

CARTILLA DE RESULTADOS 2006-2007

APOYO
FONDO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL



MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y
DESARROLLO TERRITORIAL



DIRECCIÓN

ELIAS PINTO

Fondo de Compensación Ambiental (F.C.A)
Ministerio De Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

MAURICIO RAMOS RAMOS

Director General CORPONARIÑO

GIOVANNI MUÑOZ AREVALO

Coordinador Proyecto

VICENTE RESCALDE LÓPEZ

Subdirector Para La Intervencion de la Sostenibilidad Ambiental

APOYO TÉCNICO

NELLY TOBAR LEDEZMA

Ingeniera Química

MERY CHAVEZ PATIÑO

Técnico Profesional en Control Ambiental

ANA MILENA ARROYO VILLOTA

Técnico administrativo

PLINIO ALBERTO PAZOS

Ingeniero de Minas

SEGUNDO BURGOS DAVILA

Ingeniero de Minas

LUIS EDUARDO RAMOS VILLOTA

Ingeniero de Minas

JOSÉ FRANCISCO MENESES

Técnico Metalúrgico

CESAR RUALES ALVEAR

Técnico en Minas

CONTENIDO

1 ADIESTRAMIENTO CON MODELO DEMOSTRATIVO DE AMALGAMACIÓN EN CIRCUITO CERRADO



2 ADIESTRAMIENTO CON MODELO DEMOSTRATIVO DE CIANURACIÓN POR AGITACIÓN



3 CARACTERIZACIÓN DE FUENTES HÍDRICAS CONTAMINADAS POR MERCURIO Y CIANURO



4 SOCIALIZACION, CAPACITACIÓN Y DIVULGACIÓN AMBIENTAL Y MINERA

PRESENTACION

CORPONARIÑO con el apoyo del Fondo de Compensación Ambiental F.C.A. ejecutó el proyecto “Aplicación de Tecnologías Apropriadas Para Disminuir La Contaminación Ocasionada Por El Mercurio y Cianuro en los Municipios de Los Andes, Cumbitara, Mallama, Santacruz, La Llanada y Samaniego del departamento de Nariño”, como medida a corto y mediano plazo encaminada a minimizar los problemas ambientales generados en la explotación de oro filoniano en la minería artesanal a pequeña escala (MAPE), difundiendo la aplicación de Modelos Demostrativos a nivel local y nacional.

Inicialmente fue preciso establecer los puntos críticos de las labores extractivas y de beneficio a través de un diagnostico que permitió conocer la situación actual de la actividad minera, recopilando información básica sobre aspectos socioeconómicos, culturales, mineros y ambientales.

El presente documento muestra datos cuantitativos y cualitativos, describiendo los logros alcanzados en la ejecución del proyecto, mediante cuatro capítulos denominados: adiestramiento en técnicas de amalgamación en circuito cerrado , adiestramiento en técnicas de cianuración por agitación, caracterización de fuentes hídricas contaminadas por mercurio y cianuro, capacitación y divulgación minero ambiental; constituyéndose en una herramienta importante para motivar a personas y entidades en la participación y elaboración de proyectos complementarios que conlleven a un adecuado y eficiente aprovechamiento de los recursos minerales, dando continuidad a la estrategia de implementación de tecnologías mas limpias.

La ejecución del proyecto estuvo a cargo de un grupo multidisciplinario que contó con el apoyo de los entes territoriales, agremiaciones mineras, grupos asociativos y la comunidad minera en general.

ADIESTRAMIENTO CON MODELO DEMOSTRATIVO DE AMALGAMACIÓN EN CIRCUITO CERRADO

El proceso de amalgamación, se encuentra ampliamente difundido en la mayoría de los municipios mineros del departamento de Nariño, debido a la sencillez y bajo costo en la recuperación de metales preciosos (oro y plata). Generalmente, la amalgamación, se realiza en botellones, placas amalgamadoras, baterías de molinos y bateas, donde los mineros agregan el mercurio calculando el tenor de oro del mineral empíricamente.

Cabe anotar que las arenas residuales del proceso de amalgamación, son dispuestas por lo general en el cauce de las fuentes hídricas, ocasionando problemas de contaminación ambiental, sin embargo aun existe desconocimiento en el manejo adecuado del mercurio, manipulándolo abiertamente sin ninguna medida de protección y prevención.

Considerando las anotaciones anteriores, el equipo técnico, realizo un diagnostico minero ambiental en los municipios que conforman el proyecto, con el fin de planificar y llevar a cabo pruebas de amalgamación utilizando el modelo demostrativo en diferentes minas, que incluye manejo de retorta para la quema de amalgama, activación de mercurio, amalgamación continua en el molino amalgamador y disposición adecuada de arenas residuales; disminuyendo perdidas de mercurio y oro.

LOGROS Y RESULTADOS

El adiestramiento del personal minero y la realización de pruebas metalúrgicas son la base para la elaboración de un paralelo entre el modelo demostrativo de amalgamación en circuito cerrado y el molino Antioqueño, modelo tradicional mas utilizado en el Distrito Minero La Llanada; en el se involucran aspectos de molienda, amalgamación y costos de operación que permiten destacar las características de funcionamiento de cada equipo.

Tabla No. 1. Paralelo Modelo Demostrativo vs. Modelo Tradicional

CARACTERÍSTICAS	MOLINO ANTIOQUEÑO (4 pisones)	MODELO DEMOSTRATIVO
TRITURACIÓN Y MOLIENDA		
Mineral duro	1000 Kg. en 9,6 horas	1000 Kg. en 3,3 horas
Costo de kw/h (315,73) rural	0	\$3.785
Costo de operario hora	\$ 18.000	\$6.244
Promedio de mineral triturado	2,5 ton/día (24 horas)	7,2 ton/día (24 horas)
Malla	40	60
CONSUMO Y RECUPERACIÓN DE Hg A NIVEL DEMOSTRATIVO		
Mineral beneficiado	312,5 kg/ 3 horas	50 kg/3 horas
Costo de kw/h (315,73) rural	0	\$ 710,37
Consumo de Hg en tiempo	53 gr/3 horas	40 gr/3 horas
Activación de Hg	No	Si
Recuperación de Hg	6,15 gr/ton = 11,62 %	31,2 gr/ton = 78%
Perdidas de Hg	46,85 gr/ton = 88,38 %	8,8 gr/ton = 22 %
Costo de fabricación de equipo	7.736.000	5.500.000
CONSUMO Y RECUPERACIÓN DE Hg A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL		
Mineral beneficiado	2,5 Ton/día (24 horas)	0,682 Ton/día (24 horas)
Consumo de Hg por ton de mineral beneficiado	424 gr./ton	135,25 gr/ton
Recuperación de Hg	49,27 gr./ton = 11,62%	105,49 gr/ton = 78%
Perdidas de Hg	374,73 gr./ton = 88,38%	29,76 gr/ton = 22%
RECUPERACION DE ORO		
Porcentaje de recuperación de Au	50% - 55%	75% - 85%
COSTO POR TONELADA DE MINERAL BENEFICIADO		
Trituración manual	\$15000	\$15000
Energía eléctrica en molienda	\$0	\$1943,62
Energía eléctrica en amalgamación	\$0	\$8323
Mercurio	\$50.880	\$16.230
Total	\$65.880	\$41.497

El consumo de mercurio a nivel demostrativo se hizo con referencia al tiempo de operación (3 horas) establecido como óptimo de acuerdo a la realización de las diferentes pruebas minero metalúrgicas, El porcentaje de recuperación de oro se obtuvo con la realización de análisis de tenores en cabeza y colas del mineral. Para determinar los costos por tonelada del mineral beneficiado se tuvo en cuenta los datos obtenidos en la recuperación de mercurio a nivel semi-industrial.

Tabla No. 1. Paralelo Modelo Demostrativo vs. Modelo Tradicional

CARACTERÍSTICAS	MOLINO ANTIOQUEÑO (4 pisones)	MODELO DEMOSTRATIVO
TRITURACIÓN Y MOLIENDA		
Mineral duro	1000 Kg. en 9,6 horas	1000 Kg. en 3,3 horas
Costo de kw/h (315,73) rural	0	\$3.785
Costo de operario hora	\$ 18.000	\$6.244
Promedio de mineral triturado	2,5 ton/día (24 horas)	7,2 ton/día (24 horas)
Malla	40	60
CONSUMO Y RECUPERACIÓN DE Hg A NIVEL DEMOSTRATIVO		
Mineral beneficiado	312,5 kg/ 3 horas	50 kg/3 horas
Costo de kw/h (315,73) rural	0	\$ 710,37
Consumo de Hg en tiempo	53 gr/3 horas	40 gr/3 horas
Activación de Hg	No	Si
Recuperación de Hg	6,15 gr/ton = 11,62 %	31,2 gr/ton = 78%
Perdidas de Hg	46,85 gr/ton = 88,38 %	8,8 gr/ton = 22 %
Costo de fabricación de equipo	7.736.000	5.500.000
CONSUMO Y RECUPERACIÓN DE Hg A NIVEL SEMI-INDUSTRIAL		
Mineral beneficiado	2,5 Ton/día (24 horas)	0,682 Ton/día (24 horas)
Consumo de Hg por ton de mineral beneficiado	424 gr./ton	135,25 gr/ton
Recuperación de Hg	49,27 gr./ton = 11,62%	105,49 gr/ton = 78%
Perdidas de Hg	374,73 gr./ton = 88,38%	29,76 gr/ton = 22%
RECUPERACION DE ORO		
Porcentaje de recuperación de Au	50% - 55%	75% - 85%
COSTO POR TONELADA DE MINERAL BENEFICIADO		
Trituración manual	\$15000	\$15000
Energía eléctrica en molienda	\$0	\$1943,62
Energía eléctrica en amalgamación	\$0	\$8323
Mercurio	\$50.880	\$16.230
Total	\$65.880	\$41.497

El consumo de mercurio a nivel demostrativo se hizo con referencia al tiempo de operación (3 horas) establecido como óptimo de acuerdo a la realización de las diferentes pruebas minero metalúrgicas, El porcentaje de recuperación de oro se obtuvo con la realización de análisis de tenores en cabeza y colas del mineral. Para determinar los costos por tonelada del mineral beneficiado se tuvo en cuenta los datos obtenidos en la recuperación de mercurio a nivel semi-industrial.

Tabla No. 2 Ventajas y desventajas Modelos Demostrativo y Tradicional

MODELO DEMOSTRATIVO	MODELO TRADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> - Mayor duración de equipos - Menor costo de mantenimiento - Tiempo de operación corto - Poca cantidad de agua - Bajo consumo de energía eléctrica - Trabaja una sola persona - Ocupa poco espacio - Eficiente recuperación de Hg. - Mayor recuperación de valores - Ideal para vetas de apreciable tenor y baja potencia - No utiliza especies maderables - Equipo modular y de fácil transporte - Movilidad de equipo hacia el mineral 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor tiempo de duración - Mayor costo de mantenimiento - Mayor tiempo de operación (Lavaje) - Mayor consumo de agua - No utiliza energía eléctrica - Trabajo de dos personas - Área de montaje mayor - Deficiente recuperación de Hg. - Pérdida de valores - No es ideal para vetas de apreciable tenor y baja potencia - Utilización de especies maderables - Equipo fijo - Movilidad de mineral hacia equipo

CONCLUSIONES

- Los mejores resultados en porcentaje de recuperación de oro, de acuerdo a las pruebas realizadas se obtuvieron utilizando 60 kilogramos de mineral, 30 litros de agua, 100 gramos de cal, peso de bolas entre 45 y 50 kilogramos en un molino amalgamador con capacidad de 103 Kg.
- De acuerdo a las diferentes pruebas, se concluye que una alternativa para reducir costos y pérdidas de producción en el proceso de amalgamación, es realizar una concentración previa del mineral a beneficiar.
- Los porcentajes de pérdida y recuperación de mercurio en ambos modelos se ven afectados directamente por la manipulación del mercurio y el manejo del equipo
- El exceso de revoluciones por minuto para este equipo, dentro del proceso de amalgamación (mayores de 40 RPM) produce atomización del mercurio, dificultando su recuperación.
- La eficiencia del elutriador en la recuperación de amalgama depende del caudal de entrada (19 Lt/min.) para lograr un flujo ascendente de contracorriente, que permita la evacuación de elementos livianos (colas), evitando que la amalgama se fugue, alojándose en el tapete Nomad y cubas de almacenamiento.

- El Modelo Demostrativo de amalgamación en Circuito Cerrado en el Municipio de Samaniego es utilizado como equipo de concentración gravimétrica, disminuyendo considerablemente la contaminación ambiental.
- En los municipios de Santacruz y Mallama la paragenesis mineral encontrada esta compuesta por cuarzo, carbonato, galena, marcasita, esfalerita, pirita, pirrotina, calcopirita, y arsenopirita; alguno de estos minerales contienen elementos que dificultan la amalgamación.
- Minerales de veta con partículas finas de oro y lodos con menos de 50 micrones, presentan dificultad en su amalgamación, donde las partículas de oro flotan en la pulpa del barril, evitando el contacto con el mercurio, para evitar lo anterior es recomendable evitar una sobre molienda.
- Cuando la amalgama esta constituida por oro fino después de su compresión y quema en retorta disminuye en un 70% (70 de Hg y 30 de Au) y cuando esta constituida por oro grueso después de su retorteo disminuye el 60% (60 de Hg y 40 de Au).
- En algunas minas de la zona del proyecto, por problemas de atomización del mercurio en barriles amalgamadores, la molienda del mineral se realiza en forma continua y sin mercurio. En algunas pruebas se obtuvieron buenos resultados agregando el mercurio en la etapa final de la amalgamación; preferiblemente 30 minutos antes de finalizar esta operación.
- El Municipio de Samaniego solo utiliza el Modelo Demostrativo de amalgamación como equipo de conminución y concentración gravimétrica, por ello, los adiestramientos y capacitaciones estuvieron enfocados en este tipo de beneficio.

2

ADIESTRAMIENTO CON MODELO DEMOSTRATIVO DE CIANURACION POR AGITACION

La implementación de procedimientos adecuados como la cianuración por agitación en los diferentes sectores mineros del área del proyecto, contribuye en la disminución de la contaminación ambiental y se orientan a la identificación de indicadores precisos de desarrollo tecnológico, económico, ambiental y social, probado por los resultados obtenidos en los diferentes eventos metodológicamente desarrollados.

De esta forma y en concertación con las comunidades mineras, se implementaron técnicas limpias en el procesamiento de minerales auríferos, logrando simultáneamente la concientización ambiental y el mejoramiento de la infraestructura básica de producción y beneficio.

Los adiestramientos en procedimientos nuevos de cianuración por agitación, garantizan una eficiente planificación extractiva y de procesamiento de mineral, al igual que la utilización racional de los recursos minerales en concordancia con un buen manejo en la disposición y vertimiento de desechos, lo que conlleva a que las nuevas prácticas se difundan entre el gremio minero, incidiendo directamente en el aumento de la productividad y rentabilidad de la actividad minera.

Adicionalmente la aplicación de este procedimiento, acompañado de buenas prácticas en seguridad e higiene minera, garantiza hacia futuro mejores ambientes de trabajo, disminuyendo el índice de enfermedades profesionales.

Este proceso consiste en la agitación de una pulpa, que contiene arena, agua, cal, y cianuro, en un recipiente cilíndrico con un vástago que gira entre 250 y 300 r.p.m., la variables que se controla son: pH de 10.5 – 11, oxigenación de 8 ml/lit, concentración de cianuro de 1,5 a 2 grs/lit, y densidad de pulpa entre 1.38 y 1.52, con tiempos de proceso variables de 15 a 36 horas.

La cianuración por agitación permite el tratamiento de grandes volúmenes de arenas auríferas con tenores por encima de los 100 gramos por tonelada, es decir minerales que han sido previamente concentrados para incrementar sus tenores.

La precipitación de los valores recuperados en solución del procesamiento por agitación se efectúa por medio de unos vasos comunicantes, los cuales en su interior contienen zinc en viruta que precipitan los valores o se satura la solución enriquecida con una lechada de acetato de plomo y zinc en polvo.

El zinc luego de precipitar los valores, es retirado de los vasos comunicante y sometido a calcinación y fundición. Igualmente cuando se trata de saturación con zinc en polvo, este se decanta y filtra para llevarse a los procesos pirometalúrgicos.

LOGROS Y RESULTADOS

Tabla No 1. Consolidado pruebas de cianuración.

MUNICIPIO	MINA	PROPIETARIO	LLENADO										RESULTADOS						
			DENSIDAD PULPA (Kgs/Lt)	PORCENTAJE SOLIDO/LIQUIDO (%)	PESO PULPA (Kgs)	VOLUMEN PULPA (Lts)	PESO MATERIAL HUMEDO(Kgs)	PESO MATERIAL SECO(Kgs)	AGUA UTILIZADA (Lts- Kgs)	CIANURO CONSUMIDO (Kgs)	CAL TOTAL AGREGADA (Kgs)	TENOR ARENAS		RECUPERACION		RECUPERACION		CONSUMO	CONSUMO
												Au (Gr/ton)	Ag (Gr/ton)	Au (Gr/ton)	Ag (Gr/ton)	Au	Ag	Kg/Ton	Cal
														%					
Los Andes	Gualconda	Rolberto Alvarez	1.44	43	182	126	102	78	104	0.172	1.7	12.11	34.31	6.77	19.18	56	56	2.1	21.2
Los Andes	N. Esparta	Freds Alvarez	1.42	41	187	132	107	77	110	0.231	0.6	144.0	778.0	94.0	521.0	65	67	3.0	7.8
Cumbitara	N. Esparta	Guillermo Guerrero	1.34	38	804	600	397	306	498	Tiende a 0	1.5	3.41	2.59	1.92	0.81	56	31	Tiende a 0	4.9
Cumbitara	Esperanza	Guillermo Guerrero	1.30	36	780	600	400	281	499	Teinde a 0	1.0	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	0	0	0	3.6
Santacruz	Diamante	Marino Pinto	1.47	46	882	600	446	405	476	0.857	9.0	10.66	62.67	9.2	18.8	86	30	2.1	22.2
Samaniego	Santa Lola	Jesus Alvarez	1.47	52	882	600	587	459	423	0.212	6.0	22.4	29.6	15.37	3,87	69	13	0.5	13.1
Los Andes	N. Esparta	Hermes Alvarez	1.40	43	861	615	450	370	491	0.295	2.1	23.2	166.0	1.7	10.8	7	7	0.8	5.7
La Llanada	Planta Ben.	Oro Sur	1.21	25	6630	5480	2080	1658	4972	3.0	10.0	7.5	17.0	5.66	10.4	76	61	1.8	6.0
Los Andes	Candelaria	Horacio Pantoja	1.34	39	797	650	410	311	486	0.292	1.0	7.2	30.4	4.5	5.1	63	17	0.9	3.2
Los Andes	La Victoria	Julio Diaz	1.34	35	797	595	380	279	517	0.568	2.1	20.0	68.0	6.1	28.0	31	41	2.0	7.5
Santacruz	Las Minas	José Castro	1.29	34	225	175	89	77	149	0.209	0.5	30.0	142.0	18.0	56.2	60	40	5.6	6.5
Cumbitara	Esperanza	Guillermo Guerrero	1.45	47	9.6	6.62	5.6	4.5	5.1	0.0026	0.05	20.8	48	10.25	27.87	49	58	0.6	11.0
Cumbitara	Esperanza	Guillermo Guerrero	1.20	27	432	360	139	117	315	0.05	0.5	3.6	5.2	0.6	0	18	0	0.377	4.3
Mallama	Providencia	Alberto Bernal	1.40	42	195	139	97	82	113	0.20	0.5	13.6	377.6	12.8	26.8	94	7	2.1	12.2
Los Andes	N. Esparta	Hermes Alvarez	1.37	43	0.9	0.66	0.45	0.38	0.515	0.000397	0.0026	9.2	50.8	0.9	23.1	10	45	1.1	7.0

CONCLUSIONES

- El Modelo Demostrativo de Cianuración por Agitación, además de ser una herramienta de enseñanza, es un equipo alternativo para la cianuración de hasta 500 Kg. de arenas residuales concentradas gravimétricamente.
- Se comprobó que en la cianuración por percolación, en el mejor de los casos se obtienen rendimientos hasta del 50%, mientras que en la cianuración por agitación se alcanzan rendimientos por encima del 80%.
- La utilización de los vasos comunicantes como medio de precipitación fue un éxito, pues se lograron recuperar valores de la solución en un 90%.
- La inyección de oxígeno por medio de aire, generado por un compresor, en los procedimientos de percolación tradicionales al igual que en el lecho de filtración de la cianuración por agitación, es determinante, porque permite la filtración rápida de la solución y diluye valores de oro aun residuales.
- En algunas pruebas no se obtuvieron los rendimientos esperados, por razones tales como; bajo tenor en los minerales de cabeza, granulometría inadecuada (Mina La Esperanza y La Victoria), gran cantidad de sales solubles (Mina el Cisne y Mina Nueva Esparta).
- Se observa que el porcentaje de recuperación es relativamente bajo a pesar de que el tenor de cabeza es alto, esto debido a la granulometría gruesa del material a procesar.
- La cianuración por agitación es eficiente en tamaños de oro menores a 60 micrones, por lo cual es necesario mejorar los procesos previos de concentración gravimétrica en donde se realiza la recuperación oro grueso.
- El tamaño de liberación del oro ligado a las características intrínsecas mineralógicas de las arenas, y la relación directa con el grado de conminución alcanzado en las etapas preliminares a la cianuración, es importante en la recuperación efectiva de valores.
- El encapsulamiento físico de la partícula de oro, se identifica como una variable importante en el contacto íntimo solución de cianuro – oro, no permitiendo la dilución efectiva.
- La presencia de sulfuros como pirita, calcopirita, arsenopirita, pirrotina y marcasita, encontrados en los municipios de Santacruz y Mallama, dificultan en cierto grado el proceso de cianuración por agitación, se recomienda realizar un pretratamiento con adición de cal, a un pH de 11 a 12, o un prelavado de las arenas.
- Los concentrados gravimétricos sometidos a la cianuración por agitación alcanzan consumos de cianuro altos entre 3 y 4 kg/ton, obteniendo recuperaciones superiores al 90% como es caso de los concentrados tratados de la Mina Nueva Esparta en el Municipio de Los Andes.
- La humedad influye directamente en la concentración de cianuro, la densidad de la pulpa y los porcentajes de recuperación de oro; esta varía de acuerdo a las condiciones del medio, por ejemplo en el municipio de La Llanada las arenas a intemperie alcanzan una humedad del 20%.

- Los mejores resultados en extracción de oro se obtuvieron en pruebas donde se realizó un pretratamiento con cal en un tiempo de 3 horas, procurando niveles altos de alcalinidad protectora con pH superior a 11.
- En las pruebas realizadas con minerales de las minas La Candelaria y La Gualconda en el municipio de Los Andes, la presencia de minerales de arcillas, carbonatos y silicatos, además de dificultar físicamente el movimiento de la pulpa y su filtración, generan espumantes que en determinado momento pueden constituirse en colectores de oro fino. La situación se complica cuando la partícula de oro, queda en suspensión sobre la burbuja, alejándose de la solución de cianuro. Igualmente la partícula de oro se recubre con una película arcillosa impermeable evitando el contacto directo con el disolvente.
- Se concluye que la densidad de pulpa para concentrados de mesa y paños no debe superar los 1.38 kg /lt y para arenas con menor cantidad de concentrados entre 1.38 y 1.52 Kg/ lt.
- Otra variable a tener en cuenta es el grado de pureza de la cal, que influye directamente en la alcalinidad protectora; evitando la formación de elementos cianicidas, inmoviliza los metales nocivos y limpia la superficie de contacto del oro.
- La mina Providencia en el Municipio de Mallama y La Gualconda en el Municipio de Los Andes, contiene altos porcentajes de oro fino que facilita el proceso de cianuración.
- La presencia de materia orgánica en las arenas disminuye la eficiencia del proceso, porque aumenta el consumo de oxígeno y cianuro, para lo que se recomienda hacer un tamizado previo.
- Es importante tener en cuenta para recuperaciones de tipo industrial que parte del oro queda retenido en la humedad final de la arena y este debe ser recuperado con lavaje controlado o realizando una recirculación con solución pobre.
- Para obtener eficiencias altas de recuperación de oro y disminuir la contaminación ambiental se trabajó continuamente con la solución de procesos anteriores, reajustando cal y cianuro faltante.
- En minerales con altos contenidos de plata, como es el caso de la mina Providencia y mina Nueva Esparta, se utilizó como inhibidor de este elemento, acetato de plomo, compuesto químico que neutraliza la plata evitando el consumo innecesario de cianuro.

3

CARACTERIZACIÓN DE FUENTES HÍDRICAS CONTAMINADAS POR MERCURIO Y CIANURO

TÉCNICAS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

Para la determinación de las concentraciones de mercurio en aguas superficiales y en sedimentos se establecieron estaciones de muestreo en quebradas influenciadas por la actividad minera en cada municipio (Los Andes, Cumbitara, Mallama, Santacruz, La Llanada y Samaniego).

La técnica de muestreo en agua es puntual y teniendo en cuenta la profundidad de la fuente, el tamaño y conformación de los bloques rodados dentro del cauce, se utilizó el método del vadeo para el aforo, en aquellas en el que era posible; el muestreo de sedimentos es puntual, superficial y sin aforo y para su análisis se efectuó la extracción de la fracción compuesta por partículas inferiores a $63\mu\text{m}$ con una mezcla de ácido sulfúrico y nítrico.

En los municipios de Mallama, Los Andes, Santa Cruz y Cumbitara se encontró concentraciones cuantificables de este metal (mercurio), mientras que en Los municipios de Samaniego y la Lanada no se detectaron, pues la recuperación de oro se hace por métodos de concentración gravimétrica.

Para la determinación de cianuro en agua se tomaron muestras puntuales que se refrigeraron y preservaron con hidróxido de sodio, hasta el análisis en el laboratorio por el método espectrofotométrico; las muestras de sedimentos también se tomaron puntuales y se recolectaron en bolsas de polietileno; en el laboratorio se realizó una lixiviación en la que se tomó 50 gramos de sedimento y se diluyó en 500 ml de agua destilada, se sometió a agitación durante 1 hora a 100 r.p.m. Al licor final se le agregó hidróxido de sodio para fijar el cianuro y se procedió a determinarlo en el lixiviado mediante el método de espectrofotometría.

Para la determinación de cianuro residual, se tomaron muestras de arenas colas provenientes de procesos de cianuración y se les dio el mismo tratamiento que a los sedimentos. En este caso se pudo establecer que la zona que mayor riesgo presenta es la ubicada en las inmediaciones de la Quebrada el diamante, municipio de Santa Cruz en la que existe gran acumulación de arenas cianuradas recientemente.

En la siguiente tabla se relacionan las estaciones de muestreo establecidas en cada fuente y las minas que se encuentran en sus inmediaciones.

Tabla 1. Estaciones de muestreo

MUNICIPIO	FUENTES	ESTACIÓN	MINAS
LOS ANDES	Quebrada Honda	QH01, QH04, QH06, QH07	La Esmeralda, La Redención, La Risaralda, La Gualcondá; La Victoria
CUMBITARA	Río San Pablo Quebradas el Naranjo, Hueco Seco	QCN01, QCN02, QCH03, QCC04, RCSP01, RCSP02	La Esperanza, El Granito, La Perla, El Silencio, La Monja
MALLAMA	Ríos Panacual y Verde Quebrada el Moquillo	QD01, QD06, QD07, QV01, QP01, QP02	La Dorada, La Esperanza, El Encanto, La casualidad
SANTA CRUZ	Río Telembi, Quebradas San Francisco y el Diamante	RT03, RT04, QDI04, QF01	El Diamante, El Desquite, El Ensolvado, El Rayo, Arrayanes, La Guajira
SAMANIEGO-LA LLANADA	Ríos Saspí y Pacual Quebradas el Purgatorio, el Canadá, la Cartagua, el Vergel, San Antonio.	RSLV1, QSLV1, QSL1, QSLC1, QSLP1, QSLG1	El Páramo, el Canadá, el Cisne, la Palmera, la Espedita, los indios, San Juan Bosco, El Tablón y la Cartagua.

Los puntos QH hacen referencia a las estaciones sobre la quebrada Honda del Municipio de Sotomayor.

Los puntos QCN se refieren a las estaciones de muestreo ubicadas sobre la quebrada el Naranjo, QCH a la ubicada en quebrada Hueco Seco, QCC al punto de confluencia entre la quebradas El Naranjo y Hueco Seco, RCSP hace referencia a las estaciones sobre el río San Pablo del municipio de Cumbitara.

Los puntos QD corresponden a las estaciones de muestreo ubicadas en la quebrada la Dorada, QV a la estación sobre el río Verde y QP a las ubicadas en la quebrada Panacual del municipio de Mallama.

Los puntos RT corresponden a las estaciones sobre el Río Telembí, QDI a las ubicadas en la quebrada el diamante, QF se refiere a las estaciones sobre la quebrada San Francisco del municipio de Santa Cruz.

El punto QSLV se refiere a la estación ubicada en la quebrada el Vergel, QSL a la ubicada sobre la quebrada San Antonio, RSLV a la estación sobre el río Saspí, QSLC a la estación sobre la quebrada el Canadá, QSLP a la estación sobre la quebrada el Purgatorio y QSLG a la quebrada Cartagua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

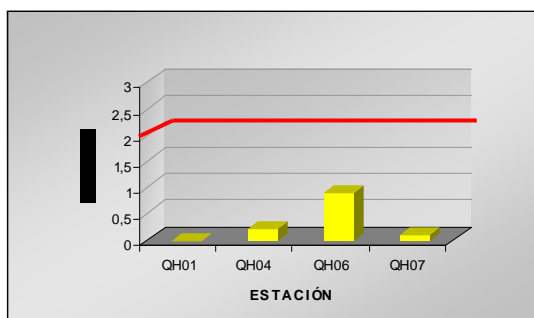
Los valores reportados corresponden a la mediana para cada estación, en los meses en los que se realizó el muestreo (octubre de 2006 a abril de 2007), debido a que no hay normalidad en los resultados.

Los resultados obtenidos de concentración de mercurio se expresan en $\mu\text{g/l}$ y $\mu\text{g/g}$ para agua y sedimentos respectivamente.

Tabla 1. Resultados De Análisis Muestras Municipio De Los Andes

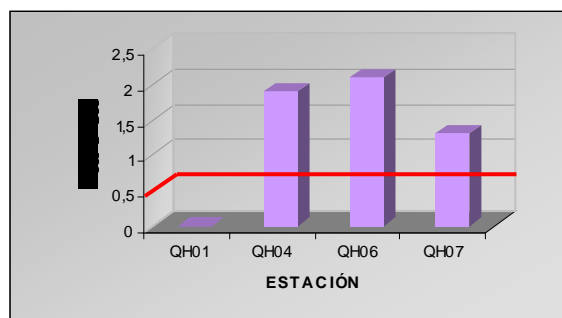
MUNICIPIO	ESTACIÓN	Hg AGUA ($\mu\text{g/l}$)	Hg SEDIMENTOS ($\mu\text{g/g}$)
LOS ANDES	QH01	ND	ND
	QH04	0,2	1,9
	QH06	0,9	2,1
	QH07	0,1	1,3

ND: no detectable



LÍMITE MÁX. PERMISIBLE Dec. 1594/84: $2\mu\text{g/L}$

GRAFICO 1. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA



LÍMITE MÁX. PERMISIBLE (EPA): $5\mu\text{g/g}$

GRAFICO 2. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SEDIMENTOS

Las concentraciones de mercurio de la quebrada Honda se mantienen por debajo del Límite permisible de $2\mu\text{g/g}$ en aguas para consumo humano y doméstico. La presencia del metal en el sedimento supera, aunque no en proporciones demasiado elevadas, el límite considerado alto de $0,5\mu\text{g/g}$ por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), lo que puede atribuirse a que difícilmente se forman depósitos, debido al caudal que provoca un arrastre importante del material de aluvión; además se debe tener en cuenta que en el municipio de los Andes, desde hace algunos años, se viene trabajando en la optimización de los procesos tradicionales de beneficio y se ha implementado el Modelo Demostrativo de amalgamación en algunas minas del sector, lo que ha contribuido a la reducción progresiva de las concentraciones de mercurio en la quebrada Honda.

Tabla 2. Resultados De Análisis Muestras Municipio De Cumbitara

MUNICIPIO	ESTACIÓN	Hg AGUA ($\mu\text{g/l}$)	Hg SEDIMENTOS ($\mu\text{g/g}$)
CUMBITARA	QCN01	ND	ND
	QCN02	ND	3,7
	QCH03	ND	2,5
	QCC04	ND	0,8
	RCSP01	ND	2,7
	RCSP02	ND	1,3

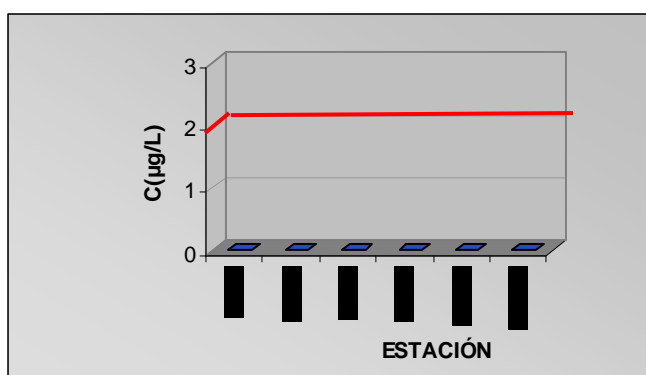


GRAFICO 3. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA

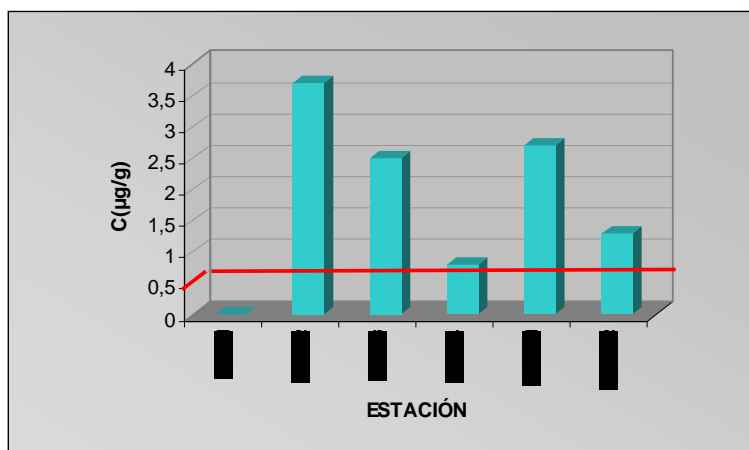


GRAFICO 4. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SEDIMENTOS

En el municipio de Cumbitara, el mercurio en el agua no se detecta, sin embargo en los sedimentos, con excepción de la estación QCN01, es cuantificable aunque no superan en

proporciones alarmantes, como sucede en otros municipios, los 0,5µg/g. las concentraciones bajas se explican porque el proceso de amalgamación a disminuido notablemente ya que algunas minas están centralizando el beneficio y utilizando nuevas técnicas de recuperación como son el molino chileno y concentración gravimétrica.

Tabla 3. Resultados De Análisis Muestras Municipio De Mallama

MUNICIPIO	ESTACIÓN	Hg AGUA (µg/l)	Hg SEDIMENTOS (µg/g)
MALLAMA	QD01	ND	ND
	QD06	0,6	107
	QD07	1,7	85
	QV01	0,3	15,6
	QP01	0,1	ND
	QP02	0,2	21,3

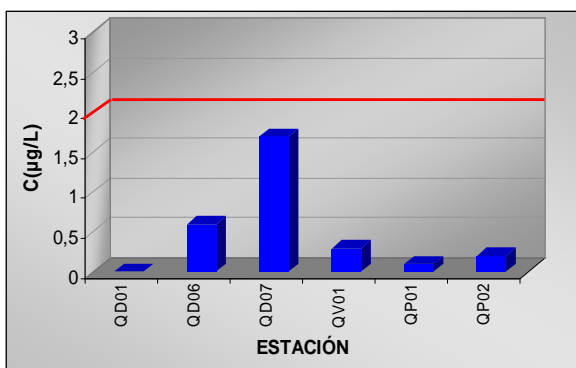


GRAFICO 5. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA

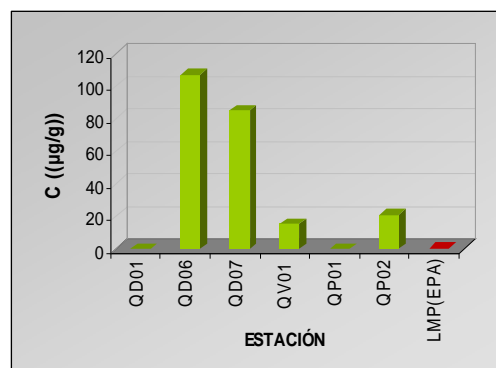


GRAFICO 6. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SEDIMENTOS

En el análisis de las medianas de la concentración de mercurio en cada una de las estaciones de muestreo para el municipio de Mallama, se destaca el hecho de que la mayor proporción del metal, en agua y sedimentos, se encuentra en la quebrada la Dorada (QD06, QD07), como consecuencia de la disposición directa de barriles amalgamadores en la fuente. En el caso del agua ninguna de las estaciones supera el límite permisible de 2 µg /l en agua destinada para consumo estimada en el Decreto reglamentario 1594/84 del código de recursos naturales.

La distribución de las concentraciones de mercurio en los sedimentos no es homogénea y en todas las estaciones, a excepción de las ubicadas aguas arriba de zona de influencia minera (QD01, QP01) supera ampliamente el valor de 0,5µg/g, considerado como "alto" (Agencia de Protección Ambiental EPA).

Tabla 4. Resultados De Análisis Muestras Municipio De Santa Cruz

MUNICIPIO	ESTACIÓN	Hg AGUA ($\mu\text{g/l}$)	Hg SEDIMENTOS ($\mu\text{g/g}$)
SANTACRUZ	RT03	0,7	8,5
	RT04	0,8	19,2
	QDI04	0,3	17,4
	QF01	1,0	14,0

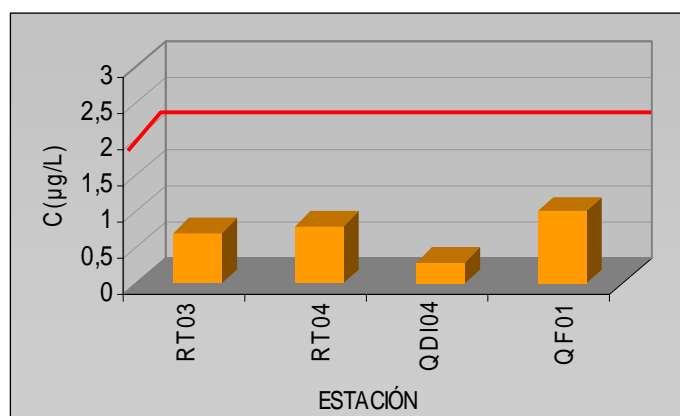


GRAFICO 5. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA

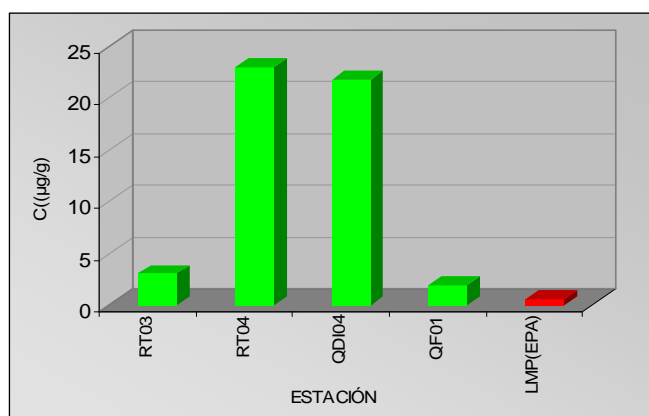


GRAFICO 6. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SEDIMENTOS

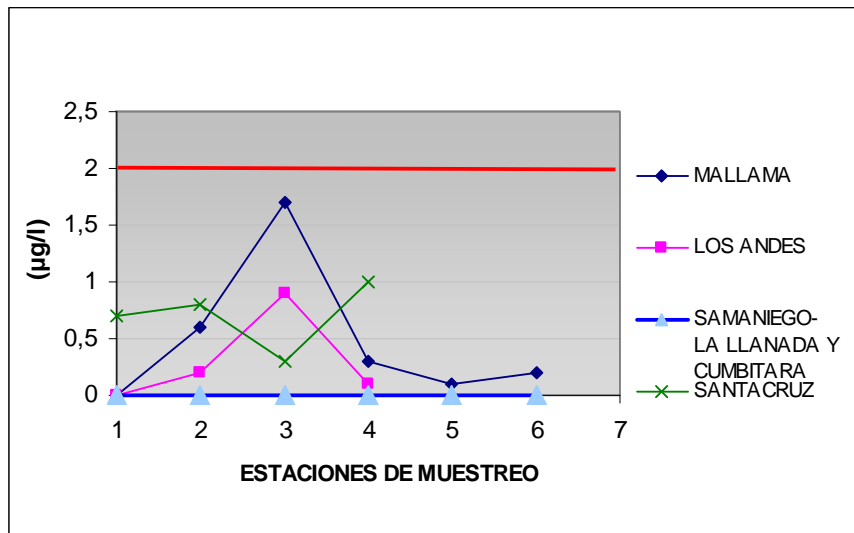
Las concentraciones de mercurio en agua determinadas en las estaciones ubicadas en el municipio de Santacruz no superan el valor máximo establecido por la legislación ($2 \mu\text{g/L}$), sin embargo en los valores encontrados para sedimentos, el índice es alto para todos los puntos, comparado con el nivel de referencia de la Agencia de Protección Ambiental, tomado como referencia ($0,5 \mu\text{g/g}$).

Tabla 5. Resultados De Análisis Muestras Municipio De Samaniego-Llanada

MUNICIPIO	ESTACIÓN	Hg AGUA ($\mu\text{g/l}$)	Hg SEDIMENTOS ($\mu\text{g/g}$)
SAMANIEGO- LLANADA	QSLV1	ND	ND
	QSLS1	ND	ND
	RSLV1	ND	ND
	QSLC1	ND	ND
	QSLP1	ND	ND

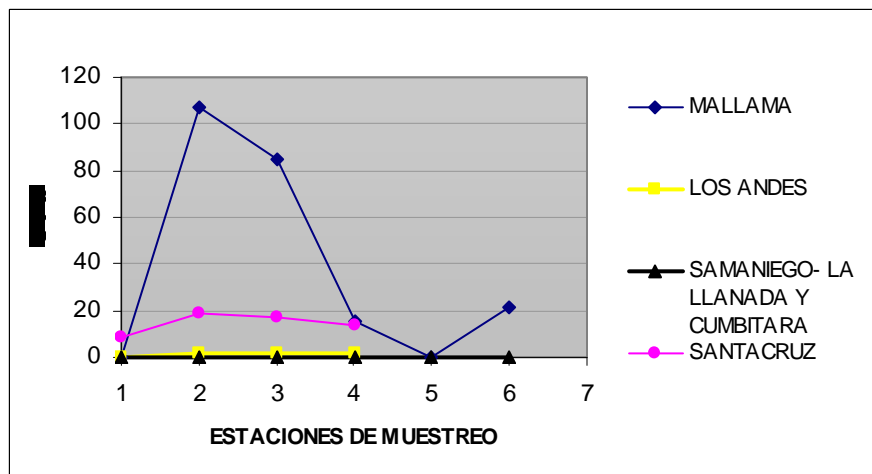
En ninguna de las estaciones de muestreo ubicadas en las fuentes aledañas a la actividad minera, del municipio de Samaniego y la Llanada se detectó la presencia de mercurio, debido a que el mercurio, en el beneficio de mineral para la extracción de oro, se utiliza en una mínima proporción y el proceso se hace en su mayoría por métodos de concentración gravimétrica.

GRÁFICO COMPARATIVO DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTOS DEL DISTRITO MINERO LA LLANADA



LÍMITE MÁX. PERMISIBLE Dec. 1594/84: 2µg/L

GRAFICO 7. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA



LÍMITE MÁX. PERMISIBLE (EPA): 5 µg/g

GRAFICO 8. CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN SEDIMENTOS

Como se puede establecer en la gráfica las mayores concentraciones de mercurio se encuentran en el municipio de de Mallama, seguido por los municipios de Santa cruz y los Andes. Se puede observar, por ejemplo que existen valores que superan entre 40 y 200 veces el valor considerado

como “alto”, para sedimentos, por la Agencia de Protección Ambiental (EPA); Las concentraciones difieren significativamente unas de otras respondiendo a las condiciones de beneficio de mineral, prácticas de vertido, manejo de colas, y obviamente a la localización de los puntos de muestreo, encontrándose valores más altos en áreas inmediatas a los sitios de beneficio. La porción de mercurio más alta se encuentra en los sedimentos, debido a que este metal tiende a precipitar y no permanecer disuelto en el agua.

Para el caso del cianuro, los valores encontrados en general, en toda la zona de estudio, no son elevados y se hallan por debajo del Límite Máximo Permisible. de 0.2mg/l para agua (Dec. 1594/84), debido a que el proceso de beneficio por cianuración no esta muy extendido. En el área circundante se pueden encontrar arenas acumuladas de procesos anteriores, no recientes; hay que tener en cuenta que este compuesto sufre procesos de fácil degradación, aunque no por ello, estas arenas dejan de presentar riesgo, pues puede suceder que los compuestos que forme no sean muy estables y se libere, aumentando su potencial tóxico. La zona que mayor riesgo presenta es la ubicada en las inmediaciones de la quebrada el Diamante del municipio de Santacruz en la que existen gran acumulación de arenas cianuradas recientemente y que presentan concentraciones de cianuro libre que en el momento del muestreo arrojó valores entre 9 y 41.11 gr/Tn, lo que representa un grave riesgo debido a la inadecuada disposición de estas colas, que en época de lluvia, por escorrentía, son transportados fácilmente a los suelos aledaños y a la quebrada, afectando además la flora y la fauna circundante.

CONCLUSIONES

- No se detectaron concentraciones de mercurio y cianuro en ninguna de las fuentes escogidas para realizar la campaña de muestreo en las zonas aledañas a la actividad minera en los municipios de Samaniego y la Llanada, lo que evidencia que en el proceso de beneficio de mineral para la extracción de oro se realiza casi en su totalidad por métodos de concentración gravimétrica. La principal afectación de las quebradas Canadá y Purgatorio es el alto contenido de sedimentos, a pesar de que algunas minas han implementado tanques sedimentadores.
- Las concentraciones de mercurio en agua encontradas en todos los municipios no superan los límites establecidos por la norma, en este caso se ha tomado como parámetro de referencia 2µg/l para aguas destinadas al consumo humano y doméstico establecido en el Decreto 1594/84. Caso contrario sucede con las muestras de sedimentos que en algunos casos supera hasta en 200 veces, el límite considerado como alto por la agencia de protección ambiental (5µg/g).
- Las concentraciones más bajas de mercurio en el municipio de Mallama se presentan en la quebrada Panacual (0,1µg/l) y las más altas en la quebrada la Dorada (1,7 µg/l).
- En general las concentraciones de mercurio siempre fueron mayores en la fracción sólida que en la líquida, para todas las estaciones.
- De acuerdo a los resultados obtenidos para cada municipio se pudo determinar que los que mayores índices de contaminación de mercurio se hallan ubicados en los municipios de Mallama y Santacruz, en los que a pesar de procesar el mineral en barriles amalgamadores, utilizan cantidades exageradas de mercurio, sin hacer ningún tipo de recuperación.

- Las concentraciones de mercurio difieren significativamente en cada punto y en cada una de las corrientes respondiendo a las condiciones particulares de beneficio, a la ubicación de los barriles y al vertido y manejo de las colas.
- La ocurrencia de eventos elevados coincide con la disposición directa de los barriles sobre las quebradas, tal es el caso de la Dorada (Mallama) y el Diamante (Santacruz).
- La presencia de mercurio en el agua se asocia a las partículas de arenas y sólidos suspendidos por efecto de la alta turbulencia que presentan las Corrientes. El pico más alto detectado se encuentra ubicado en la Quebrada la Dorada (Municipio de Mallama).
- Es importante mencionar que bajo ciertas condiciones, como la variación en del pH producto del ingreso de grandes concentraciones de descargas residuales ácidas, o remoción del sedimento, el mercurio contenido en los sedimentos pueda ser liberado hacia el agua, quedando disponible para la biota.
- Para el caso del cianuro no se encontraron cantidades cuantificables en las fuentes pero si en los depósitos de arenas cianuradas, especialmente en el municipio de Santacruz, mina el Diamante, en donde el beneficio de mineral por este método es más frecuente.
- El proceso de cianuración por percolación es poco utilizado en la región, comparado con la amalgamación que esta ampliamente difundida.

4

CAPACITACION Y DIVULGACION AMBIENTAL Y MINERA

Como una meta importante dentro del desarrollo del proyecto se buscó generar un cambio de actitud de la comunidad en general, acorde con la protección del Medio Ambiente, para ello se realizaron una serie de capacitaciones en temas, como educación ambiental, seguridad industrial, salud ocupacional, legislación minera y beneficio de minerales, dirigidas a los mineros y estudiantes del Distrito Minero de Nariño y otros departamentos, logrando un total de 418 personas capacitadas como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla No.1 Divulgación y sensibilización ambiental

MUNICIPIO	ENTIDAD	PERSONAS CAPACITADAS
MALLAMA	Mineros de la región	10
SANTACRUZ	Alumnos grados 10 y 11	56
SAMANIEGO	Alumnos grados 10 y 11	49
	Mineros de la Región	5
LA LLANADA	Alumnos grados 10 y 11	56
	mineros de la región	12
	Gobernación de Nariño y ONG'S	15
	universidad Tolima sede Mocoa Putumayo	23
LOS ANDES	Alumnos de grados octavo	16
	Alumnos de grado noveno	9
	Alumnos grado 11	33
	mineros de la región	25
	Universidad de Nariño	18
	Mineros de Iquira y Tesalia departamento del Huila	36
	Corporación del choco CODECHOCO	1
CUMBITARA	Alumnos grado 10 y 11	54
TOTAL		418

Para dar a conocer la aplicación de los modelos demostrativos de cianuración por agitación y amalgamación en circuito cerrado en las diferentes unidades productivas de los municipios, se realizaron pruebas minero metalúrgicas y adiestramientos en el manejo de los mismos, logrando adaptar los equipos a las necesidades específicas de cada región sin dejar de lado las experiencias y conocimientos adquiridos tradicionalmente por los mineros. La población capacitada fue de 157 mineros como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla No.2 Adiestramiento en Modelos Demostrativos

MUNICIPIO	ENTIDAD	PERSONAS ADIESTRADAS EN AMALGAMACIÓN	PERSONAS ADIESTRADAS EN CIANURACIÓN
MALLAMA	Mina La Dorada	5	
	Mina Porvenir y Providencia	5	5
SANTACRUZ	Mina Las Minas	6	
	Mina El Diamante		6
LA LLANADA	OROSUR S.A.		11
	Cooperativa de la Llanada COODMILLA LTDA.		15
LOS ANDES	Asociación de Mineros Manos Unidas	12	
	Mina La Gualconda	1	1
	Mina San Judas	5	
	Minas a Aurora y Paraguas	17	17
	Mina Nueva Esparta	1	4
	Mina San Vicente, La Victoria	8	8
	Grupo Asociativo Fortaleza	12	
	Minas La Redención y La Esmeralda	6	
CUMBITARA	Mina El Silencio	3	
	Mina la Esperanza		9
TOTAL		81	76

La socialización se realizó con el fin de dar a conocer los objetivos y alcances del proyecto, definiendo los sectores y unidades de producción minera comprometidas en la implementación y aplicación de los Modelos Demostrativos en cianuración por agitación y amalgamación en circuito cerrado. Se hicieron dos reuniones, una en el Municipio de Santacruz donde se congregaron personas de los municipios de Mallama, Samaniego y Santacruz y una segunda en el municipio de Los Andes, para la comunidad de Cumbitara La Llanada y Los Andes.

Como actividad posterior a la socialización, se hizo una entrega oficial de los diferentes equipos contando con la participación de autoridades regionales, representantes de grupos asociativos y mineros,

Tabla No 3. Ubicación de los equipos en el Distrito Minero la Llanada

MUNICIPIO	VEREDA	EQUIPO
Mallama	El Porvenir	- Modelo Demostrativo de Amalgamación - Modelo Demostrativo Cianuración por agitación.
Santacruz	El Diamante El Paraíso	- Modelo Demostrativo Cianuración por agitación. - Modelo Demostrativo de amalgamación.
Samaniego	Alto Canadá (Centro Minero)	- Modelo Demostrativo de amalgamación
La Llanada	Casco urbano	- Acondicionamiento Equipos planta de beneficio
Cumbitara	La Esperanza	- Modelo demostrativo de cianuración por agitación
Los Andes	San Vicente Los Guabos Centro Ambiental Minero	- Modelo Demostrativo de amalgamación - Modelo Demostrativo Cianuración por agitación. - Modelo Demostrativo de Amalgamación.

BENEFICIOS AMBIENTALES

- Con la ejecución del proyecto se logro dar cumplimiento a las metas propuestas, que van de la mano con el mejoramiento del entorno ambiental, mediante la implementación de los modelos demostrativos en circuito cerrado que reducen el consumo de reactivos tóxicos, permitiendo su reutilización y disminuyendo en mayor o menor grado la generación de residuos sólidos y líquidos peligrosos, conduciendo a mediano plazo a la sustitución de los mismos.
- Con el desarrollo de las capacitaciones realizadas en los diferentes municipios que conforman el Distrito Minero La Llanada, se incrementó el grado de conciencia ambiental, generando inquietudes y expectativas en la comunidad acerca del mejoramiento de los procesos de explotación y beneficio, encaminados a hacer uso racional de los recursos naturales y mejoramiento del entorno.
- Toda la información generada se constituye en una herramienta para continuar con nuevos procesos, que contribuyan al fomento de nuevas alternativas de producción y beneficio mas limpias, sin dejar de lado la elevación del nivel de vida del minero.

IDENTIFICACION DE NECESIDADES

- La falta de estudios mineralógicos específicos y la reserva que se tiene con los existentes, contribuye al desconocimiento por parte del minero del verdadero potencial del yacimiento, lo que conlleva a un bajo aprovechamiento del recurso y la aplicación de técnicas de beneficio poco apropiadas; por lo tanto se hace necesario el desarrollo de un proyecto donde se incluya el conocimiento profesional, la adquisición y manejo de equipos de laboratorio indispensables en la caracterización mineralógica precisa, que determine parámetros como; tipo de ocurrencia de oro, distribución de tamaño del grano, tipo de minerales huésped y ganga, asociaciones de minerales, texturas, secuencias de depositación y alteraciones minerales, entre otros.
- Es necesario crear un nuevo esquema de asistencia técnica integral en el Distrito Minero de la Llanada, que contemple especialmente procedimientos mineros de explotación y beneficio ligados a procesos de mitigación y control ambiental, en el que se involucren entes gubernamentales y grupos asociativos comunitarios.
- Dar continuidad al proceso de seguimiento y evaluación de las técnicas de beneficio implementadas, para identificar la verdadera dimensión ambiental y económica alcanzada, así mismo ampliar la cobertura y aplicación de estas técnicas a otras áreas mineras identificadas.
- Para optimizar los procesos de beneficio se hace necesario equipos complementarios a los modelos demostrativos propuestos, encaminados a crear una planta de beneficio piloto donde se realice el aprovechamiento integral de los minerales, que acelere el avance tecnológico de las explotaciones y permita incrementar los porcentajes de extracción que actualmente se obtienen.
- Iniciar una campaña de muestreo en la población minera del Distrito, a fin de determinar los niveles de contaminación por mercurio, involucrando a otras entidades que apoyen en la realización de estos estudios.
- Las medidas de control y mitigación de impactos ambientales generados por las explotaciones mineras auríferas, exigidas en los Planes de Manejo se han cumplido parcialmente, por lo que se necesita establecer programas de apoyo dirigidos a la recuperación de áreas intervenidas y de igual manera intensificar actividades de control y monitoreo ya establecidas.