con el municipio de Guática en Risaralda. Está a 110 km de Pereira, la capital del departamento. Cuenta con una extensión territorial de 149,8 km². Se encuentra a una altura de 1.825 m.s.n.m., y la temperatura promedio del municipio es de 18°C y en su territorio se presentan todos los climas, desde el cálido del corregimiento de Irra, hasta el frío de la vereda de La Ceiba.

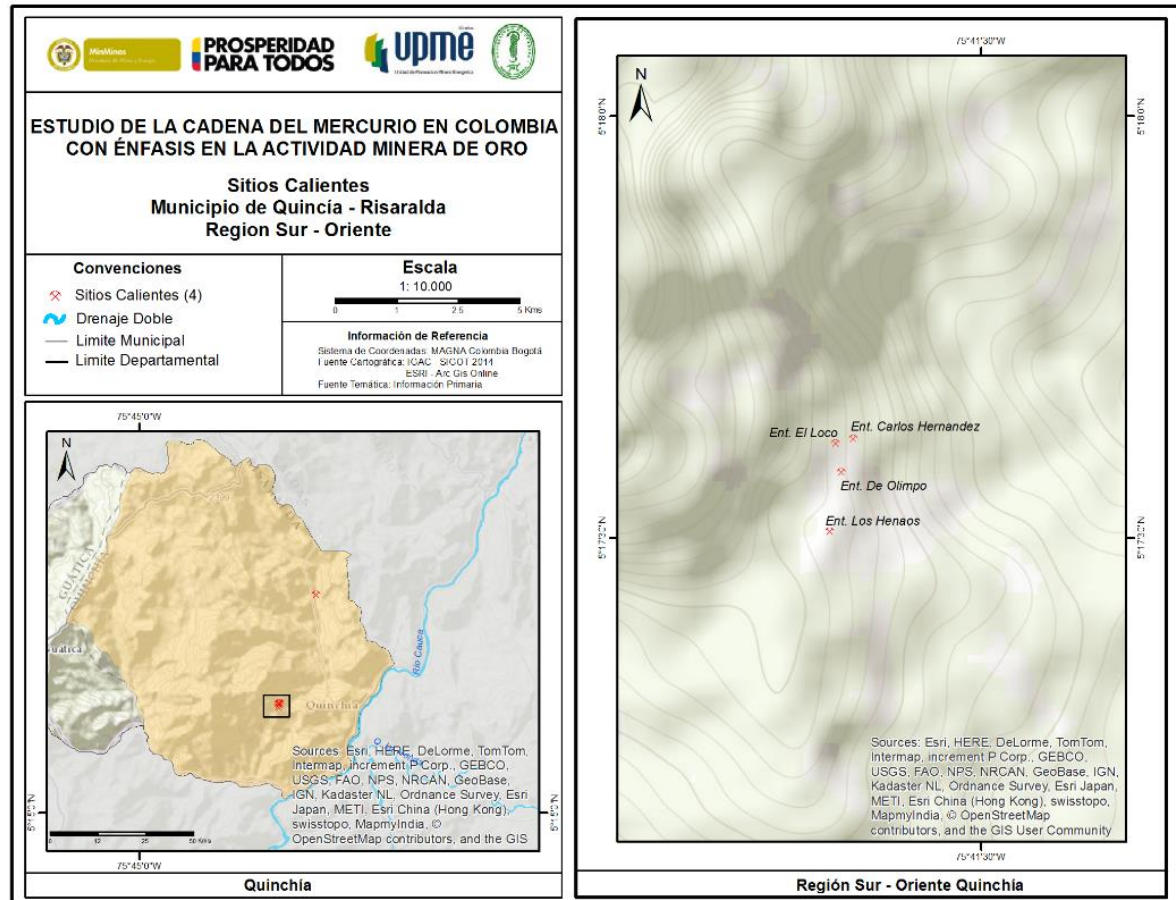
Mapa 48. Ubicación sitios calientes municipio de Quinchía, región oriente.



⁴⁰ http://www.quinchia-risaralda.gov.co/informacion_general.shtml

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Mapa 49. Ubicación sitios calientes municipio de Quinchia, región sur-oriente.



2.3 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LAS ZONAS CALIENTES Y MATRIZ DOFA DE LAS ZONAS CALIENTES.

La herramienta de diagnóstico y planeamiento estratégico DOFA, cuyas siglas corresponden a debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas, es un método ágil de análisis de vulnerabilidad para enfrentar una evaluación desde diferentes perspectivas. Su ejecución requiere una adecuada identificación y delimitación de la materia a analizar.

El objeto de análisis en este caso consiste en determinar estrategias para mejorar los niveles de control al comercio del mercurio dirigido a la minería y a las explotaciones ilegales. Puesto que el análisis corresponde a la cadena de comercialización y no a los efectos del uso del mercurio, se limita el análisis a los asuntos correspondientes a las autoridades de transporte, policiales, mineras y ambientales.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.3.1 Análisis de aspectos destacados

Por definición, existe impacto ambiental negativo cuando una acción genera alteraciones desfavorables al medio ambiente o a alguno de sus componentes. Es decir, que el impacto sobre el medio ambiente es la diferencia entre sus condiciones previas y posteriores a la alteración.

Bajo esta premisa y con base en las múltiples fuentes mercuriales que han afectado la red hídrica nacional a lo largo de la historia, resulta imposible determinar a ciencia cierta cuáles son los impactos negativos regionales del mercurio utilizado en cada una de las actividades consumidoras, incluida la minería. Es factible verificar la responsabilidad local del beneficio aurífero en las concentraciones de mercurio en aire y en suelo, pero los resultados obtenidos al evaluar las concentraciones en las corrientes de agua siempre estarán ensombrecidos por la duda de la fuente contaminante.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta a continuación la descripción de los diferentes elementos que conforman la matriz básica de diagnóstico del mercurio vinculado a la industria minera y a las explotaciones ilegales.

2.3.1.1 Cadena de comercialización

La importación de mercancías peligrosas está reglamentada por normas nacionales desarrolladas armónicamente con los libros Naranja y Púrpura de las Naciones Unidas. Bajo esta reglamentación, el mercurio que ingresa legalmente al país vendrá en envases herméticamente sellados, debidamente etiquetados, indicando el grado de toxicidad y la empresa importadora estará incluida en el registro único nacional de importadores y comercializadores autorizado.

La manipulación en puerto, el transporte y el almacenamiento en las bodegas del importador están reglamentadas y cuentan con procedimientos bien estructurados.

Los importadores de mercurio no sienten la obligación de reportar sobre el destino del metal, por esta razón, después de que venden el mercurio a los distribuidores locales o regionales se pierde el rastro y un porcentaje no determinado del metal legalmente importado comienza a compartir la ilegalidad con aquel introducido por contrabando:

- Para la distribución al detal se envasa en recipientes de plástico o vidrio con cierres no herméticos que favorecen los vertimientos y las pérdidas a la atmósfera.
- El transporte se realiza en vehículos privados o de transporte público de pasajeros sin ninguna atención a la normatividad vigente.
- El almacenamiento se realiza en tiendas de abarrotes, hogares o compraventas, siempre en ausencia de medidas de control.
- Al ser cantidades menores logran pasar las inspecciones policiales.

Finalmente, el mercurio es vendido al minero en compraventas o por compradores itinerantes de oro quienes fijan el precio de venta por gramo entre \$ 450 y \$ 700 dependiendo de la distancia al centro poblado más cercano.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.3.1.2 Prácticas generalizadas

Los pequeños y medianos mineros auríferos en algunas regiones en Colombia utilizan el mercurio elemental por las siguientes razones:

- Es rápido y fácil de manejar
- Permite el procesamiento de pequeñas cantidades de mineral muchas veces clave dentro de la estructura socio-económica
- Los mineros no conocen los riesgos o muchas veces no tienen el acceso ni el capital necesario para utilizar otras alternativas
- Facilita transacciones y la división de ganancias, por ejemplo, entre pequeños mineros y comercializadores del metal aurífero

Debido al desconocimiento de las características técnicas del yacimiento, aunado a la percepción de que a mayor cantidad de mercurio utilizado mayor recuperación de oro, se utilizan grandes e innecesarias cantidades de mercurio en la amalgamación.

Por la misma razón se utiliza el mercurio durante la molienda lo que produce su atomización (harina de mercurio) y al atomizarse el mercurio no cumple con su característica esencial de atrapar el metal precioso, este mercurio se pierde es liberado junto a las macropartículas de oro que se producen de la operación de molienda, además de las colas, la recuperación no alcanza un 50%, originando la idea en el pequeño minero de que se debe incrementar la cantidad de mercurio para mejorar la recuperación.

En las explotaciones aluviales, la retroexcavadora deposita el material en los canalones construidos sin unos adecuados diseños técnicos, ni evaluación de la inclinación y el para el control de los caudales requeridos. El mercurio se libera directamente en canalones con altas velocidades de flujo que además de provocar la pérdida del oro fino causa la liberación de mercurio a las corrientes.

En algunos casos, las colas del proceso de amalgamación se someten a cianuración, esta práctica produce cianuro de mercurio ($\text{Hg}(\text{CN})_2$).

Finalmente, las colas son vertidas a las corrientes hídricas donde el mercurio puede fluir entre los sedimentos sin causar afectación o ser transportado aguas abajo y contaminar.

2.3.1.3 Quema de la amalgama

La labor más contaminante es la quema de la amalgama que, en general, se practica sin ningún tipo de elementos de protección o utilizados de forma inadecuada. Los mineros artesanales y los barequeros suelen hacer esta actividad dentro de sus residencias y consideran que por tratarse de cantidades menores no habrá condiciones contaminantes. Por su parte, los pequeños mineros y los explotadores ilegales utilizan talleres sin que ello signifique la atención a las recomendaciones para prevenir la polución.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

La quema de amalgamas en áreas urbanas es la causa de las mayores concentraciones de mercurio en aire. En algunos casos, como Segovia, se puede observar que al sitio de quema le han adaptado una chimenea para evacuar el vapor de mercurio hacia la calle. El temor a perder oro durante el proceso hace que los mineros no sientan especial interés por el uso de la retorta de destilación de amalgama (Pantoja, 2004⁴¹).

2.3.1.4 Difusión de la información

La difusión incorrecta de la información por los medios de comunicación, algunas entidades públicas y las organizaciones ambientalistas, ha generado temor en la población sobre el estado de la contaminación mercurial y por su puesto a producido resentimiento contra la minería que ha sido presentada como la única fuente emisora.

En los últimos años, han tomado fuerza los informes alarmistas que han tenido resonancia en algunas entidades del Estado y en los medios de comunicación. Estos informes que suelen comparar la distancia entre los niveles hallados y aquellos permisibles fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como herramientas de prevención, no mencionan la diferencia entre contaminación e intoxicación crónica, tampoco indican las soluciones a la contaminación. De esta forma, no se divulgó el informe presentado por Medina et al. (2011⁴²) que recomienda la reducción en la ingesta de pescado para disminuir los niveles de contaminación de personas expuestas o con contaminación con mercurio y que representaron el 94.3 % (82 personas) de la muestra utilizada.

Infortunadamente no se divulgan los logros en la reducción de mercurio por Corponariño en Sotomayor, la Corporación para la Defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB) en la cuenca del río Suratá y ONUDI en el Nordeste Antioqueño, entre otros.

Adicionalmente, se divulgan fracciones de informes a manera de conclusión originando interpretaciones erradas. Un ejemplo es el documento llamado Antioquia, Colombia: el lugar más contaminado por mercurio en el mundo: impresiones de dos viajes (Veiga, 2010⁴³) en donde el autor comenta que la cantidad de mercurio utilizado y vertido en Colombia no se conoce, que en un estudio anterior de escala global había estimado para la minería artesanal entre 50 t y 100 t, pero que bien podría alcanzar las 150 t de acuerdo con sus fuentes locales y que en caso de que estas estuvieran en lo correcto Colombia ocuparía el tercer lugar en emisiones después de China e Indonesia⁴⁴. Infortunadamente, el autor no cita sus fuentes locales a las que brinda credibilidad suficiente para ubicar a Colombia en un deshonoroso tercer lugar en ausencia de investigaciones.

⁴¹ Op. Cit.

⁴² Op. Cit.

⁴³ VEIGA, M. 2010. Antioquia, Colombia: the world's most polluted place by mercury: impressions from two field trips. Informe preparado para ONUDI. Pp. 5

⁴⁴ "The amount of mercury being used and lost in Colombia is not well known. A study conducted by Telmer and Veiga (2008) estimated that the annual mercury emissions/releases from AGM in Colombia can be between 50 and 100 tonnes, but it seems that this can reach as much as 150 tonnes/a, according to local sources. In this case Colombia occupies the 3rd place in mercury emissions from AGM ..."

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Con base en lo anterior el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible indicó que ONUDI “...publicó un informe en el cual concluye que Colombia es el tercer país del mundo que más contamina con mercurio ya que libera entre 50 y 100 toneladas anuales en el proceso de extracción y amalgamación artesanal de oro⁴⁵”. Es importante notar la diferencia entre lo expuesto por Veiga (2005) y la interpretación del Ministerio de Ambiente que, además, no menciona que un tercer lugar solo es posible si las fuentes locales del autor están en lo cierto y que las 50 t o 100 t fueron estimadas como consumo y no como pérdidas.

2.3.1.5 Desconocimiento de la realidad del mercurio

La preocupación por evaluar los niveles de concentración de mercurio ha dejado al margen el interés por conocer las emisiones producidas por las fuentes naturales, los vertederos de desechos urbanos, la térmicas a carbón, la producción de cemento, la plantas de cloro álcali que han operado en Colombia y en otras aplicaciones de la industria química.

2.3.1.6 Coordinación institucional

El senador ponente del proyecto de ley 126 de 2013⁴⁶, sobre protección de aguas subterráneas, fundamenta su argumentación sobre contaminación con mercurio y otros metales pesados en un artículo de opinión publicado en un medio digital sobre una denuncia, aun no juzgada, en contra de un proyecto minero en Perú. Lo inquietante, además del uso de relatos periodísticos para sustentar leyes, es la falta de información nacional para apoyar o desvirtuar los planteamientos sobre mercurio.

El cumplimiento de las metas fijadas por la Ley del Mercurio o Ley 1658 del 15 de julio de 2013 “*Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones*” y en el Artículo 209 de la Constitución Política según el cual “las autoridades administrativas deben coordinar sus actuaciones para el adecuado cumplimiento de los fines del Estado”.

La información generada por las entidades estatales no es compartida con las otras, de esta forma se pierde la posibilidad de avanzar con mayor agilidad en las investigaciones. Las entidades del Estado deberán coordinar la asistencia técnica en la explotación y el beneficio de oro para garantizar que la prohibición del mercurio en la minería no se convertirá en un magnificador del contrabando.

Existe falta de motivación en las autoridades para lograr que las comunidades mineras se apropien de los proyectos realizados y se divulgue el éxito alcanzado en sus ejecuciones.

⁴⁵ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE – ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL -UNIDO. 2012. Perfil Nacional de Sustancias Químicas en Colombia. 2ª. Ed. / López Arias, Andrea; Suárez Medina, Oscar J.; Hoyos Martha C. - Bogotá, D.C. Pp. 105

⁴⁶ CÓRDOBA, J. 2013. Ponencia primer debate. Senado de la República. Proyecto de Ley número 126 de 2013 Mediante el cual se fortalecen las medidas de protección de las aguas subterráneas.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.3.2 Elementos de diagnóstico

A partir de lo anterior y para efectos de mejor caracterización de la situación actual del mercurio destinado a las actividades extractivas legales e ilegales, se clasificaron los aspectos destacados en cada categoría de análisis DOFA, presentándose primero aquellos de dominio interno donde las autoridades tienen algún grado de control y luego los de carácter externo en los cuales dichas autoridades no tienen mayor injerencia.

2.3.2.1 Fortalezas.

Son los factores internos, positivos y controlables que contribuyen a alcanzar el éxito

- Autoridades mineras y ambientales con direcciones especializadas en minería
- Normatividad clara para transporte (Dec. 1609 de 2002, NTC 3969, NTC 4532)
- Normatividad clara para el almacenamiento (Dec. 4741/2005, libros Naranja y Púrpura)
- Registro de importaciones de sustancias peligrosas (Dec. 4741 de 2005)
- Registro de usuarios de mercurio (Ley 1658 de 2013)
- Arraigo territorial en las reservas mineras indígenas y de comunidades negras
- Tradición minera aurífera ancestral persisten aquellas identificadas en la Colonia.
- Existencia de asociaciones de pequeños mineros
- Experiencias exitosas de cambio de técnica: CAM Sotomayor y proyecto Suratá
- Oro Verde. Ejemplo colombiano de comercialización de oro libre de mercurio y producido en ambientes comunitarios
- Programas de formación minera del Servicio nacional de aprendizaje -SENA
- Construcción del centro de formación minero ambiental de El Bagre.
- Yacimientos auríferos superficiales
- Las prácticas más limpias representan menores costos para los mineros

2.3.2.2 Oportunidades.

Representan los aspectos externos y positivos que pueden apoyar los cambios técnicos, económicos y ambientales.

- Reconocimiento económico internacional a producción minera bajo condiciones de sostenibilidad ambiental y social
- Presión de cambio ejercida por la adhesión al Convenio de Minamata
- Centros universitarios investigando sobre mejores prácticas mineras.
- Interés de organizaciones internacionales en mejorar la calidad de vida de las regiones mineras
- La molienda debidamente realizada significa mayor recuperación de oro
- Precios del oro propician el momento para el cambio de técnica
- La reducción de mercurio mejorará la percepción de la sociedad sobre la MAPE

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.3.2.3 Debilidades.

Son los aspectos internos, negativos y controlables, responsables de las situaciones desfavorables.

- Poca coordinación interinstitucional
- Ausencia de política minero ambiental
- Autoridades policiales no capacitadas en contrabando de mercurio.
- Distribución de mercurio no reglamentada
- Alta reactividad de las autoridades ante nuevas reglamentaciones en condiciones de información escasa
- Difícil desarrollo del registro de usuarios de mercurio pues están dispersos entre MAPE y extractores ilegales
- Falta de capacitación y motivación a los mineros
- Débil transmisión de información oficial a través de asociaciones mineras y líderes naturales.
- Ausencia de relación entre las autoridades mineras y ambientales y las asociaciones mineras
- Cancelación de proyectos como los centros ambientales mineros, los centros de desarrollo tecnológico y el programa de distritos mineros.
- Creencias fuertemente arraigadas en los mineros
- Procesos de beneficio altamente ineficientes
- Uso del mercurio durante el proceso de molienda
- Cianuración de las colas de amalgamación
- Desinterés por utilizar los elementos de protección
- Quema de amalgamas en centros poblados
- Negativa de los mineros al uso de la retorta
- Descarga de colas de amalgamación en fuentes hídricas
- Ineficiencia en la comercialización del oro motiva el interés por obtener el oro de manera rápida
- La MAPE no conoce o no comprende la normatividad

2.3.2.4 Amenazas.

Son los factores externos, negativos y no controlables, que representan riesgo para el logro del objetivo.

- Las autoridades y los medios de comunicación confunden MAPE con extractores ilegales
- La persecución a los extractores ilegales afecta a la MAPE
- Se culpa a la minería de toda la contaminación mercurial
- Abundancia de extractores ilegales
- Desconocimiento del impacto real del mercurio utilizado en la minería
- Despliegue mediático solo a irregularidades ignorando los logros
- La MAPE es un subsector económico no reconocido

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- Subvaloración del aporte de la MAPE a la comunidad circundante.
- Incremento en la oferta mundial de mercurio ilegal por cierre de plantas consumidoras en Asia.
- Falta de conocimiento de los yacimientos auríferos para diferenciarlos y proponer metodologías de recuperación sin mercurio.
- Tráfico ilegal de mercurio fortalece las explotaciones ilegales y viceversa
- Compradores de oro distribuyen el mercurio dificultando identificar su origen

2.3.3 Análisis Relacional

De acuerdo con lo expuesto en el subcapítulo anterior se identificaron 69 aspectos destacados en relación con las acciones requeridas para controlar el comercio del mercurio dirigido a la minería y a las explotaciones ilegales.

Estos aspectos se cualificaron según su capacidad para influir sobre otros y su grado de dependencia de aquellos de mayor influencia. De esta forma se formaron cuatro grupos así: 1) Alta influencia y baja dependencia, correspondiente a aquellos aspectos que afectan a otros al tiempo que presentan poca o nula dependencia; 2) Alta influencia y alta dependencia, son aquellos que influyen sobre otros mientras muestran una fuerte dependencia; 3) Baja influencia y baja dependencia, representan los factores con menor grado de impacto en el análisis y; 4) Baja influencia y alta dependencia.

Este análisis permitió establecer el orden de prioridad de los aspectos destacados y, en consecuencia, determinar el orden de las acciones requeridas.

2.3.3.1 Aspectos con alta influencia y baja dependencia (AI-BD)

En este grupo se ubicaron 25 aspectos destacados, los cuales a su vez se pueden catalogar según el grado de dependencia de otros así:

Sin dependencia. Se encontraron siete factores que no dependen en absoluto de los otros: a) poca coordinación institucional, b) cancelación de proyectos como centros ambientales mineros, centros de desarrollo tecnológico y el programa de distritos mineros, c) abundancia de extracciones ilícitas, d) distribución de mercurio no reglamentada, e) arraigo territorial en reservas mineras indígenas y de comunidades negras, f) tradición minera en zonas auríferas que persisten desde la Colonia y g) reconocimiento económico internacional a producción minera bajo condiciones de sostenibilidad ambiental y social.

Muy baja dependencia. Se clasificaron 13 aspectos que dependen de uno o dos factores: a) centros universitarios investigando sobre mejores prácticas mineras, b) interés de organizaciones internacionales en mejorar la calidad de vida de las regiones mineras, c) precios del oro propician el momento para el cambio de técnica, d) incremento en la oferta mundial de mercurio ilegal por cierre de plantas consumidoras en Asia, e) autoridades mineras y ambientales con direcciones especializadas en minería, f) existencia de asociaciones de pequeños mineros, g) yacimientos auríferos superficiales, h) construcción del centro de formación minero ambiental de El Bagre, i) las prácticas más

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

limpias representan menores costos para los mineros, j) falta de capacitación y motivación a los mineros, k) presión de cambio ejercida por la adhesión al convenio de Minamata, l) la molienda debidamente realizada significa mayor recuperación de oro y m) programas de formación minera del servicio nacional de aprendizaje –SENA

Baja dependencia. Cinco factores muestran dependencia de tres o cuatro aspectos: a) tráfico de mercurio fortalece las explotaciones ilegales y viceversa, b) falta de información sobre clientes de importadores, c) precarias relaciones entre las autoridades y los mineros, d) experiencias exitosas en reducción de mercurio y e) baja asistencia técnica.

2.3.3.2 Aspectos con alta influencia y alta dependencia (AI-AD)

Estos factores son de gran importancia para el análisis pues cualquier modificación en ellos causará cambios en el sistema y permitirá medir el comportamiento de los aspectos que los influyen. Se encontraron 29 aspectos subdivididos en tres grupos:

Alta dependencia. Se consideraron así aquellos controlados por menos de tres aspectos del tipo AI-BD: a) creencias fuertemente arraigadas en los mineros, b) difusión de informes con impacto mediático y c) técnicas extractivas alternativas

Muy alta dependencia. Corresponde a aquellos que dependen de más de tres y menos de cinco aspectos AI-BD: a) ausencia de política minero ambiental, b) difusión de retos pero no de logros, c) autoridades policiales no capacitadas en contrabando de mercurio, d) sólo con mercurio es posible obtener oro, e) amalgamación por generaciones sin problemas, f) incremento en cantidad de mercurio cuando la recuperación es baja, g) existencia de normatividad clara, h) uso de mercurio durante la molienda, i) negativa de los mineros al uso de la retorta de destilación, j) competencia entre entidades públicas, k) los proyectos realizados no son soporte de investigaciones posteriores, l) minería como única fuente de contaminación mercurial, m) difícil desarrollo del Registro de usuarios de mercurio pues están dispersos entre MAPE y extractores ilegales, n) técnicas extractivas ineficientes, o) procesos de beneficio altamente ineficientes, p) exceso de uso de mercurio y q) desconocimiento del impacto real del mercurio utilizado en la minería.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 47. Matriz básica de diagnóstico DOFA

| FORTALEZAS | OPORTUNIDADES | DEBILIDADES | AMENAZAS |
|---|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Autoridades mineras y ambientales con direcciones especializada en minería • Normatividad clara para transporte de mercurio (Dec. 1609 de 2002, NTC 3969, NTC 4532) • Normatividad clara para el almacenamiento de mercurio (Decreto 4741 de 2005, libros Naranja y Púrpura) • Registro de importaciones y exportaciones de sustancias peligrosas (Dec. 4741 de 2005) • Registro de usuarios de mercurio (Ley 1658 de 2013) • Arraigo territorial en las zonas de reserva mineras indígenas y de comunidades negras • Tradición minera ancestral en las zonas auríferas (no hay zonas nuevas a aquellas identificadas en la Colonia). • Existencia de asociaciones de pequeños mineros • Experiencias exitosas de cambio de técnica: CAMI Sotomayor y proyecto Suratá en Santander. | <ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento económico internacional a producción minera bajo condiciones de sostenibilidad ambiental y social • Presión de cambio ejercida por la adhesión al Convenio de Minamata • Centros universitarios desarrollando investigaciones relacionadas con mejores prácticas mineras. • Interés de organizaciones internacionales en mejorar la calidad de vida en las regiones mineras • Precios del oro propician el momento para el cambio de técnica • La reducción de mercurio mejorará la percepción de la sociedad colombiana sobre la MAPE | <ul style="list-style-type: none"> • Poca coordinación interinstitucional • Ausencia de política minero ambiental • Autoridades policiales no capacitadas en contrabando de mercurio. • Distribución de mercurio no reglamentada • Alta reactividad de las autoridades ante nuevos reglamentaciones en condiciones de información escasa • Dificil desarrollo del Registro de usuarios de mercurio pues están dispersos entre MAPE y extractores ilegales • Falta de capacitación y motivación a los mineros • Débil transmisión de información oficial a través de asociaciones mineras y líderes naturales. • Ausencia de relación entre las autoridades mineras y ambientales y las asociaciones mineras • Abundancia de extractores ilegales | <ul style="list-style-type: none"> • Las autoridades y los medios de comunicación confunden MAPE y extractores ilegales • La persecución a los extractores ilegales afecta a la MAPE • Distribución de mercurio no regulada • Se culpa a la minería de toda la contaminación mercurial • Desconocimiento del impacto real del mercurio utilizado en la minería • Despliegue mediático solo a irregularidades ignorando los logros • La MAPE es un subsector económico no reconocido • Subvaloración del aporte de la MAPE a la comunidad circundante. • Incremento en la oferta mundial de mercurio ilegal por cierre de plantas consumidoras en Asia. |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 47. (Continuación)

| FORTALEZAS | OPORTUNIDADES | DEBILIDADES | AMENAZAS |
|---|---------------|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Oro Verde. Ejemplo colombiano de comercialización de oro libre de mercurio y producido en ambientes comunitarios • Programas de formación minera del Servicio nacional de aprendizaje -SENA • Construcción del centro de formación minero ambiental de El Bagre. • La molienda debidamente realizada significa mayor recuperación de oro • Yacimientos auríferos superficiales • Las prácticas más limpias representan menores costos para los mineros | | <ul style="list-style-type: none"> • Cancelación de proyectos como los centros ambientales mineros, los centros de desarrollo tecnológico y el programa de distritos mineros. • Creencias fuertemente arraigadas en los mineros • Procesos de beneficio altamente ineficientes • Uso del mercurio durante el proceso de molienda • Cianuración de las colas de amalgamación • Desinterés por utilizar los elementos de protección • Quema de amalgamas en centros poblados • Negativa de los mineros al uso de la retorta • Descarga de colas de amalgamación en fuentes hídricas • Ineficiencia en la comercialización del oro motiva el interés por obtener el oro de manera rápida • La MAPE no conoce o no comprende la normatividad | <ul style="list-style-type: none"> • Falta de conocimiento de los yacimientos auríferos para diferenciarlos y proponer metodologías de recuperación sin mercurio. • Tráfico ilegal de mercurio fortalece las extracciones ilegales y viceversa • Compradores de oro distribuyen el mercurio dificultando identificar el origen del metal |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Gran dependencia. Son nueve aspectos controlados por más de cinco aspectos destacados pertenecientes al grupo AI-BD: a) falta de difusión y continuidad en proyectos, b) quema de amalgama en centros poblados, c) falta de interés en investigar otras fuentes de contaminación, d) alta reactividad de las autoridades ante nuevas reglamentaciones en condiciones de información escasa, e) la persecución a los extractores ilegales afecta a la MAPE, f) informes basados en percepción más que en investigación, g) débil transmisión de información oficial a través de asociaciones mineras y líderes naturales h) percepción: todo vertimiento de mercurio genera contaminación y i) exceso de suposiciones en análisis de mercurio.

2.3.3.3 Aspectos con baja influencia y alta dependencia (BI-AD)

Trece aspectos se clasificaron en este rango así:

Alta dependencia. Son dos factores que están controlados por menos de cinco aspectos destacados de los tipos AI-BD y AI-AD: a) ineficiencia en la comercialización del oro motiva el interés por obtener el oro de manera rápida y b) la reducción de mercurio mejorará la percepción de la sociedad sobre la MAPE.

Muy alta dependencia. Ocho factores están dominados por más de cinco aspectos y menos de 10: a) ineficiencia en la comercialización del oro motiva el interés por rápida obtención del oro, b) reducción de mercurio mejorará la percepción sobre la MAPE, c) desinterés por utilizar los elementos de protección, e) guías minero ambientales, f) vertimiento de colas a corrientes hídricas, g) cianuración de colas amalgamadas, h) la MAPE no conoce o no comprende la normatividad, i) almacenamiento y transporte inadecuados, j) poco rigor en conceptos (vertimiento, contaminación e intoxicación), k) vertimiento de mercurio en canalones, l) la MAPE es un subsector económico no reconocido, m) subvaloración del aporte de la MAPE a la comunidad circundante y n) autoridades y medios de comunicación confunden MAPE con extractores ilegales

Gran dependencia. Sólo tres muestran dependencia de más de 10 aspectos relevantes: a) la MAPE es un subsector económico no reconocido, b) subvaloración del aporte de la MAPE a la comunidad circundante y c) las autoridades y los medios de comunicación confunden MAPE con extractores ilegales.

2.3.3.4 Aspectos con baja influencia y baja dependencia (BI-BD)

Dos aspectos responden a esta clasificación: a) Falta de conocimiento de los yacimientos auríferos y b) compradores de oro distribuyen el mercurio dificultando identificar su origen.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 48. Aspectos destacados

| GRUPO | ASPECTOS DESTACADOS | DOFA |
|---------|---|-------------|
| AI - BD | Arraigo territorial en las reservas mineras indígenas y de comunidades negras | Fortaleza |
| AI - BD | Tradición minera aurífera ancestral persisten aquellas identificadas en la Colonia. | Fortaleza |
| AI - BD | Autoridades mineras y ambientales con direcciones especializadas en minería | Fortaleza |
| AI - BD | Existencia de asociaciones de pequeños mineros | Fortaleza |
| AI - BD | Yacimientos auríferos superficiales | Fortaleza |
| AI - BD | Construcción del centro de formación minero ambiental de El Bagre. | Fortaleza |
| AI - BD | Las prácticas más limpias representan menores costos para los mineros | Fortaleza |
| AI - BD | Programas de formación minera del Servicio nacional de aprendizaje -SENA | Fortaleza |
| AI - AD | Existencia de normatividad clara | Fortaleza |
| AI - BD | Experiencias exitosas en reducción de mercurio en Colombia | Fortaleza |
| AI - BD | La molienda debidamente realizada significa mayor recuperación de oro | Oportunidad |
| AI - BD | Reconocimiento económico a producción minera sostenibilidad ambiental y social | Oportunidad |
| AI - BD | Centros universitarios investigando sobre mejores prácticas mineras. | Oportunidad |
| AI - BD | Interés de organizaciones internacionales en mejorar la calidad de vida de las | Oportunidad |
| AI - BD | Precios del oro propician el momento para el cambio de técnica | Oportunidad |
| AI - BD | Presión de cambio ejercida por la adhesión al Convenio de Minamata | Oportunidad |
| BI - AD | La reducción de mercurio mejorará la percepción de la sociedad sobre la MAPE | Oportunidad |
| AI - AD | Técnicas extractivas alternativas | Oportunidad |
| BI - AD | Guías minero ambientales | Oportunidad |
| AI - AD | Uso de mercurio durante la molienda (atomización) | Debilidad |
| AI - AD | Negativa de los mineros al uso de la retorta de destilación | Debilidad |
| AI - AD | Los proyectos realizados no son soporte de investigaciones posteriores | Debilidad |
| AI - AD | Técnicas extractivas ineficientes | Debilidad |
| AI - AD | Exceso de uso de mercurio | Debilidad |
| AI - AD | Falta de difusión y continuidad en proyectos realizados | Debilidad |
| AI - AD | Quema de amalgama en centros poblados | Debilidad |
| AI - AD | Informes basados en percepción más que en investigación | Debilidad |
| AI - BD | Poca coordinación institucional | Debilidad |
| AI - BD | Cancelación de proyectos como CAM, CDT y los distritos mineros | Debilidad |
| AI - BD | Falta de información sobre clientes de importadores | Debilidad |
| AI - BD | Baja asistencia técnica | Debilidad |
| BI - AD | Vertimiento de colas a corrientes hídricas | Debilidad |
| BI - AD | Cianuración de colas amalgamadas | Debilidad |
| BI - AD | Vertimiento de mercurio en canalones | Debilidad |
| AI - AD | Creencias fuertemente arraigadas en los mineros | Debilidad |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 48. (Continuación)

| GRUPO | ASPECTOS DESTACADOS | DOFA |
|---------|---|-----------|
| AI - AD | Ausencia de política minero ambiental | Debilidad |
| AI - AD | Autoridades policiales no capacitadas en contrabando de mercurio. | Debilidad |
| AI - AD | Difícil desarrollo del Registro de usuarios de mercurio | Debilidad |
| AI - AD | Procesos de beneficio altamente ineficientes | Debilidad |
| AI - AD | Alta reactividad de las autoridades ante nuevas reglamentaciones | Debilidad |
| AI - AD | Débil transmisión de información oficial a través de asociaciones mineras y líderes | Debilidad |
| AI - BD | Distribución de mercurio no reglamentada | Debilidad |
| AI - BD | Falta de capacitación y motivación a los mineros | Debilidad |
| BI - AD | Ineficiencia en comercialización del oro motiva el interés por obtener oro rápido | Debilidad |
| BI - AD | Desinterés por utilizar los elementos de protección | Debilidad |
| BI - AD | La MAPE no conoce o no comprende la normatividad | Debilidad |
| AI - AD | Sólo con mercurio es posible obtener oro | Debilidad |
| AI - AD | Amalgamación por generaciones sin problemas | Debilidad |
| AI - AD | Incremento en cantidad de mercurio cuando la recuperación es baja | Debilidad |
| AI - AD | Desconocimiento del impacto real del mercurio utilizado en la minería | Amenaza |
| AI - AD | La persecución a los extractores ilegales afecta a la MAPE | Amenaza |
| AI - BD | Incremento en la oferta mundial de mercurio ilegal por cierre de plantas | Amenaza |
| BI - AD | La MAPE es un subsector económico no reconocido | Amenaza |
| BI - AD | Subvaloración del aporte de la MAPE a la comunidad circundante. | Amenaza |
| BI - AD | Las autoridades y los medios de comunicación confunden MAPE con extractores | Amenaza |
| BI - BD | Compradores de oro distribuyen el mercurio dificultando identificar su origen | Amenaza |
| AI - AD | Difusión de informes con impacto mediático | Amenaza |
| AI - AD | Difusión de retos pero no de logros | Amenaza |
| AI - AD | Competencia entre entidades públicas | Amenaza |
| AI - AD | Minería como única fuente de contaminación mercurial | Amenaza |
| AI - AD | Falta de interés en investigar otras fuentes de contaminación | Amenaza |
| AI - AD | Percepción: todo vertimiento de mercurio genera contaminación | Amenaza |
| AI - AD | Exceso de suposiciones en el análisis sobre mercurio | Amenaza |
| AI - BD | Abundancia de extracciones ilegales | Amenaza |
| AI - BD | Tráfico de mercurio fortalece las extracciones ilegales y viceversa | Amenaza |
| AI - BD | Precarias relaciones entre las autoridades y los mineros | Amenaza |
| BI - AD | Almacenamiento y transporte inadecuado | Amenaza |
| BI - AD | Poco rigor en los conceptos (vertimiento, contaminación e intoxicación) | Amenaza |
| BI - BD | Falta de conocimiento de los yacimientos auríferos | Amenaza |

2.3.4 Matriz de estrategias

Con base en la información suministrada por la matriz de diagnóstico DOFA y el análisis relacional se analizaron las posibles estrategias para potencial las fortalezas y las oportunidades, minimizar las debilidades y preparar las respuestas ante las amenazas. Con el objeto de buscar acciones y estrategias para controlar el comercio del mercurio utilizado en actividades extractivas se plantearon los siguientes grupos.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

2.3.4.1 Fortalezas – Oportunidades (FO)

A este grupo de estrategias pertenecen aquellas que buscan aprovechar tanto las fortalezas como las oportunidades identificadas anteriormente.

Estrategias comunitarias. Se encuentran tres ramas:

1. Motivar el cambio hacia tecnologías más limpias que no utilicen mercurio aprovechando la existencia de las asociaciones mineras, el arraigo territorial de las comunidades indígenas y negras.
2. Promover el reconocimiento económico ofrecido por algunos compradores internacionales a aquellas comunidades que extraen el oro en condiciones de sostenibilidad ambiental y social
3. Generar programas de mejoramiento de la calidad de vida en las regiones mineras con apoyo de organizaciones internacionales.

Estrategia normativa. Elaborar nuevas guías minero ambientales que incluyan manuales de tecnologías limpias de beneficio aurífero en ausencia de mercurio.

Estrategia de capacitación. Divulgar los beneficios económicos y ambientales para el minero con la eliminación del mercurio de sus procesos. Las experiencias de Corponariño en el CAM de Sotomayor y de la CDMB en la cuenca del río Suratá permitirán mostrar como un hecho cierto los mencionados beneficios.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 49. Matriz Fortalezas - Debilidades

| COMUNITARIO | | |
|---------------------|---|-------------|
| AI - BD | Arraigo territorial en las reservas mineras indígenas y de comunidades negras | Fortaleza |
| AI - BD | Tradición minera aurífera ancestral persisten aquellas identificadas en la Colonia. | Fortaleza |
| AI - BD | Existencia de asociaciones de pequeños mineros | Fortaleza |
| AI - BD | Reconocimiento económico a producción minera sostenibilidad ambiental y social | Oportunidad |
| AI - BD | Interés de organizaciones internacionales en mejorar la calidad de vida de las regiones | Oportunidad |
| NORMATIVIDAD | | |
| AI - AD | Existencia de normatividad clara | Fortaleza |
| AI - BD | Autoridades mineras y ambientales con direcciones especializadas en minería | Fortaleza |
| AI - BD | Presión de cambio ejercida por la adhesión al Convenio de Minamata | Oportunidad |
| BI - AD | Guías minero ambientales | Oportunidad |
| CAPACITACIÓN | | |
| AI - BD | Construcción del centro de formación minero ambiental de El Bagre. | Fortaleza |
| AI - BD | Las prácticas más limpias representan menores costos para los mineros | Fortaleza |
| AI - BD | Programas de formación minera del Servicio nacional de aprendizaje -SENA | Fortaleza |
| AI - BD | Experiencias exitosas en reducción de mercurio en Colombia | Fortaleza |
| AI - BD | La molienda debidamente realizada significa mayor recuperación de oro | Oportunidad |
| AI - BD | Centros universitarios investigando sobre mejores prácticas mineras. | Oportunidad |
| BI - AD | La reducción de mercurio mejorará la percepción de la sociedad sobre la MAPE | Oportunidad |
| AI - AD | Técnicas extractivas alternativas | Oportunidad |
| OTROS | | |
| AI - BD | Yacimientos auríferos superficiales | Fortaleza |
| AI - BD | Precios del oro propician el momento para el cambio de técnica | Oportunidad |

2.3.4.2 Fortalezas – Amenazas (FA)

Este grupo de estrategias pretenden utilizar las fortalezas para prevenir las amenazas.

Estrategias comunitarias. Las estrategias comunitarias mencionadas podrían obstaculizarse con las precarias relaciones entre autoridades y la MAPE. Para prevenir posibles obstáculos se propone como estrategia Construir relaciones entre las asociaciones mineras y las autoridades mediante la identificación de sus líderes y el conocimiento de las comunidades que representan.

Debe tenerse presente que los distribuidores de mercurio ilegal cuentan con esta información y la utilizarán con mayor intensidad en cuanto entre en vigencia la prohibición.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 50. Matriz Fortalezas - Amenazas

| COMUNITARIO | | |
|---------------------|--|-----------|
| AI - BD | Arraigo territorial en las reservas mineras indígenas y de comunidades negras | Fortaleza |
| AI - BD | Tradición minera aurífera ancestral persisten aquellas identificadas en la Colonia. | Fortaleza |
| AI - BD | Existencia de asociaciones de pequeños mineros | Fortaleza |
| AI - BD | Precarias relaciones entre las autoridades y los mineros | Amenaza |
| AUTORIDADES | | |
| AI - BD | Existencia de normatividad clara | Fortaleza |
| AI - BD | Autoridades mineras y ambientales con direcciones especializadas en minería | Fortaleza |
| AI - AD | Desconocimiento del impacto real del mercurio utilizado en la minería | Amenaza |
| AI - AD | La persecución a los extractores ilegales afecta a la MAPE | Amenaza |
| AI - BD | Incremento en la oferta mundial de mercurio ilegal por cierre de plantas consumidoras en A | Amenaza |
| BI - AD | Las autoridades y los medios de comunicación confunden MAPE con extractores ilegales | Amenaza |
| BI - BD | Compradores de oro distribuyen el mercurio dificultando identificar su origen | Amenaza |
| AI - AD | Difusión de informes con impacto mediático | Amenaza |
| AI - AD | Difusión de retos pero no de logros | Amenaza |
| AI - AD | Competencia entre entidades públicas | Amenaza |
| AI - AD | Minería como única fuente de contaminación mercurial | Amenaza |
| AI - AD | Falta de interés en investigar otras fuentes de contaminación | Amenaza |
| AI - AD | Percepción: todo vertimiento de mercurio genera contaminación | Amenaza |
| AI - AD | Exceso de suposiciones en el análisis sobre mercurio | Amenaza |
| AI - BD | Abundancia de extracciones ilegales | Amenaza |
| BI - AD | Poco rigor en los conceptos (vertimiento, contaminación e intoxicación) | Amenaza |
| AI - BD | Tráfico de mercurio fortalece las extracciones ilegales y viceversa | Amenaza |
| BI - AD | Almacenamiento y transporte inadecuado | Amenaza |
| CAPACITACIÓN | | |
| AI - BD | Construcción del centro de formación minero ambiental de El Bagre. | Fortaleza |
| AI - BD | Las prácticas más limpias representan menores costos para los mineros | Fortaleza |
| AI - BD | Programas de formación minera del Servicio nacional de aprendizaje -SENA | Fortaleza |
| AI - BD | Experiencias exitosas en reducción de mercurio en Colombia | Fortaleza |
| BI - AD | La MAPE es un subsector económico no reconocido | Amenaza |
| BI - AD | Subvaloración del aporte de la MAPE a la comunidad circundante. | Amenaza |
| OTROS | | |
| AI - BD | Yacimientos auríferos superficiales | Fortaleza |
| BI - BD | Falta de conocimiento de los yacimientos auríferos | Amenaza |

Estrategias de las autoridades. El éxito de cualquier proyecto sobre la reducción y posterior eliminación de mercurio en el beneficio minero requiere un trabajo coordinado, como lo indica el Artículo 209⁴⁷ de la Constitución Política, entre la Dirección de formalización minera en el Ministerio de Minas y Energía y la Dirección de desarrollo territorial del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

1. Conocer técnica y científicamente la realidad de las fuentes de emisiones mercuriales en Colombia.

⁴⁷ Artículo 209 [...] Las autoridades administrativas deben coordinar sus actuaciones para el adecuado cumplimiento de los fines del Estado [...]

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2. Desarrollar mecanismos de divulgación que exalten los logros alcanzados por los mineros que han avanzado en la producción más limpia para motivar a los otros a comprometerse en el proceso.
3. Blindar el proceso de erradicación programada de mercurio en la minería de los informes mediáticos carentes de rigor técnico en el uso de conceptos como vertimiento, contaminación e intoxicación crónica, entre otros.
4. Corroborar la veracidad y la objetividad de la información plasmada en cada reporte que se utilizará para la elaboración de documentos públicos.
5. Reglamentar la distribución de mercurio y exigir a las empresas importadoras que publiquen el nombre de sus clientes. Pues se espera un incremento en la oferta mundial de mercurio ilegal dado que los países consumidores del metal que han adherido al Convenio de Minamata comenzarán la prohibición entre 2015 y 2020.
6. Dignificar la minería eliminando las confusiones entre MAPE y explotaciones ilegales y aboliendo expresiones extravagantes como ‘minería ilegal’ o ‘minería criminal’ para referirse a las explotaciones ilegales, tipificadas por el Artículo 244 del Código Penal y el Artículo 159 del Código de Minas. Estos galimatías se han reservado a la industria minera pues en ningún caso se utiliza ‘agricultura ilegal’ por cultivos ilícitos, ‘exportaciones criminales’ por contrabando, ‘inversiones criminales’ por lavado de activos o ‘banca ilegal’ por captación ilegal de dinero. Estas desviaciones gramaticales han exacerbado un ambiente antiminero que ha afectado a la MAPE más que a cualquier otro subsector.

Estrategias de capacitación. Esta estrategia, descrita en el numeral anterior, servirá para enfrentar las amenazas por desconocimiento de la MAPE, en particular su falta de reconocimiento como subsector económico que aporta a las comunidades que la albergan

2.3.4.3 Oportunidades – Debilidades (OD)

En este grupo se pretende construir a partir de las debilidades identificadas. Se observan dos grupos que dan soporte a estrategias ya mencionadas anteriormente.

Estrategias de las autoridades. Se encuentran las siguientes:

1. Elaborar una política minero ambiental basada en la coordinación institucional.
2. Construir la base de datos de investigaciones, proyectos y programas relacionados con la minería, particularmente sobre las técnicas de beneficio.
3. Elaborar protocolos para la incautación de mercurio en la lucha contra las explotaciones ilegales y su disposición final que sirvan a las autoridades policiales, en particular la Unidad Nacional Contra la ‘*Minería Ilegal*’ y el Terrorismo.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 51. Matriz Fortalezas - Amenazas

| COMUNITARIO | | |
|---------------------|---|-------------|
| AI - BD | Reconocimiento económico a producción minera sostenibilidad ambiental y social | Oportunidad |
| AI - BD | Interés de organizaciones internacionales en mejorar la calidad de vida de las regiones mineras | Oportunidad |
| AUTORIDADES | | |
| AI - BD | Presión de cambio ejercida por la adhesión al Convenio de Minamata | Oportunidad |
| BI - AD | Guías minero ambientales | Oportunidad |
| AI - AD | Ausencia de política minero ambiental | Debilidad |
| AI - AD | Autoridades policiales no capacitadas en contrabando de mercurio. | Debilidad |
| AI - AD | Difícil desarrollo del Registro de usuarios de mercurio | Debilidad |
| AI - AD | Alta reactividad de las autoridades ante nuevas reglamentaciones | Debilidad |
| AI - BD | Distribución de mercurio no reglamentada | Debilidad |
| AI - AD | Falta de difusión y continuidad en proyectos realizados | Debilidad |
| AI - BD | Poca coordinación institucional | Debilidad |
| AI - AD | Los proyectos realizados no son soporte de investigaciones posteriores | Debilidad |
| AI - AD | Informes basados en percepción más que en investigación | Debilidad |
| AI - BD | Falta de información sobre clientes de importadores | Debilidad |
| CAPACITACIÓN | | |
| AI - BD | La molienda debidamente realizada significa mayor recuperación de oro | Oportunidad |
| AI - BD | Centros universitarios investigando sobre mejores prácticas mineras. | Oportunidad |
| BI - AD | La reducción de mercurio mejorará la percepción de la sociedad sobre la MAPE | Oportunidad |
| AI - AD | Técnicas extractivas alternativas | Oportunidad |
| AI - BD | Cancelación de proyectos como CAM, CDT y los distritos mineros | Debilidad |
| AI - AD | Uso de mercurio durante la molienda (atomización) | Debilidad |
| AI - AD | Negativa de los mineros al uso de la retorta de destilación | Debilidad |
| AI - AD | Técnicas extractivas ineficientes | Debilidad |
| AI - AD | Exceso de uso de mercurio | Debilidad |
| AI - AD | Quema de amalgama en centros poblados | Debilidad |
| AI - BD | Baja asistencia técnica | Debilidad |
| BI - AD | Vertimiento de colas a corrientes hídricas | Debilidad |
| BI - AD | Cianuración de colas amalgamadas | Debilidad |
| BI - AD | Vertimiento de mercurio en canalones | Debilidad |
| AI - AD | Creencias fuertemente arraigadas en los mineros | Debilidad |
| AI - AD | Procesos de beneficio altamente ineficientes | Debilidad |
| AI - AD | Débil transmisión de información oficial a través de asociaciones mineras y líderes natural | Debilidad |
| AI - BD | Falta de capacitación y motivación a los mineros | Debilidad |
| BI - AD | Desinterés por utilizar los elementos de protección | Debilidad |
| BI - AD | La MAPE no conoce o no comprende la normatividad | Debilidad |
| AI - AD | Sólo con mercurio es posible obtener oro | Debilidad |
| AI - AD | Amalgamación por generaciones sin problemas | Debilidad |
| AI - AD | Incremento en cantidad de mercurio cuando la recuperación es baja | Debilidad |
| BI - AD | Ineficiencia en comercialización del oro motiva el interés por obtener oro rápido | Debilidad |
| OTROS | | |
| AI - BD | Precios del oro propician el momento para el cambio de técnica | Oportunidad |
| | Falta de conocimiento de los yacimientos auríferos | Amenaza |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Estrategias de capacitación. El 50 % de las debilidades identificadas corresponden a prácticas incorrectas en el uso de mercurio en la MAPE, por lo que esta estrategia resulta de gran importancia.

1. Reactivar los centros ambientales mineros (CAM) como unidades de capacitación ubicadas en las regiones mineras y destinadas a divulgar las técnicas de beneficio sin mercurio. Las experiencias del CAM de Sotomayor y la construcción de CAM de El Bagre servirán de soporte a esta estrategia.
2. Reactivar el programa de distritos mineros pues como indica UPME – ATG (2011⁴⁸) “de los hallazgos relevantes en los talleres regionales es que los distritos mineros han fortalecido la asociatividad y comunicación comunidad-mineros-institucionalidad regional”.
3. Fortalecer la transferencia de información normativa hacia las comunidades mineras a través de las asociaciones mineras y los líderes naturales.

2.3.4.4 Debilidades – Amenazas (DA)

Este grupo representa las condiciones de alto riesgo para el cumplimiento del objetivo por lo que las estrategias, consideradas de mayor prioridad, buscan minimizar los peligros en aquellos puntos donde convergen las debilidades y las amenazas.

Estrategias de relaciones.

1. Fortalecer las relaciones entre las autoridades y los mineros a través de los centros de capacitación y el programa de distritos mineros.
2. Reconocer y divulgar los aportes de la MAPE como subsector económico importante en las comunidades que la albergan.

Estrategias de las autoridades.

1. Construir criterios unificados de las autoridades en torno a la minería para eliminar la percepción de rivalidades entre las entidades públicas.
2. Dignificar la actividad de la MAPE creando sentido de pertenencia y responsabilidad como subsector económico.

Tabla 52. Matriz Debilidades - Amenazas

| MALAS PRÁCTICAS | | |
|-----------------|---|-----------|
| AI - AD | Uso de mercurio durante la molienda (atomización) | Debilidad |
| BI - AD | Desinterés por utilizar los elementos de protección | Debilidad |
| AI - AD | Negativa de los mineros al uso de la retorta de destilación | Debilidad |
| AI - AD | Técnicas extractivas ineficientes | Debilidad |
| AI - AD | Exceso de uso de mercurio | Debilidad |
| AI - AD | Quema de amalgama en centros poblados | Debilidad |

⁴⁸ UPME - ATG LTDA. 2011. Brindar apoyo a la UPME en el análisis de los elementos de política y planes mineros vigentes. Informe final. Bogotá. Pp. 29

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 52. (Continuación)

| MALAS PRÁCTICAS | | |
|--------------------------------|---|-----------|
| BI - AD | Vertimiento de colas a corrientes hídricas | Debilidad |
| BI - AD | Cianuración de colas amalgamadas | Debilidad |
| BI - AD | Vertimiento de mercurio en canalones | Debilidad |
| AI - AD | Creencias fuertemente arraigadas en los mineros | Debilidad |
| AI - AD | Procesos de beneficio altamente ineficientes | Debilidad |
| AI - BD | Falta de capacitación y motivación a los mineros | Debilidad |
| BI - AD | Ineficiencia en comercialización del oro motiva el interés por obtener oro rápido | Debilidad |
| AI - AD | Incremento en cantidad de mercurio cuando la recuperación es baja | Debilidad |
| AI - AD | Amalgamación por generaciones sin problemas | Debilidad |
| AI - BD | Baja asistencia técnica | Debilidad |
| AI - AD | Sólo con mercurio es posible obtener oro | Debilidad |
| BI - AD | La MAPE no conoce o no comprende la normatividad | Debilidad |
| BI - AD | La MAPE es un subsector económico no reconocido | Amenaza |
| BI - AD | Subvaloración del aporte de la MAPE a la comunidad circundante. | Amenaza |
| AI - BD | Precarias relaciones entre las autoridades y los mineros | Amenaza |
| AUTORIDADES | | |
| AI - BD | Poca coordinación institucional | Debilidad |
| AI - AD | Los proyectos realizados no son soporte de investigaciones posteriores | Debilidad |
| AI - BD | Cancelación de proyectos como CAM, CDT y los distritos mineros | Debilidad |
| AI - AD | Ausencia de política minero ambiental | Debilidad |
| AI - AD | Alta reactividad de las autoridades ante nuevas reglamentaciones | Debilidad |
| AI - AD | Débil transmisión de información oficial a través de asociaciones mineras y líderes natural | Debilidad |
| AI - AD | Desconocimiento del impacto real del mercurio utilizado en la minería | Amenaza |
| AI - AD | La persecución a los extractores ilegales afecta a la MAPE | Amenaza |
| BI - AD | Las autoridades y los medios de comunicación confunden MAPE con extractores ilegales | Amenaza |
| AI - AD | Competencia entre entidades públicas | Amenaza |
| SOBRE CONTRABANDO | | |
| AI - AD | Autoridades policiales no capacitadas en contrabando de mercurio. | Debilidad |
| AI - BD | Falta de información sobre clientes de importadores | Debilidad |
| AI - AD | Difícil desarrollo del Registro de usuarios de mercurio | Debilidad |
| AI - BD | Distribución de mercurio no reglamentada | Debilidad |
| AI - BD | Incremento en la oferta mundial de mercurio ilegal por cierre de plantas consumidoras en A | Amenaza |
| BI - BD | Compradores de oro distribuyen el mercurio dificultando identificar su origen | Amenaza |
| AI - BD | Abundancia de extracciones ilegales | Amenaza |
| AI - BD | Tráfico de mercurio fortalece las extracciones ilegales y viceversa | Amenaza |
| BI - AD | Almacenamiento y transporte inadecuado | Amenaza |
| CONOCIMIENTO CIENTÍFICO | | |
| AI - AD | Informes basados en percepción más que en investigación | Debilidad |
| AI - AD | Falta de difusión y continuidad en proyectos realizados | Debilidad |
| AI - AD | Difusión de informes con impacto mediático | Amenaza |
| AI - AD | Difusión de retos pero no de logros | Amenaza |
| AI - AD | Minería como única fuente de contaminación mercurial | Amenaza |
| AI - AD | Falta de interés en investigar otras fuentes de contaminación | Amenaza |
| AI - AD | Percepción: todo vertimiento de mercurio genera contaminación | Amenaza |
| AI - AD | Exceso de suposiciones en el análisis sobre mercurio | Amenaza |
| BI - AD | Poco rigor en los conceptos (vertimiento, contaminación e intoxicación) | Amenaza |
| OTROS | | |
| BI - BD | Falta de conocimiento de los yacimientos auríferos | Amenaza |

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Estrategias sobre contrabando. La abundancia de explotaciones ilegales que alientan el contrabando de mercurio que a su vez comienza a incrementarse por las prohibiciones en otros países, requiere especial atención en la lucha hacia la erradicación del mercurio. Sobresalen dos estrategias mencionadas anteriormente.

1. Reglamentar la distribución de mercurio y exigir a las empresas importadoras que publiquen el nombre de sus clientes.
2. Elaborar protocolos de seguridad para la incautación de mercurio en la lucha contra las explotaciones ilegales y su disposición final que sirvan a las autoridades policiales, particularmente a la Unidad Nacional Contra la '*Minería Ilegal*' y el Terrorismo.

Estrategias sobre conocimiento científico. Resaltan cuatro estrategias ya descritas:

1. Conocer técnica y científicamente la realidad de las fuentes de emisiones mercuriales en Colombia.
2. Desarrollar mecanismos de divulgación que exalten los logros alcanzados por los mineros que han avanzado en la producción más limpia para motivar a los otros a comprometerse en el proceso.
3. Blindar el proceso de erradicación programada de mercurio en la minería de los informes mediáticos carentes de rigor técnico en el uso de conceptos como vertimiento, contaminación e intoxicación crónica, entre otros.
4. Corroborar la veracidad y la objetividad de la información plasmada en cada reporte que se utilizará para la elaboración de documentos públicos.

2.3.5 Compilación de Estrategias

De acuerdo con el análisis DOFA realizado se encontraron 25 posibles estrategias para alcanzar el control a la comercialización del mercurio. Estas estrategias están fundamentadas en combatir el mercurio en su consumo final más que a lo largo de su cadena de comercialización sin que se haya dejado de lado este compromiso.

2.3.5.1 Estrategias regionales

1. Reactivar el programa de distritos mineros (OD).
2. Motivar el cambio hacia tecnologías limpias aprovechando las asociaciones mineras y el arraigo territorial de las comunidades indígenas y negras (FO).
3. Promover el reconocimiento económico ofrecido por algunos compradores internacionales a aquellas comunidades que extraen el oro en condiciones de sostenibilidad ambiental y social (FO)
4. Generar programas de mejoramiento de la calidad de vida en las regiones mineras con apoyo de organizaciones internacionales (FO).
5. Construir relaciones entre asociaciones mineras y autoridades mediante la identificación de sus líderes y el conocimiento de las comunidades que representan (FA, DA).
6. Reconocer y divulgar los aportes de la MAPE como subsector económico importante en las comunidades que la albergan (DA).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2.3.5.2 Estrategia de capacitación.

1. Divulgar los beneficios económicos y ambientales para el minero con la eliminación del mercurio de sus procesos (FO).
2. Reactivar de los centros ambientales mineros (CAM) como unidades de capacitación ubicadas dentro de las regiones mineras y destinadas a divulgar las técnicas de beneficio sin mercurio (OD).
3. Fortalecer la transferencia de información normativa desde las autoridades hacia las comunidades mineras a través de las asociaciones mineras y los líderes naturales (OD).

2.3.5.3 Estrategias de las autoridades.

1. Construir criterios unificados de las autoridades en torno a la minería para eliminar la percepción de rivalidades entre las entidades públicas (DA).
2. Elaborar una política minero ambiental bajo coordinación institucional (OD).
3. Elaborar nuevas guías minero ambientales que incluyan manuales de tecnologías limpias de beneficio aurífero en ausencia de mercurio (FO, FA).
4. Promover y dignificar la actividad minera eliminando las confusiones entre MAPE y explotaciones ilegales, y aboliendo expresiones extravagantes como ‘minería ilegal’ o ‘minería criminal’ para referirse a las explotaciones ilegales (FA).
5. Dignificar la actividad de la MAPE creando sentido de pertenencia y responsabilidad como subsector económico (DA).

2.3.5.4 Estrategias sobre contrabando.

1. Reglamentar la distribución de mercurio y exigir a las empresas importadoras que publiquen el nombre de sus clientes (FA, DA).
2. Elaborar protocolos de seguridad para la incautación de mercurio en la lucha contra las explotaciones ilegales y su disposición final (DA).

2.3.5.5 Estrategias sobre conocimiento científico.

1. Conocer técnica y científicamente la realidad de las fuentes de emisiones mercuriales en Colombia (FA, DA).
2. Desarrollar mecanismos de divulgación que exalten los logros alcanzados por los mineros que han avanzado en la producción más limpia para motivar a los otros a comprometerse en el proceso (FA, DA).
3. Blindar el proceso de erradicación programada de mercurio en la minería de los informes mediáticos carentes de rigor técnico en el uso de conceptos como vertimiento, contaminación e intoxicación crónica, entre otros (FA, DA).
4. Corroborar la veracidad y la objetividad de la información plasmada en cada reporte que se utilizará para la elaboración de documentos públicos (FA, DA).
5. Construir la base de datos de las investigaciones, los proyectos y los programas relacionados con la minería, particularmente sobre las técnicas de beneficio en los diferentes distritos mineros auríferos (OD).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE MORALES, (2013). Economía. 04 de noviembre de 2014, de Sitio oficial de Morales en Bolívar Sitio web: http://www.morales-bolivar.gov.co/informacion_general.shtml#economia

Alcaldía Municipal de Arenal. Información general del municipio. <http://www.arenal-bolivar.gov.co>

Alcaldía Municipal de Barranco de Loba (2012). Plan de Desarrollo “Bienestar para Todos, 2012-2015” del Municipio de Barranco de Loba, Bolívar.

Alcaldía Municipal de Barranco de Loba. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.sanmartindeloba-bolivar.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Buritica. Información general del municipio. http://www.buritica-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Colon Génova. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: <http://www.colongenova-narino.gov.co/index.shtml>

Alcaldía Municipal de Condoto. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.condoto-choco.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de El Bagre. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.elbagre-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Frontino. Información general del municipio. http://www.frontino-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Lloró. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.lloro-choco.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Los Andes Sotomayor (2012). Plan de Desarrollo Municipal, 2012-2015 del Municipio de Los Andes Sotomayor, Nariño.

Alcaldía Municipal de Los Andes Sotomayor. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: http://www.losandessotomayor-narino.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Mallama (2012). Plan de Desarrollo “Bienestar para Todos, 2012-2015” del Municipio de Mallama, Nariño.

Alcaldía Municipal de Mallama. Información general del municipio. Rescatado el 04 noviembre de 2014 de: <http://www.mallama-narino.gov.co/apc-aa-files/37373835326263353030393635303335/plan-de-desarrollo-mallama-2012-2015.pdf>

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Alcaldía Municipal de Manizales. Información general del municipio. <http://www.manizales.gov.co/-2014>

Alcaldía Municipal de Marmatos. Información general del municipio. http://www.marmato-caldas.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Puerto Libertador. Información general del municipio. http://www.puertolibertador-cordoba.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Quinchía. Información general del municipio. <http://www.quinchia-risaralda.gov.co/-2012>

Alcaldía Municipal de Remedios. Información general del municipio. <http://www.remedios-antioquia.gov.co/-2012>

Alcaldía Municipal de San Martín de Loba (2012). Pla de Desarrollo Municipal “Unidos Somos Más 2012- 2015” del Municipio de San Martín de Loba, Bolívar.

Alcaldía Municipal de San Martín de Loba. Información general del municipio. Rescatado el 04 de noviembre de 2014 de: http://www.sanmartindelobabolivar.gov.co/informacion_general.shtml

Alcaldía Municipal de Suarez. Información general del municipio. <http://suarez-cauca.gov.co/-2012>

CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA -CGR. 2014. Función de advertencia: contaminación de fuentes hídricas por utilización de mercurio (en mayor proporción y en otros casos cianuro) en minería ilegal de oro. 17 pág.

CÓRDOBA, J. 2013. Ponencia primer debate. Senado de la República. Proyecto de Ley número 126 de 2013 Mediante el cual se fortalecen las medidas de protección de las aguas subterráneas.

ESCOBAR, A. y MARTÍNEZ, H. 2014. El Sector minero colombiano actual. En: Insumos para el desarrollo del plan nacional de ordenamiento minero. Informe preparado por la Universidad de Los Andes para la UPME. Recuperado de: <http://cider.uniandes.edu.co/@Publicaciones/PublicacionesCoedicion/PlanOrdenamientoMinero.pdf>

GARCÍA, O. y MOLINA, J. 2010. Introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, en el Nordeste Antioqueño y Bajo Cauca Antioqueño, Colombia. En: Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológicos mineros. Ed. E. Berrezueta y M. J. Domínguez. Red Minera XXI. CYTED., Pp. 51-64. Recuperado de: http://www.sedpgym.es/descargas/libros_actas/POTOSI_2011/17_OSEAS_271-280.pdf

GOBERNACIÓN DE BOLÍVAR, (2011). Plan Departamental de Gestión del Riesgo.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

IGAC-SIGOT 2014

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE – ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL -UNIDO. 2012. Perfil Nacional de Sustancias Químicas en Colombia. 2ª. Ed. / López Arias, Andrea; Suárez Medina, Oscar J.; Hoyos Martha C. - Bogotá, D.C. Pp. 105

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA –MME. 2012. Censo minero departamental 2010 – 2011.

PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL. ARENAL, SUR DE BOLÍVAR. 2008-2011

UPME - ATG LTDA. 2011. Brindar apoyo a la UPME en el análisis de los elementos de política y planes mineros vigentes. Informe final. Bogotá. Pp. 29

UPME. 2007. Producción más limpia en la minería del oro en Colombia: mercurio, cianuro y otras sustancias. Bogotá. 64 Pág. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria_limpia.pdf

UPME. 2012. Plan nacional de desarrollo minero al 2014: Sector minero de cara a la sociedad. 100 pág. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Minero/2012/PNDM2014.pdf

VEIGA, M. 2010. Antioquia, Colombia: the world's most pulleted place by mercury: impressions from two field trips. Informe preparado para ONUDI. Pp. 5

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

CAPITULO 9

Propuestas de mejores opciones para el manejo y la gestión integral del suelo y agua contaminados con mercurio en la actividad minera aurífera (según glosario del convenio de Minamata), considerando la reglamentación ambiental existente en materia de residuos peligrosos y buenas prácticas técnicas, ambientales y de seguridad industrial, en las regiones mencionadas y específicamente en los puntos identificados como zonas calientes. Con el fin de prevenir e ir reduciendo las emisiones y/o liberaciones de mercurio a la atmósfera, el agua y la tierra, teniendo en cuenta consideraciones económicas.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la situación actual de las zonas de explotación aurífera existentes en Colombia, en lo referente a la tecnología aplicada para manejo de mercurio, la capacitación de la población trabajadora en este ámbito, el poco conocimiento y manejo adecuado de producción limpia, el débil seguimiento del comportamiento de las matrices ambientales, la informalidad asociada a la mano de obra utilizada y el alto número de población involucrada, entre otros aspectos, permite establecer alternativas de control en lo referente a: capacitación, entrenamiento, formalización, aplicación de aspectos legales asociados a la actividad minera, oportunidades de mejoras de los procesos, oportunidades de mejoras en los programas de vigilancia y control epidemiológico, asociado este último a las deficientes estrategias de aplicación de salud ocupacional y seguridad e higiene laboral, entre otros.

En este documento establecemos propuestas de mejores opciones para el manejo y la gestión integral del suelo y agua contaminados con mercurio en la actividad minera aurífera (según glosario del convenio de Minamata), considerando la reglamentación ambiental existente en materia de residuos peligrosos y buenas prácticas técnicas, ambientales y de seguridad industrial, en las regiones mencionadas en el objetivo específico 5 y específicamente en los puntos identificados como zonas calientes. Con el fin de prevenir e ir reduciendo las emisiones y/o liberaciones de mercurio a la atmósfera, el agua y la tierra.

El documento está dividido en dos grandes capítulos y fue construido con el soporte de los expertos internacionales y nacionales. En la primera parte, la cual fue organizada por expertos españoles y portugueses, se realiza un amplio despliegue sobre normatividad asociada, breve reflexión sobre el concepto de residuos peligrosos, adicionalmente se empieza a documentar sobre intervenciones previas para reducir la contaminación por mercurio en minería artesanal del oro (ASGM), orientaciones y buenas prácticas para minimizar el uso y el riesgo de la contaminación global por mercurio, Medidas generales de carácter estatal o regional, Soluciones técnicas para minimizar el uso y exposición al mercurio, Acciones al nivel de la amalgamación, Acciones alternativas al uso de mercurio, Medidas de remediación entre otros. Esta primera parte la hemos denominado, por recomendación de sus autores: Tratamientos y remoción de Residuos Mineros.

La parte dos del documento, presenta un amplio aporte de información de tecnologías empleadas en la remoción o minimización de metales presentes en los procesos de explotación minera y que generan una serie de aspectos ambientales que impactan en las diferentes matrices ambientales, estas alternativas de manejo y tratamiento de sustancias peligrosas incluyen tecnologías gravimétricas, electroquímicas, de precipitación, coagulación, cristalización y tratamientos de efluentes y residuos de los procesos mineros.

Algunas de estas tecnologías se están implementando en el país como lo son las tecnologías gravimétricas. Es importante tener en cuenta que los procesos de extracción de aurífera con uso de mercurio y con cianuro, requieren del apoyo institucional y un

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
**ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO**

soporte técnico de primera línea, en campo de aplicación, que permita a los mineros, sobre todo los artesanales, adquirir un enfoque hacia la minería con principios de producción limpia, que permita el desarrollo sostenible de este segmento económico.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

PARTE 1. TRATAMIENTOS Y REMOCIÓN DE RESIDUOS MINEROS I

1. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

Este documento se enfoca en el tema de la gestión y manejo de residuos peligrosos asociados al uso de mercurio en la minería aurífera de pequeña escala en Colombia. Tras la revisión de las técnicas clásicas de remoción de metales, se procede al encuadre del tema en las normativas de referencia, en especial las directrices del apéndice C del Convenio de Minamata. Además, considerando los objetivos de la Agenda Ambiental para el sector de Minería (Ministerio de Minas de Colombia, 2010) y la reglamentación ambiental existente se trazan las líneas generales de actuación orientadas a la disminución de emisiones de mercurio y la prevención del impacto ambiental global en el escenario minero, social, económico y ambiental que caracteriza las regiones afectadas.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2. CONSIDERACIONES INICIALES

El trabajo es una interesante e indispensable revisión bibliográfica centrada en los procesos clásicos de tratamiento y/o remoción de residuos mineros, que cabría no obstante actualizar en algunos aspectos, especialmente en relación con el tratamiento de efluentes mediante energías renovables de última generación, así como en la atención a las mejores técnicas disponibles en función de la complejidad de los escenarios mineros y sociales en causa.

Por encima de esta consideración previa, entendemos que el documento solicitado, debe enfocarse desde una perspectiva de base más amplia y al mismo tiempo más exhaustiva en relación con la minería artesanal del oro y las implicaciones ambientales del empleo del mercurio. Al mismo tiempo, entendemos que el enfoque del trabajo debería centrarse con mayor profundidad en el escenario concreto afectado por la cadena del mercurio en Colombia.

Son muchas y diversas las tecnologías de tratamiento de residuos y efluentes mineros. En lo que respecta a las técnicas y métodos de explotación y de mineralurgia, en las últimas décadas también han aparecido iniciativas para el desarrollo de soluciones innovadoras que cumplen con normativas ambientales y de seguridad cada vez más exigentes.

Por tanto, la problemática de la contaminación ambiental por mercurio no deriva de la ausencia de soluciones alternativas sino de la extrema dificultad de su empleo en estos contextos mineros. El reto más difícil para alcanzar el objetivo de la sostenibilidad ambiental en las zonas “calientes” consiste en transferir o adaptar soluciones ya empleadas en la industria minera actual para el escenario de la minería aurífera artesanal colombiana, atendiendo a todos los condicionantes sociales, económicos, geológicos y ambientales del entorno. Hay que elegir medidas que por su simplicidad y facilidad sean atractivas y por eso fácilmente aceptadas por las comunidades mineras.

El proceso de adaptación técnica, queda absolutamente dependiente de la eficacia de la **estrategia de educación ambiental y para la salud**, así como del grado de involucración de las comunidades y de la implicación del propio estado Colombiano, mediante un proceso de concienciación social, y en la medida de lo posible el empleo de incentivos económicos asociados al uso de técnicas más limpias para el beneficio del oro.

2.1 LA CONTAMINACIÓN POR METALES

La contaminación de origen metálico tiene unas posibilidades de ocurrencia muy alta, dado que de los 106 elementos conocidos, 84 se clasifican como metales. Dentro de los 84 metales, se consideran como metales pesados, aquellos metales cuyo peso específico es mayor de 4 o 5 g/cm³, siendo los más comunes hierro, cobre, cinc, plomo, manganeso, cromo, níquel, arsénico, mercurio y cadmio, estando muchos de ellos catalogados como contaminantes prioritarios por la Environmental Protection Agency (Tchobanoglous *et al.* 1995). Estos metales se encuentran en la naturaleza formando minerales, que por medio de

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

la meteorización pueden contaminar el medio acuático y en consecuencia los suelos. Esta forma de contaminación natural, es poco significativa. Son los procesos antropogénicos las principales fuentes de contaminación, fundamentalmente las industrias y las minas. Cabría añadir los vertidos de aguas residuales y la contaminación agrícola difusa, pero realmente estos aportes, que pueden ser localmente significativos, son en realidad en gran parte resultado del uso de los productos fabricados en alguna de las actividades citadas anteriormente (Grande et al 2003).

Los problemas creados por ciertos metales, en determinadas concentraciones, han provocado, desde hace tiempo, que la atención tanto de gobiernos como de comunidades científicas se dirija al estudio de estos temas: la enfermedad de la “Bahía de Minamata”, en Japón, provocada por una industria que vertía metilmercurio, los miles de peces muertos por contaminación de cobre en las playas de Scheveningen, en el mar del Norte, la enfermedad conocida como “itai-itai”, provocada por vertidos a un río de una mina de cinc, etc.; constituyen algunos de los casos más conocidos. En efecto, son innumerables las referencias bibliográficas sobre la contaminación metálica derivada asociada a la minería y sus efectos sobre los ecosistemas y la salud humana (Borrego et al. (2002), Sáinz et al. (2002, 2004, 2005), Grande (2003a, b, 2005a, b), Olías et al. 64 (2004), Sánchez-Rodas et al. (2005), Aroba et al. (2007), Nieto et al. (2007), Sobron 65 et al. (2007), Cánovas et al. (2008), Egal et al. (2008), de la Torre et al. (2009), Jiménez 66 et al. (2009), Sarmiento et al. (2009), Vicente-Martorell et al. (2009); Ruiz et al. (2008), Morales et al. (2008); Stoker et al. (2008), Amils (2006) Fernández-Remolar et al. (2004), Valente et al., 2012; Valente et al, 2007,.) (Borrego 1992; Elbaz-Poulichet et al. 1999, 2000, 2001; Sainz 1999; Davis et al. 2000; Grande et al. 2000, 2003a,b, 2005a,b, 2009; Leblanc et al. 2000; Borrego et al. 2002; Saínz et al.2002, 2003a,b, 2004; Ferná ndez-Remolar et al. 2003, 2005; Gonza´ lez-Toril et al. 2003; Aroba et al. 2007). Aroba et al. 2007, Borrego 2002 and 2011, Carro et al. 2011, Davis et al. 2000, de la Torre et al. 2009, 2010 and 2011, Elbaz-Poulichet et al. 1999, 2000 and 2001, Grande 2011, Grande et al. 2000, 2003 a-b, 2005 a-b, 2007, 2009, 2010 a-e and 2011 a-b, Jiménez et al. 2009, Leblanc et al. 2000, Olías et al. 2004, 2005 a-b, and 2006, Sáinz et al. 2002, 2003 a-b, 2004 and 2005). Sin embargo, no cabe aquí incidir con detalle en el tema. Más bien, se entiende necesario encuadrar de forma breve el origen del problema que presentan los metales disponibles en los medios receptores.

Tres son las causas fundamentales de la gravedad de la contaminación por metales pesados (Grande 2011).

- a) A diferencia de la materia orgánica, los metales pesados no son biodegradables, por lo que permanecen en el medio contaminado de forma indefinida, salvo procesos de transporte a otros medios.
- b) Los metales pesados, una vez que los microorganismos y la microflora los incorpora pueden ser retenidos por los tejidos del organismo, produciéndose el fenómeno de la bioacumulación. Así, en organismos filtradores se han encontrado factores de concentración de 290.000 para el cinc, 100.000 para el plomo, 35.000 para el cobre y 500 y 100 para el cromo y níquel respectivamente (Bryan *et al.* 1992). Los metales acumulados pueden transmitir a otras especies situadas en un nivel superior de la

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

cadena trófica, produciéndose el fenómeno conocido como biomagnificación (Nebel *et al.* 1999); mediante la bioacumulación y la biomagnificación, se llegan a alcanzar valores mucho más elevados que los encontrados en el medio líquido.

- c) Los metales pesados, desde el punto de vista de su influencia en la fisiología animal y vegetal pueden clasificarse en esenciales y no esenciales; así, ciertos metales pesados como cobre, cinc y manganeso son micronutrientes esenciales para plantas y animales y sólo llegan a ser letales en elevadas concentraciones (Begon *et al.* 1999); el organismo los necesita dentro de un intervalo óptimo, por debajo del cual se produce estados carenciales y por encima, toxicidad. Igualmente, los metales pesados no esenciales presentan para cada individuo un valor, por debajo del cual es tolerable y por encima tóxico (Grande, 2011).

El mercurio, (como el cadmio y el plomo) es uno de los metales clasificados como no esencial. Estos metales no existen naturalmente en los organismos vivos. Así, su ausencia no crea dificultades metabólicas, pero su presencia en cualquier concentración es perjudicial en la medida en que promueve el desarrollo de problemas en el sistema nervioso central, renal y pulmonar, generando inúmeras patologías (Morel, 1998; Gimbert *et al.*, 2008; Yokel, 2006; Smith *et al.*, 1981; Vallee, 1972; Rael, 1998; Bolger *et al.*, 2002; Clarkson *et al.*, 2003; Mutter *et al.*, 2007; Patterson *et al.*, 2007; Risher *et al.*, 2007).

Por otro lado, la contaminación por metales puede clasificarse en ambiental u ocupacional, dependiendo de la forma de exposición. La contaminación ocupacional por mercurio ocurre en un contexto de trabajo, como es el caso de la exposición a que están sometidos los mineros, en el proceso de amalgamación ya que lo absorben principalmente por vía respiratoria. A su vez, las comunidades del entorno próximo (poblados y aldeas cercanas), así como el medio físico y biológico, sufren la contaminación ambiental, por ejemplo a través de la ingestión de agua o alimentos contaminados, por efecto de los procesos de bioacumulación y biomagnificación.

2.2 DIAGNÓSTICO DE AFECCIÓN PRE Y POST-OPERACIONAL

En un complejo minero, la eficacia de una medida correctora sobre sus emisiones y vertidos se suele evaluar por comparación de algunas muestras de sus efluentes, antes y después de su implantación; las medidas correctoras en medios afectados, necesitan de largas series temporales de calidad de agua y caudales (Grande *et al.* 2003). El diagnóstico, en estado preoperacional es indispensable para el diseño y propuesta de soluciones, el postoperacional lo es igualmente para comprobar la eficacia de las medidas una vez implementadas. En ambos casos, la toma de grandes masas de datos es necesaria para el tratamiento estadístico imprescindible para la modelización del proceso mediante estadística clásica y lógica borrosa, como herramientas de última generación contrastables en la literatura científica minero-ambiental. (Grande *et al.* 2010).

En la investigación de fenómenos de contaminación, el empleo de series temporales (para el diagnóstico de la evolución temporal y la propuesta de modelos de predicción del proceso contaminante) y/o regionales (para una vez regionalizadas las variables proponer

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

modelos y mapas de riesgos mediante el estudio de variables georreferenciadas y regionalizadas), tiene tres objetivos fundamentales: la comprensión del proceso, la vigilancia de alteraciones en los patrones de comportamiento, su distribución geográfica y finalmente, la predicción de futuro (Grande et al 2014). En el análisis de estas series se suelen distinguir tres componentes fundamentales de variabilidad: la tendencia, la estacionalidad y las variaciones accidentales o residuales; el nivel de la variable junto a estas variaciones constituyen la "estructura" de cada serie en particular; determinadas actuaciones externas pueden producir diversos cambios en esta estructura: en el nivel, en la tendencia, en la varianza de la serie, etc. (Bisquerra, R. 1989).

A veces, el cambio es tan evidente que se habla de "interrupted series", es decir, una serie temporal formada por la unión de dos subseries diferentes (Aguirre A. 1994); En estos casos, se asume el impacto de la actuación, y se procede a evaluarlo; así ocurre en los ejemplos clásicos de análisis de intervención (Wei W. 1994); Sin embargo, las actuaciones sobre el medioambiente suelen necesitar de una fase previa de investigación sobre la existencia y causalidad del impacto, es decir si han producido algún cambio sobre el entorno y de ser así, si el cambio es atribuible a las actuaciones realizadas. La comprobación de la existencia de un cambio en una investigación experimental se suele realizar por una comparación entre los datos pre y post intervención (Stewart-Oaten et al. 1986, Underwood A.J. 1991); Sin embargo, el procedimiento habitual de aplicación de test paramétricos se ve afectado por la no normalidad y la no independencia de las series temporales (Wei W. 1994); Igualmente, los test no paramétricos, aunque se ha estudiado su aplicación a la detección de tendencias en algunos modelos muy simples de series (Thas et al. 1998), su aplicación presenta numerosos problemas por su sensibilidad frente a los supuestos que regulan su aplicación (Pfaffenberg et al. 1987, Mendenhall et al. 1995), siendo por ello de dudosa aplicación en subseries temporales; Diversos métodos han sido propuestos: eliminación de parte de la serie pre-intervención, técnicas descriptivas para evidenciar los cambios, comparación de los valores reales con los pronosticados en base a la subserie pre-intervención, validación del modelo pre-intervención en la serie total, incluidos los datos post-intervención, etc. (Aguirre A. 1994, Soulsby et al. 1996)

La causalidad de la intervención en la perturbación observada, dada por supuesta en los análisis de intervención (Box et al. 1994, Bowerman et al. 1993), suele investigarse por comparación entre series temporales de dos unidades, una manipulada y otra no, pre y post intervención: si una de las dos unidades difiere en la trayectoria de su respuesta temporal un número suficiente de datos, queda garantizado la existencia del impacto (Underwood A. 1996); este procedimiento, realmente exploratorio, no puede determinar que parte del cambio detectado es debido a la intervención y que parte a variabilidad natural de la respuesta; En experimentación sobre entornos naturales, que entendemos sería de aplicación muy útil en la minería artesanal de oro en Colombia, la variación espacial de respuesta se podría conseguir estudiando sistemas lo más similares en lugares suficientemente próximos, siguiendo modelos propuestos por diferentes autores en distintos escenarios (Osemberg et al. 1996, Bence et al. 1996). En nuestro caso concreto, ante la gran superficie de intervención y el elevado número de áreas afectadas, unido a las características termoplumiométricas locales, sería factible encontrar patrones

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

de referencia individual utilizables como fondo de no afección por la minería artesanal del oro. Para ello, será necesaria la toma de datos de campo y su tratamiento específico.

2.3 EL BINOMIO MINERÍA-AMBIENTE Y SUS EXIGENCIAS DE SOSTENIBILIDAD

En base a lo anterior, y admitiendo el marco normativo actual, todo proyecto minero debe cumplir tres premisas esenciales, que se sintetizan en que deberá ser (Grande et al 2014):

- a. Técnicamente viable
- b. Económicamente rentable
- c. Ambientalmente sostenible

En el caso que nos ocupa, para la minería artesanal del oro en Colombia, la primera premisa es de evidente cumplimiento por la simplicidad de las técnicas y herramientas empleadas para el laboreo y beneficio del este metal, escasamente desarrolladas desde hace centenares de años.

La segunda premisa, desde la perspectiva actual, es decir en ausencia de una implementación rigurosa de medidas preventivas y/o correctoras para reducir o eliminar impactos ambientales, se cumple parcialmente, aunque de manera rudimentaria y en base a unas técnicas artesanales que permiten una economía de subsistencia. De hecho, también desde tiempos remotos son muchas las familias que se sustentan económicamente mediante este tipo de minería con herramientas casi ancestrales.

Algo bien diferente sucede con la tercera de las premisas. En efecto, la actividad no es sostenible por cuanto provoca importantes impactos sobre el medio ambiente. Cabe aquí reflexionar hasta qué punto son importantes los impactos provocados y si éstos son positivos y/o negativos.

Es evidente que el medio físico y el biológico sufren impactos negativos asociados al empleo de mercurio; aire, agua, suelo, flora, fauna etc., incluso el hombre como parte integrante del medio, sufren estos impactos negativos que afectan a su salud y calidad de vida. Por otra parte, el medio socioeconómico sufre impactos positivos derivados de la creación de puestos de trabajo, generación de riqueza...etc. Sin embargo, cabe evaluar las posibilidades de potenciar o incrementar tales impactos positivos en un marco de adaptación tecnológica y de sostenibilidad.

En este sentido, no es ni siquiera necesario someter los datos a un Estudio de Impacto Ambiental. Cualquier tipo de matriz causa-efecto que permitiera obtener el sumatorio ponderado de estos impactos parciales, daría como resultado un impacto global altamente negativo por la elevada toxicidad del mercurio, las considerables cantidades de este metal empleadas y la gran extensión del área afectada. Sobre este resultado global negativo, contribuyen además los problemas de salud y de calidad de vida de las comunidades mineras.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

No obstante, para la validación de estas premisas hemos de centrarnos en los condicionantes locales (geológicos, mineros, sociales, ambientales...etc) que permitan un diagnóstico eficaz previo a la implementación de medidas preventivas y correctoras mediante la definición y abordaje de estrategias conducentes a hacer compatible el desarrollo de la actividad extractiva y generación de empleo y riqueza con el respeto al medio ambiente. El desarrollo de estas estrategias podría seguir como diagrama de flujo de la investigación los siguientes pasos, probablemente, alguno de ellos, no siendo objeto de los entregables del proyecto que ahora nos ocupa, sugerimos puedan ser objeto de futuros proyectos financiados por el Gobierno de Colombia, hacia la búsqueda de la puesta en valor de sus recursos mineros mediante técnicas de Minería Sostenible:

- Presentar una revisión bibliográfica de las técnicas clásicas de tratamiento de residuos mineros y ajustarla a la problemática actual de la minería aurífera de pequeña escala y su relación con el mercurio.
- Clasificar las fuentes y principales formas de emisión de desechos peligrosos, en especial derivados del empleo de mercurio en actividad minera aurífera.
- Resumir la problemática ambiental que representa la contaminación del agua, suelo, sedimentos, flora y fauna derivada del empleo del mercurio en la minería artesanal del oro en Colombia.
- Cuadrar el tema de los residuos mineros peligrosos derivados de la minería aurífera de pequeña escala en las normativas de referencia nacionales y en los convenios internacionales aplicables.
- Identificar alternativas tecnológicas que se constituyan como mejores prácticas ambientales para el manejo y la gestión integral de los escenarios contaminados por mercurio.

Cada uno de estos pasos comprende a su vez diferentes apartados fundamentalmente asociados a la monitorización, muestreo, análisis e interpretación de datos de campo conducentes a la elaboración de modelos de afección y mapas de riesgos.

El empleo de herramientas gráficas, estadísticas y de lógica borrosa sería indispensable para el logro de un diagnóstico eficaz, a su vez necesario para el diseño de medidas correctoras. Estas propuestas no invalidan en absoluto, ni merman el interés los entregables del actual proyecto, que entendemos constituye una base de partida inicial para el avance en este campo de extraordinario interés social en Colombia, pero que creemos habrá que completar con nuevas actuaciones para el logro de una minería adecuada a los requerimientos ambientales y sociales en el siglo XXI.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

3. BREVE REFLEXIÓN SOBRE EL CONCEPTO DE RESIDUO

Aunque la definición de residuo sea compleja y muchas veces subjetiva pueden presentarse algunos conceptos, incluso propuestos por la Organización de las Naciones Unidas: todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado; cualquier material descrito como tal en la legislación; cualquier material que figura como residuo en las listas o tablas apropiadas definidas en convenios como el de Basilea o el de Minamata.

Para asegurar la gestión apropiada de los residuos y así minimizar los riesgos derivados de su manejo, estos son clasificados en base a distintos criterios, principalmente:

- i) origen – Se refiere a una clasificación sectorial, por lo que en el caso presente se trata de la categoría “Residuos mineros”.
- ii) estado – el residuo es definido de acuerdo con el estado físico en que se encuentra, por lo que en el caso hay que contemplar emisiones de tipo sólido, líquido y gaseoso.
- iii) tipo de tratamiento a que puede ser sometido – en el caso presente los residuos requieren manejo y tratamientos específicos.
- iv) efectos potenciales sobre el ambiente y la salud – en el contexto de este proyecto se tratan residuos clasificados como peligrosos: son aquellos que por su naturaleza pueden generar efectos adversos para la salud o el ambiente. La definición legal de residuo peligroso es necesaria a efectos de poder asegurar que el residuo ingrese en un sistema de gestión acorde con sus características y se puedan realizar los controles correspondientes (Guía para la Gestión Integral de residuos peligrosos, 2005).

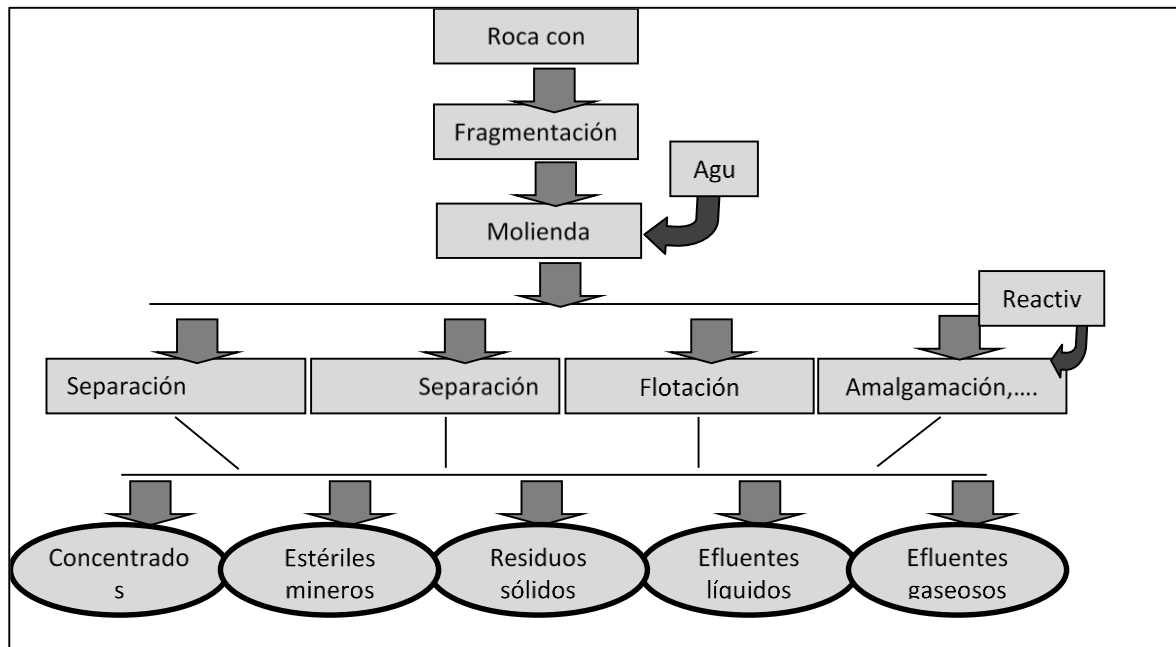
Los residuos mineros pueden, a su vez, clasificarse de acuerdo con diversos criterios. Para una revisión exhaustiva de las propiedades y tipos de los residuos mineros se indica la referencia de Lottermoser (2010).

En base a una perspectiva holística, los residuos mineros pueden presentarse sólidos, líquidos o gaseosos y generarse en distintas fases del proceso productivo, como se ilustra en la figura 1. Genéricamente son rechazos del proceso, con distintos orígenes:

- i) Residuos de extracción – incluyen materiales sólidos con variadas granulometrías, desde fragmentos de roca hasta polvo, que por su baja ley son acumulados en las escombreras. El agua de mina, contaminada con los metales que disuelve, también se encuadra en esta categoría.
- ii) Residuos de tratamiento mineralúrgico y metalúrgico – incluyen materiales sólidos, pero también lodos que son descargados en balsas o muchas veces directamente en las líneas de agua. La recuperación de los metales de interés, como es el caso del oro, genera también emisiones de efluentes líquidos y gaseosos, como resultado del empleo del mercurio en el proceso de amalgamación.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Ilustración 1. Generación de residuos y efluentes en el proceso de tratamiento mineral



Fuente. Grande - Valente

De acuerdo con la Guía para la Gestión Integral de residuos peligrosos, (2005), la clasificación de un residuo como "peligroso" deriva de criterios variados. Además de presentar alguna característica de peligrosidad (tóxico, reactivo,...) y de superar límites de concentración definidas en legislaciones o normativas internacionales, es un criterio determinante su inclusión en listas de tipos específicos de residuos o en listas de residuos generados en procesos específicos.

Así, en el caso presente, el convenio de Minamata, así como las normativas relacionadas con la Agenda Ambiental para el sector de Minería en Colombia establecida en 5 de Agosto de 2010, sitúan los desechos resultantes del empleo de mercurio en la actividad minera del oro, en la categoría de residuo peligroso a los que hay que gestionar de forma apropiada.

3.1 MINERÍA ARTESANAL DE ORO CON EMPLEO DE MERCURIO: UN PROBLEMA AMBIENTAL POR RESOLVER

Aproximadamente 30 millones de personas repartidas en prácticamente todos los países en desarrollo, participan en la extracción de más de 30 minerales diferentes, utilizando técnicas rudimentarias (Veiga y Baker, 2004). El oro es el producto predominante que se está trabajando, ya que el precio del metal ha aumentado tres veces en los últimos 10 años. Su extracción a pequeña escala, sin embargo, induce niveles extremadamente altos

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

de contaminación por mercurio, y muchos otros problemas ambientales y sociales (Velásquez-López et al., 2010). En 2004, la producción anual de oro por extracción artesanal (AGM) se estima en un 20-30% (500-800 toneladas) de la producción mundial (Swain et al., 2007). Un estudio más reciente (Seccatore, 2012) sitúa la producción de AGM en alrededor de 392 toneladas, un 12,2% de la producción total (2.828 de las minas organizadas (WGC, 2013) + 392 toneladas de AGM = 3.220 toneladas), (Veiga et al 2014).

Veiga et al (2014) proponen una estimación de emisiones de mercurio anuales al medio ambiente de las operaciones AGM basado en el PNUMA (2013) y Swain et al. de 1.400 toneladas y 1.000 toneladas, respectivamente, dando un rango global de la relación promedio de toneladas de Hg-perdido / toneladas de Au-producido, entre 2,5 y 3,5 Recientemente, Koekkoek (2013) estimó la cantidad anual de mercurio liberado por AGM en 70 países en unas 1.608 toneladas. Esta estimación representa el 93% de los países que utilizan mercurio en AGM.

Los impactos ambientales y de salud de la contaminación por mercurio de AGM han sido bien documentados en diferentes partes del mundo (Pfeiffer et al, 1989; Malm et al, 1990, 1995; Ikingura y Akagi, 1996; Veiga, 1997; Lacerda, 1997; Olivero y Solano, 1998; Malm, 1998; Harada et al, 1999; Akagi et al, 2000; Drake et al, 2001; Wasserman et al, 2003; Eisler, 2004; Castilhos et al, 2006; Bo se-O'Reilly et al, 2008; Cordy et al, 2011, 2013). Parece que los efectos sobre la salud de las emisiones de vapor de mercurio en los trabajadores y las familias que viven en los pueblos mineros es mucho más evidente y dramática que los efectos del metilmercurio por ingestión de pescado en las comunidades mineras (van Straaten, 2000; Drasch et al, 2001; Ogola et al, 2002; Feng et al, 2006; OMS, 2013; Sieber y Cerebro, 2014).

La causa principal de los problemas ambientales relacionados con las emisiones de mercurio es la amalgamación de todo el mineral (Spiegel y Veiga, 2010), mientras que el principal problema de salud es causada por la inhalación de vapores de mercurio metálico cuando las amalgamas son tratadas térmicamente sin necesidad de utilizar un condensador o filtro (Veiga y Baker, 2004).

Veiga et al. (2014), proporcionan una revisión del uso de mercurio en la minería artesanal del oro (AGM en la literatura sajona), e identificar las percepciones de las diferentes partes interesadas (gobiernos, organizaciones no gubernamentales, académicos y los mineros de oro artesanales) de todo el mundo que pueden haber creado barreras a la introducción de prácticas de Hg-libres o para reducir la contaminación por mercurio de los mineros de oro artesanales. Los datos y las observaciones presentadas en este artículo son el resultado de más de 35 años de experiencia práctica de los autores en el campo de mercurio y la minería artesanal (Veiga et al., 2014).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

3.2 LA AMALGAMACIÓN COMO GENERADORA DE RESIDUOS Y EMISIONES

La revisión de antecedentes sintetizada en el trabajo de Veiga et al. (2014), constituye un marco de referencia de gran valor como punto de partida para la comprensión del fenómeno contaminante que nos ocupa y su potencial alcance.

Para la visión general del problema, estos autores definen la amalgama como uno de los más antiguos métodos de extracción de oro.

Cuando se añade mercurio a minerales de oro y plata, se forma una amalgama (o pasta) después del contacto con estos metales. El mercurio amalgama todos los metales, excepto el hierro y platino. La masa pesada de mercurio líquido con la amalgama sólida en el interior se puede separar de otros minerales. La amalgama es entonces exprimida a mano en una pieza de tela para eliminar el exceso de mercurio líquido no unido al oro. La amalgama resultante, que consiste en 40-50% de mercurio, se puede separar del oro por descomposición, usando un soplete de propano o gasolina a temperaturas alrededor de 460°C. Este proceso produce un “oro doré” que contiene aproximadamente un 2-5% de mercurio residual, dependiendo de la eficacia del proceso de evaporación (Veiga y Hinton, 2002).

En algunos casos, como los que se observan en algunos países africanos, cuando las amalgamas se queman en hogueras de baja temperatura, el oro doré contendrá hasta un 20% de mercurio (Veiga et al., 2006). Veiga et al (2014), definen dos métodos como los más utilizados por los operadores para extraer oro con mercurio:

- (1) amalgamación de un concentrado de gravedad;
- (2) amalgamación de todo el mineral.

El primer método reduce drásticamente las emisiones de mercurio (pérdidas) para el medio ambiente ya que sólo una pequeña cantidad de material (concentrado) es amalgamado. El segundo método es el responsable de las mayores emisiones de mercurio en el medio ambiente (Veiga y Hinton, 2002). La mayoría de los operadores tienen la percepción errónea de que la amalgama es muy eficiente en la extracción de oro y que no se pierde mercurio en el proceso. Cuando a un minero se le pregunta la cantidad de mercurio que él o ella pierde en el proceso de amalgamación, prácticamente todos responden, "casi nada" Sin embargo, cuando se les pregunta cuánto mercurio compran cada mes, revelan las pérdidas de mercurio reales, ya que no comprarían el mercurio si no lo necesitan (Veiga y Baker, 2004).

La amalgamación no es complicada, pero el oro debe ser liberado de la ganga para que el proceso sea efectivo. El mercurio se combina con oro para formar una amplia gama de compuestos, desde $AuHg_2$ a Au_8Hg (Taggart, 1945). Cuando se amalgama un concentrado, las pérdidas de mercurio ocurren principalmente debido al "mercurio sickening" y la pérdida de coalescencia (o "flouring"). Sickening es causado por la oxidación del mercurio o impurezas tales como aceites, grasas, minerales de arcilla, sulfatos, sulfuros y en la superficie del mercurio, mientras que 'flouring' es la dispersión

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

del mercurio en pequeñas gotas producidas por “sickening” o por fuerzas mecánicas tales como la molienda (Beard, 1987).

Los mineros que en la mayoría de regiones de AGM creen que añadir "reactivos ayudantes de amalgamación " evita el "Sickening" y el 'flouring' del mercurio, y por lo tanto, las pérdidas de mercurio. En muchas partes del mundo, los mineros añaden jugo de limón, azúcar moreno, sosa cáustica, cal, pasta de dientes, levadura en polvo, hojas de guayaba, urea, cianuro, orina o detergente para reducir el "flouring" (Veiga et al., 2006). No hay ningún estudio que demuestre que tales reactivos aumentan la capacidad del mercurio para mantenerlos juntos y evitar la formación de gotitas. Tampoco existen estudios sobre cómo funcionan estos reactivos, aunque algunos parecen ser efectivos. La alteración de la tensión superficial del mercurio o adsorción de tales reactivos para actuar como un agente tensioactivo es una posible forma de mejorar la coalescencia de mercurio.

Un experimento realizado por Veiga et al. (2006), demostró que los mineros ecuatorianos que amalgaman, extraen sólo el 26% del oro de un concentrado por gravedad, mientras que en la cianuración se extrae más del 90%. La baja eficiencia de la extracción de oro fue atribuida a la oxidación del mercurio. Pantoja y Alvarez (2000) recomienda el uso de un proceso electrolítico para eliminar las capas de oxidación del mercurio y formar la amalgama de sodio, que es más eficiente en la amalgama de oro que el mercurio solo. Sus resultados fueron impresionantes, mostrando un aumento de la recuperación de alrededor del 60% (utilizando mercurio regular) a 92% (usando mercurio "activado") El Mercurio se activa en un proceso electrolítico con una solución de NaCl al 10%.

El mercurio metálico se conecta a través de un alambre de cobre al polo negativo de una batería de 12-V y una varilla de grafito conectada al polo positivo durante 15 min. El mercurio “activado” es mucho más coalescente que mercurio “enfermo”. Como las sales de mercurio son solubles a valores altos de pH (Meech et al., 1998) y la amalgama de sodio forman hidróxido de sodio en agua, este es probablemente el mecanismo por el cual la superficie de mercurio metálico se limpia de aceites y óxido de mercurio. Este proceso es similar al proceso industrial utilizado para la fabricación de sosa cáustica. En realidad, el uso de "mercurio cargado", que es como este proceso se le conoce popularmente, es recomendado por la Asociación de Buscadores de Nevada (Ralph, 2013).

La fusión de mineral de todo es la técnica más antigua, que culminó con el mayor daño ambiental en el procesamiento del oro. El mercurio se introduce en una caja de lavado directamente, se permite que la pulpa de mineral fluya sobre las placas de cobre o el mercurio se vierte en pequeños molinos de bolas antes de la molienda. Esta última técnica da como resultado, la mayor pérdida de Hg desde que las gotas de mercurio se forman durante la molienda, y luego son arrastrados a los residuos que terminan en el medio ambiente o se envían para la lixiviación de cianuro y luego al medio ambiente.

Hay una percepción general en el dominio público de que la principal fuente de contaminación por mercurio de AGM es la quema de la amalgama (Veiga y Hinton, 2002). Las amalgamas contienen generalmente 40-50% de Hg y 40-60% de oro y plata. Por lo

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

tanto, el nivel de emisiones de la quema de la amalgama se limita a la cantidad de oro producido. En contraste, la fusión de todo el mineral requiere la adición de mucho más de mercurio. Sobre la base de los balances de masa de 15 plantas mineras artesanales, Cordy et al. (2011), demostraron que las pérdidas de mercurio cuando todo el mineral se amalgamó en molinos de bolas es 10-15 veces mayor que cuando la amalgama se descompone en bandejas abiertas por calentamiento. Por otra parte, la quema de la amalgama probable desencadena los principales problemas de salud.

La amalgamación de todo el mineral es el resultado de la ignorancia y/o "la tradición". También es una manera conveniente para los propietarios de los centros de procesamiento para producir rápidamente oro para sus clientes (los mineros). El concepto de centros de procesamiento comenzó a extenderse por todo el mundo en la década de 1990, con la idea de que esto evitaría la dispersión del mercurio utilizado por los mineros individuales. Estos centros extraen una fracción (30% o menos) del oro por proceso rudimentario por lo general asociada con amalgama y conservan los relaves con su oro residual como medio de pago de los mineros al propietario de la planta de procesamiento. Este oro se lixivia a continuación en la planta de procesamiento usando cianuro. A nivel mundial, estos centros están proliferando en los sitios de extracción y procesamiento artesanal, ya que proporcionan a los operadores un medio para procesar rápidamente sus minerales de forma gratuita o por un precio nominal (Veiga et al., 2014).

Un gran problema ambiental se relaciona con los centros de procesamiento resultados de la cianuración de relaves contaminados con mercurio (Guimarães et al., 2011). Las especies de cianuro de mercurio solubles se forman y se liberan en el medio ambiente. Cómo los complejos de cianuro de mercurio, tales como $\text{Hg}(\text{CN})_2(\text{aq})$, se bioacumulan en los organismos acuáticos no está bien estudiado, pero uno puede suponer que la formación de metilmercurio es un posible paso. En muchos sitios donde relaves contaminados con mercurio se lixivia con cianuro, los peces cercanos contienen altos niveles de mercurio (McDaniels et al., 2010). A nivel mundial, casi todos los residuos dejados en los centros de procesamiento son lixiviados con cianuro. En algunos casos, el proceso se lleva a cabo en depósitos de percolación, como sucede en Brasil, China, Colombia, Ecuador, Mozambique, Nicaragua, Perú, Venezuela, Tanzania y Zimbabwe (Veiga et al., 2014).

Es necesario prestar atención a la organización de estos centros de manera que no tengan un gran impacto en las poblaciones expuestas. La contaminación se puede observar muy lejos de la fuente de mercurio, como en el sistema del río Tumbes, donde el mercurio liberado en Ecuador viaja a Perú, cientos de kilómetros de distancia (Adler-Miserendino, 2012).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

4. NORMATIVAS DE REFERENCIA

4.1 AGENDA AMBIENTAL PARA EL SECTOR DE MINERÍA – MINISTERIO DE MINAS DE COLOMBIA, 2010

El Punto 5. Prevención y control de la degradación ambiental, establece un conjunto de siete objetivos prioritarios en orden a minimizar las distintas formas de liberación y contaminación causadas por el empleo del mercurio, generar una gestión integrada del riesgo en la minería, fortalecer la gestión minero-ambiental en el desarrollo y cierre de proyectos mineros, manejar los pasivos ambientales, cumplir con el marco de la política ambiental para la gestión integral de residuos peligrosos y erradicar la actividad minera ilegal.

4.2 CONVENIO DE MINAMATA

El convenio de Minamata (Japón, 2013), firmado en el marco del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), establece en su Artículo 1 el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y compuestos de mercurio. Para el caso presente, hay que destacar el Artículo 7, especialmente enfocado en el tema de la minería de oro de pequeña escala. Igualmente, el Anexo C del Convenio contempla la elaboración de planes de acción nacionales visando la definición de metas, medidas y estrategias para alcanzar el objetivo de una extracción de oro artesanal y en pequeña escala sin mercurio.

Anexo C – Convenio de Minamata

Planes nacionales de acción

1. Cada Parte que esté sujeta a las disposiciones del párrafo 3 del artículo 7 incluirá en su plan nacional de acción:

- a) Las metas de reducción y los objetivos nacionales;*
- b) Medidas para eliminar:
 - i) La amalgamación del mineral en bruto;*
 - ii) La quema expuesta de la amalgama o amalgama procesada;*
 - iii) La quema de la amalgama en zonas residenciales; y*
 - iv) La lixiviación de cianuro en sedimentos, mineral en bruto o rocas a los que se ha agregado mercurio, sin eliminar primero el mercurio;**
- c) Medidas para facilitar la formalización o reglamentación del sector de la extracción de oro artesanal y en pequeña escala;*
- d) Estimaciones de referencia de las cantidades de mercurio utilizadas y las prácticas empleadas en la extracción y el tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala en su territorio;*
- e) Estrategias para promover la reducción de emisiones y liberaciones de mercurio, y la exposición a esa sustancia, en la extracción y el tratamiento de oro artesanales y en pequeña escala, incluidos métodos sin mercurio;*

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- f) Estrategias para gestionar el comercio y prevenir el desvío de mercurio y compuestos de mercurio procedentes de fuentes extranjeras y nacionales para su uso en la extracción y el tratamiento de oro artesanal y en pequeña escala;*
- g) Estrategias para atraer la participación de los grupos de interés en la aplicación y el perfeccionamiento permanente del plan de acción nacional;*
- h) Una estrategia de salud pública sobre la exposición al mercurio de los mineros artesanales y que extraen oro en pequeña escala y sus comunidades. Dicha estrategia debería incluir, entre otras cosas, la reunión de datos de salud, la capacitación de trabajadores de la salud y campañas de sensibilización a través de los centros de salud;*
- i) Estrategias para prevenir la exposición de las poblaciones vulnerables al mercurio utilizado en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala, en particular los niños y las mujeres en edad fértil, especialmente las embarazadas;*
- j) Estrategias para proporcionar información a los mineros artesanales y que extraen oro en pequeña escala y las comunidades afectadas; y*
- k) Un calendario de aplicación del plan de acción nacional*

2. Cada Parte podrá incluir en su plan de acción nacional estrategias adicionales para alcanzar sus objetivos, por ejemplo la utilización o introducción de normas para la extracción de oro artesanal y en pequeña escala sin mercurio y mecanismos de mercado o herramientas de comercialización.

4.3 LEY 1658/2013 SOBRE RESTRICCIONES AL USO DE MERCURIO

Esta ley establece las disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, fija requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y dicta otras disposiciones. Se debe destacar los artículos 6 y 7 que se refieren a la promoción de actividades que visan una producción más limpia y la eliminación del empleo de mercurio en la actividad minera en el plazo de 5 años, así como la congregación de esfuerzos para la investigación de tecnologías alternativas.

De acuerdo con estas normativas de referencia nacional e internacional, uno de los apartados siguientes se enfoca en las medidas de prevención y remediación del impacto ambiental de la minería aurífera de pequeña escala, en especial en lo que concierne al uso de mercurio.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

5. INTERVENCIONES PREVIAS PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN MINERÍA ARTESANAL DEL ORO (AGM)

Muchas intervenciones se han hecho por los gobiernos, las academias, las ONG y los organismos internacionales para reducir la contaminación por mercurio (Veiga et al 2014). Sin una definición clara de lo que es el origen del problema, las intervenciones han tendido a centrarse en los pequeños lavadores artesanales, o micro-mineros, los productores de 0,1-0,5 g de oro por día y la liberación de una cantidad igual de mercurio al medio ambiente. Los micromineros no tienen ni la educación ni el capital para trabajar correctamente. De hecho, el público en general tiene la percepción de que todos los mineros artesanales son los del lavado de oro en las orillas del río. Hay una amplia variedad de mineros que pueden ser clasificados como "artesanales", que van desde los de procesamiento de 5000 toneladas de mineral por día, a los 20 kg de grava por día.

La solución para la pequeña instalación (panner) que usa el mercurio es muy complicada, ya que se dispersan en el campo y ven la minería de oro como una actividad estacional o temporal debido a la falta de empleo en las zonas rurales (Hentschel et al., 2002). Es difícil convencer a los mineros a adoptar un "procedimiento limpio", ya que sus actividades son compatibles con sus bajos ingresos y el conocimiento. Como Hilson (2007) explica, hay un pobre conocimiento de la dinámica de la minería artesanal y así, Organizaciones internacionales tratan de poner en práctica los sistemas de apoyo e intervenciones inapropiadas.

Las agencias internacionales de desarrollo rara vez dedican tiempo para conocer las necesidades de los mineros (Siegel y Veiga, 2010). Esta crítica también fue presentada por Hilson (2005), quien sugirió que cualquier intervención debe evaluar, en primer lugar "el número de personas que operan en las regiones de AGM, sus orígenes y antecedentes étnicos, edades y niveles educativos". El principal problema es que cuando la asistencia no es deseada, no es sostenible. Sirolli (1999) grita con pasión cuando dice: "si la gente no desea ser ayudada, dejarlos solos".

Este debe ser el primer principio de la ayuda. Las intervenciones para hacer frente a los propietarios de los Centros de Proceso de producción de 0,5 a 3 kg de oro por día son muy necesarias, pero son lamentablemente escasas. Estos individuos son los principales contaminadores. Ellos tienen el poder y están en una "posición privilegiada" que se aprovecha de la ignorancia y el bajo capital de los mineros. Esta es la esencia misma del problema. Las emisiones de mercurio no pueden ser reducidas si estas personas no cambian sus pobres prácticas. Se requiere un mejor división del trabajo y una participación más equitativa de los mineros en el proceso (Veiga et al., 2014).

La Tabla 1 (Veiga et al., 2014) identifica los pasos necesarios para implementar un programa de intervención técnica en una comunidad de la minería artesanal. En primer lugar, es importante identificar la comunidad, cómo está organizada, lo que les falta y lo que se puede utilizar como enlaces para resolver las fuentes identificadas de problemas. Ser conocido y de confianza antes, durante y después de la intervención es fundamental para tener las soluciones propuestas adoptadas y aplicadas por los mineros de una

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

manera sostenible. Teniendo en cuenta que los mineros artesanales por lo general tienen poca educación, es importante entender que la transferencia de conocimientos será lenta. La razón más importante para un minero artesanal para cambiar su forma de trabajar es producir más oro. Uno debe explorar este aspecto al introducir procedimientos más limpios (es decir, la extracción de oro de sus relaves). Los educadores siempre deben estar disponibles para ayudar a los mineros; idealmente, también deben tener un fondo cultural similar al de los mineros.

Tabla 53. Sugestión de fases a seguir para una intervención técnica bien sucedida en la minería artesanal.

| CONCEPTO | ACCIÓN |
|---|--|
| Conocer los mineros | Identificar las fortalezas y debilidades de los mineros. |
| Identificar los problemas | Identificar las principales necesidades técnicas para mejorar la producción. |
| Ser conocido | Criar legaciones de confianza con los mineros y sus comunidades. |
| Promover tecnologías | Demostrar la eficiencia de las nuevas tecnologías e ganar credibilidad. |
| Educar con paciencia | Iniciar el proceso de educación despacio, explicando ventajas de los nuevos métodos. |
| No ser complicado | Emplear conceptos técnicos y lenguaje accesible y familiar a los mineros. |
| Dejar que los mineros tomen da decisión | Demostrar más que una tecnología y dejar que los mineros elijan la que les parezca más apropiada a su caso. |
| Ser flexible | Evaluar la receptividad de las nuevas tecnologías y estar preparado para demostrar varias opciones. |
| Elegir personas adecuadas | Entrenar los educadores (elegir personas locales). |
| El oro es lo importante para ellos | Demostrar primeramente ventajas económicas y después evidenciar la reducción de los impactes en el ambiente y salud. |

Fuente: Veiga et al (2014)

La introducción de mejoras técnicas debe coincidir con la presencia constante de los formadores (McDaniels et al., 2010). De hecho, el mantenimiento de una presencia en la comunidad, la promoción del diálogo y la participación como medio de fomentar la confianza son pasos críticos para cualquier trabajo de desarrollo comunitario.

Diferentes enfoques para intervenir en las comunidades mineras son tomados por los diferentes grupos, gobiernos y organizaciones alrededor del mundo para reducir el uso de mercurio, las emisiones y la liberación. Algunos creen que la legislación es la clave, mientras que otros piensan que la introducción de las nuevas tecnologías es la mejor

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

solución. Los representantes del gobierno, académicos y organizaciones no gubernamentales, han concentrado sus esfuerzos en soluciones para la contaminación por mercurio en base a las acciones políticas que pueden reducir la disponibilidad de mercurio a los mineros artesanales (Veiga et al 2014).

En 2011, la Unión Europea introdujo el control restringido para los países exportadores de mercurio a través de un tratado firmado con el PNUMA (Programa Ambiental de las Naciones Unidas). Los EE.UU siguen en marcha en 2013 con restricciones similares a la comercialización de mercurio. El precio internacional del mercurio ha aumentado considerablemente desde US \$ 4.93 / kg en 2003 a US \$ 55,2 / kg en 2011 a US \$ 103,7 / kg en 2014 (Metal-Pages, 2014; USGS, 2009).

El mercurio en sitios AGM se vende al doble del precio internacional. Esto se observó recientemente en el Departamento de Antioquia en Colombia. En septiembre de 2007, el mercurio en los campos de oro de Antioquia se vendió a US \$ 35 / kg y en diciembre de 2009 a US \$ 50 / kg (Veiga, 2010; García y Molina, 2011). En la Amazonia brasileña, el precio del mercurio en los sitios AGM está cerca de US \$ 300 / kg (Veiga et al., 2014).

Las restricciones al acceso al mercurio han dado mejores resultados que la legislación que limita su uso, como en Brasil y la Guayana Francesa. 2011) analizaron 20 leyes, decretos y resoluciones en Brasil relacionados con el uso del mercurio en la AGM y llegó a la conclusión de que estas leyes "son estrictas en el papel y débiles en su aplicación y cumplimiento". En 141 sitios mineros artesanales visitados entre 2006-2008 en la Amazonia brasileña, sólo uno tenía licencia de explotación minera y licencia ambiental para operar.

La Guayana francesa prohibió el mercurio en AGM en 2006, pero a pesar de la ley, el mercurio sigue siendo de uso generalizado, como se informa en la literatura (Veiga y Baker, 2004; Hammond et al, 2007; Telmer y Veiga, 2008; Howard et al., 2011). Al igual que en Brasil e Indonesia, los gobiernos de Filipinas (Valencia, 2013), Guyana (Dillard, 2012; Guyana Crónicas, 2013) y Colombia (Guiza-Suarez y Aristizabal, 2013) establecieron o están estableciendo leyes para prohibir o limitar el mercurio utilizar en AGM. Sin ningún tipo de aplicación, estas leyes son una pérdida de tiempo y dinero que podría ser utilizado para educar a los mineros sobre los procedimientos más limpios (Veiga et al., 2014).

El acuerdo de participación de los gobiernos de 92 países fue firmado en octubre de 2013. La Convención de Minamata sobre el Mercurio tiene la intención de limitar el comercio de mercurio, en particular en los países en desarrollo (Selin, 2013). Las implicaciones de este acuerdo intergubernamental en las comunidades mineras artesanales son preocupantes, ya que sin la formación y ejecución, los mineros artesanales no van a cambiar sus técnicas contaminantes.

Los mineros artesanales se han resistido a cambiar sus prácticas, basado en la creencia de que cualquier modificación, dará lugar a una reducción de su producción de oro (Hinton et al., 2003). Muchas intervenciones en AGM han sido propuestas por aquellos que no tienen experiencia en el campo. Recientemente, muchos "wannabe" expertos

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

han aparecido con soluciones “mágicas” encaminadas a eliminar el mercurio de AGM. Algunas de estas soluciones son generalmente pobres adaptaciones de los métodos utilizados en la minería a gran escala. Hilson (2006), menciona que muchas intervenciones "no pudieron identificar las medidas de mitigación apropiadas, y se ha hecho poco para avanzar en la comprensión de por qué persiste la contaminación". No hay una solución genérica. Una intervención debe ser apropiada para un mineral específico, un sitio específico, y de acuerdo al nivel de conocimiento específico de los mineros artesanales. Como resultado, estos "aspirantes" empañan la reputación de aquellos que tratan de trabajar en serio y por eso, los mineros artesanales pierden la confianza en cualquier solución que viene de los extranjeros (Veiga et al 2014).

Veiga et al. (2010). examinaron la ineficiencia policial, la legal, la salud, y los enfoques ecológicos para el problema y llegaron a la conclusión de que la educación de los mineros es la forma más poderosa para reducir la contaminación por mercurio. Este hecho fue demostrado por el Proyecto Mercurio Global de la ONU, donde se educaban más de 30.000 mineros en seis países piloto para adoptar métodos más eficientes para recuperar el oro y generando menos contaminación (McDaniels et al., 2010).

Recientemente, Veiga (2014) informó de los resultados de un pequeño proyecto financiado por el Departamento de Estado de EE.UU, que llevó a la implementación de una planta de procesamiento de oro en Ecuador para capacitar a más de 600 mineros artesanales y miembros de la comunidad de Perú, Ecuador, Colombia y Bolivia. El proyecto dio lugar a la construcción de más de 40 plantas mejoradas. La reducción de las emisiones de mercurio y las emisiones eran sustanciales, alcanzando el 40% en Portovelo, Ecuador, el 50% en Piura, Perú, y hasta un 60% en Segovia, Colombia.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

6. ORIENTACIONES Y BUENAS PRÁCTICAS PARA MINIMIZAR EL USO Y EL RIESGO DE LA CONTAMINACIÓN GLOBAL POR MERCURIO

Como ya se ha advertido en este documento, el uso generalizado y no regulado de mercurio en la minería aurífera de pequeña escala desencadena la contaminación global de los medios receptores físicos y biológicos al tiempo que expone los mineros y sus comunidades al riesgo de patologías graves. Los problemas ambientales y de salud asociados al uso del mercurio en el proceso extractivo están ampliamente descritos en la bibliografía y han sido tratados en otros entregables del proyecto. No cabe, pues aquí, describir con más detalle el tema. Los mineros, sus familias y comunidades, que están generalmente ajenos a la gravedad del peligro, son el eje central sobre quienes deben incidir los esfuerzos y a quienes dirigir las acciones para implementar mejores prácticas extractivas y medidas de gestión y manejo de los residuos peligrosos.

6.1 MEDIDAS GENERALES DE CARÁCTER ESTATAL O REGIONAL

En acuerdo con las estrategias nacionales e internacionales, la adopción de técnicas que minimicen el uso y exposición al mercurio, deben ser acompañadas de medidas gubernamentales muy eficaces al nivel de la educación y comunicación de proximidad con las comunidades mineras. En seguida enumeran se algunas medidas de la responsabilidad de las entidades nacionales o regionales, esenciales para alcanzar el objetivo de transformar el escenario negativo de la minería de pequeña escala:

- Promover campañas de educación que permitan la toma de conciencia sobre el riesgo asociado al uso incorrecto del mercurio.
- Realizar acciones de divulgación de gran proximidad para la comprensión de los impactos ambientales del empleo de mercurio, se posible mediante el apoyo de estructuras locales (escuelas, asociaciones culturales,...).
- Promover campañas de comunicación que permitan a las comunidades mineras reconocer las instituciones regionales y nacionales como un asociado interesado en el desarrollo socioeconómico de la región.
- Establecer relaciones de proximidad y equidad entre las instituciones gubernamentales regionales y las comunidades locales.
- Proporcionar y mediar el acceso a mercados equitativos y a condiciones de crédito.
- Proporcionar condiciones locales para venta de oro “limpio” y para establecer “partnerships” para comercializar a más larga escala.
- Informar los mineros sobre la existencia de mercados de oro “limpio” y ayudar las comunidades mineras a establecer ligaciones con esas entidades (por ejemplo “Fair Trade Labelling Organization”)
- Proporcionar ventajas económicas, por ejemplo rentas mínimas o subsidios de incentivo, para la adopción de prácticas de minería ambientalmente apropiadas.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- Elaborar documentación en lenguaje accesible a los mineros, con formato de guía de entrenamiento para la implantación de técnicas de minería ambientalmente correctas.
- Establecer programas de asistencia técnica para orientar los mineros sobre prácticas alternativas al empleo de mercurio.
- Promover la instalación de retortas de bajo costo para colección de vapores de mercurio, y programas de reciclaje para la reducción progresiva de emisiones.
- Proporcionar y mediar relaciones entre las comunidades mineras locales y empresas de minería de larga escala.
- Patrocinar el establecimiento de redes que proporcionen apoyo directo a las comunidades mineras: apoyo técnico-minero, comercial, educativo, social,...
- Patrocinar la creación de cooperativas de mineros que en conjunto puedan aplicar mejores técnicas y simultáneamente generar más beneficios. Estas cooperativas podrán tratar el oro incluso mediante amalgamación, pero en instalaciones adecuadas con campanas de extracción de gases y recogida de residuos para la total emisión CERO al medio ambiente.

6.2 SOLUCIONES TÉCNICAS PARA MINIMIZAR EL USO Y EXPOSICIÓN AL MERCURIO

El empleo del mercurio es una práctica enraizada en las comunidades mineras de pequeña escala, por cuestiones culturales, de educación y, naturalmente por su eficiencia y simplicidad técnica.

El suceso de la adopción de medidas alternativas pasa por demostrar a los mineros que la exposición al mercurio es dañosa para su salud y el ambiente, pero puede ser reducida de formas simples y económicas.

Las comunidades mineras deben ser conscientes de que las soluciones alternativas tienen ventajas ambientales y sociales, pero también puedan aumentar los ingresos financieros: el empleo de técnicas ambientalmente adecuadas debe traducirse en mayor eficiencia de recuperación del oro, ahorro de tiempo y proporcionar mejores precios de venta en mercados específicos, destinados a la compra de oro “limpio de mercurio”.

En forma de síntesis, se discriminan los siguientes tipos de medidas técnicas ambientalmente apropiadas para la extracción del oro y para la gestión y manejo de los residuos peligrosos. Todas estas medidas pueden ser revisadas en bibliografía especializada (e.g. Veiga et al., 2005; 2014; Sousa et al., 2011; Appel, 2011; 2013) y en los guías del PNUMA e del banco Mundial.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

6.2.1 Acciones al nivel de la amalgamación

- i) La práctica común de someter la totalidad del mineral a la amalgamación tiene que ser abolida. Para tal, deben desarrollarse esfuerzos para optimizar métodos de molienda, trituración y concentración del mineral, y, así, someter solamente el concentrado al proceso de amalgamación. Esta forma de reducir gradualmente el uso y la exposición al mercurio debe ser acompañada de medidas de apoyo técnico que ayuden los mineros a optimizar el grado de molienda y a elegir las técnicas de concentración de bajo coste más adecuadas en cada contexto geológico-minero y social (concentración gravimétrica, magnética o por centrifugación). Igualmente, deben ser promovidas acciones de demostración en las comunidades mineras que evidencien la mayor eficiencia de recuperación de oro, el empleo de menos mercurio y la recuperación del mercurio residual.
- ii) El mercurio residual tiene que ser recuperado mediante colocación de “trampas” en las canaletas de descarga de las colas o relaves de flotación después de amalgamación. Estas trampas pueden ser de distintos tipos y construidas de acuerdo con las indicaciones del Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería (2003).
- iii) Asegurar el reciclaje del mercurio, que debe ser limpio y reactivado y nunca eliminado en el suelo o medio acuático. Estas operaciones de limpieza pasan por el empleo de telas, detergente común, cal o ácido clorhídrico diluido, y destilación en una retorta.
- iv) El empleo de retortas en la quema de la amalgama es una medida esencial en esta fase de eliminación gradual del uso de mercurio. Bajo el apoyo técnico y las campañas de educación debe demostrarse la eficiencia de las retortas en retención de los vapores de mercurio y que es posible la instalación de retortas de bajo coste (Veiga et al., 2006); se propone la elaboración de un guía práctico para el fabrico de retortas caseras.
- v) Todo el proceso de manejo de mercurio debe ser efectuado mediante empleo de equipo de protección individual. Guantes y mascarillas de carbón activado deben ser suministradas a los mineros como medidas básicas de protección individual. La prevención a este nivel podrá representar ahorros financieros al gobierno con gastos hospitales a enfermos de hidrargirismo.
- vi) Estas medidas de protección individual deben ser acompañadas de la introducción de modificaciones básicas en los espacios de trabajo, tales como un compartimento para ducha y cambio de ropa de trabajo. Los mineros deben ser instruidos para normas básicas de higiene y seguridad, con especial atención al lavado de manos, cabeza y cara y al uso de ropa de trabajo. Estas normas básicas pueden ser consultadas en MSHA (2007) y ACGIH (2011). La ropa contaminada no debe ser mezclada con la ropa limpia, a cambiar después de las operaciones con mercurio. Nunca almacenar comida y bebida en los locales de trabajo.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

6.2.1 Acciones alternativas al uso de mercurio

Por obligación legal, visando el cumplimiento de los convenios internacionales firmados y de las reglamentaciones específicas, el camino natural es la eliminación del mercurio en el proceso extractivo del oro en la minería artesanal en el plazo de 5 años. Este objetivo implica una mejora sustancial al nivel de los conocimientos técnicos para la separación eficiente de los minerales, lo que depende mucho de la clase de mineral (aluvial, mena). Así, una vez más, las campañas de educación y el apoyo técnico a las comunidades mineras de pequeña escala son esenciales para indicarles el grado de molienda adecuado a su caso. Igualmente, el acceso a condiciones de crédito o incentivos financieros podrán facilitar la implementación de métodos de separación y concentración gravimétrica, magnética o por centrifugación.

El empleo de otras técnicas de separación, por ejemplo la cianuración, pueden tornarse financieramente inoportunos además de generaren otros problemas ambientales.

En los casos en que la tecnología de recuperación del oro apunte para la necesidad de otros tratamientos debe ponderarse la implementación de plantas gestionadas por cooperativas que permitan la operación a mayor escala. Otra posibilidad es el establecimiento de parecerías con empresas de grande escala.

La implementación de estas instalaciones comunitarias, denominadas centros de tratamiento, deben ser vistas con cuidado. Hay ejemplos citados en la bibliografía (Guimarães et al., 2011) de potenciación de problemas ambientales debido a mayor escala de operación y a la combinación de métodos de extracción (empleo impropio de mercurio y cianuro). El recurso a estos centros debe asegurar el cumplimiento de todas las normativas ambientales.

Así, en resumen, la **eliminación del mercurio** significa que la extracción del oro se va a procesar de dos maneras posibles, dependiendo del tipo de mineral:

- i) Obtención de un concentrado apenas con recurso a molienda, trituración y separación – el esfuerzo debe centrarse en transmitir conocimientos técnicos para optimizar el grado de molienda/trituración para separar las partículas y en la instalación del método de concentración apropiado (gravimetría, magnética o centrifugación).
- ii) Tratamiento de los concentrados con lixiviantes alternativos– En algunos casos, el concentrado obtenido en los procesos anteriores tiene que ser sometido a un tratamiento para la recuperación del oro. Hay desde hace mucho técnicas alternativas al uso de mercurio, como el empleo de borax, aplicable a concentrados con bajo contenido de sulfuros y más adecuado a pequeñas producciones diarias en depósitos aluviales (Veiga et al., 2014). Otro tratamiento generalizado en la minería industrial, ya citado, es la cianuración. Veiga et al (2005; 2009), Sousa et al (2010) y Angeloci-Santos (2013) presentan métodos simples de cianuración adaptables a la minería artesanal.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- iii) Pueden todavía citarse otros reactivos menos tóxicos que el mercurio y el cianuro para la lixiviación del oro, como es el caso de la thiourea (Eisele et al., 1988), el tiosulfato (Rath et al., 2013) o el cloruro (Greaves et al., 1990). Sin embargo, estos son de difícil empleo en las condiciones de la minería de pequeña escala por la dificultad de optimización del proceso y susceptibilidad a variaciones de parámetros químicos (Veiga et al., 2014).
- iv) El empleo del cianuro se presenta como una de las medidas más realistas para el tratamiento de los concentrados en acuerdo con Veiga et al (2009; 2010; 2014). Sin embargo, como refieren estos autores, el grado de preparación técnica de los mineros y la educación de sus comunidades son pilares esenciales para el empleo de soluciones alternativas al mercurio. La implantación de centros comunitarios de tratamiento de los concentrados, aunque pueda ser una medida importante tiene que ser evaluada en cada caso, ponderando los impactos ambientales de una operación de mayor escala

6.3 MEDIDAS DE REMEDIACIÓN

En paralelo con las medidas de reducción gradual del mercurio hasta su sustitución completa por soluciones alternativas hay que evaluar las posibles estrategias de remediación de sitios contaminados.

Las medidas más citadas en la bibliografía para la remediación de efluentes contaminados refieren empleo de selenio y cal (Turner et al. 1984; Paulsson, 1991). Sin embargo, para grandes áreas los costos son muy elevados (Veiga et al., 2005). La cobertura de sedimentos y estériles portadores mercurio con materiales inertes del tipo arena o grava (Bongers, 1972) es un principio básico para minimizar la dispersión de la contaminación. Este método, principalmente complementado con adsorbentes (por ejemplo de tipo lateritas) es recomendado para lagos y balsas. En caso de sedimentos o acumulaciones importantes de materiales con mercurio, dragar el área y disponer en destino final adecuado (aterro de residuos peligrosos) puede ser la solución más apropiada.

Tratamientos con resinas y cimentación con óxidos-hidróxidos de hierro (Lockwood, 1974) son procesos referidos en la bibliografía para inactivar los materiales más contaminados.

Las principales técnicas disponibles para remediación de agua y sedimentos contaminados con mercurio están descritas en la revisión bibliográfica que acompaña este documento. Así se resumió aquí muy brevemente el abordaje más común para la gestión de estos sitios contaminados.

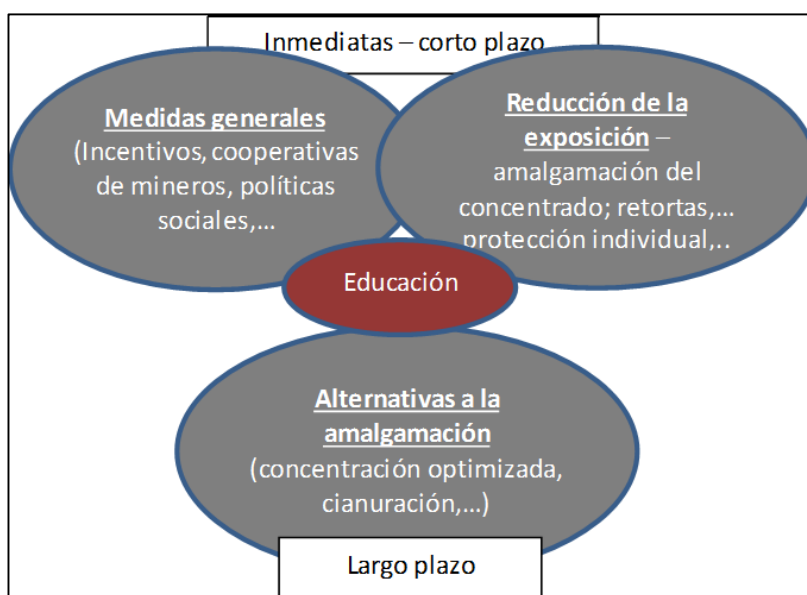
CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

7. CONCLUSIONES

Los convenios y obligaciones legales ya firmadas establecen que todo lo anterior relativo a la reducción del uso de mercurio se aplica para el periodo de cinco años. Después del plazo legal habrá que recoger todos los residuos peligrosos y darle el destino final apropiado, que podrá ser la encapsulación en recipientes de plomo y depósito en aterro de residuos peligrosos. La conclusión natural de toda la revisión de antecedentes y del conocimiento de los escenarios ambientales, mineros y sociales apunta para el enfoque en medidas de carácter social y educacional. El punto 6.1 de este documento - **Medidas generales de carácter estatal o regional**, tienen pues una relevancia especial en lo que concierne a las campañas de educación y comunicación en las comunidades mineras. La implicación de los mineros y sus comunidades en el proceso de reducción del empleo de mercurio depende antes de más del suceso de esas campañas, en las cuales deben ser involucrados dirigentes locales o entidades de referencia y confianza en esas comunidades.

La ilustración 2 resume el conjunto de medidas a introducir de inmediato, para la reducción de la exposición, y a largo plazo para la eliminación del uso de mercurio. El suceso de la conjugación de medidas queda absolutamente dependiente de la eficiencia de las campañas de educación y comunicación enfocadas en los mineros y sus comunidades.

Ilustración 2. Resumen del tipo de medidas a introducir a corto y largo plazo, siempre mediadas por campañas de educación de las comunidades mineras.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

PARTE 2. TRATAMIENTOS Y REMOCIÓN DE RESIDUOS MINEROS II

1. TECNOLOGÍA DE PRECIPITACIÓN

La precipitación es el proceso por el cual metales disueltos se hacen insolubles, por lo general como hidróxidos del metal, sulfuro del metal, y carbonato del metal. Cuando se produce la reacción en un líquido, el sólido formado se llama el precipitado, y el líquido restante por encima de la fase sólida se llama el sobrenadante. El proceso de eliminación de metales convencional a menudo se divide en tres pasos: (1) pretratamiento, (2) precipitación, y (3) postratamiento. La precipitación es la tecnología más convencional que se utiliza para la producción de materiales inorgánicos (por ejemplo, hidrometalurgia) o la eliminación y recuperación de sustancias tóxicas residuales (por ejemplo, metales pesados). Ha sido ampliamente utilizada en el tratamiento de residuos procedentes de las industrias, como la minería metálica, la producción de metales, y la industria de los semiconductores. Más del 75% de las operaciones de tratamiento de metales emplean esta tecnología. Existen varios reactivos para el tratamiento de precipitación disponibles, entre ellos, la precipitación por hidróxido es el método estándar utilizado para la eliminación de los metales pesados de las aguas residuales. Esto se puede lograr mediante el aumento del pH de las aguas residuales que contiene el metal con un reactivo alcalino para reducir la concentración de los metales disueltos y retirar el hidróxido resultante del metal en forma de precipitado, por sedimentación y operaciones de deshidratación. La precipitación es adecuada para el tratamiento de diversos iones metálicos en aguas residuales. Sin embargo, se crea una gran cantidad de precipitados, que requieren un postratamiento. Esto daría como resultado costos más altos de operación. Una medida alternativa llamada precipitación-cristalización ha sido desarrollada, que puede superar los grandes problemas de la tecnología de precipitación tradicional (Mokone et al. 2012).

La precipitación química convencional es el método más frecuentemente aplicado como tecnología de eliminación y recuperación de metales pesados cuando sus concentraciones en los residuos están por encima de unos pocos cientos de partes por millón. Los productos químicos más utilizados incluyen cal, carbonato de sodio y fosfato, que se denominan ligandos. La eficiencia de la precipitación es altamente depende de la química del agua, que incluye el pH de la solución, la concentración inicial de metales y ligandos, y la presencia de factores que compiten (por ejemplo, agente complejante y otros iones metálicos) (Sohnel y Garside, 1992)

1.1. REACTIVOS TÍPICOS DE TRATAMIENTO

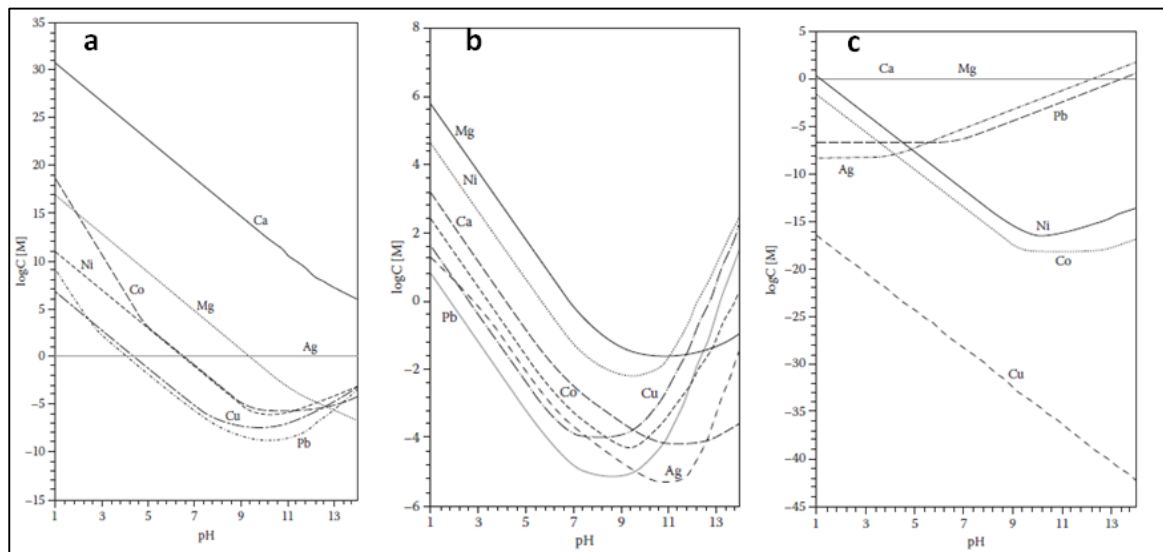
Hay varios reactivos aniónicos (ligandos) de tratamiento para la precipitación de iones metálicos. Estos son el hidróxido, carbonato, fosfato, y iones sulfuro. El ion cloruro, aunque rara vez se utiliza, se puede emplear para la precipitación de iones de plata. Los criterios de selección importantes son el costo, la eficacia de tratamiento, y la facilidad en el post-tratamiento (post-separación). Evidentemente, es más fácil comprender la importancia de los costos y la eficacia del tratamiento (Meng et al. 2001).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

1.2. PARÁMETROS OPERACIONALES IMPORTANTES

Se sabe que el pH juega un papel crítico en las reacciones de precipitación de metales. Cada precipitado del metal tiene una solubilidad característica que depende del pH. El pH se ajusta normalmente a entre 6,0 y 12,0, siendo 9 el más frecuente. La ilustración 3 proporciona la solubilidad de los metales importantes que precipitan como una función del pH, que se determina por MINEQL (Schecher y McAvoy, 2001) Notemos que M en las figuras representa los metales Pb, Cu, Ni, Co y Ca en unidades de mol/L. El pH óptimo para la precipitación de metales depende en gran medida de la química de los metales, reactivos de tratamiento, y la presencia de iones que compiten/agentes quelantes.

Ilustración 3. Solubilidad de precipitados metálicos; a) Hidróxido $M(OH)_2$ b) Carbonato MCO_3 ; c) Sulfuro MS.



Fuente: Schecher y McAvoy, 2001

La presencia de ligandos orgánicos fuertes puede afectar negativamente a la formación de precipitados del metal. Si el agua residual contiene ligandos complejantes reactivos puede mantener los metales en solución y evitar que se precipiten. Si el precipitado del metal es menos estable, por ejemplo hidróxidos de metal, puede ser disuelto fácilmente por ligandos fuertes orgánicos, tales como EDTA. El reactivo complejante debe ser destruido antes de la precipitación de metal. Como alternativa, se puede utilizar el tratamiento de con un reactivo más fuerte para formar un precipitado tal como sulfuro de sodio (NaHS) (Sharma y Reddy, 2004).

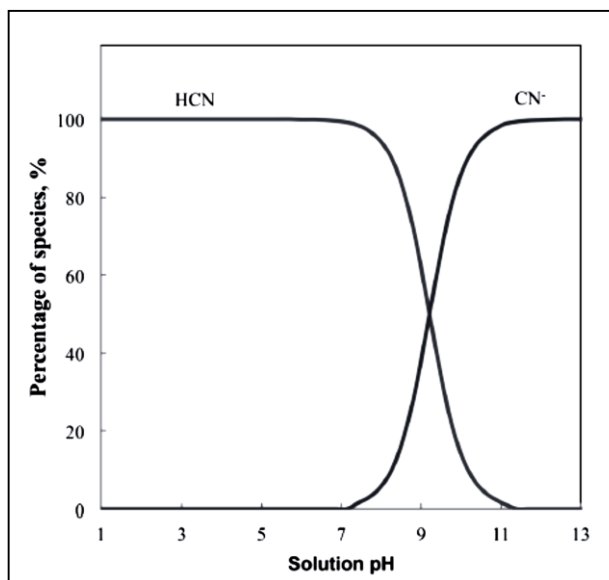
En residuos mineros el cianuro es muy importante porque puede formar complejos con muchos metales pesados. Note que el cianuro se utiliza comúnmente en los recubrimientos metálicos y electrónicos producciones de chips. El cianuro se elimina

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

normalmente a través de la oxidación con cloro bajo condiciones alcalinas. Cuando se opera, el pH de la solución es extremadamente importante. El cianuro se convierte en extremadamente tóxico cuando existe como HCN.

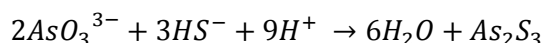
Como se muestra en la Ilustración 4 existe el cianuro como el HCN cuando el pH es menor de 6. Por lo tanto, las operaciones de reducción química o precipitación han de realizarse a un pH superior a 12, en donde no existe el HCN (Sharma y Reddy, 2004).

Ilustración 4. Efecto pH en la distribución de especies de cianuro



Fuente: Sharma y Reddy, 2004

Ecuación 4.



1.3. TRAZABILIDAD DE METALES INDIVIDUALES

1.3.1. Arsénico

Arsenito (As (III)) se pueden eliminar por precipitación como sulfuro de arsénico a través la adición de sulfuro de sodio de acuerdo a la ecuación 1, que genera un precipitado de muy baja solubilidad (As₂S₃), que conduce a la concentración del metal a concentraciones de 0.05 ppm.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

El arsénico puede ser removido por coprecipitación con una adición de FeCl_3 formando un flóculo de $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La concentración del efluente puede ser tan baja como 0.005 ppm. (Meng et al. 2001)

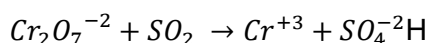
1.3.2. Cadmio

La eliminación de cadmio se puede lograr por precipitación como hidróxido en un pH que varía de 8 a 11, que concentraciones menores de 1 ppm. Se puede retirar por coprecipitación/coagulación a pH de 6-7 con FeCl_3 . El sulfuro y carbonato también pueden ser utilizar para precipitar el cadmio de las aguas residuales pH controlado de 7,5 a 8,5 (Remoudaki et al. 2003).

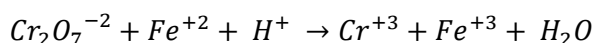
1.3.3. Cromo

El cromo trivalente se precipita normalmente a través de la adición de hidróxido, que forma hidróxido de cromo $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Otro tratamiento de precipitación de reactivos tales como carbonato y sulfuro también pueden ser utilizados (Kim et al. 2002). Se necesita un proceso de dos pasos cuando una de aguas residuales contiene cromo hexavalente. En primer lugar, el cromo hexavalente puede ser reducido a cromo trivalente mediante la reducción de reactivos tales como FeSO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (bisulfito de sodio), o SO_2 (dióxido de azufre) a pH <3 Las reacciones de reducción se dan como sigue:

Ecuación 5.



Ecuación 6.



Una vez que el cromo hexavalente se reduce a cromo trivalente, se pueden se ajusta el pH a un nivel alto con hidróxido, lo que lleva a la formación de hidróxido de cromo. La cal se utiliza típicamente para la reacción de precipitación. Después del tratamiento, la concentración del efluente está por debajo de 1 ppm.

1.3.4. Níquel

El níquel puede ser eliminado mediante la adición de hidróxido, lo que aumenta el pH de 9 a 11.5 en las aguas residuales. Bajo tal condición, la solubilidad de níquel (concentración de metal) es insignificante (Ilustración 4). Además, el carbonato y sulfuro también puede provocar la eliminación efectiva del metal. Reactivos complejantes tales como EDTA y cianuro pueden interferir con la precipitación. Ellos deben ser removidos para garantizar la eficacia del tratamiento de precipitación (Wang et al. 2011).

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

1.3.5. Mercurio

El mercurio se puede eliminar por precipitación mediante la adición de sulfuro de sodio a las aguas residuales, que conduce a la concentración del efluente por debajo de 0,01 ppm. FeCl_3 , y otros coagulantes se pueden utilizar para la eliminación; la concentración de efluente puede ser inferior a 0,01 ppm (Wang et al. 2011).

1.3.6. Plomo

El plomo puede ser removido por hidróxido de sodio o cal a pH de 9-11, los iones de plomo se pueden eliminar en gran medida, con sulfuro y carbonato. Típicamente, el pH se controla entre pH 7-9, lo que resulta en concentraciones residuales comparables al tratamiento con hidróxido (Sharma y Reddy, 2004).

1.4. TRATAMIENTOS DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES

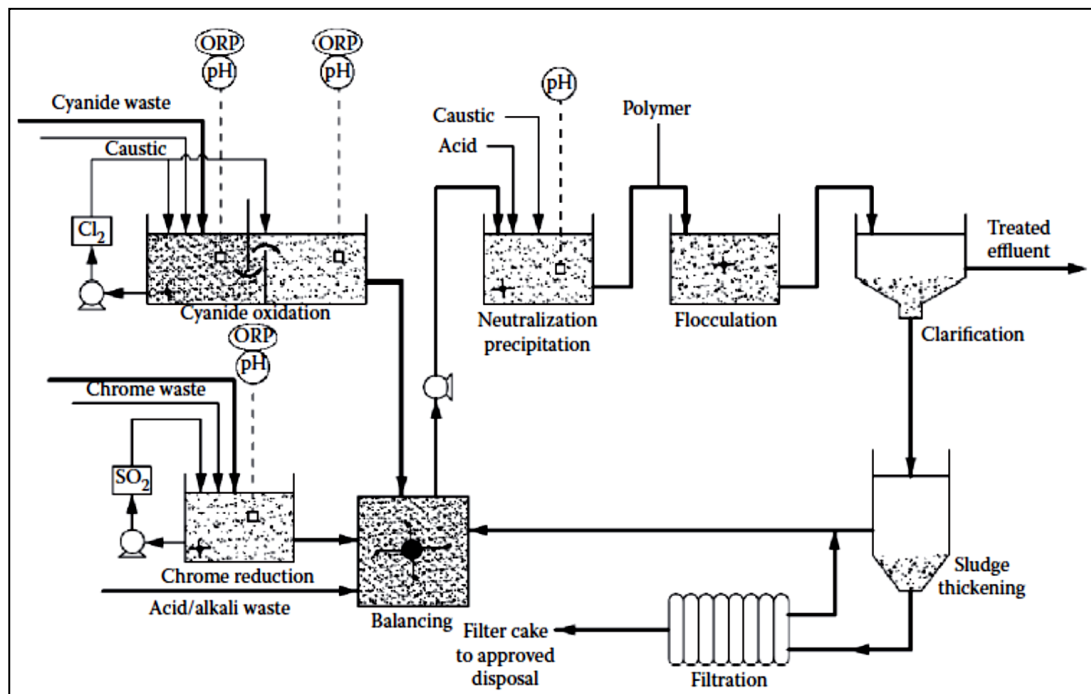
1.4.1. MÉTODO 1. Galvanoplastia y Mineras

En la industria de la galvanoplastia y mineras, tenemos diferentes tipos de procesamiento en unidades diferentes. Una vez las corrientes residuales salgan de diferentes unidades de proceso, deben ser tratadas antes de su descarga a la red de alcantarillado. Hay varias tecnologías disponibles para la selección de los sistemas de tratamiento. Un sistema de tratamiento que consiste en los diferentes procesos se muestra en la Ilustración 5. Hay dos corrientes de aguas residuales, una de galvanoplastia de cromo y otra de baños de cianuro. Están aisladas y directamente canalizadas en dos diferentes subsistemas, que son tratados por diferentes enfoques. Los dos efluentes se combinan en un tanque promediador, que se mezcla con otras corrientes de aguas residuales. La mezcla es posteriormente enviada al tanque de neutralización (EPA, 1985).

En la reducción de cromo (parte inferior del diagrama), el cromo hexavalente se reduce a cromo trivalente por el SO_2 . El cromo trivalente cromo se pueden eliminar por neutralización con un álcali. Tenga en cuenta que el cromo hexavalente también se puede reducir a través de la reducción electroquímica. La corriente de residuos tóxicos de cianuro de soporte se trata o se oxida a través cloración o ozonización. Esto conduce los compuestos tóxicos típicos con pesos moleculares más bajos. Estas dos corrientes se mezclan y fluyen al tanque de neutralización y precipitación. La corriente combinada se trata con ácido o álcali para el ajuste del pH, y los metales pesados se precipitan para formar el hidróxido del metal.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Ilustración 5. Sistema de tratamiento de metales pesados en aguas residuales (mineras y de electroplatinizado)



Fuente: EPA, 1985

El flujo de residuos después de la precipitación contiene sólidos que se tratan con coagulante para una mejora adicional en la separación de los metales precipitados, así como de sedimentación de los lodos de hidróxido del metal. Los sólidos y el agua se separan por la clarificación. El lodo (hidróxido principalmente del metal) es deshidratado a través de concentración por gravedad y deshidratación mecánica. El lodo resultante lodo seco puede ser enviado para su disposición final (por ejemplo, los vertederos) (EPA, 1985).

1.4.2. MÉTODO 2. Extracción de Metal por precipitado insoluble de Sulfuro

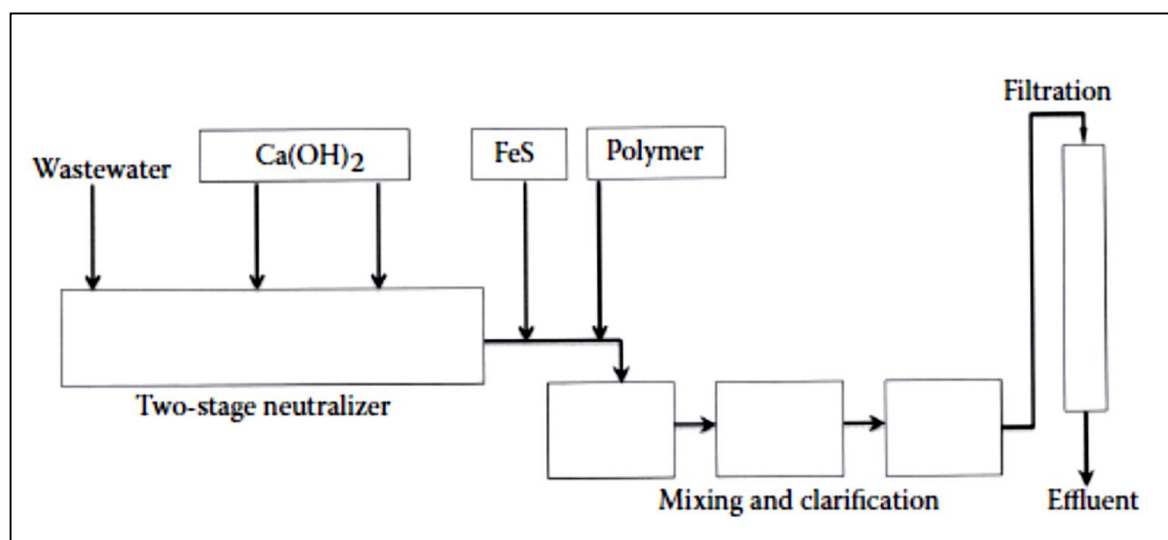
Las aguas residuales de acebo Carburador (Colt Industrias en Tennessee), que contienen hierro, zinc, cromo hexavalente, cromo trivalente a concentración variable fueron tratados por precipitación con sulfuro en lugar de hidróxido (Lawrence et al. 2009). La Ilustración 6 muestra el sistema de tratamiento incluido el ajuste del pH por la cal, además de FeS y polímeros para la precipitación y coagulación/floculación, sedimentación y filtración de arena. La calidad del efluente del sistema era capaz de cumplir con los niveles requeridos por los EE.UU. EPA. La mayoría de los dispositivos del sistema eran los mismos que los del sistema de la precipitación de hidróxido. En consecuencia, el sistema de la precipitación de hidróxido convencional puede ser ligeramente modificado por la

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

sustitución de hidróxido con sulfuro para lograr una mejorada capacidad de eliminación del metal con un menor costo.

El reactivo principal de tratamiento de precipitación fue de sulfuro ferroso (FeS), ya que su precipitado insoluble (ISP), es mucho más estable. Por lo tanto, la concentración de SS (sólidos suspendidos) en el tratamiento efluente se mantiene a un nivel más bajo. Una ventaja principal de reactivo precipitado (ISP) frente a uno soluble (SSP) es que no hay olor tóxico debido sulfuro de hidrógeno en el sistema de tratamiento.

Ilustración 6. Remoción de metales por precipitado insoluble de sulfuro.



Fuente: Lawrence et al. 2009

Tenga en cuenta que los reactivos de SSP son los compuestos solubles en agua tales como hidrosulfuro de sodio (NaHS) y sulfuro de sodio (Na₂S).

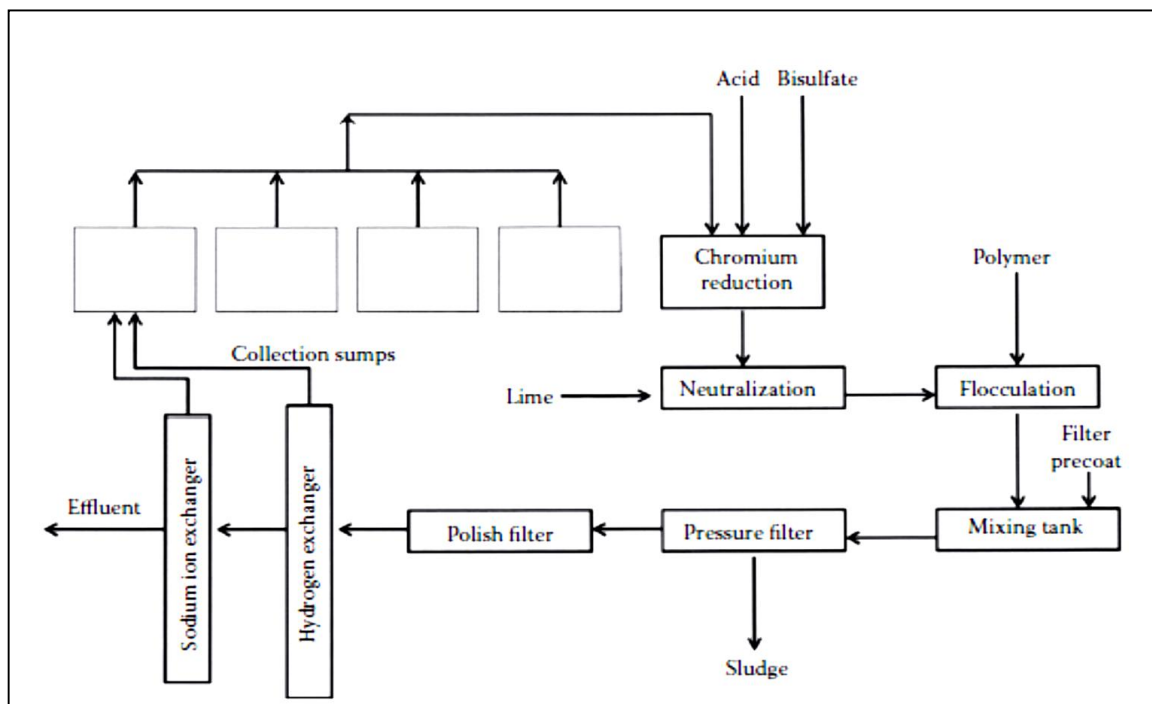
1.4.3. MÉTODO 3. Sistema híbrido para la eliminación de metales

Consiste en un sistema híbrido en unidades claves como el ajuste del pH, precipitación y de intercambio iónico que se utiliza para tratar las aguas residuales de metales pesados, como se muestra en la Ilustración 7. Cuatro tipos de residuos se tratan (Lawrence et al. 2010) primero El cromo hexavalente se reduce por el bisulfato en condiciones ácidas. El pH del agua se ajustó con cal con el fin de facilitar la eliminación máxima del metal para cada residuo procesado. Un polímero como coagulante se añade posteriormente al agua para la eliminación de la SS (que consta de SS del el influente y de metales precipitados) en el dispositivo etiquetado "floculación." Un sistema de filtración de presión con capa preliminar donde se utiliza tierra de diatomeas para separar el SS del agua. El SS (en forma de lodos) es enviado a la disposición final. El agua procedente de la filtración es

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

enviada a la unidad de intercambio iónico, por el cual los iones de metales pesados restantes son eliminados a los niveles requeridos por la EE.UU. EPA. Se utiliza una unidad de intercambio iónico (IX) de dos etapas, con la primera etapa se utiliza una resina de iones de hidrógeno y la segunda se utiliza resina de iones sodio.

Ilustración 7. Sistema híbrido de remoción de metales.



Fuente: Lawrence et al. 2010

Tenga en cuenta que si los compuestos orgánicos están presentes en las aguas residuales, que puede añadir un proceso de oxidación antes de que el agua entre en el proceso de IX, por lo que el COD puede ser eliminado en gran medida. Cloro u ozono puede ser utilizado. Alternativamente, una columna de adsorción de carbono activado puede usarse en lugar de la oxidación, porque los compuestos orgánicos pueden ser adsorbidos sobre el carbón activado. El efluente tratado puede ser lo suficientemente bueno para su reutilización en los procesos de producción, que conduce a un ahorro en el consumo total de agua.

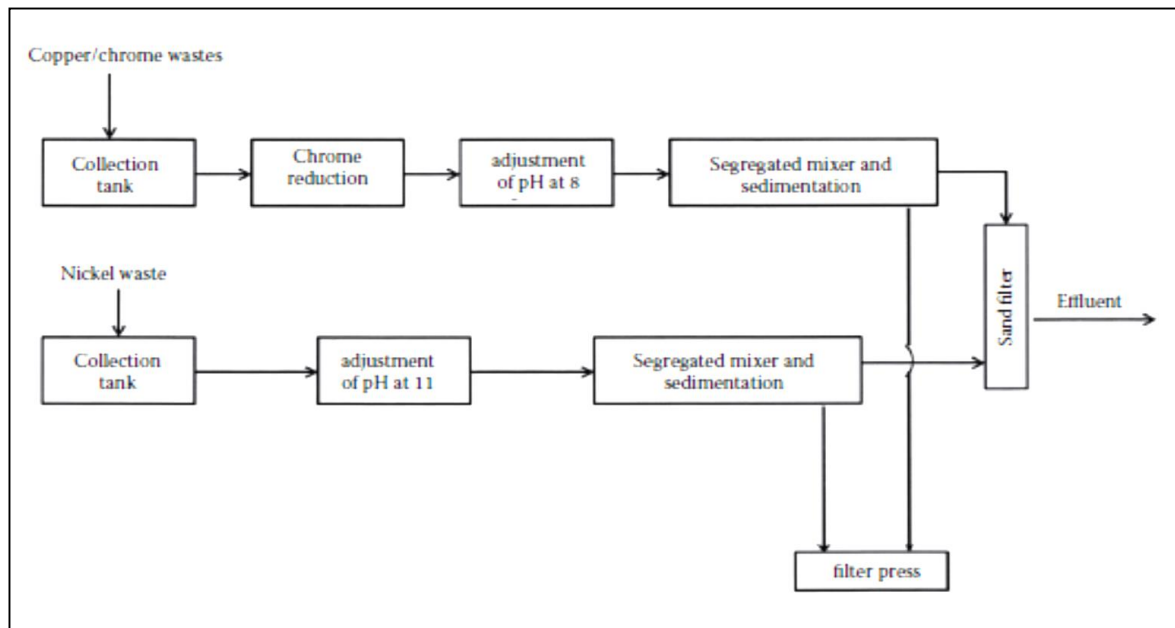
1.4.4. MÉTODO 4. Segregado Tratamiento de metales y difíciles de tratar

En algunas situaciones, es posible ver que la concentración de un metal no cumple con el permiso de descarga a pesar de que otros pueden. Tendremos que separar la corriente de residuos del metal de las corrientes que contienen otros metales. En una operación de

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

chapado de metales mediante el uso de cobre, níquel y cromo en componentes de plástico en Medfrod Plastics Company en Wisconsin (EE.UU.), produjo agua residual, que fue particularmente difícil tratar (EPA, 1985). Fue tratada por el sistema que se demuestra en la Ilustración 8. Un estudio preliminar demostró que la concentración de níquel no se reducirá en un sistema de tratamiento convencional, para el nivel requerido para descarga. Por lo tanto, el flujo de níquel no electrolítico fue segregado del resto de las aguas residuales, para prevención de la contaminación. Como se muestra en la Ilustración 8, las aguas residuales de níquel precipitaban a un pH alto y se clarificarán. Las aguas residuales de cobre y cromo fueron tratadas por reducción de cromo ajustando el pH, precipitando y la sedimentando. La corriente del tratamiento de níquel y tratamiento de cobre o cromo se combinaron en la filtración de arena y finalmente desechado.

Ilustración 8. Ilustración de sistema de tratamiento segregado y dificultades en el tratamiento



Fuente: EPA, 1985

Los resultados de las pruebas de los estudios preliminares mostraron que la concentración de níquel (y las concentraciones de cobre o cromo) en el efluente total lograron los límites aceptables.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

2. TECNOLOGÍA DE PRECIPITACIÓN-CRISTALIZACIÓN

La Precipitación-cristalización es una tecnología innovadora que combina la precipitación y la cristalización. Típicamente, se utiliza en un reactor de lecho fluidizado (FBR) y por lo tanto se llama la tecnología de lecho fluidizado-cristalización (FBC). El FBC fue desarrollado originalmente para el proceso de eliminación de fosfatos y suavizar el agua potable (Chen y Yu, 2000). Se han realizado una serie de investigaciones sobre la eliminación y la recuperación de diversos metales preciosos tales como plomo, zinc, cobre, cobalto, níquel, arsénico y plata de corrientes de aguas residuales que contienen metales pesados mediante el uso de este enfoque. También se puede utilizar para el tratamiento de corrientes residuales que contienen contaminantes aniónicos tales como iones fluoruro y fosfato (Demopoulos, 2009).

Durante el funcionamiento de la tecnología de precipitación-cristalización, se añaden primero en una FBR un medio de siembra (sólidos granulares o gránulos de arena), tales como granos de arena. El flujo de residuos de metales pesados y el reactivo de precipitación se canalizan hacia el reactor, formándose numerosos metales finos precipitados o partículas finas. Posteriormente, se recubren sobre las superficies de los sólidos añadidos, en lugar de alojarse en una forma suspendida que se puede ver en la operación de la precipitación convencional. El efluente queda libre de iones de metales pesados o disminuye la concentración de los metales en la solución. El post-tratamiento de los precipitados (fangos) se hace innecesario, dando lugar a un ahorro de los costos. La extracción y recuperación de metales pesados de las aguas residuales por la precipitación/cristalización en un FBR es rentable de acuerdo con la literatura (Seckler et al. 1996).

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La tecnología de precipitación convencional para el tratamiento de iones de metales pesados solubles (por ejemplo, iones de plomo) puede llevarse a cabo mediante reacciones de precipitación químicas en un tanque de mezcla, seguido por sedimentación y deshidratación del lodo precipitado de plomo. Para cualquier operación continua, se requiere un gran espacio para la instalación de tanques de productos químicos de mezclado, tanques de sedimentación y deshidratación de lodos. Además, con el fin de recuperar los metales pesados de los lodos, la deshidratación y la solidificación de los lodos deben ser aplicados, lo que hace que este enfoque sea bastante costoso.

Una alternativa es utilizar la tecnología de precipitación con la cristalización, en el que un cristalizador de lecho fluidizado sirve como "separador de metal" para eliminar el metal de la solución. El funcionamiento del proceso de precipitación-cristalización ha sido ampliamente utilizado en la purificación de sustancias poco solubles (Wilms et al. 1992).

La tecnología de precipitación-cristalización hace que sea posible la producción de (pellets) de precipitado del metal puro y compacto. Los pellets se pueden recuperar fácilmente. La solución de metal recuperado y arena puede ser reutilizada en procesos industriales. Por otra parte, el lodo metálico del proceso de precipitación convencional

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

tiene un muy alto contenido de agua y las impurezas se incorporan a menudo en el lodo. Los grandes volúmenes de lodos de metal que se producen no pueden ser reutilizados directamente.

2.2. RECUPERACIÓN DE NÍQUEL EN AGUAS RESIDUALES DE GALVANOPLASTIA

Lee y colaboradores utilizaron el FBR para el tratamiento y recuperación de níquel en residuos de galvanoplastia (Lee et al. 1994). Ocho materiales diferentes de siembra se probaron: arena de sílice, arena de sílice de alta calidad, arena de playa, calcita, polvo de ladrillo, gránulo de carbono activado, perlas de vidrio, y perlas de plástico. A partir de los experimentos por lotes, la cantidad de cristal de níquel agregado en la superficie de los granos sólidos siguió un orden descendente: calcita > arena de sílice de alta calidad > arena de sílice > polvo de ladrillo > arena de la playa > gránulos de carbón activado > perlas de vidrio > perlas de plástico.

Ante la imposibilidad de recuperar el níquel de calcita, no se seleccionó la calcita. Por lo tanto fue seleccionada la arena de sílice de alta calidad como el material de siembra en el lecho fluidizado. Los efectos del pH, la carga de níquel, la carga hidráulica, la masa total de los granos de arena en lecho fluidizado, así como el efecto de la temperatura, se investigaron para la optimización de parámetros de funcionamiento. Se encontró que a temperaturas más bajas mejora la velocidad de cristalización. Para el tratamiento de níquel, una temperatura de 10°C fue favorable.

2.3. REMOCIÓN DE HIERRO EN DRENAJE ÁCIDO DE MINAS

Un FBR fue desarrollado para la eliminación de hierro en el drenaje ácido de minas (Diz y Novak, 1998). El sistema de múltiples etapas incluye un biorreactor para oxidar el hierro ferroso, un FBR para la precipitación de hierro férrico como un medio de revestimiento, y una cama de carbonato para el ajuste del pH. Se determinó el pH óptimo aproximadamente de 3,5. Se utilizó un sistema ácido, en contraste con el sistema básico utilizado para otros metales. Se logró noventa 99% de eficiencia de remoción de hierro, con la concentración de hierro efluente restante <3 mg/L a pH > 6.

2.4. TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES

2.4.1. MÉTODO 1. Eliminación de especies múltiples de Metales Pesados

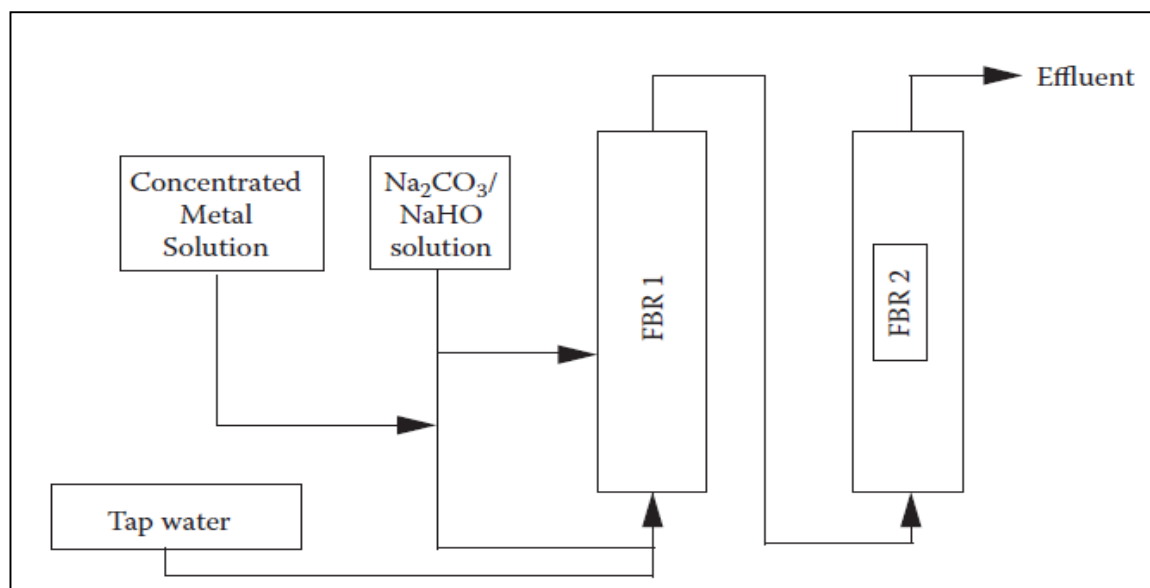
Zhou y colaboradores desarrollaron un proceso de precipitación-cristalización para la eliminación de cobre, níquel y zinc en aguas residuales industriales (Zhou et al. 1999). El diagrama de proceso se da en la Ilustración 9. Se demostró que el pH de la solución tuvo un gran efecto en la eliminación de los metales pesados. El pH óptimo, estaba entre 9,0 y 9,1, se encontró que la eficiencia en la eliminación de metales pesados se podría lograr

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

por encima de 92% y 95% cuando las concentraciones de metales pesados eran entre 10 y 20 mg/L.

Los investigadores diferencian la precipitación en dos tipos de reacciones "precipitación nucleada" y "precipitación discreta" como se muestra en la Ilustración 10. La precipitación nucleada permitió la precipitación de metales a cubrirse en la superficie de la arena, posiblemente debido a la adsorción o la atracción de cargas, mientras que la precipitación discreta se refiere a la formación de precipitados finos que se producen y se quedan en la solución a granel en lugar de sobre la superficie de la arena. Cuando la relación de carbonato de metal fue muy alta (por ejemplo, 6: 1 y 3: 1 con concentraciones de metales de 10 y 20 mg/L, respectivamente), muchos iones metálicos se precipitaron en forma de precipitación discreta antes de que se recubrieran sobre la superficie de la arena para formar la precipitación nucleada. Si eso ocurre, un dispositivo de filtración se vuelve esencial, esta es la razón por la que una dilución interna que se muestra en la **Ilustración 9** juega un papel importante.

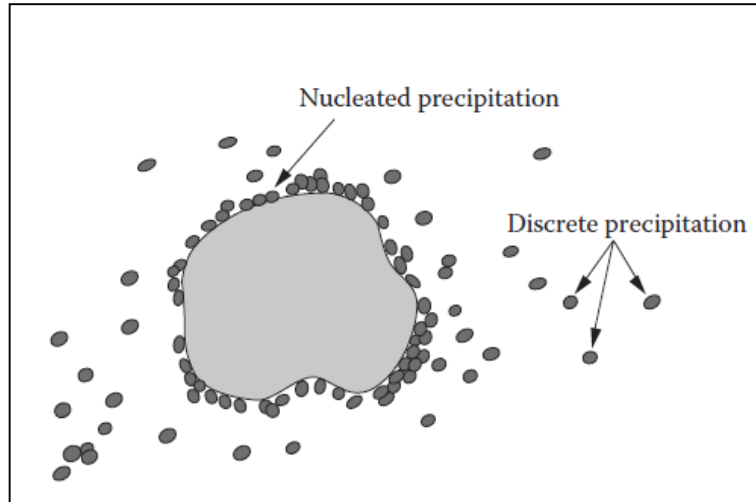
Ilustración 9. Diagrama del proceso de precipitación-cristalización para el tratamiento de aguas residuales que contienen cobre, plomo, níquel, y zinc.



Fuente: Zhou et al. 1999

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Ilustración 10. Mecanismos de formación de precipitados de metales.



Con arena en los reactores los metales precipitan de forma agregada, como se muestra en la Ilustración 10. El contenido de los metales fue más alto, en el Reactor 1 que en Reactor 2 (filtro), como se demuestra en la Ilustración 11.

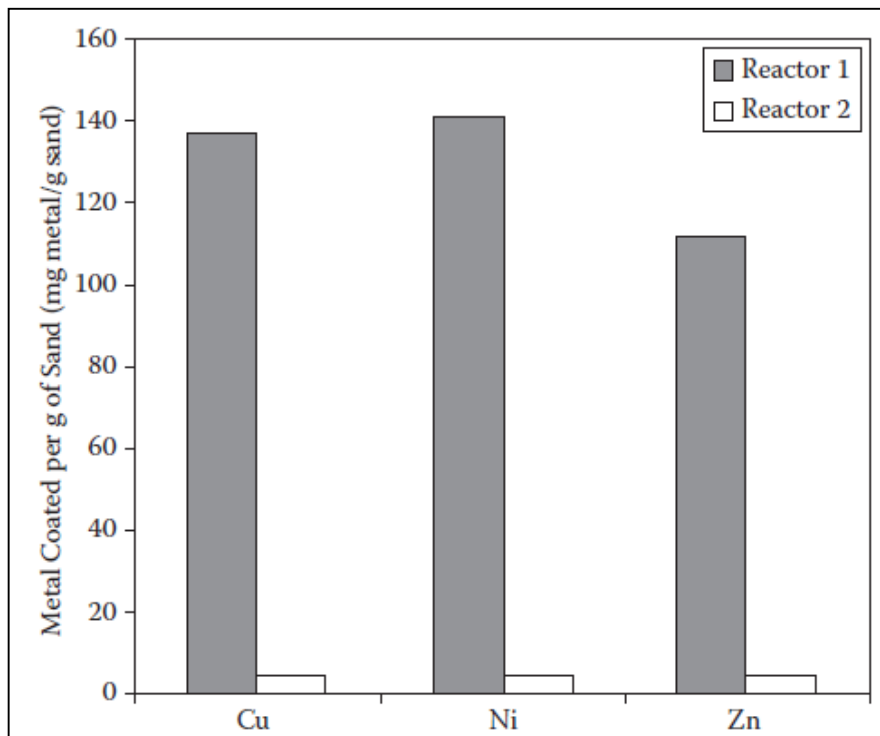
Ilustración 11. Fotografía SEM de arena recubierta de metal



Fuente: Zhou et al. 1999

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Ilustración 12. Contenido de metales pesados en las partículas de arena recogidas de reactor de lecho fluidizado (Reactor 1) y el filtro (Reactor 2).

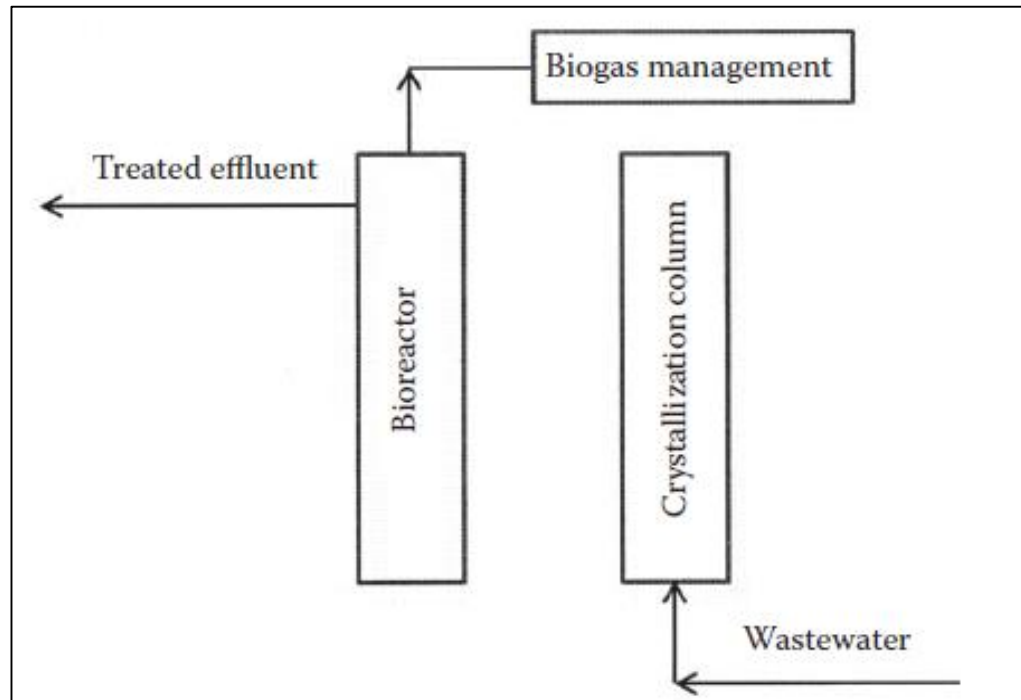


2.4.2. MÉTODO 2. Extracción y Recuperación del Cobre

Un sistema de tratamiento de agua de dos etapas con una integración de un biorreactor sulfato-reducción con un reactor de FBC demostrado en la Ilustración 13 fue desarrollado para la eliminación y recuperación de cobre (Sierra-Alvarez et al. 2007). Durante la prueba, se empleó aguas residuales de fabricación de semiconductores sintética que contenía niveles altos de cobre, sulfato, y una mezcla de citrato, isopropanol, y polietilenglicol. Arena fina se utilizó como material de siembra para la cristalización de metal. Se demostró que este reactor de dos etapas fue muy eficiente para la eliminación de cobre; se logró la eficiencia de eliminación de más del 99% para el cobre, y la concentración de cobre en el efluente fue de sólo 89 µg/l. Los cristales de cobre depositados sobre granos de arena fueron identificados como covelita (CuS) con una alta pureza. El sistema mostró un gran potencial para la eliminación simultánea de metales pesados y contaminantes orgánicos.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Ilustración 13. Diagrama del proceso de sistema de reactor biorreactor/cristalización de sulfato-reductores. Se utiliza NaOH 1M de NaOH para la absorción de biogás en el sistema de "gestión de biogás".



2.4.3. MÉTODO 3. Remoción de arsénico

Huang y colaboradores utilizaron un proceso de precipitación-cristalización para tratar aguas residuales que contienen arsénico de alta resistencia con el diagrama de reactor y proceso que se muestra en las Ilustración 14 y 15 (Huang et al. 2007). Ensayos de jarras fueron llevados a cabo para evaluar inicialmente la precipitación de sulfuro de arsénico. Los parámetros más significativos fueron la dosis de sulfuro y pH operacional. El proceso se optimizó para cumplir con la norma de descarga de aguas residuales. Se encontró que la tecnología mostro una alta capacidad de eliminación de arsénico y la concentración de arsénico en el efluente después del tratamiento fue al nivel de ppb a pH 2, el nivel de arsénico podría satisfacer el valor regularidad en Taiwán.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Ilustración 14. Reactor de lecho fluidizado para la remoción de arsénico.

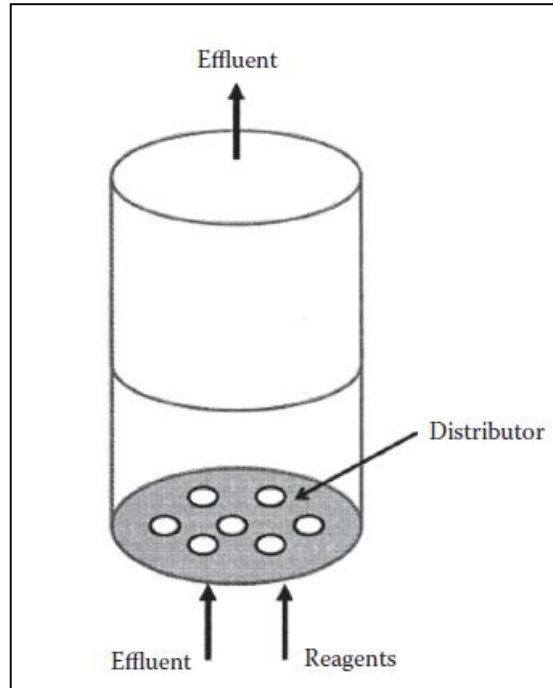
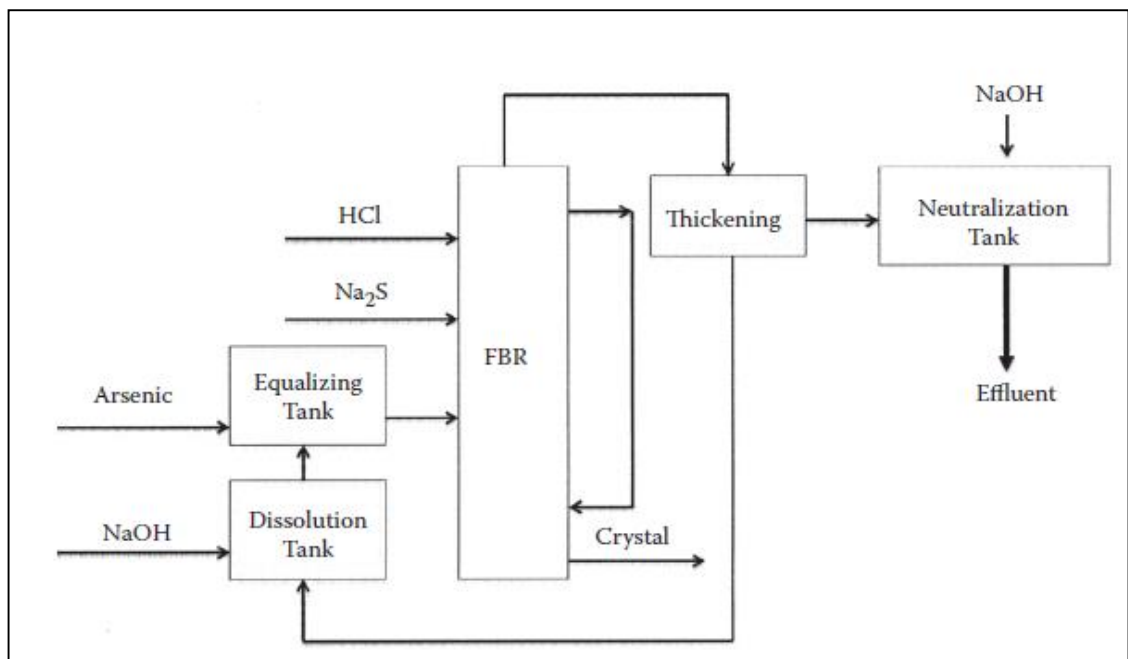


Ilustración 15. Diagrama del proceso de proceso de FBC para tratamiento de aguas residuales que contiene arsénico de alta resistencia.



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

3. TECNOLOGÍAS ELECTROQUÍMICAS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS

Las técnicas de tratamiento electroquímico se están convirtiendo en los métodos de tratamiento de aguas residuales alternativos debido a que tales aguas residuales tóxicas contienen contaminantes que no son fácilmente biodegradables como los metales pesados y requieren costosos pretratamientos físicos o fisicoquímicos. Se ha demostrado que las tecnologías de tratamiento electroquímico se pueden utilizar eficazmente para la remoción de metales pesados (Gutierrez et al. 2010; Pocięcha y Lestan, 2010; Britto-Costa y Ruotolo, 2011). Pueden trabajar directa o indirectamente para lograr el objetivo de descontaminación, hay al menos dos electrodos involucrados en el tratamiento electroquímico, es decir, el ánodo y el cátodo. Cuando se aplica una corriente continua a los electrodos, las reacciones de oxidación y reducción se producen en el ánodo y el cátodo, respectivamente.

Cuando una solución contiene iones de metales pesados, pueden ser reducidos a su forma elemental en la superficie del cátodo debido a la reducción química. La forma elemental reducida de metal puede depositarse sobre la superficie del cátodo. Este es un enfoque directo a la descontaminación de metales, que se llama electrodeposición. Por otra parte, cuando se utiliza una placa de metal de sacrificio (normalmente hierro o de aluminio) en el ánodo, puede ser oxidado y forma iones metálicos (Fe^{2+} , Fe^{3+} , o Al^{3+}), que posteriormente forman una serie de hidróxidos metálicos. La producción de iones metálicos libres y los hidróxidos metálicos puede causar un efecto como coagulación química, que puede eliminar iones de metales pesados de la solución de agua. Este es un enfoque indirecto (llamado electrocoagulación, CE) para la descontaminación de metales pesados.

3.1. TECNOLOGÍA DE ELECTRODEPOSICIÓN

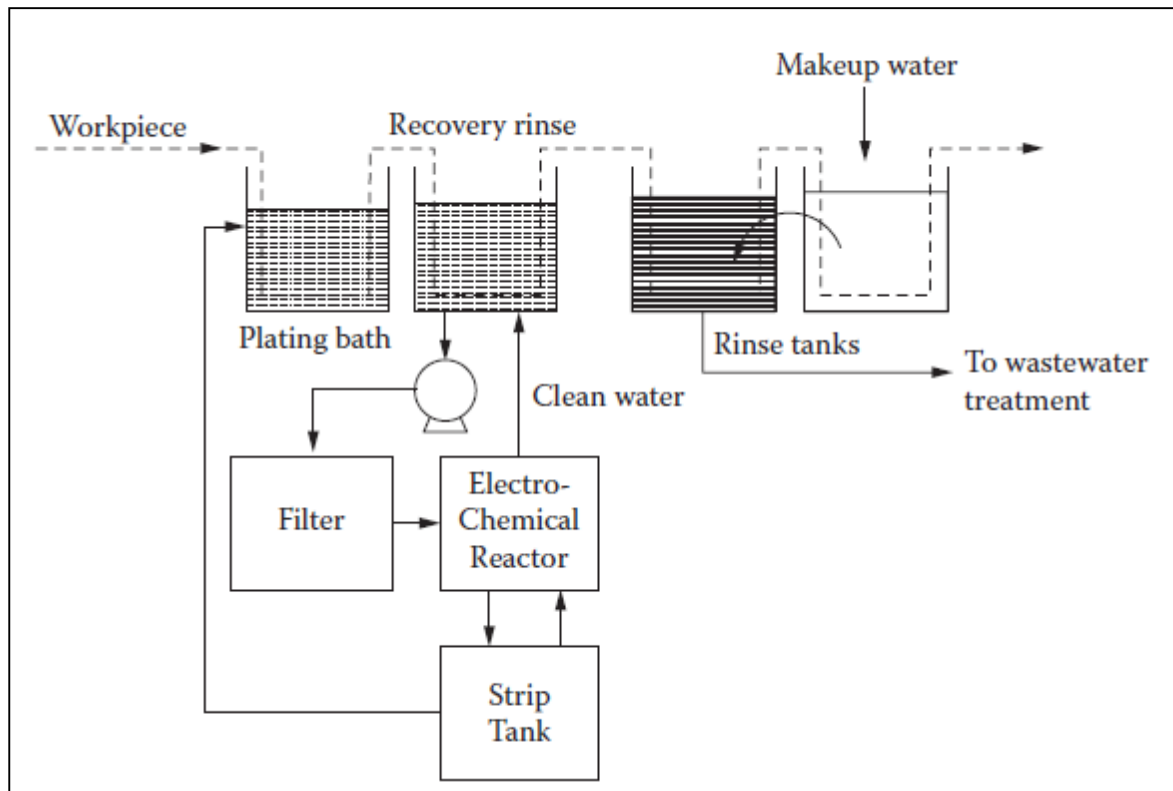
La electrodeposición es una tecnología electroquímica en la que los iones metálicos se depositan sobre la superficie del electrodo (cátodo). Se necesitan un baño de galvanoplastia, un ánodo insoluble, y un cátodo adecuado, que es mucho más simple que muchas otras tecnologías de tratamiento de aguas residuales. La eliminación catódica de metales pesados por electrodeposición tiene varias ventajas en términos de costos, no hay lodos producidos, la seguridad, la recuperación del metal puro, y la versatilidad. Tras el tratamiento, el metal elemental puede ser producido directamente a fin de obtener metal de alta pureza para usos industriales. Aparte de la recuperación de los metales en su forma metálica, el tratamiento electroquímico de contaminantes de iones metálicos tiene varias ventajas: (1) no hay reactivos químicos adicionales necesarios; (2) no hay producción de lodos; (3) alta selectividad; (4) de bajo costo de operación; y (5) la desinfección del agua residual (Li et al. 2004; Chen et al. 2005). Sin embargo, hay desventajas: La velocidad de deposición y la composición de la solución en algunos casos pueden causar la producción de dendritas y depósitos sueltos o esponjosos. La interferencia de la reacción de producción de hidrógeno o de la producción de gas de oxígeno tiene que ser minimizado para garantizar la seguridad en las operaciones.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

3.2. APLICACIÓN INDUSTRIAL

La recuperación de metales por electrodeposición se puede utilizar en diversas industrias, tales como la industria del acabado de superficie y la industria de fabricación de placa de circuito impreso. La aplicación de la recuperación de metales debe ser de gran utilidad en la industria de la minería de metales, especialmente en la producción de metales preciosos tales como el oro (EPA, 1985). La recuperación de metales por electrodeposición aquí implica dos pasos: la deposición de metales pesados y la extracción de los metales recogidos. La etapa de recogida implica la reducción eléctrica, y la extracción puede llevarse a cabo química o electroquímicamente. Para efluentes diluidos, una unidad de intercambio de iones se puede utilizar para concentrar el metal. Las corrientes de alta concentración pueden ser tratadas directamente utilizando un sistema de recuperación como en la industria del acabado de superficie metálica. Los polvos metálicos se pueden formar en la superficie de los cátodos de carbono. Por lo tanto, la separación física es suficiente. Los metales recuperados pueden ser de muy alta pureza. Una aplicación industrial de electrodeposición para la recuperación de metal se describe de la siguiente manera.

Ilustración 16. Dispositivo de tratamiento electroquímico para remoción de cadmio



CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Un dispositivo electroquímico que se muestra en la Ilustración 16 se instaló en una empresa de acabado de metales en Baltimore-USA, para eliminar cadmio (EPA, 1985). Se utilizó un cátodo de fibra de carbono. El agua para tratamiento que contenía cadmio, pasa a través del cátodo, donde el metal (es decir, el contaminante metálico, cadmio) se recubre en la superficie del cátodo. El metal se retira del electrodo de cátodo mediante la inversión de la corriente o de enjuague con una solución de extracción. El electrodo "regenerado" se devuelve entonces al lote de chapado para el ciclo siguiente de operación. Como se muestra en la Ilustración 16, las aguas residuales del proceso de producción se bombean a través de un filtro para la eliminación de partículas y luego al reactor electroquímico. El agua tratada se devuelve al tanque de enjuague. Tenga en cuenta que la fuente de alimentación para el reactor es de un rectificador que convierte la CA en CC.

Fuente: EPA, 1987

3.3. LA ELECTROCOAGULACIÓN

La electrocoagulación (CE) es el proceso de eliminación/tratamiento de suspensión, emulsionados o contaminantes disueltos (por ejemplo, aceite, colorantes, metales pesados) en una solución acuosa mediante la introducción de una corriente eléctrica en el medio (Chen, 2004). En el proceso de CE, el coagulante es generado electroquímicamente in situ por oxidación electrolítica del material del ánodo, lo que provoca la neutralización de las cargas eléctricas y la formación de hidróxidos del metal para eliminar agentes contaminantes. Por ejemplo, ánodos de aluminio se utilizan para producir cationes de aluminio que tienen el mismo efecto que la adición de coagulantes a base de Al en sistemas de tratamiento convencionales. En el proceso, la formación de hidróxidos metálicos y la coagulación se producen simultáneamente. Este proceso ha demostrado ser muy eficaz en la eliminación de contaminantes del agua sin el uso de productos químicos y también es fácil de operar.

En general se acepta que el proceso de CE implica tres etapas sucesivas: (a) formación de coagulantes por oxidación electrolítica de los ánodos; (b) la desestabilización de los contaminantes, la suspensión de partículas, y la rotura de emulsiones; (c) la agregación de los sólidos suspendidos desestabilizados para formar flóculos. Una forma más simple del reactor de CE puede estar compuesta de una celda electrolítica con un ánodo y un cátodo, en el que las reacciones de oxidación y reducción se producen respectivamente. Los ánodos se conocen comúnmente como "electrodos de sacrificio" y pueden comúnmente ser de hierro o aluminio (Mollah et al.2001).

3.4. ELECTROFLOTACIÓN

La electroflotación (EF) es un proceso simple de unidad que flota contaminantes a la superficie de una solución de agua por pequeñas burbujas de hidrógeno o de oxígeno.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

3.5. COMBINACIÓN DE CE Y EF

La CE combinada con el proceso de EF es una tecnología electroquímica que se puede utilizar para la eliminación de metales pesados. También se puede utilizar para la eliminación de contaminantes tales como sólidos suspendidos (SS), color, aceite y grasa y compuestos orgánicos.

La combinación de EC y EF consiste en cuatro etapas sucesivas: (a) la generación in situ de coagulantes por oxidación electrolítica de los ánodos; (b) la desestabilización de los contaminantes; (c) la agregación de las fases desestabilizadas para formar flóculos; y (d) la realización de los flóculos a la parte superior del reactor por las finas burbujas formadas.

Además de la coagulación/floculación, los iones metálicos se eliminan debido a la hidrólisis, coprecipitación, y la reducción/oxidación. Por ejemplo, los iones de cromo hexavalente se pueden eliminar debido a dos pasos de reacción. Los iones de Cr (VI) se reducen primeramente a Cr (III) en el cátodo y luego precipitan juntos con el hidróxido en la solución.

Las ventajas y desventajas para la tecnología combinada CE/EF pueden resumirse como sigue:

- a. Mayor eficiencia para el tratamiento de compuestos orgánicos, sólidos, iones de metales pesados y colores
- b. Ninguna adición química necesaria
- c. Baja cantidad de la producción de lodos en comparación con la coagulación/floculación convencional
- d. La desinfección de microorganismos
- e. Fácil de usar para el tratamiento de bajo volumen de aguas residuales
- f. No existe un requisito adicional para la agitación mecánica
- g. Menor tiempo de contacto
- h. La mayor eficiencia de corriente
- i. Los electrodos deben ser reemplazados con regularidad debido a los "electrodos de sacrificio" se disuelven en las corrientes de aguas residuales.
- j. Pueden existir pequeñas cantidades de aluminio y el contenido de hierro en el efluente.
- k. El efluente puede tener un color amarillo cuando se utiliza hierro.
- l. La pasivación de los ánodos puede producirse debido a la formación de película de óxido, lo que conduce a un aumento en el consumo de energía.

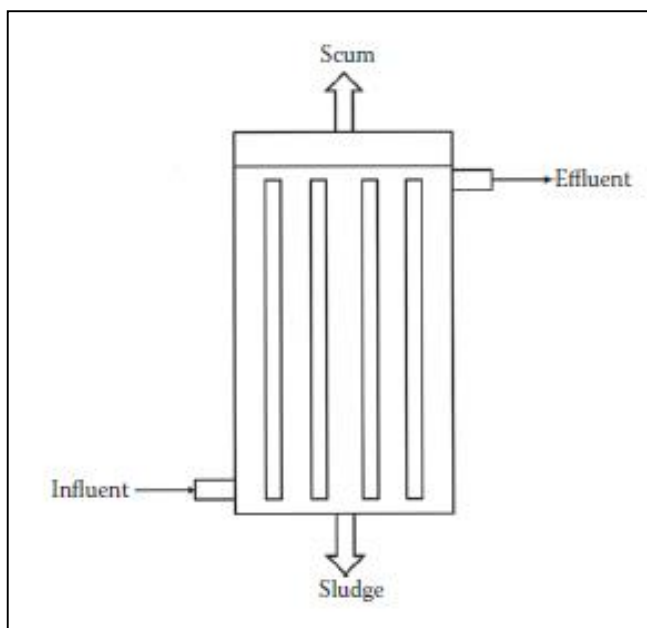
3.6. ARREGLOS CELULARES

Las células electroquímicas para CE/EF se pueden organizar como se muestra en la Ilustración 17. La forma más simple de este tipo de disposición se compone de dos electrodos, un ánodo y un cátodo. La conexión eléctrica puede ser bipolar o monopolar; sin embargo, se prefiere una conexión bipolar. Aparte de eso, el flujo de las aguas

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

residuales puede ser manipulado en un único o de múltiples canales. Si una cantidad suficiente H_2 se produce en el cátodo, la EF puede tener lugar.

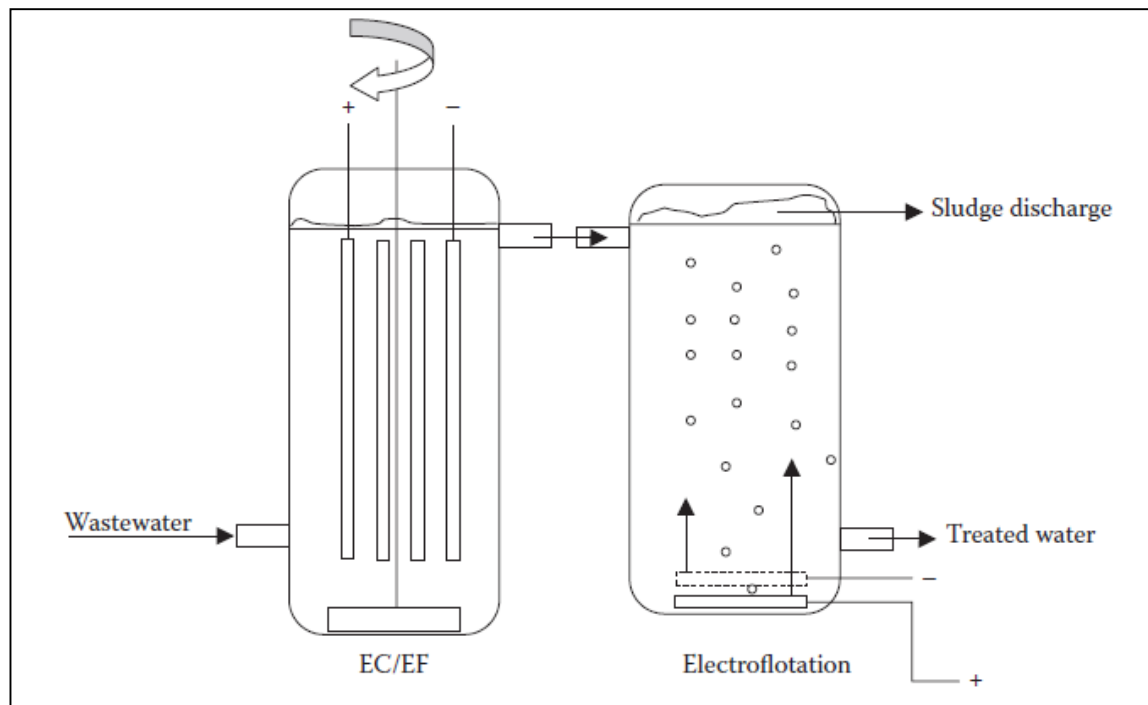
Ilustración 17. Reactor electroquímico para CE / EF.



Si las burbujas de gas hidrógeno en la CE/EF indicadas en la Ilustración 17 son insuficientes, se añadiría una EF después de la CE/EF, y todo el sistema se convertiría entonces en un proceso EC/EF-ELECTROFLOTACIÓN combinado. El sistema combinado se ilustra en la Ilustración 18 mejoraría la eficiencia de eliminación de metales pesados.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Ilustración 18. Tecnologías combinadas electrocoagulación y electroflotación.



En el proceso de EC/EF, los metales pesados se coagulan/ precipitan, y algunos de los flocúlos son capaces de flotar debido a la producción de burbujas de gas. Se necesita agitación ligera con el fin de reducir al mínimo la sedimentación de los lodos. Tenga en cuenta que los electrodos utilizados en la EF debe ser inertes con el fin de evitar la oxidación en el ánodo, ya que el oxígeno puede ser producido a través de la oxidación de los iones de hidróxido.

3.6. TRATAMIENTOS DE CONTAMINANTES

3.6.1. MÉTODO 1. Remoción de cobre

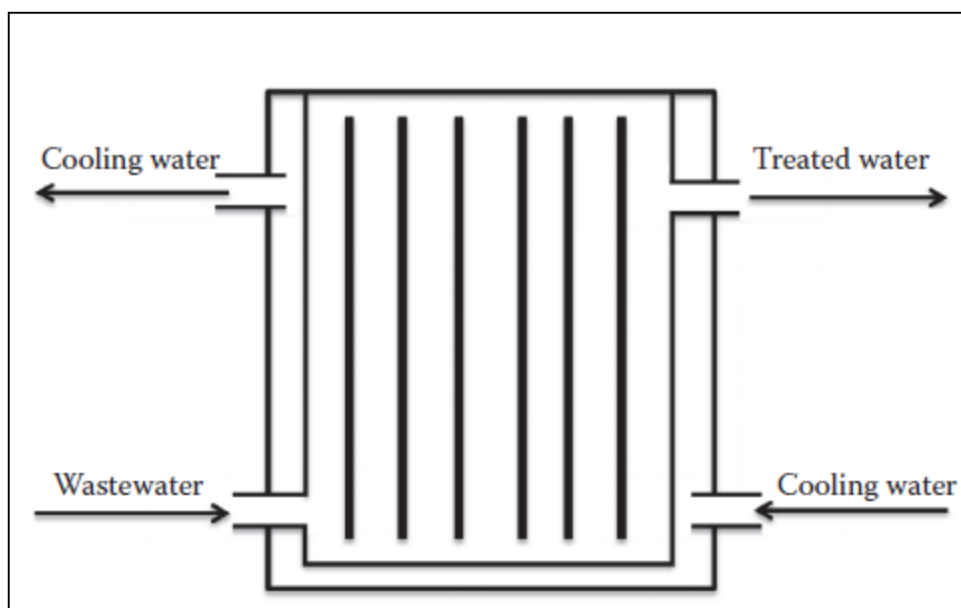
Escobar y colaboradores (2006) realizaron un estudio sobre la CE para la eliminación de cobre, plomo y cadmio en las aguas naturales y residuales. En el estudio se utilizó electrodo de acero laminado comercial y el agua residual simulada contenía 12 mg/L de cobre, 4 mg/L de Plomo y 4 mg/L de cadmio. Se encontró que la eliminación del cobre se logró principalmente por adsorción sobre el producto coagulado. Se identificaron las condiciones óptimas para el proceso como pH 7, velocidad de flujo 6,3 cm³ / min, y una densidad de corriente entre 31 y 54A/m². En un electrodo de área geométrica de 35 cm² y tiempo de electrólisis de 6 min, se observó una tasa máxima de extracción de cobre del 80%. Se identificó una relación lineal entre la densidad de corriente y la masa de lodos

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

generados. Además, el consumo específico de energía y la densidad de corriente se relacionaron linealmente.

Se realizó una operación continua para la CE con el fin de explorar sus eficiencias de tratamiento y la identificación de las condiciones de funcionamiento óptimas para el tratamiento de cobre de aguas residuales de pulido mecánico (Cu-CMP) (Lai y Lin, 2006). En la prueba, la celda era un reactor de vidrio de 1L Pyrex, que estaba equipado con un control de temperatura. Placas de aluminio (Al) y el hierro (Fe) de (20 cm L x 3 cm W) se utilizaron como el par ánodo/cátodo, y los electrodos se situaron aproximadamente a 1 cm de distancia. Tres pares de electrodos se adoptaron en las pruebas experimentales, como se muestra en la Ilustración 19. Los pares de electrodos se sumergieron en las aguas residuales CMP con una superficie de electrodo efectiva de 72 cm². Un agitador magnético, se emplea en el reactor para mantener una buena mezcla de las aguas residuales durante el proceso de CE de CMP. Se encontró que la CE de las aguas residuales para CMP era capaz de realizar una eficiencia de 96% de reducción de la turbidez (NTU) y más de 96% a 99% de eficiencia de eliminación de iones de cobre con un potencial aplicado de 30 V en 30 min.

Ilustración 19. Diagrama esquemático del sistema de electrocoagulación para el tratamiento de Cu en aguas residuales CMP



Fuente: Lai y Lin, 2006

3.6.2. MÉTODO 2. Eliminación de cromo

Godler y colaboradores, (2007) comunicaron un estudio sobre la eliminación de cromo trivalente (Cr³⁺) por CE/EF. Se investigaron las influencias de parámetros de

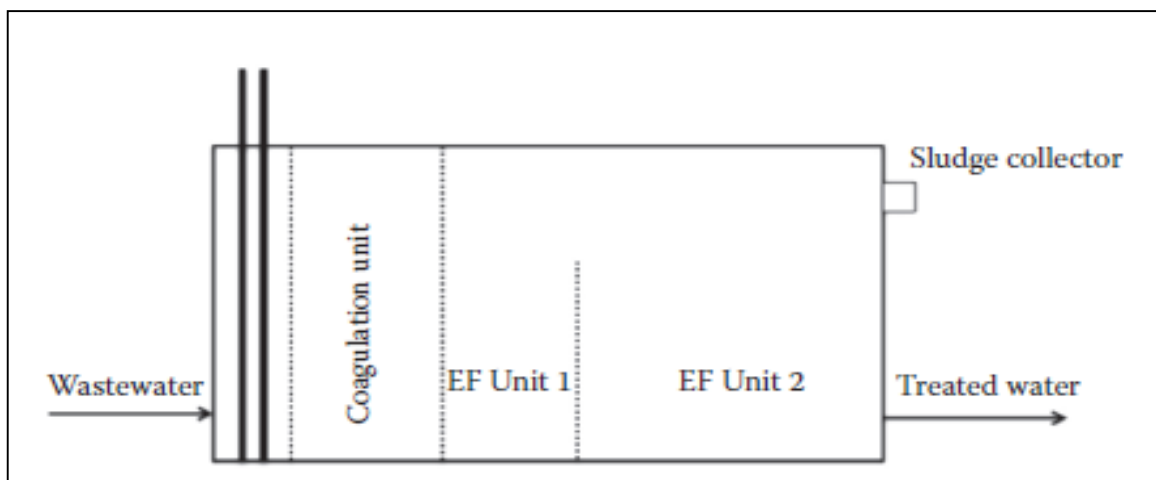
CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

funcionamiento importantes, tales como la densidad de la célula, el pH y el tiempo de contacto en la eficiencia de eliminación. En el estudio, se utilizó un reactor electrolítico 1,0 L Perspex (102 × 102 × 124 mm) equipado con una placa plana de Al como electrodo para los experimentos por lotes de la CE, y se añadió NaCl para proporcionar suficiente conductividad.

Los resultados mostraron que una velocidad de agitación más alta mejora la eliminación de Cr^{3+} debido al contacto mejorado con el floculo de Al. Se observó que la densidad de corriente aplicada afectada significativamente la eficiencia de eliminación.

Gao y colaboradores (2005), diseñaron un proceso de CE y EF combinado para reducir CrO_4^{2-} a Cr^{3+} y luego para eliminar el Cr total de las aguas residuales por debajo de 0,5 mg/L. La instalación experimental del diseñado para el proceso de eliminación de Cr (VI) se muestra esquemáticamente en la Ilustración 20. El aparato consta de tres partes principales: producción de Fe^{2+} para la reducción de Cr^{6+} a Cr^{3+} , la coagulación de los precipitados recién formados con ajuste del pH, y la separación de los lodos a través de flotación. Se encontró que el Cr (VI) se re. dujo con éxito a Cr (III) por la formación in situ de Fe^{2+} electroquímicamente. Las burbujas de gas generadas a partir de la electrólisis del agua EF pueden flotar de manera efectiva el lodo formado. La eficiencia de flotación podría mejorarse mediante la adición de una pequeña cantidad de tensioactivo. Después del tratamiento, en los sólidos suspendidos se encontró que estaban por debajo de 3 mg/L y el contenido de Cr total era menos de 0,5 mg/L a las condiciones óptimas. El consumo de energía fue de menos de 1 kWh/m³ a una conductividad de agua de 1,5 mS/cm.

Ilustración 20. Esquema del sistema combinado de CE y EF para el tratamiento de aguas residuales de cromo hexavalente.

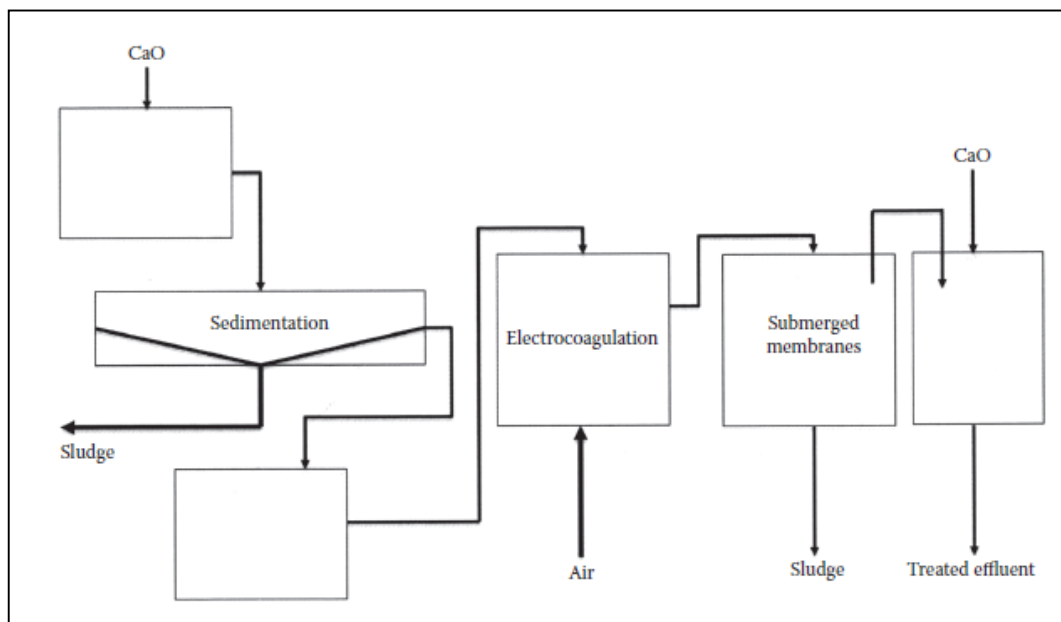


CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

3.6.3. MÉTODO 3. Un Proceso híbrido CE/ EF con membrana

Se estudió un proceso híbrido de CE/ EF con membrana para el tratamiento de aguas residuales de producción industrial que contenía altas concentraciones de Cu y de cationes de metálicos como Cd, Zn, Pb y Fe, así como aniones de metales pesados tales como As y Se (Mavrov et al. 2006). El diagrama esquemático de la configuración experimental se muestra en la **Figura 19**, que consiste principalmente en la neutralización de cal primaria con la sedimentación, la CE, la microfiltración, la neutralización con cal y una final sedimentación. En el reactor CE/EF, el electrodo de hierro y malla de acero inoxidable fueron utilizados como ánodos y cátodos, respectivamente. Se utilizó una membrana de microfiltración con poros de 0,3 micras

Ilustración 21. Diagrama esquemático de híbrido CE/EF y la membrana del proceso para el tratamiento de aguas residuales de metales concentrados



Fuente: Mavrov et al. 2006

El tamaño del volumen del reactor era de 1 L, y la tasa de flujo fue en el rango de 3-10 L/h. El proceso híbrido de filtración/membrana y CE demostró resultados muy prometedores para la eliminación de Se, así como otros metales (especialmente As, Cu y Pb) en el tratamiento de las aguas residuales industriales. Se encontró que, en un tiempo de contacto de 20 min y bajo una densidad de corriente de 4,8 mA/cm², la concentración de Se se redujo en un 98,7%. Para las condiciones de tratamiento similares, las eficiencias de remoción de As, Cu y Pb, Cd y Zn y se encontraron como 99,9%, 98% y 99,9%, respectivamente. El lodo de la microfiltración se podría utilizar como un adsorbente.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

4. TECNOLOGÍA DE LA ADSORCIÓN

La sorción y adsorción pueden definirse, respectivamente, como fenómenos gas-sólido y líquido-sólido en el que los componentes particulares se acumulan o concentran en la superficie entre las dos fases. Fuerzas desequilibradas de atracción entre las fases gas-sólido o líquido-sólido resultan en un aumento de la concentración de los componentes particulares en la fase sólida. La sorción puede ser categorizada como sorción física o quimisorción. La sorción física implica sólo fuerzas relativamente débiles, mientras que en la quimisorción se forma un enlace químico entre el componente (sorbato) con los componentes absorbentes sobre la superficie sólida. La adsorción del metal se produce de acuerdo a las reacciones de quimisorción o adsorción química. En las últimas décadas, un aumento dramático en la cantidad de contaminantes metálicos ha planteado muchos problemas ambientales graves. Los procesos de tratamiento más comunes, como la precipitación y de intercambio de iones suelen ser eficaces en la reducción de la extensión de la contaminación, pero no son económicos. La absorción por diferentes adsorbentes, tales como biosorbentes y absorbentes de tamaño nanométrico, se ha convertido en una de las tecnologías más eficaces para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua y aguas residuales. Según un estudio de la literatura, los metales y la adsorción son los temas más comúnmente estudiados de la investigación en los últimos 10 años. Hay varios tipos de adsorbentes que pueden ser utilizados para la descontaminación de metales pesados. Los adsorbentes más importantes son carbono, biosorbente, óxido de metal, y sorbente sintetizado activado. El carbón activado es el adsorbente, sin duda más popular y ampliamente utilizado en los tratamientos de aguas residuales debido a su gran superficie y su alto grado de reactividad superficial (Radovic et al. 2001).

Los átomos de carbono activado, en forma de polvo de carbono activado (PAC), el carbono granular activado (GAC), fibrosa carbón activado (ACF), y tela de carbón activado (ACC), se han utilizado en el tratamiento del agua. Aunque el carbono activado está diseñado para el tratamiento de contaminantes orgánicos, puede eliminar algunos metales pesados. Un Bioadsorbente es un adsorbente que se basa en un biomaterial activo o inactivo o su derivado. La biosorción de metales pesados con biosorbente ha mostrado cada vez más una gran importancia y eficiencia (por ejemplo las bacterias, hongos, levaduras y algas) en los últimos años (Davis et al. 2003). Normalmente, el tratamiento previo del biomaterial debe ser realizado antes de la aplicación, ya que puede reducir la lixiviación de sustancias no deseadas, tales como compuestos orgánicos e iones metálicos ligeros durante la biosorción y mejorar el rendimiento.

4.1. CARBÓN ACTIVADO

Dependiendo de las condiciones operativas en la fabricación de carbonos, los carbonos activados comerciales disponibles se pueden dividir en tipos H y L (Corapcioglu y Huang, 1987). Aquellos que se activan a altas temperaturas y adsorben H^+ se denominan carbonos de tipo H. Ejemplos de carbonos activados de tipo H son de cáscara de coco con base y polvo de carbón carbonos como Filtrasorb 400 y 200 (Chen y Lin, 2001). Loa

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

carbones oxidados de baja temperatura que pueden adsorber iones OH^- principalmente se llaman carbonos de tipo L, tales como carbonos de madera. La adsorción por el carbón activado se ha usado para la eliminación de los contaminantes metálicos tóxicos de la solución acuosa. El GAC se utiliza generalmente en columnas de proceso por lotes y de lecho fijo. Ocasionalmente, se utiliza PAC, que no se recupera para la regeneración; Sin embargo, este tipo de aplicación es generalmente limitada. Numerosos estudios han demostrado que muchos factores, tales como el pH, la fuerza iónica, la concentración inicial de iones metálicos, iones metálicos en competencia, la dosis y el tipo de adsorbente, el electrolito de fondo, el agente complejante y la influencia de iones de metal de adsorción.

4.2. BIOSORBENTES

Una tecnología prometedora para la eliminación de metales pesados es la biosorción, donde biopolímeros y organismos no vivos actúan como biosorbentes. Se ha documentado que los biosorbentes tienen un alto potencial para atrapar y acumular rápidamente iones de metales pesados presentes en soluciones acuosas.

El costo de biosorbentes es normalmente menor que los carbonos activados y otros adsorbentes sintetizados como se muestra en la Tabla 2. Si se considera el costo por kg de metal eliminado, la ventaja de utilizar biosorbente se hace mucho más evidente. Además, los biosorbentes utilizados, después de entrar en contacto con una solución débilmente ácida, pueden ser reutilizados, y su eficacia para la eliminación de iones metálicos es comparable a la de biosorbentes frescos. Se encontró a partir de organismos vivos que viven en el mar y aguas dulces, biosorbentes ricos en carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo. Los ligandos orgánicos o los grupos funcionales en los biosorbentes juegan un papel dominante en la eliminación de varios metales pesados contaminantes. Estos grupos funcionales representativos son carboxilo, hidroxilo, sulfato, fosfato, y grupos amina. Entre ellos, el grupo carboxilo es el más importante para la unión de metal. Los mecanismos de biosorción incluyen la formación de complejos, la coordinación, la precipitación de superficie, quelante, y el intercambio iónico.

Entre los diversos biosorbentes reportados en la literatura, las algas marinas son identificadas como buenos biosorbentes debido a su bajo costo, renovabilidad, y la capacidad de biosorción de metales es alta. Ellos pueden eliminar eficazmente iones de metales pesados a partir de concentraciones que van desde pocas partes por millón a varios cientos partes por millón. La biosorción de cationes es más eficaz que la de aniones. La capacidad de biosorción es normalmente mucho mayor que los adsorbentes comerciales y resinas de intercambio de iones.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Tabla 54. Comparativa de precios de diferentes Absorbentes

| Type Of Sorbent | Price Of Sorbent |
|--------------------|---------------------|
| Biosorbent | \$0.2 to \$5 per Kg |
| Activated carbón | \$0.5 to \$7 per Kg |
| Ion Exchange resin | \$10 to \$40 per Kg |

4.3. PREPARACIÓN DE BIOSORBENTES

Varios criterios deben ser considerados en la selección de un biosorbente apropiado. En primer lugar, debe ser de bajo costo, tanto en la adquisición (por ejemplo, la recolección y fabricación) y reciclable/reutilizable. En segundo lugar, el biosorbente debe tener una alta capacidad de sorción, gran selectividad, y cinética de sorción rápida.

En tercer lugar, el biosorbente debe tener propiedades mecánicas estables con el fin de ser utilizado en varios reactores tales como la operación en columna. Cualquier cambio en el tamaño (contracción o hinchazón) durante la operación es altamente indeseable y debe evitarse.

La biomasa cruda se puede recoger a partir de fuentes naturales o industriales. La Ilustración 22 muestra dos tipos algas *Padina* sp. y *Sargassum* sp., que han sido reportadas por la biosorción de metales pesados en la literatura (Yang y Chen, 2008; Jalali et al. 2002; Volesky, 1994). Normalmente, la biomasa cruda no puede ser utilizada directamente como un bioadsorbente para la eliminación de metales. En primer lugar, varias impurezas tales como materia orgánica, iones de metales ligeros, y asuntos particulares son liberadas de la biomasa cruda cuando se trata de aguas residuales metálicas.

Ilustración 22. Ilustración de algas marinas típicas de biosorción de metales pesados.



Padina sp.



Sargassum sp.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Se requiere un costo adicional para la eliminación de estas sustancias, a pesar de que se eliminan iones de metales pesados. Entre las impurezas, las materias orgánicas de lixiviación de los biosorbentes son a menudo considerados como un contaminante secundario y retardan la tecnología de biosorción en el tratamiento de aguas y aguas residuales. En segundo lugar, la capacidad de eliminación de metal se puede mejorar si la *modificación* se lleva a cabo en la biomasa cruda. La biomasa modificada puede ser utilizada en espectro más amplio de aplicaciones. Tomemos la *Saragsium* sp. como un ejemplo. El nivel de carbono orgánico total en la solución llega a ser bastante alta después de que se complete el proceso de biosorción. Kratochvil y Volesky (1998), informaron que el carbono orgánico total (TOC) del efluente de una columna llena de Sargassum fue de alrededor de 24 mg/L en la fase temprana de operación. El TOC durante la desorción puede ser tan alto como 55 mg/L.

4.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE ADSORCIÓN

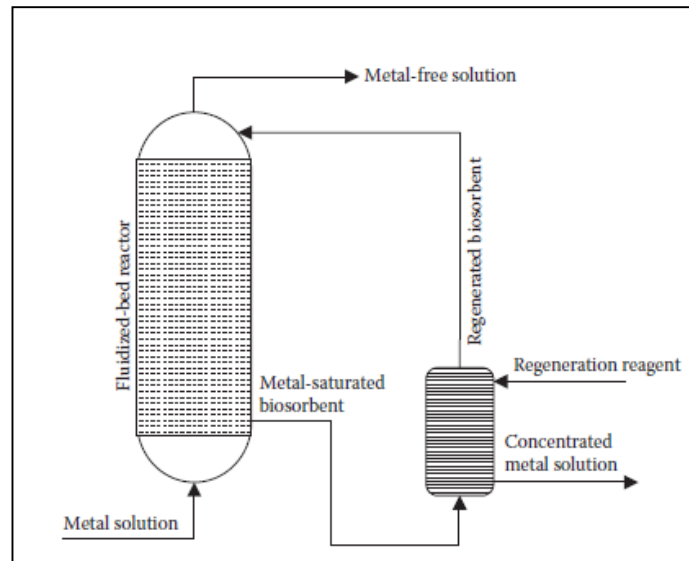
Cualquier adsorción es un proceso de interacción líquido-sólido. Similar al proceso de intercambio iónico, un proceso de sorción puede funcionar en lotes, semicontinuo o modo continuo. Estos pueden ser a través de un reactor de flujo ascendente/flujo descendente de lecho fijo, reactor de lecho fluidizado, o reactor de tratamiento de agitación continua. El reactor de flujo descendente de lecho fijo es económico en su funcionamiento y muy utilizado en los procesos de intercambio iónico y adsorción, pero necesita controlar cuidadosamente la pérdida de presión a lo largo de la columna.

4.4.1. Método 1. *Reactor de Lecho Fluidizado*

El sorbente puede ser embalado en una columna y el flujo de residuos se bombea de flujo ascendente como se muestra en la ilustración 23. Cuando el caudal alcanza el valor crítico de fluidización, el lecho del sorbente lleno comienza a expandirse y fluidificar. Esta es una operación es llamada lecho fluidizado. Generalmente, un reactor de lecho fluidizado produce menos obstrucción que un reactor de lecho fijo. El mayor grado de mezcla permite una forma más rápida de la cinética de sorción. La desventaja es la expansión del lecho en la operación. Mientras tanto, una condición más estable hidráulica debe mantenerse.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

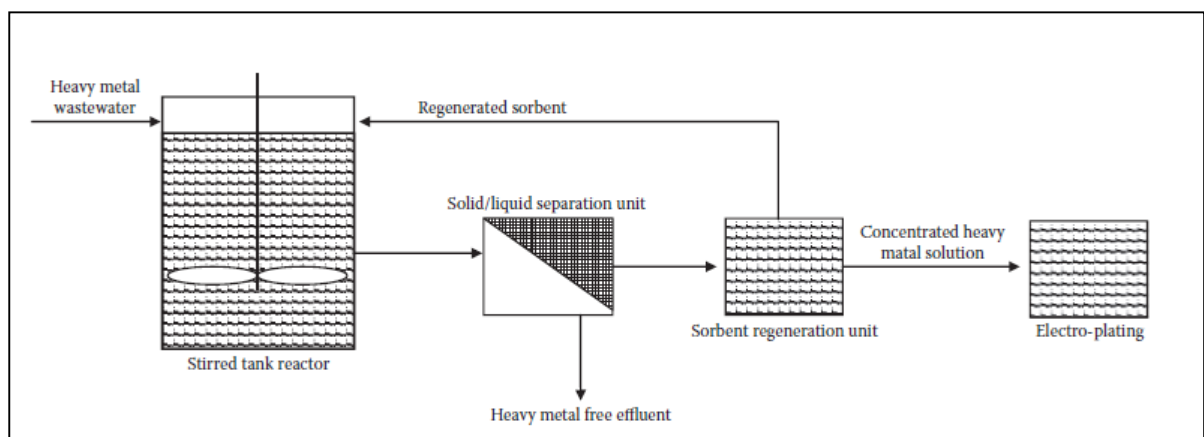
Ilustración 23. Proceso de biosorción basada en reactor de lecho fluidizado.



4.4.2. Método 2. Reactor de Tanque Agitado

La operación de un reactor de tanque agitado puede ser por lotes o continuo. Una cantidad de sorbente se puede añadir en la entrada del reactor o añadido inicialmente en el reactor. El proceso de separación sólido/líquido se puede lograr ya sea por sedimentación por gravedad, o por una unidad adicional de filtración en el mismo tanque. La operación de un reactor de tanque agitado es más simple que los reactores de lecho fijo y fluidizado; sin embargo, el coste de la operación es a menudo mayor. La Ilustración 24 muestra el reactor de tanque agitado para la sorción de metales y su recuperación.

Ilustración 24. Proceso de absorción basado en reactor de tanque agitado.

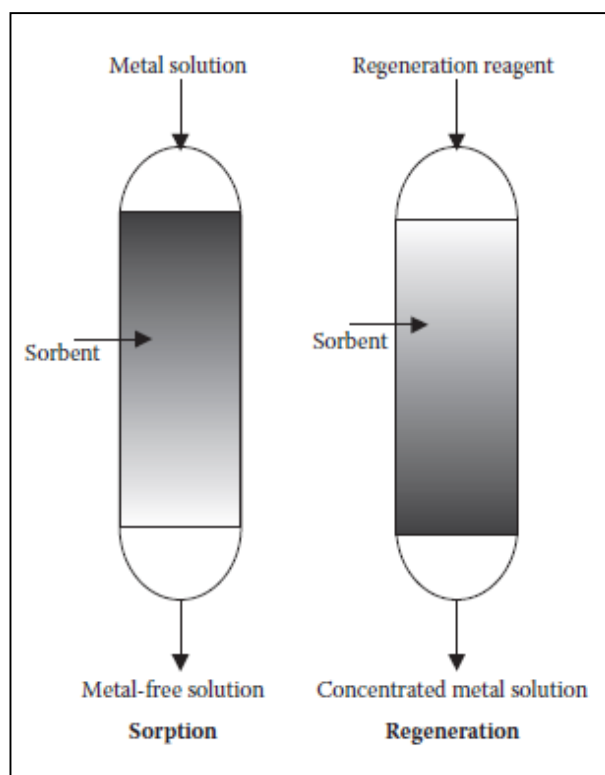


CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

4.4.3. Método 3. Reactor de lecho fijo

Al igual que el sistema de intercambio de iones, un proceso de absorción se puede implementarse mediante la operación de una serie de lechos fijos (Chen et al. 2003). Algunas de los lechos se ponen en funcionamiento para la absorción de metales, mientras que los otros lechos son para la regeneración de los absorbentes usados. Un requisito mínimo de número de columnas es de dos. Uno es para biosorción (captación de metal), y el otro es para la desorción y regeneración del sorbente cargada con metal. Se necesita un sistema de auto-interruptor para la operación. La Ilustración 25 muestra un reactor de lecho fijo para la sorción de metal. El diseño del reactor de eliminación de metales se puede realizar mediante el uso de programas de computadora; algunos de los ejemplos reportados por Chen y colaboradores están disponibles en el literatures (Chen y Wang, 2004).

Ilustración 25. Proceso de biosorción basado en lecho fijo.



Si los flujos de residuos de metálicos contienen sólidos en suspensión, estos sólidos se pueden depositar en o entre partículas de sorbente y aumenta la caída de presión a lo largo de la columna. La absorción del metal puede aumentar tan alto como el 60% del peso del sorbente, lo que reduce la porosidad del lecho y disminuye la tasa de flujo. Partículas demasiado pequeñas de biosorbente son indeseables ya que provocan una

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

caída de presión alta y aumentan los costos de operación. Sin embargo, las partículas demasiado grandes pueden disminuir la medida de la tasa de biosorción que incrementa la resistencia de transferencia de masa externa. Por lo tanto, la selección de tamaño apropiado es importante para el funcionamiento de la sorción en un reactor de lecho fijo. En la aplicación, un diámetro de 2 mm sorbente a menudo se adopta para cumplir con este requisito.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

CONCLUSIONES

El empleo del mercurio es una práctica propia de las comunidades mineras de pequeña escala, por cuestiones culturales, de educación y, por su eficiencia y simplicidad técnica. La adopción de medidas alternativas se basa en demostrar a los mineros que la exposición al mercurio es dañina para su salud y el ambiente, pero puede ser reducida de formas simples y económicas en la explotación de oro.

Las soluciones alternativas tienen ventajas ambientales y sociales, también pueden aumentar los ingresos financieros por el mejoramiento de la productividad: el empleo de técnicas ambientalmente adecuadas debe traducirse en mayor eficiencia de recuperación del oro, ahorro de tiempo y proporcionar mejores precios de venta en mercados específicos, destinados a la compra de oro “limpio de mercurio”.

En síntesis, se discriminan los siguientes tipos de medidas técnicas ambientalmente apropiadas para la extracción del oro y para la gestión y manejo de los residuos peligrosos. Todas estas medidas pueden ser revisadas en bibliografía especializada (e.g. Veiga et al., 2005; 2014; Sousa et al., 2011; Appel, 2011; 2013) y en los guías del PNUMA y del banco Mundial.

La práctica común de someter la totalidad del mineral a la amalgamación tiene que ser abolida. Para tal, deben desarrollarse esfuerzos para optimizar métodos de molienda, trituración y concentración del mineral, y, así, someter solamente el concentrado al proceso de amalgamación. Esta forma de reducir gradualmente el uso y la exposición al mercurio debe ser acompañada de medidas de apoyo técnico que ayuden los mineros a optimizar el grado de molienda y a elegir las técnicas de concentración de bajo coste más adecuadas en cada contexto geológico-minero y social (concentración gravimétrica, magnética o por centrifugación). Igualmente, deben ser promovidas acciones de demostración en las comunidades mineras que evidencien la mayor eficiencia de recuperación de oro, el empleo de menos mercurio y la recuperación del mercurio residual.

El mercurio residual tiene que ser recuperado mediante colocación de “trampas” en las canaletas de descarga de las colas o relaves de flotación después de amalgamación. Estas trampas pueden ser de distintos tipos y construidas de acuerdo con las indicaciones del Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería (2003).

Asegurar el reciclaje del mercurio, que debe ser limpio y reactivado y nunca eliminado en el suelo o medio acuático. Estas operaciones de limpieza pasan por el empleo de telas, detergente común, cal o ácido clorhídrico diluido, y destilación en una retorta.

El empleo de retortas en la quema de la amalgama es una medida esencial en esta fase de eliminación gradual del uso de mercurio. Bajo el apoyo técnico y las campañas de educación debe demostrarse la eficiencia de las retortas en retención de los vapores de mercurio y que es posible la instalación de retortas de bajo coste (Veiga et al., 2006); se propone la elaboración de un guía práctico para el uso de retortas caseras.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014 ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Los mineros deben ser instruidos para normas básicas de higiene y seguridad, con especial atención al lavado de manos, cabeza y cara y al uso de ropa de trabajo. Estas normas básicas pueden ser consultadas en MSHA (2007) y ACGIH (2011). La ropa contaminada no debe ser mezclada con la ropa limpia, a cambiar después de las operaciones con mercurio. Nunca almacenar comida y bebida en los locales de trabajo.

La **eliminación del mercurio** significa que la extracción del oro se va a procesar de dos maneras posibles, dependiendo del tipo de mineral:

Obtención de un concentrado apenas con recurso a molienda, trituración y separación – el esfuerzo debe centrarse en transmitir conocimientos técnicos para optimizar el grado de molienda/trituración para separar las partículas y en la instalación del método de concentración apropiado (gravimetría, magnética o centrifugación).

Tratamiento de los concentrados con lixiviantes alternativos– En algunos casos, el concentrado obtenido en los procesos anteriores tiene que ser sometido a un tratamiento para la recuperación del oro. Otro tratamiento generalizado en la minería industrial, ya citado, es la cianuración adaptable a la minería artesanal. Con un sistema de tratamiento final adecuado y amigable con el ambiente

El empleo del cianuro se presenta como una de las medidas más realistas para el tratamiento de los concentrados, esto es funcional teniendo en cuenta el grado de preparación técnica de los mineros y la educación de sus comunidades, los cuales son pilares esenciales para el empleo de soluciones alternativas al mercurio. La implantación de centros comunitarios de tratamiento de los concentrados, aunque pueda ser una medida importante tiene que ser evaluada en cada caso, ponderando los impactos ambientales de una operación de mayor escala

En paralelo con las medidas de reducción gradual del mercurio hasta su sustitución completa por soluciones alternativas hay que evaluar las posibles estrategias de remediación de sitios contaminados.

Las medidas más citadas en la bibliografía para la remediación de efluentes contaminados refieren empleo de selenio y cal. La cobertura de sedimentos y estériles portadores mercurio con materiales inertes del tipo arena o grava (Bongers, 1972) es un principio básico para minimizar la dispersión de la contaminación. Este método, principalmente complementado con adsorbentes (por ejemplo de tipo lateritas) es recomendado para lagos y balsas. En caso de sedimentos o acumulaciones importantes de materiales con mercurio, dragar el área y disponer en destino final adecuado (mandjo como residuos peligrosos confinados con técnicas de relleno de seguridad) puede ser la solución más apropiada.

Las principales técnicas disponibles para remediación de agua y sedimentos contaminados con mercurio están descritas en la revisión bibliográfica que acompaña este documento. Así se resumió aquí muy brevemente el abordaje más común para la gestión de estos sitios contaminados.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

RECOMENDACIONES

Con el fin de dar cumplimiento a los convenios internacionales firmados y a las reglamentaciones específicas, el camino natural es la eliminación del mercurio en el proceso extractivo del oro en la minería artesanal en el plazo de 5 años. Este objetivo implica una mejora sustancial al nivel de los conocimientos técnicos para la separación eficiente de los minerales, lo que depende mucho de la clase de mineral (aluvial, mena).

Así, una vez más, las campañas de educación y el apoyo técnico a las comunidades mineras de pequeña escala son esenciales para indicarles el grado de molienda adecuado a su caso. Igualmente, el acceso a condiciones de crédito o incentivos financieros podrán facilitar la implementación de métodos de separación y concentración gravimétrica, magnética o por centrifugación.

En los casos en que la tecnología de recuperación del oro apunte para la necesidad de otros tratamientos debe ponderarse la implementación de plantas gestionadas por cooperativas que permitan la operación a mayor escala. El recurso aportado a estos centros debe asegurar el cumplimiento de todas las normativas ambientales vigentes en el País.

Los ministerios de Hacienda, Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Minas y Energía deben establecer políticas de desarrollo productivo minero, enfocado hacia el sector de la minería artesanal que les permita tener acceso a beneficios tributarios y estímulos económicos que le permitan estructurar mecanismos de mejoramiento de la productividad basada en producción limpia, libre de uso de mercurio en sus procedimientos de extracción aurífera.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler-Miserendino, RA, 2012. Tracing Mercury Pollution in Aquatic Ecosystems: Implications for Public Health. (Ph.D. Thesis) Johns Hopkins University, Baltimore, US, pp. 199.
- Amils, R, González_Toril, E, Aguilera, A, Rodríguez, N, Fernández-Remolar, D, Gómez, F, García-Moyano, A, Malki, M, Oggerin, M, Sánchez-Andrea, I. 2011 Chapter 2 – From Río Tinto to Mars: The Terrestrial and Extraterrestrial Ecology of Acidophiles. *Advances in Applied Microbiology*, 77, 41-70.
- Angeloci-Santos, G, 2013. Myths and realities in artisanal gold mining mercury contamination. MSC thesis, University of British Columbia.
- Appel, P.W.U, Na-Oy, L, 2013. How to mitigate mercury pollution in Tanzania. *J. Environ. Prot.* 4, 1–5.
- Appel, PWU, Na-Oy, L, 2011. The borax method of gold extraction for small-scale miners. *J. Health Pollut.* 2 (3), 5–10.
- Aroba, J, Grande, JA, Andujar, JM, de la Torre, ML, Riquelme, JC, 2007. Application of fuzzy logic and data mining techniques as tools for qualitative interpretation of acid mine drainage processes. *Environ. Geol.* 53, 135–145.
- Beard, RR, 1987. Treating Gold Ores by Amalgamation. State of Arizona. Department of Mines and Mineral Resources. Circular 27.
- Begon M, Harper JL, Townsend CR, 1999. *Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona. Omega.
- Bence, J, Stewart-Oaten, A. and Schroeter, S, 1996, Estimating the Size of an Effect from Before- After-Control-Impact-Paired Series Design, in R. J. Schmitt and C. Oseberg (eds), *Detecting Ecological Impacts*, Academic Press, San Diego, California, U.S.A, pp. 133–148.
- Bisquerra, R, 1989. *Conceptual introduction to Multivariate Analysis*. Promociones y Publicaciones Universitarias, S.A. Barcelona, Spain.
- Bolger, P, Michael, Schwetz, BA, 2002. Mercury and Health, *New England Journal of Medicine*, Vol. 347 (22)
- Bongers, LH., Khattak, MN, 1972. Sand and Gravel Overlay for Control of Mercury in Sediments. Environmental Protection Agency, EPA Project 16080 HVA, US Dept. Interior, Washington, DC, 46 pp.
- Borrego, J, 1992. *Sedimentología del estuario del Río Odiel, Huelva, S.O. España*. PhD Thesis. Univ. of Sevilla.
- Borrego, J, Carro, B, López-González, N, de la Rosa, J, Grande, JA, Gómez, T, de la Torre, ML, 2012. Effect of acid mine drainage on dissolved rare earth elements geochemistry along a fluvial-estuarine systems: the Tinto-Odiel estuary (SW Spain). *Hydrology Research*. 43(3): 262-274.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Borrego, J, Morales, JA, de la Torre, ML, Grande, JA, 2002. Geochemical characteristics of heavy metal pollution in surface sediments of the Tinto and Odiel rivers estuaries (SW Spain). *Environmental Geology*. 41 (7) pp: 785-796.

Bose-O'Reilly, S, Lettmeier, B, Gothe, RM, Beinhoff C, Siebert U, Drasch G, 2008. Mercury as a serious health hazard for children in gold mining areas. *Environ Res*, 107, 89-97.

Bowerman, B, O'Connell, R, 1993. *Forecasting and Time Series. An Applied Approach*, Duxbury Press, Belmont, CA, 726 pp.

Box, G, Jenkin, G. and Rinsel, G, 1994, *Time Series Analysis. Forecasting and Control*, Prentice- Hall, Englewood Cliffs, N.J, 592 pp.

Bracken, J.D, Tietz, D, 2005. Analysis of oxiclean: an interesting comparison of percarbonate stain removers chemical. *J. Chem. Educ.*, 82 (5), 762–764.

Britto-Costa, P. H., and Ruotolo, L. A. M. Electrochemical removal of copper ions from aqueous solutions using a modulated current method. *Sep. Sci. Technol.*, 46(7), 1205–1211, 2011.

Bryan FL, Teufel P, Riaz S, Qadar F, Malike J, 1992. Hazards and critical control points of vending operations at a railway station and a bus station in Pakistan. *J. Food Proc.*, 55, 534-541.

Bryan, GW, Langston, WJ, 1992. Bioavailability, accumulation and effect of heavy metals in sediments with special reference to U.K. estuaries. *Environmental Pollution* 76, 89-131.

Cánovas, CR, Hubbard, CG, Olías, M, Nieto, JM, Black, S, Coleman, ML, 2008. Hydrochemical variations and contaminant load in the Río Tinto (Spain) during flood events. *Journal of Hydrology* 350 (1-2), pp. 25-40.

Carro, B, López-González, N, Grande, J.A, Gómez, T, de la Torre, M.L, Valente, T, 2011. Impact of acid mine drainage on the hydrochemical characteristics of the Tinto-Odiel estuary (SW Spain). *Journal of Iberian Geology*. 37(1), 87- 96.

Castilhos, ZC, Rodrigues-Filho, S, Rodrigues, AP, Villas-Boas, RC, Siegel, S, Veiga, MM, Beinhoff, C, 2006. Mercury contamination in fish from gold mining areas in Indonesia and human health risk assessment. *Sci. Total Environ*. 368, 320– 325

Cerón, JC, Grande, JA, de la Torre, ML, Santisteban, M, Valente, T, 2013. Impact of AMD processes on the water dams of the Iberian Pyrite Belt: overall hydrochemical characterization (Huelva, SW Spain). *Water Air and Soil Pollution*, 224, 16 - 42.

Chen, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Sep. Purif. Technol.*, 38, 11–41, 2004.

Chen, J. P., and Lim., L. L. Recovery of precious metals by an electrochemical deposition method. *Chemosphere.*, 60, 1384–1392, 2005.

Chen, J. P., and Lin, M. S. Equilibrium and kinetics of metal ion adsorption onto a commercial H-type granular activated carbon: Experimental and modeling studies. *Water Res.*, 35(10), 2385–2394, 2001.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Chen, J. P., and Wang, L. Characterization of metal adsorption kinetic properties in batch and fixed-bed reactors. *Chemosphere*, 54(3), 397–404, 2004.

Chen, J. P., and Yang, L. Chemical modification of *Sargassum* sp. for prevention of organic leaching and enhancement of uptake during metal biosorption. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44(26), 9931–9942, 2005.

Chen, J. P., and Yu, H. Lead removal from synthetic wastewater by crystallization in a fluidized bed reactor. *J. Environ. Sci. Health*, 35(6), 817–835, 2000.

Chen, J. P., Yoon, J. T., and Yiacoumi, S. Effects of chemical and physical properties of influent on copper sorption onto activated carbon fixed-bed columns. *Carbon*, 41(8), 1635–1644, 2003.

Clarkson, Thomas W, Magos, Laszlo, Myers, Gary J, 2003. The Toxicology of Mercury – Current Exposures and Clinical Manifestations, *New England Journal of Medicine*, Vol. 349 (18).

Corapcioglu, M. O., and Huang, C. P. The adsorption of heavy-metals onto hydrous activated carbon. *Water Res.*, 21(9), 1031–1044, 1987.

Cordy, P, Veiga, M.M, Crawford, B, Garcia, O, Gonzalez, V, Moraga, D, Roeser, M, Wip, D, 2013. Characterization, mapping and mitigation of mercury vapour emissions from artisanal mining gold shops. *Environ. Res.* 125, 82–91.

Cordy, P, Veiga, M.M, Salih, I, Al-Saadi, S, Console, S, Garcia, O, Mesa, L.A, Velasquez-Lopez, P.C, Roeser, M, 2011. Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: the world's highest per capita mercury pollution. *Sci. Total Environ.* 410, 154–160.

Davidson, P, 1995. Cyanide from Mine Threatens Guyana River. *The Independent*.

Davis, RA, Jr, Welty, AT, Borrego, J, Morales, JA, Pendón, JG, Ryan, JG, 2000. Rio Tinto estuary (Spain): 5000 years of pollution. *Environmental Geology*, 39, 1107-1116.

Davis, T. A., Volesky, B., and Mucci, A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res.*, 37(18), 4311–4330, 2003.

De la Torre, ML, Grande, JA, Graiño, J, Gómez, T, Cerón, JC, 2011. Characterization of AMD pollution in the river Tinto (SW Spain). *Geochemical comparison between generating source and receiving environment. Water, Air and Soil pollution*, 216, 3-19.

De la Torre, ML, Grande, JA, Jiménez, A, Borrego, J, Díaz Curiel, JM, 2009. Time evolution of an AMD-affected river chemical makeup. *Water Resources Management*, 23, 1275-1289.

De la Torre, ML, Sanchez-Rodas, D, Grande, JA, Gómez, T, 2010. Relationships between pH, color and heavy metal concentrations in the Tinto and Odiel rivers (southwest Spain). *Hydrology Research*, 41(5), 406-413.

Demopoulos, G. R. Aqueous precipitation and crystallization for the production of particulate solids with desired properties. *Hydrometallurgy*, 96(3), 199–214, 2009.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
**ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO**

- Dillard, K, 2012. Artisanal Gold Mining Threatens Riverine Communities in Guyana. *New Security Beat*.
- Diz, H. R., and Novak, J. T. Fluidized bed for removing iron and acidity from acid mine drainage. *J. Environ. Eng-ASCE*, 124(8), 701–708, 1998.
- Drake, PL, Rojas, M, Reh, CM, Mueller, CA, Jenkins, FM, 2001. Occupational exposure to airborne mercury during gold mining operations near El Callao, Venezuela. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 74 (3), 206–212.
- Drasch, G, 2008. Mercury as a serious health hazard for children in gold mining areas. *Environ. Res.*, 107 (1), 89–97.
- Drasch, G, Bose-O'Reilly, S, Beinhoff, C, Roidera, G, Maydla, S, 2001. The Mt. Diwata study on the Philippines 1999 – assessing mercury intoxication of the population by small scale gold mining. *Sci. Total Environ.*, 267 (1–3), 151–168.
- Egal, M., Elbaz-Poulichet, F., Casiot, C., Motelica-Heino, M., Négrel, P., Bruneel, O., Sarmiento, A.M., Nieto, J.M., 2008. Iron isotopes in acid mine waters and iron-rich solids from the Tinto-Odiel Basin (Iberian Pyrite Belt, Southwest Spain). *Chemical Geology*, 253, (3-4), pp. 162-171.
- Eisele, JA, Hunt, AH, Lampshire, DL, 1988. Leaching Gold-Silver Ores with Sodium Cyanide and Thiourea under Comparable Conditions. RI 9181. Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior, pp. 7
- Eisler, R, 2004. Mercury hazards from gold mining to humans, plants, and animals. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 181, 139–198.
- Eissler, M, 1888. *Metallurgy of Gold*. Lockwood & Son, London, pp. 188–189.
- Elbaz-Poulichet, F, Braungardt, C.B, Achterberg, E.P, Morley, N.H, Cossa, D. 1999a. A synthesis of the results of Toros and Canigo projects on metal contamination in the Tinto-Odiel rivers (southern Spain) and the Gulf of Cadiz. In: Pacyma JM, Fremer, H, Pirrone, N, Barthel, K (eds). *Socioeconomic aspects of fluxes of chemicals into marine environment*. European Commission Project Report of the Energy, Environment and Sustainable Development, 19089, 101-109.
- Elbaz-Poulichet F, Braungardt C, Achterberg E, Morley N, Cossa D, Beckers J, 2001. Biogeochemistry in the Tinto-Odiel rivers (Southern Spain) and in the Gulf of Cadiz: a synthesis of the results of TOROS project. *Cont. Shelf Res.* 21, 1961–1973.
- Elbaz-Poulichet, F, Morley, N.H, Cruzado, A, Velasquez, Z, Achterberg, E.P, Braungardt, C.B. (1999b). Trace metal and nutrient distribution in an extremely low pH (2.5) river-estuarine system, the ria of Huelva (south-west Spain). *Sci Total Environ*, 227, 73-83
- Escobar, C., Soto-Salazar, C., and Toral, M. I. Optimization of the Electrocoagulation process for the removal of copper, lead and cadmium in natural waters and simulated wastewater. *J. Environ. Manage.*, 81, 384–391, 2006.
- Feng, X, Daia, Q, Guangle, Q, Lia, G, Hec, L, Wanga, D, 2006. Gold mining related mercury contamination in Tongguan, Shaanxi Province, PR China. *Appl. Geo-chem.* 21 (11), 1955–1968.
-
-

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Fernández-Remolar, DC, Gómez-Elvira, J, Gómez, F, Sebastián, E, Martin, J, Manfredi, J.A, Torres, J, Amils, R, 2004. The Tinto, an extreme acidic environment under control iron, as an analog of the Terre Meridian hematite site Mars. *Planetary and Space Science*, 52(1-3), 239-248.

Fernández-Remolar, DC, Morris, RV, greener, J.E, Amils, R, Knoll, AH, 2005. The Rio Tinto basin, Spain: Mineralogy, sedimentary geobiology, and implications for interpretation of outcrop rocks at Meridiani Planum, Mars. *Earth and Planetary Science letter*, 240, 149-167.

Gao, P., Chen, X. M., Shen, F., and Chen, G. H. Removal of chromium(VI) from wastewater by combined electrocoagulation-electroflotation without a filter. *Sep. Purif. Technol.*, 43, 117–123, 2005.

Gimbert, Frederic, Vijver, Martina G, Coeurdassier, Michael, Scheifler, Renaud, Peijnenburg, Willie JGM, Badot, Pierre-Marie, Vaufleury, Annette, 2008. How Subcellular Partitioning Can Help to Understand Heavy Metal Accumulation and Elimination Kinetics in Snails, *Environmental Toxicology & Chemistry*, Vol. 27 (6), 1284-1292

Golder, A. K., Samanta, A. N., and Ray, S. Trivalent chromium removal by electrocoagulation and characterization of the process sludge. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 82, 496–503, 2007.

Gonzalez-Toril, E, Gómez, F, Rodríguez, N, Fernández-Remolar, D, Zuluaga, J, Marín, I, Amils, R, 2003. Geomicrobiology of the Tinto river, a model of interest for biohydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 71, 301-309.

Grande JA, Andujar JM, Aroba J, de la Torre ML, Beltrán B, 2005c. Precipitation, pH and metal load in AMD river basins: an application of fuzzy clustering algorithms to the process characterization. *J Environ Monit*, 7, 325–334.

Grande, JA, Valente, T, de la Torre, ML Santisteban, M, Ceron, JC, Perez Ostale, E, 2013b. Characterization of acid mine drainage sources in the Iberian Pyrite Belt: base methodology for quantifying affected areas and for environmental management. *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-013 2652-0.

Grande, J.A, de la Torre, M.L, Cerón, J.C, Beltrán, R, Gómez, T, 2010c. Overall hydrochemical characterization of the Iberian Pyrite Belt. Main acid mine drainage generating sources (Huelva, SW Spain). *Journal of Hydrology*, 390, 123-130.

Grande, J.A, Sáinz, A, de la Torre, M.L, López, N. (2000b). Caracterización de procesos AMD y ARD en la cuenca del río Odiel mediante aplicación de análisis univariante. *Ingeopres*, 88, 52-60.

Grande, J.A, Santisteban, M, de la Torre, M.L., Valente, T. (2013a). A proposed methodology and creation of a risk map for the problem of amd in affected reservoirs in the Iberian pyrite belt. *Mine, Water and the Environment*. DOI 10.1007/s10230-013-0236-6.

Grande, JA, 2011c Impact of AMD processes on the public water supply: Hydrochemical variations and application of a classification model to a river in the Iberian Pyritic Belt. *S.W. Spain. Hydrology Research*, 42(6), 472-478.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD
MINERA DE ORO

Grande, JA, Andújar, J.M, Aroba, J, de la Torre, M.L, Beltrán, R, 2005a. Precipitation, pH and metal load in AMD river basins: An application of fuzzy clustering algorithms to the process characterization. *Journal of Environmental Monitoring* 7 (4). pp, 325-334.

Grande, JA, Andújar, JM, Aroba, J, Beltrán, R, de la Torre, ML, Cerón, JC, Gómez, T, 2010b. Fuzzy modelling of the spatial evolution of the chemistry in the Tinto river (SW Spain). *Water Resources Management*, 24, 3219-3235.

Grande, JA, Andújar, JM, Aroba, J, de la Torre, ML, 2010a. Presence of As in the fluvial network due to AMD processes in the Riotinto mining area (SW Spain): A fuzzy logic qualitative model. *Journal of Hazardous Materials* 176 (1-3). pp, 395-401.

Grande, JA, Aroba, J, Andujar, JM, Gómez, T, de la Torre, M.L, Borrego, J, Romero, S, Barranco, C, Santisteban, M, 2011a. Tinto versus Odiel: two AMD polluted rivers and an unresolved issue. An artificial intelligence approach. *Water Resources Management*, 25, 3575- 3594.

Grande, JA, Beltrán, R, Sáinz, A, Santos, JC, de la Torre, M.L, Borrego, J, (2005b). Acid mine drainage and acid rock drainage processes in the environment of Herrerías Mine (Iberian Pyrite Belt, Huelva-Spain) and impact on the Andevalo Dam. *Environmental Geology* 47 (2). pp, 185-196.

Grande, JA, Borrego, J, de la Torre, M.L, Sáinz, A, 2003a. Application of cluster analysis to the geochemistry zonation of the estuary waters in the Tinto and Odiel rivers (Huelva, Spain). *Environmental Geochemistry and Health*, 25, 233-246.

Grande, JA, Borrego, J, Morales, JA, 2000a. A study of heavy metal pollution in the Tinto-Odiel estuary in southwestern Spain using factor analysis. *Environmental Geology* 39 (10). pp, 1095-1101.

Grande, JA, Borrego, J, Morales, JA, de la Torre, ML. 2003b A description of how metal pollution occurs in the Tinto–Odiel rias (Huelva-Spain) through the application of cluster analysis. *Marine Pollution Bulletin* 46 (4). 475-480.

Grande, JA, de la Torre, ML, Cerón, JC, Sánchez-Rodas, D, Beltrán, R, 2011b. Arsenic speciation in the Riotinto mining area (SW Spain) during a hydrological year. *Water Practice and Technology*. Doi:10.2166/WPT.2011.011.

Grande, JA, Jiménez, A, Borrego, J, de la Torre, M.L, Gómez, T, 2010e. Relationships between conductivity and pH in channels exposed to acid mine drainage processes: study of a large mass of data using classical statistics. *Water Resources Management*, 24, 4579-4587.

Grande, JA, Jiménez, A, Romero, S, de la Torre, ML, Gómez, T, 2010d. Quantification of heavy metals from AMD discharged into a public water supply dam in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain) using centered moving average. *Water, Air and Soil Pollution*, 212, 299-307.

Greaves, JN, Palmer, GR, White, WW, 1990. The recovery of gold from refractory ores by the use of carbon-in-chlorine leaching. *JOM: J. Miner. Met.Mater. Soc.* 42 (9), 12–14.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- Guimarães, JRD, Betancourt, O, Miranda, M.R, Barriga, R, Cueva, E, Betancourt, S, 2011. Long-range effect of cyanide on mercury methylation in a gold mining area in southern Ecuador. *Sci. Total Environ.* 409, 5026–5033.
- Guiza-Suarez, L, Aristizabal, JD, 2013. Mercury and gold mining in Colombia: a failed state. *Univ. Sci.* 18 (1), 33–49.
- Gutierrez, C., Hansen, H. K., Nunez, P., Jensen, P. E., and Ottosen, L. M. Electrochemical peroxidation as a tool to remove arsenic and copper from smelter wastewater. *J. Appl. Electrochem.*, 40 (6), 1031–1038, 2010.
- Hammond, DS, Gond, V, Thoisy, B, Forget, P.M, DeDijn, BPE, 2007. Causes and consequences of a tropical forest gold rush in the Guiana Shield, South America. *Ambio* 36 (8), 661–670.
- Harada, M, Nakachi, S, Cheu, T, Hamada, H, Ono, Y, Tsuda, T, Yanagida, K, Kizaki, T, Ohno, H, 1999. Monitoring of mercury pollution in Tanzania: relation between head hair mercury and health. *Sci. Total Environ.* 227, 249–256.
- Hentschel, T, Hruschka, F, Priester, M, 2002. Global Report on Artisanal & Small- Scale Mining. Report to MMSD/IIED. International Institute of Environment and Development. 67 p.
- Hilson, G, 2005. Strengthening artisanal mining research and policy through baseline census activities. *Nat. Res. Forum* 29 (2), 144–153.
- Hilson, G, 2006. Abatement of mercury pollution in the small-scale gold mining industry: restructuring the policy and research agendas. *Sci. Total Environ.*, 362 (1-3), 1–14.
- Hilson, G, 2007. What is wrong with the global support facility for small-scale mining? *Prog. Dev. Studies*, 7 (3), 235–249.
- Hinton, JJ, Veiga, M.M, Veiga, ATC, 2003. Clean artisanal gold mining: a utopian approach? *J. Clean. Prod.*, 11 (2), 99–115.
- Huang, C. P., Pan, J. R., Lee, M. S., and Yen, S. Treatment of high-level arsenic containing wastewater by fluidized bed crystallization process. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 82(3), 289–294, 2007.
- Ikingura, JR, Akagi, H, 1996. Monitoring of fish and human exposure to mercury due to gold mining in the Lake Victoria Goldfields, Tanzania. *Sci. Total Environ.*, 191 (1-2), 59–68.
- Jalali, R., Ghafourian, H., Asef, Y., Davarpanah, S. J., and Sepehr, S. Removal and recovery of lead using nonliving biomass of marine algae. *J. Hazard. Mater.*, 92(3), 253–262, 2002.
- Jiménez, A, Aroba, J, de la Torre, M.L, Andújar, J.M, Grande, JA, 2009. Modelo f behaviour of conductivity versus pH in acid mine drainage waters, based on fuzzy logic and data mining techniques. *Journal of Hydroinformatics.* 112: 147-153.
- Kim, S. L., Chen, J. P., and Ting, Y. P. Study on feed pretreatment for membrane filtration of secondary effluent. *Sep. Sci. Technol.*, 29, 171–179, 2002.
-

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Koekkoek, B, 2013. Measuring Global Progress Towards a Transition Away from Mercury Use in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. M.A. Royal Roads University, Victoria, Canada. 74 p.

Kratochvil, D., and Volesky, B. Biosorption of Cu from ferruginous wastewater by algal biomass. *Water Res.*, 32(9), 2760–2768, 1998.

Lacerda, LD, 1997. Global mercury emissions from gold and silver mining. *Water Air Soil Pollut.* 97, 209–221.

Lai, C. L., and Lin, K. S. Sludge conditioning characteristics of copper chemical mechanical polishing wastewaters treated by electrocoagulation, *J. Hazardous Mater.*, B136, 183–187, 2006.

Lawrence K. Wang, J. Paul Chen, Nazih K. Shamma, and Yung-Tse Hung. *Heavy Metals in the Environment* (2009).

Lawrence K. Wang, Yung-Tse Hung, and Nazih K. Shamma. *Handbook of Advanced Industrial and Hazardous Wastes Treatment* (2010).

Lee, M., You, H., and Huang, J. Treatment and recovery technology for nickel containing electroplating wastewater. *International Conference for Water Supply and Wastewater Treatment. ICEWW'94, Beijing*, 488–494, 1994.

Li, X. Y., Fan, X. J., Gu, J. D., Ding, F., and Tong, A. S. F. Electrochemical wastewater disinfection: Identification of its principal germicidal actions. *J. Environ. Eng., ASCE*, 130, 1217–1221, 2004.

López-González, N, Borrego, J, Carro, B, Grande, J.A, de la Torre, M.L, Valente, T, 2012. Rare-earth –elements fractionation patterns in estuarine sediments as a consequence of acid mine drainage: A case study in SW Spain. *Boletín Geológico y Minero*, 123(1): 55-64

Lottermoser, B, 2010. *Mine wastes: characterization treatment, and environmental impact.* Springer, 3th Ed.. ISBN-13:978-3642124181.

Malm, O, 1998. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environ. Res.*, 77 (2), 73–78.

Malm, O, Branches, FJP, Akagi, H, Castro, MB, Pfeiffer, WC, Harada, M, Bastos, WR, Kato, H, 1995. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajo´s River Basin, Brazil. *Sci. Total Environ*, 175, 141–150.

Malm, O, Pfeiffer, WC, Souza, CMM, Reuther, R, 1990. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River Basin, Brazil. *Ambio* 19 (1), 11–15.

Mavrov, V., Stamenov, S., Todorova, E., Chmiel, H., and Erwe, T. New hybrid electrocoagulation membrane process for removing selenium from industrial wastewater. *Desalination*, 201, 290–296, 2006.

McDaniels, J, Chouinard, R, Veiga, MM, 2010. Appraising the Global Mercury Project: an adaptive management approach to combating mercury pollution in small-scale gold mining. *Int. J. Environ. Pollut.*, 41 (3/4), 242–258.

ME, 2001.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- Meech, J.A, Veiga, M.M, Tromans, D, 1998. Reactivity of mercury from gold mining activities in darkwater ecosystems. *Ambio*, 27 (2), 92–98.
- Mendenhall, M, Punnett, BJ, Ricks, D, 1995. *Global Management*. Cambridge (Massachusetts): Blackwell Publisher.
- Meng, X. G., Korfiatis, G. P., Christodoulatos, C., and Bang, S. Treatment of arsenic in Bangladesh well water using a household co-precipitation and filtration
- Mokone, T. P., Lewis, A. E., and van Hille, R. P. Effect of post-precipitation conditions on surface properties of colloidal metal sulphide precipitates. *Hydrometallurgy*, 119–120, 55–66, 2012.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., and Cocke, D. L. Electrocoagulation (EC)—science and applications. *J. Hazardous Mater.* B84, 19–41, 2001.
- Morales, JA, Borrego, J, San Miguel, EG, López-González, N, Carro, B, 2008. Sedimentary record of recent tsunamis in the Huelva Estuary (southwestern Spain). *Quaternary Science Reviews* 27 (7-8), pp. 734-746.
- Morel, François M, *The Chemical Cycle and Bioaccumulation of Mercury*, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol, 29 (1).
- Mutter, J, 2007. Comments on the Article "The Toxicology of Mercury and its Chemical Compounds" by Clarkson and Magos, *Crit Rev Toxicol*, Vol. 37 (6): 537-549, 2007.
- Nebel, BJ, Wrigth, RT, 1999. *Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo 93sostenible*. Prentice may. México.
- Nieto, JM, Sarmiento, AM, Olias, M, Cánovas, CR, Riba, I, Kalman, J, Delvalls, TA, 2007. Acid mine drainage pollution in the Tinto and Odiel rivers (Iberian Pyrite Belt), SW Spain and bioavailability of the transported metals to the Huelva estuary. *Environment International*, 33(4), 445-455.
- Ogola, JS, Mitullah, WV, Omulo, MA, 2002. Impact of gold mining on the environment and human health: a case study in the Migori Gold Belt, Kenya. *Environ. Geochem. Health*, 24 (2), 141–157.
- Olías, M, Cánovas, C.R, Nieto, JM, Sarmiento, AM, 2006. Evaluation of the dissolved contaminant load transported by the Tinto and Odiel rivers (South West Spain). *Applied Geochemistry*, 21, 1733-1749.
- Olías, M, Nieto, JM, Sarmiento, AM, Cerón, JC, Cánovas, CR, 200). Seasonal water quality variations in a river affected by acid mine drainage: the Odiel river (south west Spain). *Science of the Total Environment*, 333, 267–281
- Olivero, J, Solano, B, 1998. Mercury in environmental samples from a waterbody contaminated by gold mining in Colombia, South America. *Sci. Total Environ.*, 217 (1-2), 83–89.
- Oseberg, C.W, Scmitt, RJ, Holbrook, SJ, 1996. Detection of Environmental Impacts. In *Detecting Ecological Impacts* (R. J. Schmitt and C. W. Oseberg, eds), pp. 83–105.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- Pantoja, F, Alvarez, R, 2000. Decrease of pollution by mercury in gold mining in Latin America. In: Villas Boas, R.C, Barreto, M.L. (Eds.), Mine Closure in Iber-oamerica. CYTED/IMAAC/UNIDO, Rio de Janeiro, pp. 178–190. Peru, 1992.
- Patterson, Bill, Ryan, James, Dickley, Jefferson, 2004. The Toxicology of Mercury, New England Journal of Medicine, Vol. 350 (9).
- Paulsson, K, Lundbergh, K, 1991. Treatment of mercury contaminated fish by selenium addition. Water Air Soil Pollut. 56, 833-841.
- Pfeiffer, WC, Lacerda, LD, Malm, O, Souza, CM, Silveira, EG, Bastos, WR, 1989. Mercury concentrations in inland waters of goldmining areas in Rondonia, Brazil. Sci. Total Environ., 87 (88), 233–240.
- Pociecha, M., and Lestan, D. Using electrocoagulation for metal and chelant separation from washing solution after EDTA leaching of Pb, Zn and Cd contaminated soil. J. Hazardous Mater., 174(1–3), 670–678, 2010.
- Radovic, L. R., Moreno-Castilla, C., and Rivera-Utrilla, J. Carbon materials as adsorbents in aqueous solutions. Chem. Phys. Carbon, 27, 227–405, 2001.
- Rael, Leonard T, 1998. Effects of micronutrients on metal toxicity, Environmental Health Perspectives Supplements, 106, 203-216.
- Ralph, C, 2013. About Amalgamation and Using Mercury. Nevada Prospectors Association, In: http://nevada-outback-gems.com/Reference_pages/Amalgamation.htm.
- Rath, RK, Hiroyoshi, N, Tsunekawa, M, Hirajima, T, 2003. Ammoniacal thiosulfate leaching of gold ore. Eur. J. Miner. Process. Environ. Prot., 3(3), 344–352.
- Remoudaki, E., Hatzikioseyan, A., Kousi, P., and Tsezos, M. The mechanism of metals precipitation by biologically generated alkalinity in biofilm reactors. Water Res., 37, 3843–3854, 2003.
- Risher, John F, De Rosa, Christopher T, 2007. Inorganic: The Other Mercury, Journal of Environmental Health, 70 (4): 9-16.
- Ruiz, F, Borrego, J, González-Regalado, ML, López González, N, Carro, B, Abad, M, 2008. Impact of millennial mining activities on sediments and microfauna of the Tinto River estuary (SW Spain). Marine Pollution Bulletin, 56 (7), pp. 1258-1264.
- Sáinz, A, 1999. Estudio de la contaminación química de origen minero en el río Odiel. Ph. D. Thesis. University of Huelva. Spain.
- Sáinz, A, Grande, JA, de la Torre, ML, 2003. Analysis of the impact of local corrective measures on the input of contaminants from the Odiel river to the ria of the Huelva (Spain). Water Air Soil Pollution, 144, 35-389.
- Sáinz, A, Grande, JA, de la Torre, ML, 2004. Characterisation of heavy metal discharge into the la Ria of Huelva. Environmental International, 30, 557-566.
- Sáinz, A, Grande, JA, de la Torre, ML, 2005. Application of systemic approach to the study of pollution of the Tinto and Odiel rivers (Spain). Environmental Monitoring and Assessment, 102, 435-445.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Sáinz, A, Grande, JA, de la Torre, ML, Sánchez-Rodas, D, 2002. Characterisation of sequential leachate siacharges of mining waste rock dumps in the Tinto and Odiel rivers, *Journal of Environmental Management*, 64, 345-353.

Sánchez-Rodas D, Gómez-Ariza JL, Giráldez I, Velasco A, Morales E, 2005. Arsenic speciation in river and estuarine waters from southwest Spain. *Sci Total Environ*, 345, 207–17.

Sarmiento, AM, Nieto, JM, Casiot, C, Elbaz-Poulichet, F, Egal, M, 2009. Inorganic arsenic speciation at river basin scales: the Tinto and Odiel rivers in the Iberian Pyrite Belt, SW Spain. *Environmental Pollution*, 157,1202-1209.

Schecher, W. D., and McAvoy, D. C. MINEQL+ Chemical Equilibrium Modeling System. Version 4.5 for Windows. Environmental Research Software. Hallowell,

Seccatore, J, 2012. An Estimation of the Artisanal Small-Scale Production of Gold in the World. Report for World Gold Council. Codex Engineering Services, Lungo-mare, Italy, pp. 19.

Seckler, M. M., vanLeeuwen, M. L. J., Bruinsma, O. S. L., and vanRosmalen, G. M. Phosphate removal in a fluidized bed. 2. Process optimization. *Water Res.*, 30(7), 1589–1596, 1996.

Selin, NE, 2013. Global Change and Mercury Cycling: Challenges for Implementing a Global Mercury Treaty, In: http://web.mit.edu/selin/www/pubs/mercury_etc_forweb_combined.pdf (accessed 21.03.14).

Sharma, H. D., and Reddy, K. R. *Geoenvironmental Engineering: Site Remediation, Waste Containment, and Emerging Waste Management Technologies*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2004.

Sieber, NL, Brain, J, 2014. Health impact of artisanal gold mining in Latin America. *ReVista*, 12 (2), 66–68.

Siegel, S, Veiga, MM, 2010. The myth of alternative livelihoods: artisanal mining, gold, and poverty. *Int. J. Environ. Pollut.* 41 (3/4), 272–288. Song, X, Mu, X, 2012. The safety regulation of small-scale coal mines in China: analysing the interests and influences of stakeholders. *Energy Policy* 52, 472– 481.

Sierra-Alvarez, R., Hollingsworth, J., and Zhou, M. S. Removal of copper in an integrated sulfate reducing bioreactor-crystallization reactor system. *Environ. Sci. Technol.*, 41(4), 1426–1431, 2007.

Sirilli, E, 1999. *Ripples from the Zambezi: Passion, Entrepreneurship and the Rebirth of Local Economies*. New Society Publishers, Canada, pp. 151.

Smith, W, Eugene Smith, Aileen M, Minamata, 1981: *Words and Photographs*, pag. 180-191.

Sobron, P, Rull, F, Sobron, F, Sanz, A, Medina, J, Nielsen, CJ, 2007. Raman spectroscopy of the system iron (III)-sulfuric acid-water: An approach to TintoRiver's (Spain) hydrogeochemistry. *SpectrochimicaActa - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 68 (4), pp. 1138-1142.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

Sohnel, O. and Garside, J., *Precipitation: Basic Principles and Industrial. Applications*, Butterworth, Boston, 1992.

Sousa, R, Veiga, M, Van Zyl, D, Telmer, K, Spiegel, S, Selder, J, 2011. Policies and regulations for Brazil's artisanal gold mining sector: analysis and recommendations. *J. Clean. Prod.*, 19, 742–750.

Spiegel, S.J, Veiga, M.M, 2010. International guidelines on mercury management in small-scale gold mining. *J. Clean. Prod.*, 18 (4), 375–385.

Stewart-Oaten, A, Murdoch, WW, Parker, KR, 1986 Evaluación del impacto ambiental: "pseudoreplication" en el tiempo? *Ecología*, 67(4): 929-940.

Swain, EB, Jakus, PM, Rice, G, Lupi, F, Maxson, PA, Pacyna, J.M, Penn, A, Spiegel, SJ, Veiga, MM, 2007. Socioeconomic consequences of mercury use and pollution. *Ambio.*, 36 (1), 45–61.

System. Version 4.5 for Windows. Environmental Research Software. Hallowell, ME, 2001. *system. Water Res.*, 35, 2805–2810, 2001.

system. Water Res., 35, 2805–2810, 2001.

Taggart, AF, 1945. *Handbook of Ore Dressing*. John Wiley & Sons Inc, New York, pp. 1905.

Tchobanoglous, G, Burton, FL, 1995. *Ingeniería de aguas residuales*. McGraw-Hill. Madrid.

Telmer, K, Veiga, M.M, 2008. World emissions of mercury from small scale artisanal gold mining and the knowledge gaps about them. In: Pirrone, N, Mason, R. (Eds.), *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Measurements, Models and Policy Implications*. UNEP – United Nations Environment Programme, Geneva, (Chapter 6), pp. 96–129.

U.S. Environmental Protection Agency, *The Electroplating Industry: Environmental Regulations and Technology*. EPA/625/10-85/001, Washington, DC, 1985.

Underwood, AJ, 1991. Beyond BACI: Experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations. *Aust. J. Mar. Freshwater Res*, 42, 569-587.

USGS, 2009. *Mercury Statistics*. USGS, In: <http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/mercury.pdf> (accessed 05.03.14).

Valencia, C, 2013. Indophil Lauds Ban on Mercury Use in Artisanal Mining, In: <http://www.philstar.com/agriculture/2013/10/20/1247098/indophil-lauds-ban-mercury-use-artisanal-mining> (accessed 24.03.14).

Valente, T, Ferreira, MJ, Grande, JA, de la Torre, ML, Gómez, T, 2013. pH, conductivity and sulphate as base parameters to estimate the metallic load in AMD using a fuzzy inference system. *Journal of Geochemical Exploration*, 124, 22-28.

Valente, T, Gomes, P, Pamplona, J, de la Torre, ML, 2012. Natural stabilization of mine waste-dumps- Evolution of vegetation cover in distinctive geochemical and mineralogical environments. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 152-161.

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 191 – 2014
ESTUDIO DE LA CADENA DEL MERCURIO EN COLOMBIA CON ÉNFASIS EN LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO

- Valente, T, Leal Gomes, C, 2007. The role of two acidophilic algae as ecological indicators of acid mine drainage sites. *Journal of Iberian Geology*, 33 (2), 283-294.
- Vallee, B.L, 1972. Biochemical Effects of Mercury, Cadmium, and Lead, *Annual Review of Biochemistry*, 41.
- vanStraaten, P, 2000. Human exposure of mercury due to small-scale gold mining in Northern Tanzania. *Sci. Total Environ.* 259, 45–53.
- Veiga, M.M, Hinton, JJ, 2002. Abandoned artisanal gold mines in the Brazilian Amazon: a legacy of mercury pollution. *Nat. Res. Forum (Genova)*, 26 (1), 15–26.
- Veiga, MM, 2010. Antioquia, Colombia, the world's most polluted place by mercury: impressions from two field trips. Report to UNIDO, pp. 24.
- Veiga, MM, Angeloci, G, Hitch, M, Velasquez-Lopez, PC, 2014. Processing centers in artisanal mining. *J. Cleaner Prod.*, 64, 535–544.
- Veiga, MM, Baker, RF, 2004. Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-Scale Gold Miners. *Global Mercury Project*, Vienna, pp. 289.
- Veiga, MM, Metcalf, S, Baker, RF, Klein, B, Davis, G, Bamber, A, Siegel, S, Singo, P, 2006. Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners. UNIDO, Vienna, Austria, pp. 152.
- Veiga, MM, Nunes, D, Klein, B, Shandro, J.A, Velasquez-Lopez, P.C, Sousa, R.N, 2009. Mill leaching: a viable substitute for mercury amalgamation in the artisanal gold mining sector? *J. Clean. Prod.*, 15, 1373–1381.
- Vicente-Martorell, JJ., Galindo-Riaño, MD, García-Vargas, M, Granado-Castro, MD, 2009. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. *Journal of Hazardous Materials*, 162 (2-3), pp. 823-836.
- Volesky, B. Advances in biosorption of metals—selection of biomass types. *FEMS Microbiol. Rev.*, 14(4), 291–302, 1994.
- Wang, L. K. P., Chen, J. P., Hung, Y. T., and Shammass, N. K., eds. *Membrane and Desalination Technologies*. Totowa, NJ, Springer, 2011.
- Wasserman, JC, Hacon, S, Wasserman, MA, 2003. Biogeochemistry of mercury in the Amazonian. *Environment. Ambio*, 32 (5), 336–342. WGC
- Wilms, D., Vercaemst, K., and Vandijk, J. C. Recovery of silver by crystallization of silver carbonate in a fluidized-bed reactor. *Water Res.*, 26(2), 235–239, 1992.
- Yang, L., and Chen, J. P. Biosorption of hexavalent chromium onto raw and chemically modified *Sargassum* sp. *Bioresour. Technol.*, 99(2), 297–307, 2008.
- Yokel, RA, 2006. The Speciation of Metals in Mammals Influences their Toxicokinetics and Toxicodynamics and Therefore Human Health Risk Assessment, *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part B-Critical Reviews*, 9(1), 63-85.
- Zhou, P., Huang, J. C., Li, A. W. F., and Wei S. Heavy metal removal from wastewater in fluidized bed reactor. *Water Res.*, 33(8), 1918–1924, 1999.