

**PROPUESTA PARA LA INTRODUCCIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS
LIMPIAS, PARA LA REDUCCIÓN O ELIMINACIÓN DEL CONSUMO DE
MERCURIO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE ORO UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE PUERTO BERRÍO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.**

**LINA PAOLA BARRERA STERLING
IVAN JAVIER RUBIO FERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIRÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2014

**PROPUESTA PARA LA INTRODUCCIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS
LIMPIAS, PARA LA REDUCCIÓN O ELIMINACIÓN DEL CONSUMO DE
MERCURIO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE ORO UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE PUERTO BERRÍO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA**

**LINA PAOLA BARRERA STERLING
IVAN JAVIER RUBIO FERNANDEZ**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

Director

**ING. MARTHA CRISTINA FORERRO UZAHETA
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2014

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento

Damos gracias a Dios por habernos permitido hacer posible un sueño más en nuestras vidas y a nuestras familias por su apoyo incondicional.

Lina e Iván

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. GENERALIDADES	19
2. ESTADO DEL ARTE.....	27
3. METODOLOGIA	32
4. LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE.....	35
4.1 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA ENCUESTA	35
4.1.1 Trabajo de Campo	36
4.2 DIAGNOSTICO TÉCNICO.....	37
4.2.1 Geografía – Descripción física.....	37
4.2.2 Minería.....	39
4.3 DESCRIPCIÓN INICIAL DEL PROCESO DE BENEFICIO PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO CON EL ANÁLISIS DE DATOS DE LA ENCUESTA.....	39
4.3.1 Aspectos generales	40
4.3.2. Información general del proceso de beneficio aplicado y su producción	42
4.3.3 Información de cada una de las operaciones unitarias realizadas en el proceso de beneficio de oro	45
5. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	48
6. CARACTERIZACIÓN VARIABLES INICIALES DE OPERACIÓN EN EL ENTABLE.....	53
6.1 AMALGAMACIÓN.....	54
6.1.1 Consumo de energía	56
6.1.2 Mano de obra.....	57
6.1.3 Consumo de mercurio.....	57
6.1.4 Consumo de agua.....	58
6.1.5 Mercurio en Residuos líquidos.....	58

6.1.6 Mercurio en residuos sólidos	60
6.1.7 Balance de Mercurio en el segundo seguimiento.	60
6.2 CIANURACIÓN.....	61
7. PRESENTACIÓN DE LA TECNOLOGIA DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA MODELO DE PLANTA DE BENEFICIO PARA 10 TON/DIA, SIN USO DEL MERCURIO	65
7.1 TRITURACIÓN	66
7.2 MOLIENDA PRIMARIA.....	67
7.3 CONCENTRACIÓN PRIMARIA.....	69
7.4 MOLIENDA SECUNDARIA.....	70
7.5 CONCENTRACIÓN SECUNDARIA.....	70
7.6 REMOLIENDA	72
7.7 CIANURACIÓN, PRECIPITACIÓN Y FUNDICIÓN.....	72
8. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA SELECCIONADA.....	75
8.1 RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO	75
8.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE INDICADORES ANTES Y DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN.....	78
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Formato de encuesta para unidades productivas de veta.	36
Figura 2. Mapa geográfico de Puerto Berrío.....	37
Figura 3. Mapa de división político del Municipio de Puerto Berrío.....	38
Figura 4. Actividad Minera en el municipio de Puerto Berrío	39
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de beneficio	42
Figura 6. Descripción del proceso de beneficio de oro en minería de veta con mercurio	43
Figura 7. Fotografías del consecutivo en el proceso de beneficio de oro en minería de veta con mercurio.....	44
Figura 8. Balance de mercurio entable.	60
Figura 9. Vista en planta entable Vereda El Vapor	64
Figura 10. Diagrama de flujo procesos de trituración, molienda y concentración ..	71
Figura 11. Proceso de remolienda y cianuración.	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ubicación de la Unidad de Beneficio	40
Tabla 2 Datos sobre la organización y permisos ambientales	40
Tabla 3 Datos sobre Seguridad Industrial y Salud Ocupacional	41
Tabla 4 Capacidad instalada para el proceso de amalgamación.....	45
Tabla 5 Datos de las operaciones unitarias de Trituración, Molienda y Concentración	45
Tabla 6 Datos del proceso de amalgamación	46
Tabla 7 Inventario de equipos en el entable encuestado.....	46
Tabla 8 Insumos entable.....	47
Tabla 9 Proceso de Cianuración Entable.....	47
Tabla 10 Gestión Ambiental.....	47
Tabla 11 Identificación de Impactos Ambientales Entable.....	50
Tabla 12 Costos de servicios e insumos para los usuarios del Entable.....	53
Tabla 13 Potencia media Entable.	54
Tabla 14 Datos recopilados durante la caracterización del Entable.....	56
Tabla 15 Valores unitarios en dos procesos observados en el Entable.....	56
Tabla 16 Relación de amalgama con consumo de mercurio.	57
Tabla 17 Consumos de agua proceso de amalgamación.	58
Tabla 18 Reporte de muestras tomadas en el proceso de amalgamación	59
Tabla 19 Mercurio en líquidos.....	59
Tabla 20 Características equipos de cianuración entable Vereda el Vapor	61
Tabla 21 Datos proceso de cianuración entable Vereda el Vapor	62
Tabla 22 Reporte de muestras para análisis tomadas en el proceso de cianuración.....	62
Tabla 23 Equipos requeridos para la trituración.....	66
Tabla 24 Información sobre mineral procesado y consumo de mercurio.....	76
Tabla 25 Mineral Cianurado mensualmente	77

Tabla 26	Consumo de reactivos e insumos usados en el procesamiento del mineral	77
Tabla 27	Comparación consumo de agua en diferentes procesos en el entable..	77
Tabla 28	Comparación consumo de energía en diferentes procesos en el entable	78
Tabla 29	Comparación del consumo de mercurio en el entable Puerto Berrio antes y después de la intervención.....	79

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Espacio para la amalgamación entable Vereda El Vapor.....	55
Fotografía 2. Agitadores para cianuración entable Vereda El Vapor	61
Fotografía 3. Ejemplo de una tolva	66
Fotografía 4. Ejemplo de trituración con zaranda, trituradora y molino de martillos	67
Fotografía 5. Ejemplo de Molino de bolas.....	67
Fotografía 6. Ejemplo de un molino alimentado con banda transportadora.....	68
Fotografía 7. Ejemplo de clasificador de tornillo o Atkins.....	68
Fotografías 8 Ejemplo de canalón	69
Fotografías 9. Ejemplo de trampa.....	69
Fotografía 10. Ejemplo de mesas vibratorias.....	70
Fotografía 11. Ejemplo de celda de flotación.....	71
Fotografía 12. Ejemplo de un pequeño horno basculante a gas propano.....	73
Fotografía 13. Montaje de la nueva planta de procesamiento de minerales en la vereda El Vapor, tolva de almacenamiento de mine ral, trituradora, molino de bolas y mesa Wilfley en el entable.	75

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA PARA LA INTRODUCCIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS LIMPIAS, PARA LA REDUCCIÓN O ELIMINACIÓN DEL CONSUMO DE MERCURIO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE ORO UBICADA EN EL MUNICIPIO DE PUERTO BERRÍO, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA*

AUTORES: BARRERA STERLING, Lina Paola. RUBIO FERNANDEZ, Iván Javier**.

PALABRAS CLAVES: Amalgamación, beneficio de oro, mercurio, contaminante, minería, fuentes hídricas.

DESCRIPCIÓN

Una característica común del proceso de beneficio del oro, es la amalgamación del mineral. Este proceso en la actualidad resulta ser en términos de recuperación de oro, altamente ineficiente y contaminante, puesto que se somete todo el material extraído de la mina al proceso de amalgamación, es decir, se utilizan importantes cantidades de mercurio que contaminan todo el material incluido el estéril, el cual es descargado en la mayoría de los casos sin tratar y directamente en las fuentes hídricas superficiales de la zona.

Lo anterior pone en contexto la necesidad de asumir una posición con relación a la reducción/eliminación del mercurio en los procesos de beneficio del oro, toda vez que la utilización indiscriminada de este metal en la minería aurífera, puede estar causando serios problemas de salud pública en la población no solo minera, sino también aquella que queda expuesta a los gases del mercurio y a la contaminación de aguas vertidas y suelos.

Por consiguiente se planteó en el proyecto la implementación de iniciativas tendientes a la eliminación del uso del mercurio en el entable aurífero de minería de pequeña escala ubicado en el municipio de Puerto Berrio, para lo cual fue necesario conocer la cantidad de mercurio que se utiliza en la planta de beneficio de oro, la forma en que se beneficia el mineral, los consumos de agua y energía. De esta manera se logró introducir nuevas técnicas y tecnologías amigables con el ambiente, que permitieron reducir el consumo de mercurio y al mismo tiempo aumentar el recobro del mineral extraído.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Directora: Martha Cristina Forero

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL FOR THE INTRODUCTION OF NEW CLEAN TECHNOLOGIES FOR REDUCTION OR ELIMINATION OF MERCURY CONSUMPTION IN GOLD PROCESSING PLANT LOCATED IN PUERTO BERRIO TOWN – ANTIOQUIA DEPARTMENT.*

AUTHORS: BARRERA STERLING, Lina Paola. RUBIO FERNANDEZ, Iván Javier.**

KEY WORDS: Amalgamation, gold beneficiation, mercury, pollution, mining, water sources

DESCRIPTION

Mineral amalgamation is a common procedure in the gold beneficiation process. Currently, in gold recovery terms, it is highly inefficient and polluting, since all the material extracted from the mine is undergone to this process. In other words, significant amounts of mercury are used that contaminates the whole material (even gangue). These tailings are usually dumped, without any previous treatment, directly into superficial water sources in the area.

The issue mentioned above, brings to context the need to take a position regarding the reduction/elimination of mercury from the gold beneficiation process, considering that its indiscriminate use could be causing serious public health problems, not only on the mining population, but also on that one exposed to mercury vapors and contamination of water discharged and soils.

Consequently, the project outlined the implementation of initiatives aimed to eliminate the use of mercury in the small scale gold mining located in Puerto Berrio Town, for which it was necessary to know: the amount of mercury used in the gold processing plant, ore beneficiation process and water and energy consumption. In this way it was possible to introduce new techniques and environment-friendly technologies that reduced mercury consumption while increasing the recovery of ore mined.

* Thesis

** Faculty of Engineering Physicochemical. Chemical Engineer School. Environmental Engineer Specialist.
Director: Martha Cristina Forero

GLOSARIO

CPGMAE: Centro Provincial de Gestión Minero Agro-empresarial.

CATANGA: Bulto de 60Kg que es cargado por una persona.

COCOS: Cilindros cerrado en láminas de acero de ½", de aproximadamente 50cm X 50cm, donde se ingresa bolas, mercurio y se hace la amalgamación.

UGAM: Unidad de Gestión Ambiental Municipal.

UMATA: Unidad Municipal de Asistencia Técnica

DESLODE: Separación de mineral fino y poco denso del mineral más grueso y de mayor densidad. La operación consiste en depositar los lodos en un balde y revolver con la mano adicionándole abundante agua. El mineral poco denso y fino rebosa el balde y el más denso y grueso queda atrapado en él. De esta manera se recupera parte del mercurio que se le adicionó a los lodos.

BAREQUERO: Persona que trabaja en quebradas, ríos, ó valles aluviales con ayuda de un cajón y una batea.

PULPA: Mezcla de agua y mineral fino formando un fluido denso y homogéneo.

ENTABLE: Designación local para las instalaciones donde se procesa el mineral de oro con equipamiento de bajo desarrollo tecnológico, por ejemplo cocos amalgamadores o tinajas de cianuración por percolación.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país la minería se ha consolidado en uno de los sectores que mayor interés reviste sobre el desarrollo económico, desde los años 2010 y 2011 esta actividad estuvo en su pleno auge por los altos precios de los metales preciosos en el mercado internacional y las perspectivas a futuro son absolutamente alentadoras. Estudios aseveran un considerable aumento en la producción de la mayor parte de los minerales que se explotan en el país, sin embargo, a pesar de dicho panorama tan prometedor, los temas ambientales siguen siendo un verdadero inconveniente para las entidades encargadas de su control.

El país posee riquezas en oro cuya explotación se realiza en gran parte en pequeña escala y de manera artesanal. Durante el proceso de beneficio del metal, muchas de las minas utilizan elementos de alta toxicidad como el mercurio que al ser manipulados en forma inadecuada ocasionan grave daño a la salud y al medio ambiente.

Es por ello que el presente proyecto busca como objetivo principal plantear una tecnología de producción más limpia que permita mejorar las etapas incluidas en el beneficio de oro de un entable, con miras a reducir y/o eliminar el uso del mercurio en el proceso. La primera actividad consta de la elaboración de una línea base, un diagnóstico técnico a partir del cual se tengan los argumentos que puedan sopesar una solución mediante la aplicación de nuevas tecnologías alternativas para la recuperación de oro, con el fin de sustituir la tecnología usada actualmente basada en el consumo de mercurio.

La caracterización consistió en medir las variables de entrada más importantes tales como mercurio, agua y energía consumida por tonelada procesada. Posteriormente estimar la eficiencia e índices de operación del proceso sin utilizar

mercurio, después de la intervención con la propuesta tecnológica de producción más limpia.

Dicha propuesta deberá partir de las necesidades reales de la comunidad minera y cumpliendo con el requerimiento de no consumir mercurio en los procesos.

1. GENERALIDADES

¿Qué es la minería del oro artesanal y en pequeña escala?

La minería del oro artesanal y en pequeña escala es la extracción de minerales, más comúnmente el oro, que realizan los mineros que trabajan en explotaciones pequeñas o medianas, usando técnicas rudimentarias. Se suele emplear prácticas sencillas, con inversiones económicas pequeñas. El mercurio se usa a menudo para separar el metal del mineral, y generalmente lo manejan personas cuya conciencia de los riesgos que implica, capacitación para minimizar esos riesgos y disponibilidad de equipo de seguridad son mínimas o nulas.

La minería del oro artesanal y en pequeña escala es una fuente de ingresos importante para los mineros, especialmente en comunidades y regiones rurales donde las alternativas económicas son sumamente limitadas. Hay por lo menos 100 millones de personas en más de 55 países que dependen de esta actividad para subsistir. Se cree que la minería del oro artesanal y en pequeña escala produce entre el 20% y el 30% del oro del mundo, es decir, entre 500 y 800 toneladas anuales.

En la minería del oro artesanal y en pequeña escala se utilizan normalmente grandes cantidades de mercurio para procesar el mineral, a menudo en condiciones de gran inseguridad y peligrosas para el medio ambiente. En muchos países se desalienta o incluso se prohíbe el uso de mercurio para la extracción de oro. Sin embargo, la demanda de mercurio en los países donde se realiza esta actividad continúa aumentando, sobre todo debido al aumento del precio del oro. Además, el uso de mercurio es generalmente el método dominante y preferido de extracción de oro en este sector, ya que se considera bastante fácil de utilizar y no es costoso.

En general, en las operaciones de minería del oro en gran escala se ha ido eliminando gradualmente el uso del mercurio, sustituyéndolo por otras tecnologías. A pesar de ello, el mercurio se genera con frecuencia como subproducto en las minas de gran envergadura.

¿Cómo se usa el mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala?

El mercurio se usa para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra. El mercurio se adhiere al oro, formando una amalgama que facilita su separación de la roca, arena u otro material. Luego se calienta la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro. Se usan varias técnicas diferentes que liberan distintas cantidades de mercurio.

- **Amalgamación de todo el mineral**

En este proceso se añade mercurio a todo el mineral durante la trituración, molienda y lavado. Éste es el uso más contaminante del mercurio. En muchos casos sólo el 10% del mercurio agregado a un barril o a una batea (en el caso de la amalgamación manual) se combina con el oro para producir la amalgama. El resto (el 90%) es sobrante y debe retirarse y reciclarse, o se libera en el medio ambiente.

Cuando se amalgama todo el mineral, aparecen altos niveles de mercurio que se propagan en el medio ambiente local y crean graves problemas de salud por exposición, tanto para los mineros como para otras personas. Los estudios realizados en lugares donde se practica la amalgamación de todo el mineral muestran los niveles más altos de mercurio en el suelo, los sedimentos y los peces.

- **Concentración gravimétrica o “cribado”**

El cribado (o concentración gravimétrica) de los materiales que contienen oro es un proceso muy común. El oro se concentra con las partículas más pesadas en la batea, y el agua se lleva las partículas más livianas. Luego se agrega mercurio al concentrado para amalgamar o juntar las partículas finas de oro. Esto es mejor que amalgamar todo el mineral. Entre el 10% y el 15% del mercurio que se pierde en la minería del oro artesanal y en pequeña escala es consecuencia de este proceso.

- **Quemado de la amalgama**

Los mineros también calientan la amalgama para recuperar el oro. La amalgama se coloca en una pala o cazo de metal y se quema directamente sobre el fuego, a cielo abierto. Cuando esto se hace sin usar una retorta, los vapores de mercurio escapan al aire y son inhalados por los mineros, sus familias y demás personas que se encuentren cerca. Esta práctica produce emisiones atmosféricas de mercurio de alrededor de 300 toneladas métricas anuales en todo el mundo (GMP, 2006). Las retortas pueden capturar el vapor de mercurio, evitando que se libere en la atmósfera y disminuyendo los riesgos para la salud de los mineros, sus familias y sus comunidades. Las retortas constituyen una tecnología relativamente sencilla que permite recuperar gran parte del mercurio evaporado de la amalgama.

¿Qué es una retorta?

Una retorta es, en esencia, un cuenco u otro recipiente que se coloca invertido sobre la amalgama mientras ésta se quema, en el que el vapor de mercurio queda atrapado y se condensa. En las evaluaciones realizadas en el terreno por el Proyecto Mundial del Mercurio de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) se llegó a la conclusión de que era posible fabricar retortas eficientes a bajo costo (en algunos casos por apenas 3,20 dólares); que

esas retortas podían retener vapor de mercurio y que, de esa manera, más del 95% del mercurio se reciclaba y podía reutilizarse. Esta práctica reduce el peligro de exposición y ahorra dinero. Hay muchas clases de retortas.

Algunas son de acero inoxidable, mientras que otras se fabrican con acero galvanizado de bajo costo. La eficiencia de la retorta depende de la clase de conexiones o abrazaderas que se empleen. Las retortas caseras pueden fabricarse con latas de acero o cuencos de cocina (de acero inoxidable o esmaltados).

¿Cómo se produce la exposición de las personas al mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala?

La vía que más debe preocupar a los mineros es la inhalación del vapor de mercurio que se libera durante la quema de las amalgamas. Cuando la amalgamación se realiza manualmente, parte del mercurio se absorbe directamente a través de la piel. Generalmente la amalgamación y el quemado se hacen sin tomar medidas de protección (como el uso de retortas o guantes), y a menudo en presencia de los niños o incluso en el hogar.

El vapor de mercurio se deposita también en los hogares, sobre las superficies de preparación de la comida, y cae en el suelo y en las masas de agua locales. El vapor de mercurio representa un peligro no solo para la población local, ya que puede recorrer grandes distancias en la atmósfera. El mercurio que se deposita en el agua es absorbido finalmente por las bacterias en los medios acuáticos, se bioacumula en la cadena alimentaria y es la fuente principal de mercurio en nuestros alimentos (véase el folleto introductorio).

Incluso en dosis bajas, la intoxicación por metilmercurio causa problemas neurológicos y es especialmente peligroso para las mujeres en edad de procrear

(véase el folleto introductorio). La alta concentración de mercurio que se ha encontrado en la leche de las madres en período de lactancia en las comunidades mineras demuestra que los lactantes corren serios riesgos.

El polvo de mercurio también se adhiere a la ropa de los mineros y de esa manera llega a sus hogares.

Los estudios de salud realizados en distintos lugares del mundo en los que se practica la minería del oro artesanal y en pequeña escala muestran altos niveles de mercurio en los mineros. Algunos de ellos están expuestos a niveles de mercurio 50 veces superiores al límite máximo aceptable de exposición del público fijado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En un lugar, casi el 50% de los mineros que trabajaban en el proyecto sufrían temblores involuntarios, síntoma clásico de daños al sistema nervioso inducidos por el mercurio.

¿Cómo afecta al medioambiente el uso de mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala?

Los lugares con altas concentraciones comprobadas de metal de mercurio, normalmente ubicados en cursos de agua o cerca de éstos, se denominan “zonas mineras críticas”. Las dimensiones de las zonas críticas pueden ser de unos pocos metros cuadrados hasta de cientos de metros cuadrados. Son fuentes importantes de dispersión del mercurio en los sistemas acuáticos, que contribuyen a la contaminación por metilmercurio de los peces y la fauna y flora silvestres, con los efectos consiguientes en la vida de miles de personas, tanto de las que participan directamente en las actividades mineras como de las que viven en las cercanías. Generalmente, los relaves que contienen mercurio se vierten en masas de agua o cerca de ellas y, en consecuencia, el suelo, los ríos, arroyos, estanques y lagos quedan contaminados por largos períodos de tiempo. Hay miles de lugares contaminados que seguirán estando afectados durante décadas, y sus efectos van

más allá del ámbito local, creando graves peligros de salud ambiental a largo plazo para las poblaciones que viven aguas abajo de las regiones mineras. Un peligro especial puede derivarse de la desintegración de los diques de relave causada por inundaciones o fenómenos meteorológicos extremos. Como consecuencia de ello, una gran cantidad de sedimentos cargados de mercurio son arrastrados aguas abajo. Un peligro conexo surge del uso combinado de mercurio con cianuración – esta es una combinación muy peligrosa, ya que promueve la metilación del mercurio.

¿Cómo pueden las comunidades mineras reducir al mínimo el uso del mercurio y la exposición a éste?

Si bien el uso de mercurio es en general una forma fácil y de bajo costo de extraer el oro en la minería artesanal y en pequeña escala, existen otros métodos eficaces en función de los costos que pueden eliminar o reducir en gran medida la cantidad de mercurio utilizado, disminuyendo los riesgos para la salud y el medio ambiente y ahorrando el costo adicional de usar cantidades excesivas de mercurio.

- **Métodos sustitutivos de la amalgamación de todo el mineral**

La amalgamación de todo el mineral trae aparejado un grado de exposición muy amplio, pero se usa con frecuencia porque para los mineros es una forma fácil y de bajo costo de extraer el oro rápidamente. La medida más importante que se puede adoptar en una comunidad minera para reducir el uso de mercurio es concentrar la parte del mineral que contiene oro antes de agregar el mercurio. Esto se puede lograr triturando y moliendo el mineral para obtener partículas más pequeñas, y usando cajas concentradoras con revestimiento o magnéticas, o técnicas de concentración gravimétrica como el cribado o el centrifugado. De esta manera se captura más oro, se necesita menos mercurio y se puede recuperar casi todo el mercurio residual.

- **Medidas de protección**

Las medidas de protección incluyen el uso de retortas cuando se quema la amalgama (que no sólo conserva el mercurio y permite reutilizarlo, sino que también protege a los trabajadores y a sus comunidades) y el uso de guantes por las personas que manejan el mercurio o la amalgama.

- **Alternativas al uso de mercurio**

La eliminación gradual del uso del mercurio en la extracción es una opción viable para muchos mineros, aunque puede requerir una inversión económica más importante y un mayor grado de organización y conocimientos técnicos especializados. Los minerales primarios deben molerse para ayudar a liberar las partículas de oro. Las partículas de oro libres o parcialmente libres pueden concentrarse. Los mineros necesitarán saber cuál es el grado de molienda apropiado, y si se requerirá otro tratamiento, como la oxidación.

Los métodos de separación o concentración por gravedad (por ejemplo, las cajas concentradoras alfombradas por dentro, los métodos magnéticos y las centrífugas) tienen grandes posibilidades de reducir el uso del mercurio y, en algunas situaciones concretas, de eliminarlo. En aproximadamente el 10% de los casos actuales de minería del oro artesanal y en pequeña escala, el oro se encuentra en minerales de aluvión (oro libre) y puede haber, a nivel local, métodos sustitutos de muy bajo costo que prescinden totalmente del mercurio.

La tecnología más prometedora para reemplazar completamente el uso de mercurio en cualquier clase de mineral de oro es la cianuración, pero este método puede resultar prohibitivo o no estar técnicamente disponible para todos los mineros artesanales. Además, los métodos de cianuración deben usarse e introducirse con cuidado debido a los grandes riesgos que entrañan para la salud

humana y el medio ambiente. Es importante tener presente que el cianuro y el mercurio nunca debe usarse juntos, porque su uso combinado puede aumentar enormemente la contaminación y los riesgos para la salud.

Módulo 3. El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala. PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2008.

www.unep.org.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) – Proyecto Mundial del Mercurio:

www.unites.uqam.ca/gmf/intranet/gmp/index_gmp.htm.

En la sección de documentos encontrará muchos documentos valiosos, entre ellos: “Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners”, autores: Veiga M.M., Metcalf S.M., Baker R.F., Klein B., Davis G., Bamber A., Siegel S., Singo P. (2006).

Comunidades y Minería en Pequeña Escala, sitio web: www.artisanalmining.org/.

Norma cero para el oro artesanal:

www.infomine.com/publications/docs/AssocResponsibleMining2007.pdf.

2. ESTADO DEL ARTE

Mejoramiento tecnológico de la minería del oro en pequeña escala de Perú, Ecuador y Colombia apoyado por Unesco y Cytel

Freddy Pantoja Timarán, Ph.D. Universidad de Nariño-UNESCO. Tel. 57 27 296049. Pasto, Colombia. fpantoja@computronix.com.co

La actividad “Aplicación de Tecnologías Apropriadas en el Beneficio y Fundición de Oro en Pequeña Escala en Ecuador, Perú y Colombia” del Proyecto Cross Cutting Project-CCP de UNESCO” comprendió un conjunto de labores de capacitación, asesoría técnica, transferencia tecnológica y divulgación de técnicas y equipos apropiados de beneficio, fundición y refinación de oro que apuntan, de manera simultánea, a mejorar la recuperación del oro y a reducir los riesgos y daños sobre la salud de los mineros, sus familias y el medio ambiente.

Una premisa que direccionó la ejecución de esta iniciativa fue el hecho de que la minería del oro en pequeña escala es un motor para superar la pobreza y una alternativa viable en el caso colombiano, de trabajo y sustento de miles de campesinos mineros dedicados a los cultivos de uso ilícito.

Además de la consolidación de las obras ejecutadas por el Proyecto Piloto de UNESCO para Colombia, se instalaron “Modelos Demostrativos de Beneficio, Fundición y Refinación de Oro” en Ponce Enríquez (Ecuador), Otoa (Perú) y Zona Andina Minera de Nariño (Colombia), con el apoyo de la Cooperativa de Producción Minera “Bella Rica” (Ecuador), Asociación de Productores Mineros Artesanales de Otoa, ISAT y AMASUC (Perú) y CORPONARIÑO (Colombia).

- **Nombre:** “Aplicación de Tecnologías Apropriadas en el Beneficio y Fundición de Oro en la minería en pequeña escala en Ecuador, Colombia y Perú”.
- **Responsable:** Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO (Oficina de UNESCO en Montevideo).
- **Entidades colaboradoras:** Cooperativa de Producción Minera “Bella Rica” (Ecuador), Asociación de Productores Mineros Artesanales de Otoa, ISAT, AMASUC (Perú) y CORPONARIÑO y Grupos Asociativos de Pequeños Mineros (Colombia).
- **Duración:** abril a noviembre de 2005.
- **Cobertura:** Cantón de Ponce Enríquez, Provincia del Azuay, Ecuador; Otoa, Departamento de Ayacucho, Perú y Zona Andina Minera de Nariño, Colombia.

Modelos demostrativos de producción más limpia en la pequeña minería de oro filoniano en el departamento de Nariño

Proyecto aplicación de tecnologías apropiadas para disminuir la contaminación ocasionadas por mercurio y cianuro en los municipios de los andes, Cumbitara, Mallama, Santacruz, la llanada y Samaniego del departamento de Nariño. 2006-2007.

La actividad minera se desarrolla de manera antitécnica, sin tener en cuenta los daños ambientales generados por el mal uso de sustancias químicas como cianuro y mercurio, igualmente la tradición minera ha obstaculizado la implementación de tecnologías apropiadas. La elaboración de esta cartilla va encaminada a instruir a la comunidad minera en la aplicación de prácticas nuevas,

sencillas y económicas de amalgamación y cianuración, con principios limpios, alternando y combinando procesos productivos rentables.

La mala utilización del mercurio en la minería artesanal dentro del proceso de beneficio denominado amalgamación, realizada en botellones, placas amalgamadoras, baterías de molinos y bateas, genera altos costos sanitarios, ambientales y económicos que hace imperativo adoptar medidas a corto plazo que busquen prevenir y reducir los impactos sobre la salud de las personas y el medio ambiente.

CORPONARIÑO apoyado por el Fondo de Compensación Ambiental FCA, para la ejecución del proyecto “Aplicación de Tecnologías Apropriadas para Disminuir la Contaminación Ocasionada por Mercurio y Cianuro en los Municipios de Cumbitara, Los Andes, La Llanada, Samaniego, Santacruz y Mallama, fomenta la utilización de los modelos demostrativos, que ofrecen una eficiente y mayor recuperación de mercurio y oro con menor tiempo de operación, haciendo que la amalgamación sea más sencilla y limpia.

- ✓ 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 RECALDE LOPEZ (Subdirector Para La Intervención de la Sostenibilidad Ambiental)

Programa de la Onudi: trabajo de intervención en comunidades mineras de oro artesanales y a pequeña escala

Estrategia y propuesta para el proyecto mercurio global- 2 de la Onudi - américa latina: introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales

- Los impactos sanitarios y medioambientales resultantes del uso de mercurio en las operaciones de la minería aurífera artesanal y en pequeña escala requieren una respuesta global conjunta y coordinada. El Proyecto Mercurio Global, una iniciativa de la ONUDI, el PNUD y el FMAM, fue lanzado en 2002. El principal foco de este proyecto fue la introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, a la vez que la mejora de la producción de oro y del sector minero artesanal.
- El propuesto Proyecto Mercurio Global - 2, tiene como fin continuar con los esfuerzos realizados por el Proyecto Mercurio Global con un esfuerzo conjunto dirigido a la reducción del uso y las emisiones de mercurio por el sector de la ASM. Esto se cumplirá mediante la introducción de tecnologías de extracción del oro más limpias y eficientes, la implementación de campañas de formación y sensibilización, asistiendo en la mejora de las políticas nacionales e internacionales sobre el mercurio y la ASM, la introducción o continuación de controles sanitarios y medioambientales, y a través de la promoción de iniciativas para la sostenibilidad.
- Los resultados esperados de este proyecto incluyen la reducción y/o eliminación del uso de mercurio en el sector de la ASM, la mejora de las condiciones sanitarias dentro de las operaciones de la ASM y las comunidades vinculadas, la mejora de las políticas gubernamentales concernientes al mercurio y al sector de la ASM, el aumento de la recuperación del oro por el sector de la ASM, y la iniciación de actividades de desarrollo sostenible. En conjunto, el proyecto propuesto se adhiere a todas las prioridades de la

ONUDI: reducción de la pobreza mediante actividades productivas, creación de capacidad comercial, y energía y medio ambiente. El Proyecto Mercurio Global - 2 también supone una significativa contribución hacia el conseguimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas.

- United Nations Economic Commission for Africa (2004). Minerals Cluster Policy Study in Africa: Pilot studies of South Africa and Mozambique. *UNECA, Addis Ababa*.
- United Nations Economic Commission for Africa (2004). Improving Public Participation in the Sustainable Development of Mineral Resources in Africa. *UNECA, Addis Ababa*.
- United Nations Economic Commission for Africa (2004). Managing Mineral Wealth. *UNECA, Addis Ababa*.
- United Nations Industrial Development Organization (2006). Environmental and Health Assessment Report. *Global Mercury Project, Vienna*.
- Veiga, Marcello M. and Meech, John A. (1995). Gold Mining Activities in the Amazon: Clean-up Techniques and Remedial Procedures for Mercury Pollution. *Ambio*, v24, n 6, pp371-375.
- Veiga, Marcello M. (1997). Introducing New Technologies for Abatement of Global Mercury Pollution in Latin America. *UNIDO, UBC, CETEM*, p19.

3. METODOLOGIA

En el estudio objeto de la presente monografía, se ejecutaron las siguientes etapas:

Etapas A: Levantamiento de línea base y diagnóstico

- **A1.** Se recopiló información secundaria de la región para identificar acciones que el estado colombiano ha realizado allí.
- **A2.** Se recopiló información primaria, con la aplicación de una encuesta, que permitió evaluar la situación actual del entable que ejecuta actividades de beneficio de oro en el municipio de Puerto Berrio. La encuesta permitió conocer: ubicación geográfica del entable, cuantificación de material beneficiado en la planta, inventario de equipos y proceso de beneficio utilizado, entre otros. Lo anterior, con el fin de analizar y evaluar el proceso que del entable.
- **A3.** Se realizó un diagnóstico técnico minero-ambiental.

Etapas B: Identificación de Impactos Ambientales

- **B1.** Se efectuó una evaluación de los principales impactos generados en el entable directamente relacionados con la actividad de beneficio de oro del entable.

Etapas C: Caracterización de variables actuales de operación

- **C1.** Se Identificaron cada una de las variables de operación como indicador.

- **C2.** Se procedió a realizar la medición de cada una de las variables en que opera el entable en las condiciones actuales como; cantidad de mineral procesado día, consumo de agua y energía, insumos, consumo de mercurio, teniendo en cuenta las diferentes etapas del proceso.
- **C3.** Se enviaron al laboratorio competente las respectivas muestras obtenidas de los líquidos residuales y de los lodos correspondientes a los dos seguimientos donde se efectuaron los análisis de laboratorio para la detección de mercurio.
- **C4.** Se finalizó con un estudio técnico que permitió analizar y evaluar la eficiencia del proceso y lograr estimar los índices de operación que tenía el entable.

Etapa D: Propuesta de Adecuación de la Tecnología de Producción más Limpia.

- **D1.** De acuerdo al estudio técnico de la etapa anterior con sus respectivos resultados, se procedió a realizar la propuesta más adecuada según tecnologías de producción limpia sin utilización de mercurio, según la capacidad de procesamiento requerida para el entable y sus necesidades.
- **D2.** Lo anterior, permitió plasmar mediante un esquema o diagrama ver el diseño y consecutivo de cada una de las operaciones unitarias con sus respectivos equipos a llevar a cabo.

Etapa E. Caracterización de variables de operación Después de la adecuación.

- **E1.** Se procedió a realizar la medición de cada una de las variables identificadas en la etapa C1 (consumo de mercurio, agua y energía) en las cuales se encontraba operando el entable después de la adecuación con la tecnología propuesta de producción limpia, teniendo en cuenta las diferentes etapas que la componen.
- **E2.** Se realizó una comparación especialmente relacionada con el consumo de mercurio en las operaciones antes y después de la intervención con la tecnología de producción limpia, generando eficiencias en los procesos y reducción del mismo.

4. LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE

4.1 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA ENCUESTA

El trabajo inicia con la aplicación de una encuesta mediante una metodología ya implementada y validada por el Ministerio de Minas y Energía, la cual se adecuó a las necesidades de la región.

La encuesta se realizó con el propósito de identificar y diagnosticar los diferentes tipos de unidades productivas que operan en la región, para lo cual nos enfocamos en la unidad productiva Vereda El Vapor. Para el diagnóstico se diseñaron preguntas que ofreciera respuestas cerradas, es decir de opciones limitadas que permitieran analizar posteriormente los datos con facilidad, las cuales fueron:

- Cuantificación de material beneficiado en la planta y su ubicación geográfica
- Realizar un inventario de equipos y proceso de beneficio utilizado
- Identificación de tratamiento y manejo de estériles y lodos de cianuración

Según la unidad productiva a trabajar se trata de la explotación de minería de oro en Veta o también llamada filón, por consiguiente, los datos a recopilar en la encuesta para el entable Vereda el Vapor se agruparon en seis temas:

1. Aspectos generales de la unidad de beneficio.
2. Información de los procesos.
3. Inventario de los equipos e infraestructura.
4. Insumos.
5. Diagrama de Flujo de los procesos.

6. Seguridad Industrial y salud ocupacional.

El formato utilizado para la encuesta se muestra a continuación en la figura 1.

Figura 1. Formato de encuesta para unidades productivas de veta.

The figure displays three pages of a survey form titled 'ENCUESTA A UNIDADES PRODUCTIVAS ORO DE VETA, MUNICIPIOS DE CAUCASIA-NECHA - BAGRE Y ZARAGOZA'. The form is issued by the 'Centro provincial de Gestión Mision Agroempresarial -CPGMAE- Alto Nordeste Antioqueño' and is part of the 'Ministerio de Minas y Energía' and 'República de Colombia'.

Page 1 (left): 'INFORMACION GENERAL DE LA UNIDAD PRODUCTIVA'. It includes fields for 'Nombre de la Unidad', 'Tipo de Unidad', 'Municipio', 'Código Postal', 'Teléfono', 'Correo Electrónico', 'Fecha de Encuesta', and 'Nombre del Encuestado'. It also has a section for 'INFORMACION DE LOS PROCESOS' with checkboxes for 'Procesamiento de mineral', 'Extracción de mineral', 'Lavado de mineral', and 'Otro'. A table at the bottom is titled 'INVENTARIO DE EQUIPOS E IMPLEMENTACIONES' with columns for 'Id', 'Descripción', 'Cantidad', and 'Observaciones'.

Page 2 (middle): '4. SALUD'. It contains a table for 'INDICADORES DE SALUD DE LOS PRODUCTORES' with columns for 'Sexo', 'Edad', 'Etnia', 'Nivel de escolaridad', 'Estado civil', 'Ocupación', 'Tipo de vivienda', 'Acceso a servicios básicos', 'Consumo de alcohol', 'Consumo de tabaco', 'Consumo de drogas', 'Consumo de medicamentos', 'Consumo de agua potable', 'Consumo de alimentos', 'Consumo de frutas y verduras', 'Consumo de leche', 'Consumo de carne', 'Consumo de pescado', 'Consumo de huevo', 'Consumo de pan', 'Consumo de arroz', 'Consumo de papa', 'Consumo de plátano', 'Consumo de mango', 'Consumo de piña', 'Consumo de naranja', 'Consumo de limón', 'Consumo de limón verde', 'Consumo de papaya', 'Consumo de melón', 'Consumo de sandía', 'Consumo de melón', 'Consumo de sandía', 'Consumo de melón', 'Consumo de sandía'. Below this is a large empty box for 'COMentarios de salud de los productores'.

Page 3 (right): '5. SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL'. It includes a table for 'INDICADORES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL' with columns for 'Tipo de actividad', 'Número de trabajadores', 'Número de accidentes', 'Número de enfermedades', 'Número de días de incapacidad', 'Número de días de trabajo perdido', 'Número de días de hospitalización', 'Número de días de tratamiento', 'Número de días de rehabilitación', 'Número de días de recuperación', 'Número de días de readaptación', 'Número de días de reintegración', 'Número de días de reincorporación', 'Número de días de readmisión', 'Número de días de readmisión', 'Número de días de readmisión'. It also has a section for '6. GESTIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RESIDUOS' with checkboxes for 'Cumplimiento de normas', 'Presencia de contaminación', 'Control de residuos', 'Manejo de residuos', 'Manejo de aguas', 'Manejo de aire', 'Manejo de ruido', 'Manejo de vibración', 'Manejo de calor', 'Manejo de luz', 'Manejo de sonido', 'Manejo de olor', 'Manejo de sabor', 'Manejo de textura', 'Manejo de color', 'Manejo de olor', 'Manejo de sabor', 'Manejo de textura', 'Manejo de color'. At the bottom, there is a section for '7. OBSERVACIONES' with a large empty box for 'Descripción de observaciones' and a 'Fecha' field.

Fuente: Minminas y CPGMAE

El propósito de la encuesta era adquirir información general de los entables mineros, estimar las toneladas de mineral procesado y especialmente conocer los consumos de mercurio. Información que permitirá definir un plan de acción y establecer un punto de partida para comparar después de una intervención.

4.1.1 Trabajo de Campo

El trabajo de campo inició en el municipio de Puerto Berrio, en la vereda el Vapor. Para ello, previamente se efectuaron unas reuniones con las autoridades municipales para investigar si era factible entrar al municipio y específicamente a los entables identificados y se concluyó que esta es la única vereda que alberga entables mineros.

4.2 DIAGNOSTICO TÉCNICO

4.2.1 Geografía – Descripción física

El Municipio de Puerto Berrío posee características de valle ribereño, alturas y pendientes considerables hacia la cordillera occidental; colinas y mesetas de poca altura entre este y el valle ribereño: Alto del Abismo, Alto del Indio, Chipre, De la Virgen, San Martín, Ugayca. Latitud Norte 6°29'35" y Longitud Este 74°24'26"

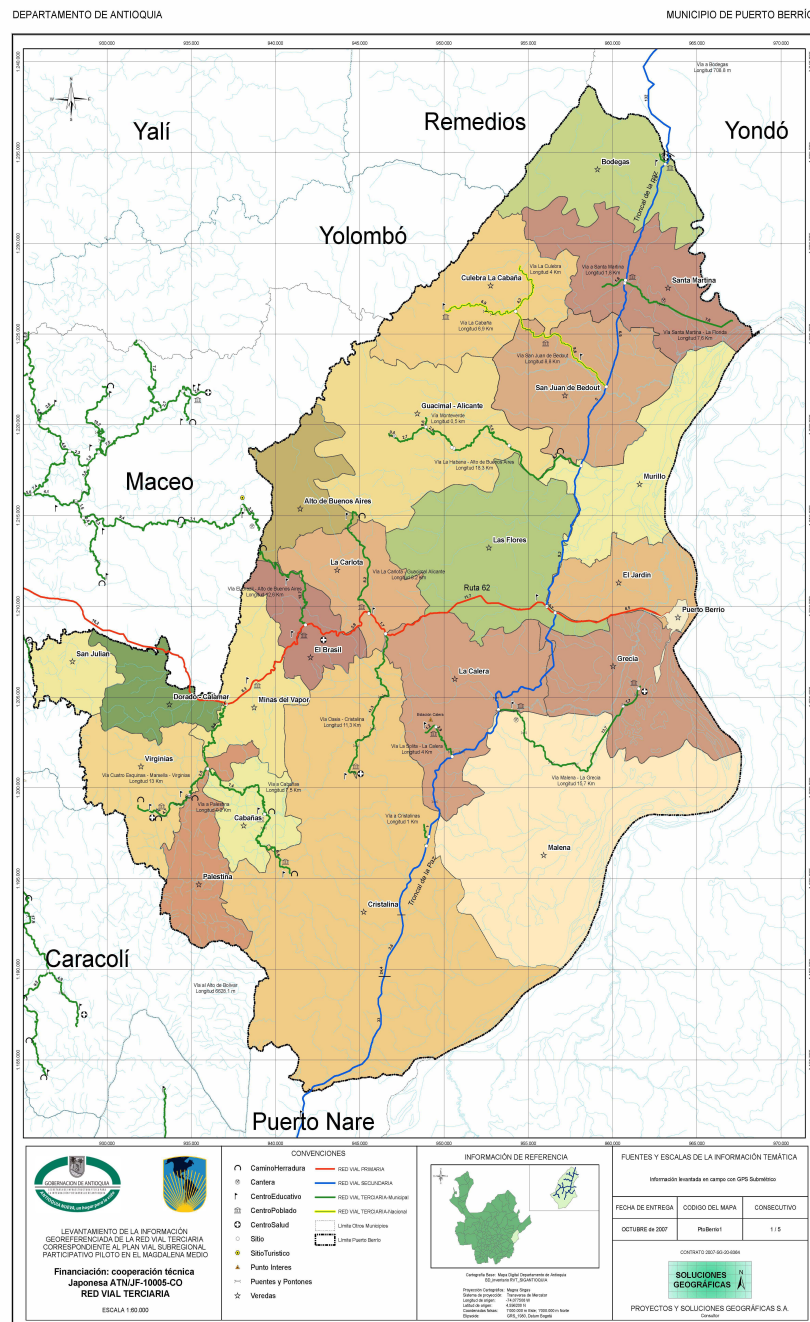
Figura 2. Mapa geográfico de Puerto Berrío



Fuente: <http://www.puertoberrio-antioquia.gov.co>

El municipio de Puerto Berrío limita al Norte con los municipios de Remedios y Yondó, al Nor – Occidente con Yolombó, al Occidente con Maceo y Caracolí y al Sur con Puerto Nare, al Oriente con el Río Magdalena, Departamento de Santander y Boyacá. Tiene una Extensión total 1.184 Km², Extensión área urbana 5.6 Km², Extensión área rural 1.178,5 Km². Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar) 125 m.s.n.m. y Temperatura media 29° C. En el siguiente mapa se encuentra lo mencionado con cada uno de los corregimientos y veredas:

Figura 3. Mapa de división político del Municipio de Puerto Berrío



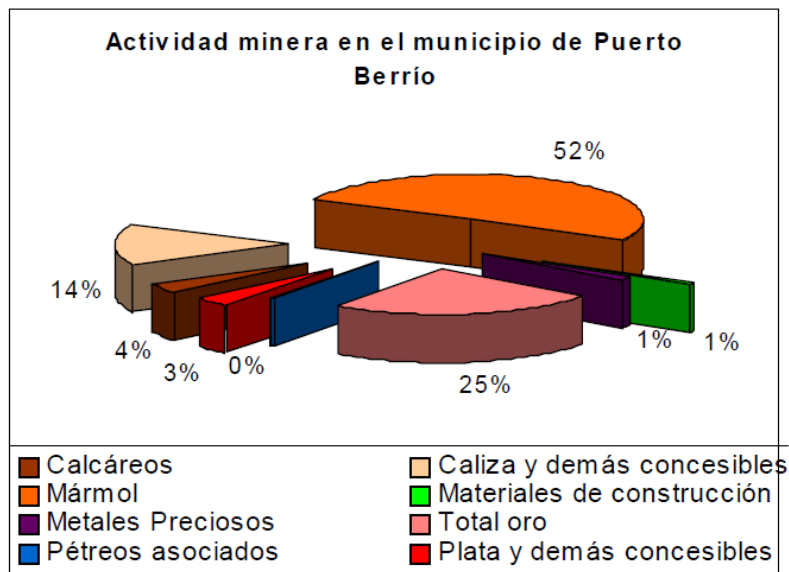
Fuente: <http://www.puertoberrio-antioquia.gov.co>

4.2.2 Minería

La zona de Minas del Vapor tiene un atractivo geológico diferente al resto del municipio de Puerto Berrío, pues desde aproximadamente comienzos de la década de los treinta se establecieron mineros norteamericanos que explotaron las minas de oro en la forma tecnológica apropiada para la época.

La minería se ofrece como una fuente de empleo especialmente en la vereda Minas del Vapor, pero es una actividad económica que, bajo las condiciones actuales de explotación, no ofrece un adecuado nivel de ingresos para las personas dedicadas a esta actividad y genera graves problemas ambientales.

Figura 4. Actividad Minera en el municipio de Puerto Berrío



Fuente: <http://www.puertoberrio-antioquia.gov.co>

4.3 DESCRIPCIÓN INICIAL DEL PROCESO DE BENEFICIO PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO CON EL ANÁLISIS DE DATOS DE LA ENCUESTA

4.3.1 Aspectos generales

El municipio de Puerto Berrío está compuesto por 22 veredas, en la cual la que representa la mayor zona de explotación minera está ubicada en la vereda estudio denominada el vapor donde se hayan ubicados 11 entables de beneficio de oro.

Para el caso estudio se tomó como referencia un entable de la vereda el Vapor, posteriormente de acuerdo a la encuesta se identificó el estado actual del sistema de beneficio. Los datos iniciales se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1 Ubicación de la Unidad de Beneficio

ENTABLE	COORDENADAS		CONTACTO	RELACIÓN	TIPO DE SOCIEDAD
	ESTE	NORTE			
Vereda el Vapor	0939306	1205933	Salomón de Jesús Gómez Cárdenas Samuel Enrique Gómez David Silva Gómez	Representante Legal Socio Administrador	Unipersonal

Se puede observar en la Tabla 2 las características en cuanto al tipo de sociedad, número de identificación tributaria y la ausencia en la mayoría de permisos ambientales lo que evidencia una falta de gestión ambiental que garantice cumplir con la normatividad vigente.

Tabla 2 Datos sobre la organización y permisos ambientales

Entable	Tipo de sociedad	Presta Servicio Publico	Impuestos de Industria Comercio	Impuesto de Sobretasa Ambiental	Permiso de Emisiones atmosféricas	Permiso de Concesión Aguas	Permiso Vertimientos	Permiso Emisiones Atmosféricas	Certificado Uso del Suelo	Gremio Afiliado
Vereda el Vapor	Unipersonal	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	CPMV

Tabla 3 Datos sobre Seguridad Industrial y Salud Ocupacional

N° de Trabajadores	N° de afiliados a S.S	Tipo de contrato	¿Ha recibido Capacitación en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional?	¿Poseen un Plan de Contingencia o de emergencia en caso de un accidente?	¿Existe ventilación adecuada en zonas de almacenamiento?	¿Posee Señalización e identificación de zonas?	¿Existe Ruta de Evacuación?	¿Utiliza los siguientes elementos de protección personal?						Posibles factores de riesgo que pueden generar accidentes			
								Guantes	Mascarilla	Gafas	Tapa oídos	Botas platina	Bata overol	Eléctrico	Falta Guardas	Piso	Pasamanos
3	3	VERBAL	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI

Como se puede observar en la Tabla 3 en el entable les falta hacer más gestión en el tema de salud ocupacional y seguridad industrial. En las visitas se identificó algunos factores de riesgo que pueden generar accidentes, especialmente pisos resbalosos y poleas de motores sin guarda.

El número de trabajadores registrados en la encuesta, corresponde a las que están directamente vinculadas con el entable, bien sea formal ó informalmente. Es decir, no se tiene en cuenta los mineros externos que alquilan el entable para procesar su material.

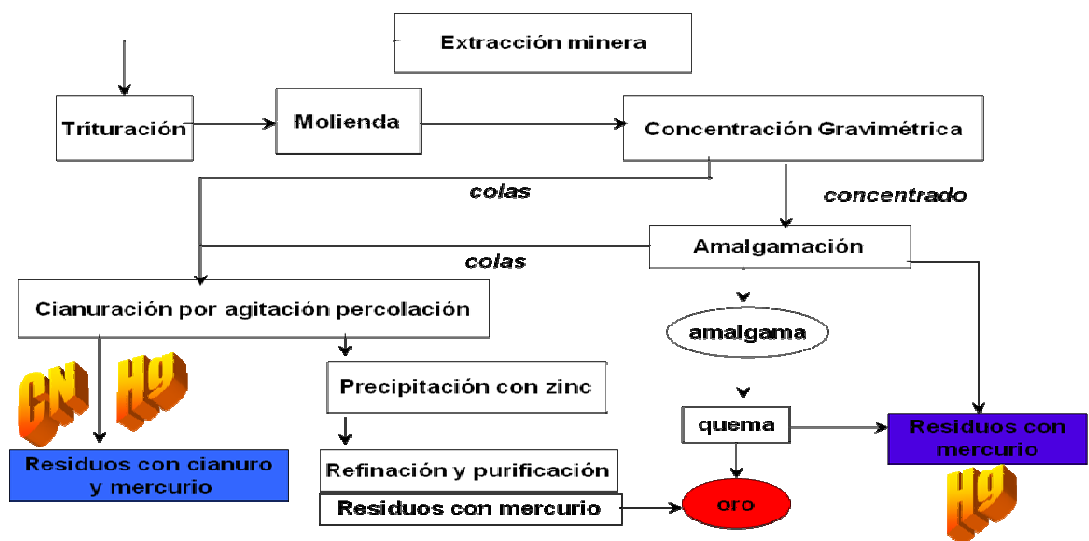
De acuerdo a estas dos tablas se puede deducir que el entable presta servicio al público, poseen una persona que administra, otra para cianurar y otra para cuidar de los cocos. Sin embargo el proceso de cianuración hasta ahora se encuentra en

proceso de implementación. El proceso de trituración y amalgamación lo realiza el propio minero cuando lleva su mineral. El negocio del entable consiste en prestar los cocos y el minero a cambio deja los lodos amalgamados como forma de pago. Y no se ha presentado ningún accidente en el trabajo en los últimos 12 meses.

4.3.2. Información general del proceso de beneficio aplicado y su producción

A continuación se da a conocer el diagrama consecutivo del proceso de beneficio de recuperación de oro aplicado en el entable.

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de beneficio

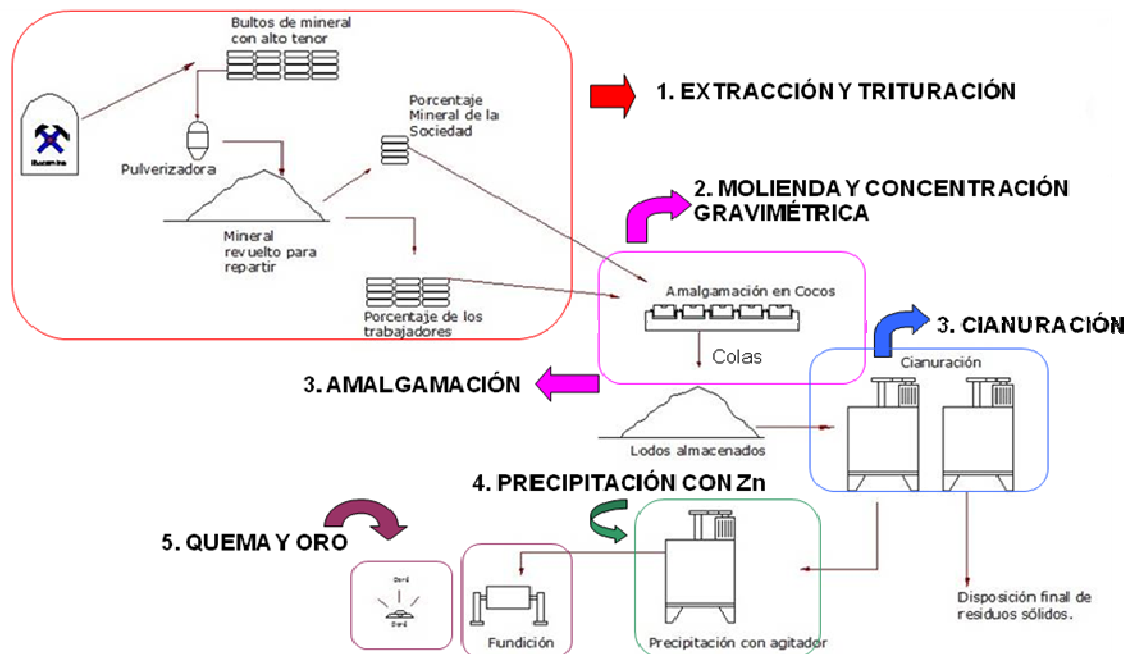


El proceso de beneficio consiste primero en extraer de los frentes de explotación bultos de 70 a 80 kilos de mineral y almacenarlos. Cuando tienen una cantidad suficiente, de 20 a 30 bultos, lo llevan al entable donde se tritura el mineral con una trituradora de mandíbulas, el mineral triturado se apila en una plaza donde se revuelve dos (2) veces para luego volver a empacar en bultos y repartir en el caso de que sean varios los mineros asociados.

Cada minero procesa su propio mineral, en algunos casos le paga al operario del entable ó a otra persona para que le procese el material. A cada coco se le agregan 2 onzas de mercurio y luego se muele en promedio 3 horas. A la tercera hora se para los cocos y se procede a vaciar el mineral molido en un balde donde el “Lavador” hace la operación de “deslode”.

La operación de “deslode” consiste en agregarle abundante agua al balde mientras el “Lavador” revuelve en forma circular la pulpa en el balde produciendo un movimiento centrífugo donde las partículas poco densas se rebozan y las pesadas permanecen en el balde. Finalmente buena parte del mercurio y la amalgama quedan atrapados en el balde, lo poco que queda se lleva a una batea donde se termina de separar la amalgama y se recupera parte del mercurio utilizado.

Figura 6. Descripción del proceso de beneficio de oro en minería de veta con mercurio



Fuente: Convenio GSA No 075 y autores

Figura 7. Fotografías del consecutivo en el proceso de beneficio de oro en minería de veta con mercurio



Fuente: Convenio GSA No 075 y autores

Generalmente un bulto de 60 kg de mineral cabe en un coco de 50cm X 50cm (D X L), pero en el entable se adicionan 45 kg por coco y se le hace tres molidas. Cada molida dura un promedio de tres horas, por tanto un bulto necesita de 8 a 9

horas para ser procesado y si el entable tiene 38 cocos amalgamadores, como en el caso del entable, su capacidad de procesamiento es en promedio de 1.71 ton/d. Como se puede observar en la tabla 4 para el entable los, existe un déficit de producción, ya que teniendo 38 cocos amalgamadores que darían una capacidad de 1,71 ton/d, solo se procesa de mineral 0,75 ton/d, con tan solo el 44% de su capacidad de procesamiento, lo que evidencia un número promedio de 17 cocos utilizados por día.

Tabla 4 Capacidad instalada para el proceso de amalgamación

No de cocos (n)	Capacidad de mineral por coco (c) (kg)	Mineral procesado o amalgamado/día (ton)	Capacidad instalada (c.i=c*n) (ton/día)	Uso de la c.i (%)	N° promedio de cocos utilizados día
38	45	0,75	1,71	43,86	17

4.3.3 Información de cada una de las operaciones unitarias realizadas en el proceso de beneficio de oro

Se analizó y se arrojaron los datos de la tabla anterior, de acuerdo a los siguientes datos reflejados en cada una de las tablas de las operaciones unitarias del proceso de beneficio de oro:

Tabla 5 Datos de las operaciones unitarias de Trituración, Molienda y Concentración

Horas/día	días/mes	Mineral estéril (ton/mes)	Mineral directo para cocos o procesado (ton/mes)	Tenor mineral directo a cocos (gr/ton)
9	24	54	18	2

Tabla 6 Datos del proceso de amalgamación

Días /mes	Horas /día	Mineral Procesado o Amalgamado / día (ton)	Mineral Procesado o Amalgamado / mes (ton)	Hg/ molida o proceso (Kg)	Hg Recuperado/ Molida o proceso (Kg)	Hg Recuperado Retorta Amalgama / mes (Kg)	Hg Consumido / mes (Kg)	Hg consumido / ton Mineral (Kg)	N° Molidas proceso (día)	Horas/ Molida / (día)	Hg / Coko (Kg)	Hg / Coko (oz)	Mineral / Coko (Kg)	Producción Oro Amalgamado/ mes (Kg)	Ley Oro Amalgamado
24	9	0,75	18	0,85	0,51	0	8,16	0,45	3	3	0,0567	2	45	0	500

De acuerdo a lo observado en la tabla 5 y 6 los datos de producción para el entable encuestado, indica que se está amalgamando o procesando 0,75 ton de mineral / día ó 18 ton / mes, el consumo de mercurio es de 8,16 Kg / mes. El consumo específico de mercurio por 0,75 toneladas procesadas al día es de 850 g de Hg y de esos 850 g utilizados se recuperan 510 g de mercurio. Por consiguiente se consumen de Hg 450 gr por cada tonelada de mineral procesado.

En la tabla 7, se describe el inventario de equipos utilizados en el entable para el proceso de beneficio de oro.

Tabla 7 Inventario de equipos en el entable encuestado

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Trituradora de Mandíbulas	Capacidad de 5 Tph y potencia de 10 hp	1
Cocos	Capacidad 45 Kg y potencia 10 hp	38
Agitador	1,5 m x 1,5 m Capacidad 2,6 m ³ y potencia 8 hp	4
Tina almacenamiento de agua	5,0 x 2,0 x 1,4;	1
	4,0 x 1,0 x 1,0	2
Tanques de sedimentación de lodos finales	2,5 x 1,0 x 1,5;	4
	1,5 x 2,0 x 1,5;	2
	2,0 x 2,0 x 1,5	1

Tabla 8 Insumos entable

Bandas (m / mes)	Bicarbonato (Kg / mes)	Bolas (Kg / mes)	CAL (Kg / mes)	Cianuro (Kg/ mes)	Cocos (Unid / mes)	Kw-hora/ mes	Limón (Kg / mes)	Melaza (Kg / mes)	Mercurio (Kg/ mes)	Zinc en Polvo (Kg/ mes)
50	4	0	120	0	4	NS/NR	120	480	8	0

La Tabla 8, presenta los insumos más importantes que emplean en el entable, especialmente se resalta el uso mercurio por su alta toxicidad. El nulo consumo de cianuro se explica debido a que el proceso es relativamente nuevo en la región. Recientemente en el entable se han instalado agitadores para implementar la cianuración, por lo cual al momento de la encuesta no se obtuvieron datos reales sobre el consumo de reactivos para este proceso. El proceso de cianuración es difícil de implementar por que el mineral es muy refractario, existe otros compuestos químicos que interfieren en la lixiviación del oro. Los mineros necesitan una asistencia técnica en este tema. Sin embargo los datos recogidos en la encuesta de este proceso son:

Tabla 9 Proceso de Cianuración Entable

Horas /proceso	Días /proceso	no procesos/mes	lodos cianurados (ton/mes)	Hg recuperado en precipitados (kg)	precipitados (kg/mes)
192		3	15	0	0,5

En el aspecto ambiental, el diagnóstico identificado se verá reflejado en la siguiente tabla:

Tabla 10 Gestión Ambiental

EXISTE PROCESO DE SEDIMENTACIÓN		DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS				NEUTRALIZA LOS RESIDUOS LÍQUIDOS		TRATAMIENTO			
SI	NO	Pulpas hacia cuerpos de agua	Botadero Comunal	Botadero particular	Otros	SI	NO	Oxidación con Hipoclorito	Oxidación con Peróxido	Cal	Otro
X				X		X		X			

5. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

La explotación minera se constituyen en un causante de graves procesos de degradación por acumulación de sedimentos y contaminantes originado por una explotación aurífera tradicional, lo que ha originado una reducción en la capacidad de regulación de las aguas y pone en riesgo los recursos hidrobiológicos, agrícolas y ganaderos, así como la salud de las comunidades asentadas en ellas. La extracción de oro de veta principalmente se efectúa en el municipio, La minería con doble connotación: una positiva por la generación de empleo y negativa por la afectación (en zonas intervenidas por esta actividad).

En el municipio de Puerto Berrio, más exactamente en la Vereda el Vapor con alta actividad de explotación minera se presenta un proceso de deterioro ambiental y ecológico, este desequilibrio ecológico repercute de manera negativa en la calidad de vida de la población, altera las condiciones ambientales de la vida y modifica las posibilidades de desarrollo integral.

La afectación del medio ambiente por cuenta de la actividad minera impide que se haga efectivo el derecho de contar con un ambiente sano y tiene sus manifestaciones más notorias en la deforestación existente, en la reducción y contaminación de fuentes hídricas, en los conflictos ecológicos, contaminación atmosférica, extinción de fauna silvestre, reducción de la biodiversidad, así como la erosión y de otras amenazas naturales, como sequía, avalanchas e inundaciones.

Por ello se hace necesaria la identificación de los impactos generados al medio ambiente producto de la actividad de beneficio de Oro del entable Vereda el Vapor, identificando cada uno de los componentes de la naturaleza afectados de acuerdo a la observación y las visitas en campo.

Las condiciones técnicas en las cuales se ejecutan estas explotaciones, aceleran los procesos de erosión, propiciando la contaminación de las fuentes hídricas con el material que se excluye de los procesos de beneficio

La siguiente Tabla 11, ilustra la identificación de impactos posiblemente afectados.

Tabla 11 Identificación de Impactos Ambientales Entable.

COMPONENTE AMBIENTAL	ELEMENTO	IMPACTO AMBIENTAL	MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES EN EL ENTABLE DE BENEFICIO DE ORO											
			ETAPAS											
			Trituración del material	Molienda del mineral	Lavos y concentrados	Amalgamación	Y descargue	Lavado de arenas de cianuración	Disposición de arenas de cianuración	Tratamiento de los efluentes del proceso de cianuración	Precipitación del oro de precipitados	Y		
ABIOTICO	CALIDAD DEL AIRE	Emisión de material particulado												
		Emisión de gases tóxicos												
		Cambio en los niveles de presión sonora												
	AGUA	Alteración y calidad físico química y microbiológica de los cuerpos de agua												
	SUELO	Alteración físico química del suelo por disposición inadecuada de lodos contaminados con Mercurio y/o Cianuro												
		Susceptibilidad del suelo a la erosión e inestabilidad												
BIOTICO	PAISAJE	Modificación del paisaje												
	FAUNA SILVESTRE	Pérdida de hábitat de la fauna y ecosistemas terrestres												
	COBERTURA VEGETAL	Remoción y pérdida de cobertura vegetal												
SOCIECONÓMICO	ASPECTOS POBLACIONALES	Cambio en la dinámica poblacional (migración)												
	ECONOMIA	Generación de empleo												
	CONDICIONES DE VIDA/SALUD E HIGIENE AMBIENTAL	Intoxicación												
		Alteración de las condiciones de salud y riesgo de accidentabilidad a los trabajadores												

De esta rápida visión del proceso de beneficio de minerales auríferos que utiliza mercurio en Colombia, se concluye que los mineros cometen una serie de errores o deficiencias conceptuales que en su conjunto incrementan la cantidad de mercurio vertido al ambiente, lo cual va en detrimento de la calidad del medio ambiente y de la salud de los operadores y de los pobladores del municipio. Entre otros, estos errores o deficiencias se pueden resumir en:

- Desconocimiento de las características mineralógicas del material y por ende la respuesta del mismo ante los diferentes procesos de beneficio, información básica y necesaria para diseñar cualquier operación de beneficio de mineral aurífero.
- Realización del proceso de amalgamación en circuito abierto (vaciando mercurio directamente en el molino), pues ello conduce a continuas pérdidas de mercurio que van a cuerpos de agua a través de sus vertimientos.
- Utilización de cantidades desproporcionadamente altas de mercurio, atendiendo al pensamiento generalizado de los mineros (entre más mercurio agregue, más oro obtiene)
- El uso de mercurio de baja calidad adicionado en el proceso de amalgamación, permite que se disminuya notablemente su carácter de afinidad con los metales preciosos.
- El poco cuidado dado por el minero cuando manipula mercurio, normalmente hace que éste se derrame accidentalmente, contamine especialmente en los suelos y cuerpos de agua.

- La separación del oro presente en la amalgama por quema al aire libre contaminando el aire o por disolución del mercurio en ácido nítrico aporta vapores de mercurio al ambiente. La disolución del mercurio además genera soluciones residuales altamente tóxicas con contenidos de nitrato de mercurio ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) el cual es almacenado o vertido a las fuentes hídricas circundantes.
- El vertimiento directo a las fuentes hídricas de los residuos del proceso de beneficio de minerales que han estado en contacto con mercurio.
- El inapropiado almacenamiento de los residuos contaminados con mercurio en el proceso de beneficio de minerales sin observar las condiciones de seguridad requeridas.
- El poco conocimiento del minero de tecnologías limpias.
- El pensamiento de muchos mineros que consideran que con el solo mercurio se puede recuperar el oro.
- La desconfianza del minero en las acciones de las entidades del Estado.
- El desconocimiento de pérdidas de oro por la deficiente tecnología.

6. CARACTERIZACIÓN VARIABLES INICIALES DE OPERACIÓN EN EL ENTABLE.

El entable se encuentra ubicado en la vereda El Vapor (municipio de Puerto Berrio), sus coordenadas en el sistema de referencia Datum Bogotá, es **E 939.306, N 1.205.933.**

Presta servicio al público, el servicio se ofrece de lunes a domingo las 24 horas del día, los usuarios pueden disponer en cualquier momento del entable siempre y cuando no esté ocupado procesando mineral propio. No existe una planeación donde se establezca el día, la hora y el cliente que procesará mineral en dicho entable.

Todo el sistema de beneficio se puede dividir en cuatro procesos: trituración, amalgamación, cianuración y precipitación-fundición. Cualquier minero puede llevar su producción para alquilar el entable, pero solo puede hacer los dos primeros procesos: trituración y amalgamación. Para realizar estos procesos el usuario minero debe tener en cuenta el costo de los servicios que se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12 Costos de servicios e insumos para los usuarios del Entable.

DESCRIPCIÓN	COSTOS DE SERVICIOS E INSUMOS (\$)
1 bulto triturado	3.000
1 turno(3 horas) / coco	3.000
Mano de obra (bulto/trabajador)	10.000
1 Kilogramo de Mercurio	280.000
Transporte de mineral mina - entable	5.000
1 litro de zumo de limón	800
1 kilogramo de Melaza	1.000
1 kilogramo de Axión	6.000
1 kilogramo de Cal	520

6.1 AMALGAMACIÓN

El proceso de amalgamación se realiza en barriles de 50 cm x 50 cm, generalmente cargados con 50 kg de mineral. La primera molida es para terminar de quebrar el mineral, por lo tanto a ésta no se le adiciona mercurio y tiene una duración de tres horas, a las otras molidas si se les adiciona mercurio y tienen un tiempo de tres horas cada una. Al final de cada molida, se obtiene una amalgama. El mineral se remuele tantas veces como el usuario minero considere necesario, hasta que no justifique continuar con el alquiler de los cocos. Generalmente se muele 5 veces, por tanto un bulto necesita de 12 a 15 horas para ser procesado.

Para medir las variables más importantes de operación, se realizó un seguimiento a dos procesos de amalgamación. Inicialmente se registraron las características técnicas de los equipos disponibles. Este entable dispone de 38 cocos ó barriles amalgamadores. Distribuidos en dos set ó conjunto de barriles. Para estimar el consumo específico de energía en el proceso de amalgamación se hizo un seguimiento a la potencia demandada en dos motores que trabajan con dos set de cocos.

Tabla 13 Potencia media Entable.

Set	No. Cocos	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	I PROM (A)	Voltaje	Factor de Potencia	Potencia (vatios/Set)	OBSERVACIONES
1	7	23,76	23,78	23,80	23,78	218	0,85	4407,7	En funcionamiento
		25,50	25,52	25,54	25,52	218	0,85	4728,6	
		24,80	24,82	24,84	24,82	218	0,85	4600,3	
		25,16	25,17	25,18	27,02	218	0,85	4664,0	
PROMEDIO		25,27	25,29	25,30	25,30	218	0,85	4600,8	

En la Tabla 13, presenta la potencia medida en el motor del set 1 que hacía girar 7 barriles amalgamadores de 14 disponibles. Se puede estimar que en promedio la potencia demandada para girar un barril es 0.657 Kw.

Con este dato, y teniendo en cuenta que un barril se carga con 50 Kg de mineral podemos estimar el consumo energía del proceso y el consumo específico de energía por tonelada. Ver Tabla 12.

Fotografía 1. Espacio para la amalgamación entable Vereda El Vapor



Fuente: Convenio GSA 75

La Tabla 14 14, presenta los datos recopilados en campo de dos procesos a los que se le hizo seguimiento. La Tabla 15, presenta un promedio de los insumos requeridos para amalgamar una tonelada de mineral.

Tabla 14 Datos recopilados durante la caracterización del Entable.

Proceso	Set	Molida	Tiempo (Horas)	Mineral Procesado (Ton)	AGUA (L)	Barriles Cargados (Cant)	M de Obra (Cant)	Mercurio Utilizado (Kg)	Mercurio Recuperado (Kg)	Mercurio Consumido (Kg)	PH	Cal (Kg)	Limón (L)	Melaza (Kg)	Axion (Kg)	Energía (Kw-hora)
1	1	1	3	0,65	2817,73	13	2	0,00	0,00	0,00	5,00	0,91	0,00	0,00	0,00	8,5
1	1	2	3	0,45	2532,09	9	2	0,65	0,38	0,27	4,00	0,00	0,00	1,35	0,18	5,9
1	1	3	3	0,30	1305,55	6	2	0,48	0,46	0,02	5,00	0,00	5,40	0,90	0,00	3,9
1	1	4	3	0,20	1290,40	4	2	0,39	0,35	0,04	5,00	0,00	3,60	0,60	0,00	2,6
1	1	5	3	0,10	947,60	2	2	0,27	0,37	-0,10	5,00	0,00	1,80	0,30	0,00	1,3
TOTAL PROCESO 1			15	-	8893,37	34	-	-	-	0,23	-	0,91	10,80	3,15	0,18	22,3
2	1	1	3	0,70	3034,48	14	3	0,00	0,00	0,00	5,00	0,98	0,00	0,00	0,00	9,2
2	1	2	3	0,50	2813,44	10	2	0,59	0,49	0,10	4,00	0,00	0,00	1,50	0,00	6,6
2	1	3	3	0,30	1303,44	6	3	0,44	0,39	0,05	5,00	0,00	5,40	0,90	0,00	3,9
2	1	4	3	0,20	1261,37	4	2	0,47	0,43	0,04	5,00	0,00	3,60	0,60	0,00	2,6
2	1	5	3	0,10	946,55	2	2	0,30	0,36	-0,06	5,00	0,00	1,80	0,30	0,00	1,3
TOTAL PROCESO 2			15	-	9359,28	36	-	-	-	0,13	-	0,98	10,80	3,30	0,00	23,7

Tabla 15 Valores unitarios en dos procesos observados en el Entable.

Proceso	Tiempo (h)	Mineral Procesado (ton)	Agua (l/ton)	Mercurio (Kg/ton)	Cal (Kg/ton)	Limón (l/ton)	Melaza (Kg/ton)	Axion (Kg/ton)	Energía (Kw-h/ton)
1	15	0,65	13682	0,353	1,4	16,6	4,85	0,28	33,9
2	15	0,70	13370	0,200	1,4	15,4	4,71	0,00	36,0
Promedio	15	0,68	13526	0,276	1	16,02	4,78	0,14	34,9

6.1.1 Consumo de energía

De acuerdo a la Tabla 14, la energía consumida en el primer seguimiento fue de 22,3 Kw-hora para moler 0.65 ton de mineral, y en el segundo seguimiento fue de 23,7 Kw-h para moler 0,7 ton de mineral, por tanto el consumo específico de energía es en promedio de 34,9 Kw-h/ton. Teniendo en cuenta que el Kw-h cuesta

en promedio \$ 352.3, una tonelada en el proceso de amalgamación cuesta \$12.295 en energía, valor que lo paga el dueño del entable cuyo costo está implícito en el alquiler de los equipos.

6.1.2 Mano de obra

En algunas ocasiones es el mismo minero es quien procesa su propio material. Otras veces el minero les paga a dos o tres trabajadores para el procesamiento. Generalmente el acuerdo está en \$10.000 por bulto procesado. (Bultos de 50 Kg de mineral)

6.1.3 Consumo de mercurio

Tabla 16 Relación de amalgama con consumo de mercurio.

Molida	Peso Botón Amalgama (g)	Hg Consumido (g)
1	0	0
2	43,90	100
3	30,05	50
4	11,41	40
5	6,12	-60
Total	91.48	130

Tabla 16, relaciona el mercurio consumido durante el segundo seguimiento y el botón amalgamado. Un botón generalmente está compuesto por un 50% de mercurio y un 50% de oro y plata. Si observamos la tabla anterior de los 130 gramos de mercurio consumidos en el proceso al cual se le realizó el seguimiento, se utilizan realmente 45.74 g de Hg para formar la amalgama, lo que equivale al 35.2% del mercurio perdido. El resto, 84.26 g de Hg quedó en los lodos y en el agua de lavado del segundo seguimiento. Según las dos observaciones realizadas una tonelada de mineral consume en promedio aproximadamente, 0,276 Kg de Hg. El cual se pierde en la quema de amalgama, el agua y en los lodos. El

mercurio que se recupera es el exceso que se emplea en la amalgamación, pero realmente no existe un procedimiento para recuperar mercurio en la quema de la amalgama ó en los lodos producidos por la amalgamación.

6.1.4 Consumo de agua

En la siguiente Tabla 17 extraída de los valores de la Tabla 14, muestra el consumo de agua de los dos procesos de amalgamación a los cuales se les hizo seguimiento.

Tabla 17 Consumos de agua proceso de amalgamación.

Molida	Proceso 1 (l)	Proceso 2 (l)	Promedio (l)
1	2817,73	3034,48	2926,11
2	2532,09	2813,44	2672,77
3	1305,55	1303,44	1304,50
4	1290,40	1261,37	1275,89
5	947,60	946,55	947,08
TOTAL GENERAL	8893,37	9359,28	9126,33
Toneladas Procesadas	0,65	0,7	0,68
Litros de Agua / ton Procesadas	13682,108	13370,4	13526,25

Como puede observarse en la Tabla 17, en el proceso de amalgamación se están consumiendo en promedio 13,52 m³ de agua por tonelada de mineral procesado. Esto incluye tanto el agua que se adiciona a los cocos para moler el mineral, como el agua que es utilizada en el lavado de las arenas.

6.1.5 Mercurio en Residuos líquidos

En los seguimientos realizados se tomaron muestras al final de cada molida, para determinar contenidos de mercurio en líquidos y sólidos. El tratamiento de las muestras se realizó, respetando el protocolo para análisis de mercurio. Las cuales son.

- Almacenar muestras en un recipiente oscuro de al menos 250 ml
- Las muestras deben tener un pH<2. Preservar con ácido nítrico (HNO₃)
- Las muestras debe mantenerse a una temperatura de 4 °C
- Las muestras se deben entregar al laboratorio antes de 24 horas después de tomadas.

Los análisis de laboratorio se realizaron en el laboratorio de calidad ambiental de CORANTIOQUIA.

Tabla 18 Reporte de muestras tomadas en el proceso de amalgamación

Descripción Muestra	Código de la Muestra	Unidades	Valor Reportado de Mercurio
Líquido en el primer Lavado	1597WER1	mg Hg/L	0.653
Líquido en el segundo Lavado	1597WER2	mg Hg/L	0.151
Líquido en el tercer Lavado	1597WER3	mg Hg/L	0.156
Líquido en el cuarto Lavado	1597WER4	mg Hg/L	0.742
Lodos finales amalgamados	12LEI1	µg/g	398

De acuerdo a los consumos promedio de agua de la Tabla 17, el mercurio que se pierde en la operación de lavado en el segundo seguimiento se presenta en la siguiente Tabla 19 tomando los resultados de los análisis a las muestras tomadas los cuales fueron reportados según la Tabla 18 y a su vez multiplicando dichos valores por cada uno de los consumos de agua en cada uno de los lavados.

Tabla 19 Mercurio en líquidos

Descripción	Agua (l) Seguimiento 2	Mercurio Reportado (mg/l)	Mercurio en Líquidos (mg)	Mercurio en Líquidos (g)
Primer lavado	2813,44	0,653	1837	1,84
Segundo Lavado	1303,44	0,151	197	0,20
Tercer Lavado	1261,37	0,156	197	0,20
Cuarto Lavado	946,55	0,742	702	0,70
TOTAL PARA UN PROCESO DE 0.7 ton			2.933	3

6.1.6 Mercurio en residuos sólidos

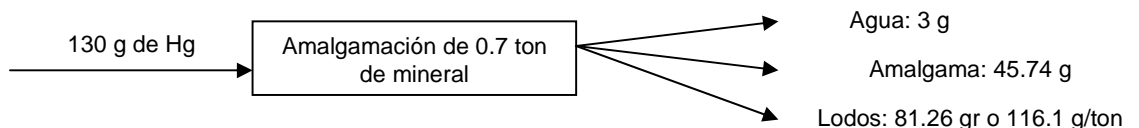
La muestra para determinar el contenido de mercurio total en lodos fue tomada cuando se realizó el último lavado del proceso de amalgamación.

De la Tabla 1818, el valor reportado en lodos es de 398 g/ton, por tanto en 0.7 toneladas de mineral procesado deberían contener 279 gr de mercurio, un valor no muy cercano a la cantidad de mercurio que realmente se perdió 62.5 gr en 0.7 toneladas. Para estimar un balance de mercurio se toma este último valor que es el realmente consumido.

6.1.7 Balance de Mercurio en el segundo seguimiento.

Con los datos recopilados se puede estimar como se distribuye el mercurio consumido para procesar 0.7 ton.

Figura 8. Balance de mercurio entable.



Para instalar un sistema de recuperación de mercurio en lodos, se puede esperar un contenido de mercurio en lodos entre 116 gr de Hg/ton (medido en el seguimiento y 398 gr de Hg/ton (estimado con el reporte de ensayo). El tenor es muy variable porque depende mucho de los usuarios mineros y la antigüedad de los lodos. Para efectos de cálculo asumiremos un tenor de 200 gr de Hg/ton para estimar los ingresos de un sistema de recuperación. Implementando un sistema de concentración gravimétrica, es posible recuperar al menos un 30%, lo que equivale a 60 gr/ton. Si diario se amalgama un

promedio de 1.8 ton, la recuperación de mercurio puede ser de 108 gr de Hg/día. Con un valor comercial de \$ 30.240/día, ó \$604.800/mes (mes de 20 días).

6.2 CIANURACIÓN.

Fotografía 2. Agitadores para cianuración entable Vereda El Vapor



Fuente: Convenio GSA 75

Lodos desechados en la etapa de amalgamación, se almacenan y luego se cianuran en tanques de agitación. Los tanques de agitación tienen una capacidad promedio para procesar 3 toneladas de mineral cada una. El entable cuenta actualmente con tres tinas de agitación para realizar el proceso de cianuración, y una tina para precipitar el concentrado que sale de cianuración. Las características de dichas tinas se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20 Características equipos de cianuración entable Vereda el Vapor

Equipo	Dimensiones (DxL)	Capacidad (ton)	Potencia Placa Motor
Tina de Agitación 1	2,65mX3,00m	3	8 HP
Tina de Agitación 2	2,65mX3,00m	3	8 HP
Tina de Agitación 3	2,65mX3,00m	3	8 HP
TOTAL PROCESO	-	9	-
Tina de Precipitación	2,65mX3,00m	13	8 HP

Actualmente, no están cianurando, debido a que en los últimos meses este proceso no ha sido rentable para el propietario del entable. Interactuando con el administrador del entable, se logró conocer con mayor profundidad las características técnicas del proceso ver Tabla 21 21.

Tabla 21 Datos proceso de cianuración entable Vereda el Vapor

Toneladas mineral/proceso	9
Tiempo Lavado (horas)	192
Tiempo Cianuración (horas)	72
Relación liquido:solido	2:1
Kg NaCN / proceso	9
Kg Zn en polvo / proceso	3
Concentración NaCN	3,2
PH	10,5
Trabajadores (Cantidad)	2
Nº Lavados	15

En la Tabla 22 se pueden observar los resultados obtenidos de las muestras tomadas en las tinas de cianuración para determinar contenido de mercurio en las mismas. Se puede observar la presencia de Mercurio remanente en los lodos que son llevados a cianuración con un valor de 66,9 µg/g a diferencia de la menor cantidad encontrada en el agua, debido a sus características físicas que por su densidad tiende a acumularse en los lodos.

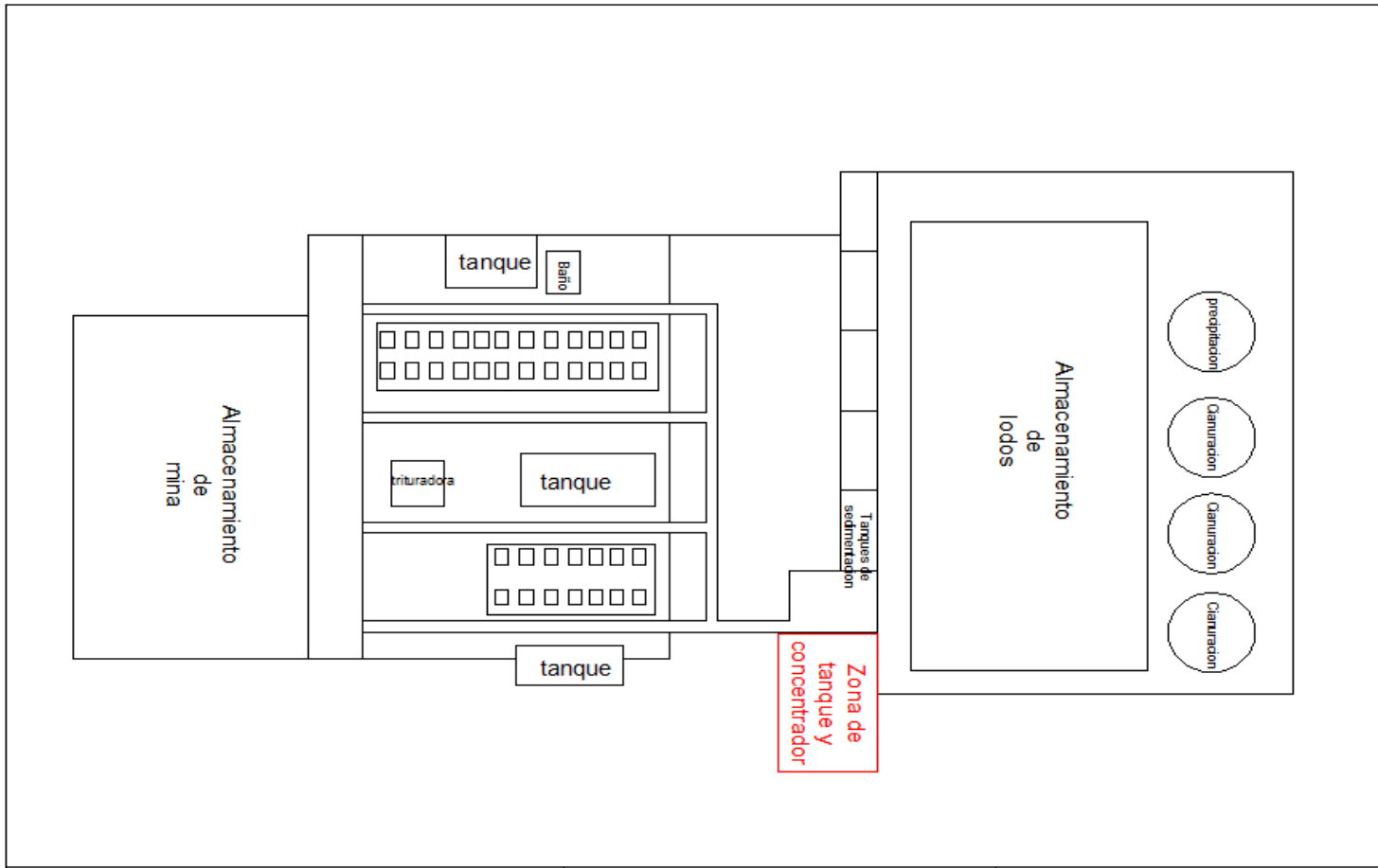
Tabla 22 Reporte de muestras para análisis tomadas en el proceso de cianuración

Descripción Muestra	Código de la Muestra	Unidades	Valor Reportado Mercurio
Solución Rica	N/A	mg/l	--
Solución Pobre	1597WER5	mg Hg/l	0,222
Lodos cianurados	12LEI2	µg/g	66,9

Como en el momento de la visita no se encontraba en funcionamiento la etapa de cianuración no se logró obtener muestra de solución rica en cianuro o recién preparada.

En la Figura 9. Se puede observar detalladamente la vista en planta del entable Vereda El Vapor, donde se puede apreciar la ubicación de los equipos y unidades de proceso.

Figura 9. Vista en planta entable Vereda El Vapor



Fuente: Centro Provincial de Gestión Minero Agro - Empresarial

7. PRESENTACIÓN DE LA TECNOLOGIA DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA MODELO DE PLANTA DE BENEFICIO PARA 10 TON/DIA, SIN USO DEL MERCURIO

De acuerdo al diagnóstico realizado, la cantidad de mineral procesado por el entable es bajo, solo 0,70 ton/día. Por ello se afirma que una planta de beneficio para 10 ton/día, puede satisfacer la necesidad del entable. Al pretender instalar un proceso de 10 ton/día es porque se deberá también cambiar el método de minado, es decir se debe permitir una mayor dilución del mineral con roca de caja para mejorar la productividad de los procesos de arranque y transporte.

Las veta en el Vapor, tienen un espesor promedio de 40 cm, y según los mineros el tenor normalmente está en 8 reales por bulto (bulto de 80 kilos), esto es equivalente a 18 gr Au /ton, (tenor de veta sin dilución). Esperando que los trabajos mineros se realicen de una manera técnica, el área de sección mínima debería ser de 3.2 m², por lo cual se puede llegar a diluir el oro en todo el frente de voladura para quedar con un mineral con tenor promedio de 5.6 gr/ton. Este mineral diluido es el que puede alimentar una planta de beneficio de 10 ton/día, y lograr obtener una tonelada de mineral altamente concentrado (más de 50 gr de Au / ton).

Los procesos de beneficio propuestos se basan en que el mineral se extrae diluido de la mina para facilitar las labores de arranque y transporte. Los procesos propuestos son los normalmente aplicados por una planta de beneficio de gran escala, pero que se puede realizar con quipos de pequeña escala.

El valor de la planta de beneficio que a continuación se describe, puede tener un alto costo, pero los entables mineros pueden poco a poco montar los procesos propuestos. Iniciando por mejorar el proceso de cianuración.

7.1 TRITURACIÓN

La planta debería tener una tolva con capacidad de almacenar al menos 20 toneladas de mineral, suficiente para dar un día de avance a las operaciones mineras.

Fotografía 3. Ejemplo de una tolva



Fuente: Convenio GSA 75

El mineral debe llegar con una granulometría no mayor a 4 pulgadas y dar un producto final para molienda de ¼ pulgada. Para lograr esto es necesario disponer de los siguientes equipos. Ver Tabla 23.

Tabla 23 Equipos requeridos para la trituration

Nombre del equipo	Cantidad
zaranda	1
Trituradora de quijadas	1
Molino de martillos	1

Fuente: Convenio GSA 75

Fotografía 4. Ejemplo de trituración con zaranda, trituradora y molino de martillos



Fuente: Convenio GSA 75

7.2 MOLIENDA PRIMARIA

El proceso de molienda se puede realizar con un molino de bolas de 30"x60", el cual tiene la capacidad de moler 20 ton/día, cuando la granulometría es muy fina.

Fotografía 5. Ejemplo de Molino de bolas



Fuente: Convenio GSA 75

El alimento debería ser controlado por medio de una banda transportadora y desde una compuerta para una tolva de finos, donde se puede graduar la cantidad de mineral que entra al molino.

Fotografía 6. Ejemplo de un molino alimentado con banda transportadora



Fuente: Convenio GSA 75.

El objetivo de la etapa de molienda, es disminuir el tamaño de partícula de $\frac{1}{4}$ de pulgada a $300\ \mu\text{m}$ (malla 48), donde se debe estar presentando la mayor parte de liberación de sulfuros.

Para controlar el tamaño de partícula que sale del proceso de molienda, se recomienda instalar un clasificador Atkins, para recircular las partículas que no cumplen con el tamaño deseado.

Fotografía 7. Ejemplo de clasificador de tornillo o Atkins



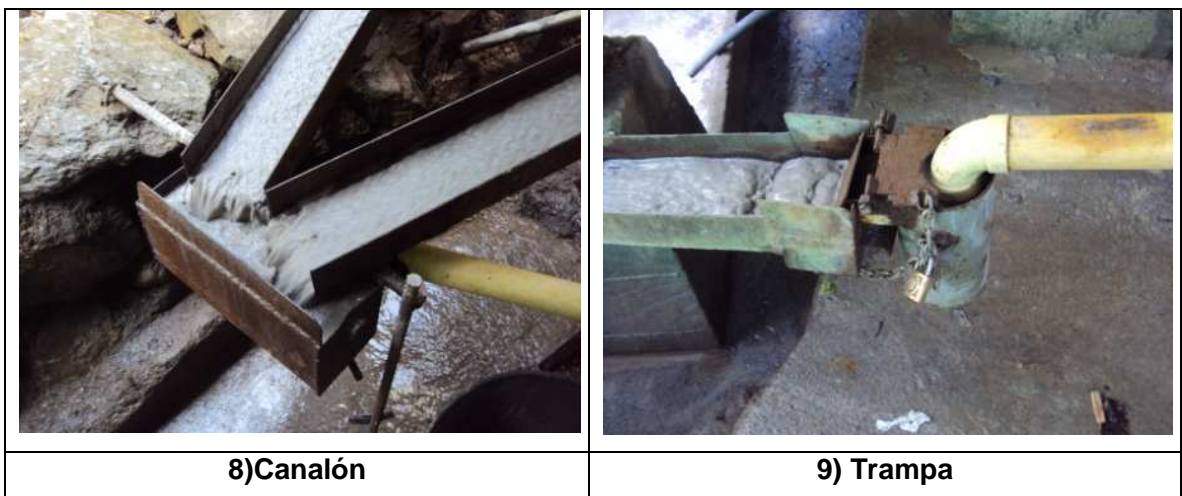
Fuente: Convenio GSA 75

7.3 CONCENTRACIÓN PRIMARIA

La concentración primaria se realiza para separar mineral estéril de mineral útil, en un rango de partícula relativamente grueso ($150\mu\text{m}$ a $300\mu\text{m}$), en este rango algunos equipos de concentración gravimétrica son muy eficientes: mesas vibratorias, Jig , Canalones, Espirales, concentradores centrífugos.

A la salida del clasificador Atkins, se puede instalar algunas trampas para recuperar oro libre, estas pueden ser simplemente un canalón un pequeño sumidero para atrapar oro libre. Estas trampas se pueden hacer antes de alimentar otros equipos de concentración gravimétrica.

Fotografías 8 y 9. Ejemplo de canalón y trampa



Fuente: Convenio GSA 75

Para un buen proceso de concentración es necesario combinar el uso de varios equipos, de esta forma el oro libre tiene mayor probabilidad de quedar atrapado en alguno de ellos.

Se recomienda el uso jig, mesas vibratorias y concentradores centrífugos en esta etapa.

Fotografía 10. Ejemplo de mesas vibratorias.



Fuente: Convenio GSA 75

El concentrado obtenido en esta etapa debe tener un buen contenido de oro libre, el cual tradicionalmente se ha extraído por amalgamación, pero con el uso de otra mesa y con batea, también se puede recuperar. El mineral rechazado en la etapa concentración deberá evaluarse económicamente para revisar si justifica una molienda secundaria en circuito cerrado y flotación.

7.4 MOLIENDA SECUNDARIA

La molienda secundaria se puede realizar con otro molino similar al molino primario es decir 30"x60", es necesaria una bomba de pulpas y un hidrociclón para cerrar el circuito. El objetivo es reducir el mineral con un d80 igual 75 μ m para que pueda llegar a la etapa de concentración secundaria (Flotación).

7.5 CONCENTRACIÓN SECUNDARIA

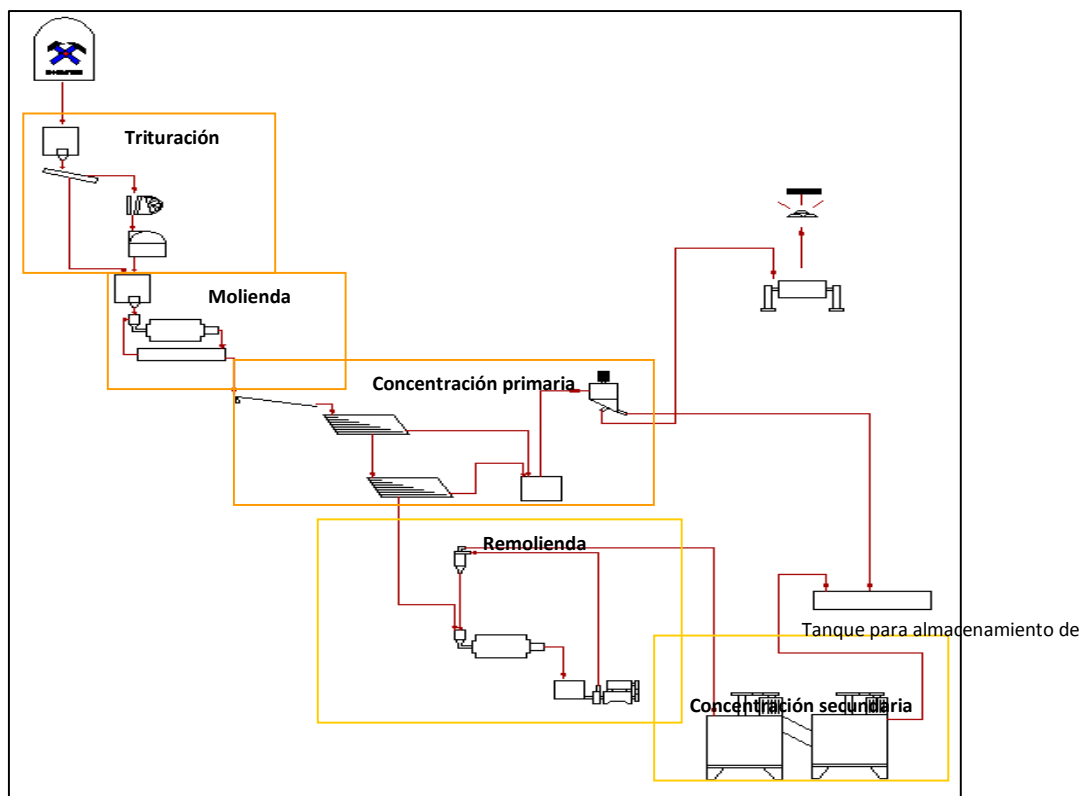
El mineral molido a malla 200 puede ser flotado en dos celdas circulares de 1 ton/hora cada una.

Fotografía 11. Ejemplo de celda de flotación



Fuente: Convenio GSA 75

Figura 10. Diagrama de flujo procesos de trituración, molienda y concentración



Fuente: Convenio GSA 75

7.6 REMOLIENDA

Todo el concentrado debe molerse a un tamaño de partícula con un d_{80} igual $45\mu\text{m}$ (malla 325), para ello se necesita un molino de bolas de 3 pies x 3 pies, este molino puede funcionar en circuito cerrado con otra bomba y otro hidrociclón.

Se espera que el mineral a remoler esté con un tenor mayor a 50 gr de Au/ton, con lo cual se puede hacer una remolienda con solución de cianuro, para iniciar la lixiviación desde la remolienda.

Si el mineral que se extrae de la mina tiene altos tenores (como ocurre actualmente), es posible saltarse los procesos anteriores y solo triturar el mineral para que entre en el circuito cerrado de remolienda con cianuración. Aplicando previamente un procedimiento para extraer el oro libre, con el mismo molino y un canalón.

El sobre flujo del hidrociclón debe depositarse en unos tanques de sedimentación, para procurar separar el sólido del líquido. Para acelerar la sedimentación se necesita la ayuda de un floculante y un coagulante y un tanque con filtro para aclarar la solución rica, la cual puede pasar directamente al proceso de precipitación.

Los lodos almacenados en los tanques pasan a una segunda lixiviación en los agitadores.

7.7 CIANURACIÓN, PRECIPITACIÓN Y FUNDICIÓN

El proceso de cianuración se puede hacer como actualmente se está realizando en la vereda el vapor. Con dos agitadores de 3 toneladas cada uno y un proceso

semanal, se logra cianurar todo el concentrado recuperado de las etapas anteriores.

Para la cianuración es necesario tener en cuenta las recomendaciones en las cuales se emplea hipoclorito de sodio para pasivar el grafito.

La precipitación se puede realizar con un agitador, pero es preferible instalar un sistema de precipitación al vacío (sistema Merrill-Crowe).

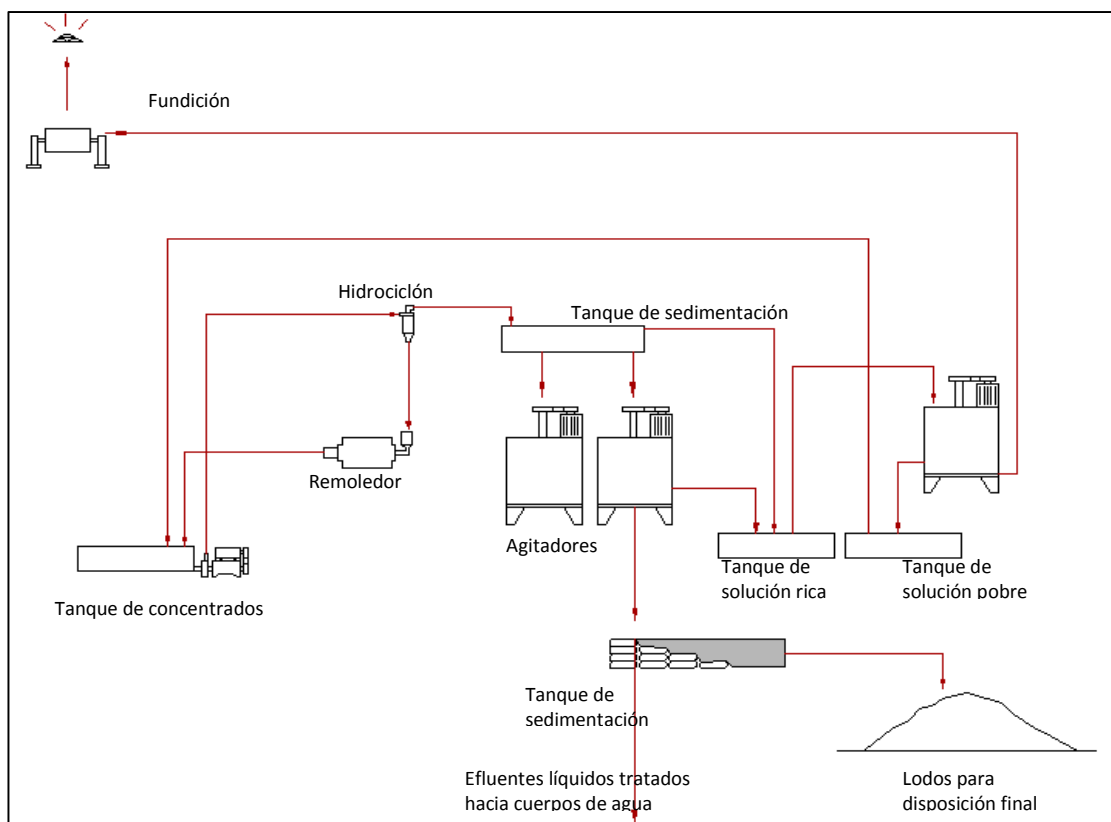
La fundición es conveniente mejorarla con un horno basculante el cual es más seguro de operar.

Fotografía 12. Ejemplo de un pequeño horno basculante a gas propano



Fuente: Convenio GSA 75

Figura 11. Proceso de remolienda y cianuración.



Fuente: Convenio GSA 75

8. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES DE OPERACIÓN POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA SELECCIONADA.

8.1 RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO

En el entable se pasó de tener sólo “cocos” amalgamadores a tener una planta que tiene capacidad de procesar el equivalente a 100 toneladas mensuales de mineral que tiene un tenor promedio de 2.3 g/ton, que es almacenado en una tolva para luego ingresarlo al circuito desde la trituración primaria hasta la obtención de un concentrado en mesa Wilfley (Fotografía 13), el que posteriormente es lavado en batea para la obtención del oro libre; las colas de este proceso pasan posteriormente a cianuración en el que cuentan con tres tinas con capacidad de tres toneladas cada una, el tiempo empleado en cada una de ellas es de 8 días.

Fotografía 13. Montaje de la nueva planta de procesamiento de minerales en la vereda El Vapor, tolva de almacenamiento de mineral, trituradora, molino de bolas y mesa Wilfley en el entable.



Fuente: Convenio GSA

Se agregaron nuevos equipos como molinos continuos: primarios y remoladores, lo mismo que mesas Wilfley, reduciendo al maximo el uso del mercurio, y en algunos casos en donde se utiliza, es menor porque lo que se lleva a amalgamar es el concentrado en una menor cantidad de mineral, de 10 costales que se traen de la mina, de aproximadamente 75 kg cada uno, se obtiene un concentrado de 50 kg.

En el entable aún se utiliza mercurio en sus procesos de beneficio del mineral, sin embargo el consumo de esta sustancia disminuyo, tal y como se puede observar en la Tabla 24 en la cual mensualmente se amalgaman 9 ton de mineral, que consumen 2.1 Kg de mercurio por mes, para tener un consumo específico promedio de 230.2 g de mercurio por tonelada de mineral.

Tabla 24 Información sobre mineral procesado y consumo de mercurio.

Horas /día	Número de procesos por mes	Mineral amalgamado [ton/mes]	Mineral proceso [ton/día]	Minera/coco [Kg]	Número de molidas por proceso	Número de horas por molidas [h]	Número de procesos por mes	Mercurio por proceso [Kg]	Mercurio por coco [Kg]	Mercurio recuperado por proceso [kg]	Mercurio consumido por mes [Kg]	Consumo específico mercurio por mes [g/ton]
10	5	9.0	1.8	55.0	3	3	5	1.81	0.057	1.40	2.1	230.2

Con la introducción del cambio en sus procesos en la cual se han instalado molinos primarios y remoladores, al igual que mesas Wilfley para concentrar el mineral y tener continuidad en los procesos que redunden en una mayor producción, con este tipo de molinos se pueden procesar el equivalente a 10 costales de 75 a 95 kg cada uno, esto es, aproximadamente cinco veces de lo que se logra por el método tradicional.

En la actualidad, el entable tiene implementado el proceso de cianuración del mineral, se cianuran 36 toneladas mensuales de mineral, en promedio la duración de los procesos es de 192 h cada uno, con una producción de 100 g de Oro por mes, tal y como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25 Mineral Cianurado mensualmente

Número de procesos por mes	Número de horas por proceso [h]	Lodos cianurado [ton/mes]	Precipitados [Kg/mes]	Mercurio recuperado en precipitados [g/mes]	Producción de oro cianurado [g/mes]
4	192	36.0	48.0	0.0	100.0

La Tabla 26 se resume los consumos de insumos y reactivos necesarios para los procesos que se realizan en el entable intervenido.

Tabla 26 Consumo de reactivos e insumos usados en el procesamiento del mineral

Bolas [Kg/mes]	Cocos [und/mes]	Bandas [m/mes]	Bicarbonato [Kg/mes]	Mercurio [Kg/mes]	Melaza [Kg/mes]	Limones [Kg/mes]	Cal [Kg/mes]	Cianuro [Kg/mes]	Cinc en polvo [Kg/mes]	Kw-hora/mes
200.0	0.2	9.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	90.0	30.0	9545

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 27 Comparación consumo de agua en diferentes procesos en el entable

Consumo de Agua	
Equipo	caudal [m ³ *h ⁻¹]
Mesa Concentradora	0.095
Molino primario	1.95
Remolador	2.13
Lavado (deslode)	3.2
Total Consumo	7,37

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 28 Comparación consumo de energía en diferentes procesos en el entable

Consumo de Energía	
Equipo	Consumo [Kw-h]
Trituradora	4.4
Molino primario	12.1
Remolador	5.3
Cocos	N/A
Mesa concentradora	1.40
Total Energía Kw-h	23,2

En las tablas 27 y 28 se dan a conocer los consumos de agua y energía con los nuevos equipos instalados, cuyos valores fueron de 7,37 m³/ h y 23,2 Kw-h. Si bien el consumo de agua en el proceso sigue siendo alto debido a que este consumo se repite 3 veces durante el día por lo cual se consumen 22,11 m³ por 1,8 toneladas procesadas, es importante resaltar que en la actualidad el agua se está recirculando, situación que no ocurría antes puesto que el agua utilizada en el deslode se perdía en el vertimiento. Los consumos de energía no disminuyen significativamente debido a la incorporación de nuevos equipos instalados que requieren energía para su funcionamiento.

8.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE INDICADORES ANTES Y DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN.

En la Tabla 29 se presenta un análisis comparativo con relación a los consumos de mercurio antes de la intervención y después de instalados los equipos de producción más limpia.

Tabla 29 Comparación del consumo de mercurio en el entable Puerto Berrio antes y después de la intervención.

Antes							Después						
Mineral amalgamado [ton/mes]	Mineral proceso [ton/día]	Número de procesos por mes	Mercurio por proceso [Kg]	Mercurio recuperado por proceso [Kg]	Mercurio consumido por mes [Kg]	Consumo específico mercurio por mes [gt ⁻¹]	Mineral amalgamado [ton/mes]	Mineral proceso [ton/día]	Número de procesos por mes	Mercurio por proceso [Kg]	Mercurio recuperado por proceso [Kg]	Mercurio consumido por mes [Kg]	Consumo específico de mercurio por mes [gt ⁻¹]
18.00	0.75	24	0.85	0.51	8.2	450	9.0	1.8	5	1.81	1.4	2.1	230.2

De la anterior comparación se observó que el consumo de mercurio se redujo al pasar de 8,2 Kg consumido por mes para 18 ton de mineral procesado, a consumir 2,1 Kg en 9 toneladas de mineral; con una reducción del 74,4% de mercurio; en cuanto al consumo específico se pasó de 450 g/ton de mineral procesado antes de la intervención a 230,2 g/ton después de la adecuación de los nuevos equipos.

Si bien es notoria la reducción en el uso de mercurio en el proceso, se espera que a futuro poco a poco se concientice a los mineros para que cambien su cultura en la eliminación por completo del uso de mercurio, ya que con los equipos de concentración gravimétrica instalados es posible recuperar mejor y con mayor eficiencia el mineral.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se produjeron cambios importantes en la unidad de procesamiento del mineral que presta servicio en la zona, pues han tomado consciencia de hacer un uso racional del mercurio con miras a su reducción y/o eliminación.
- se redujo notablemente el uso de mercurio al pasar de 8,2 Kg consumido por mes para 18 ton de mineral procesado, a consumir 2,1 Kg en 9 toneladas de mineral; con una reducción del 74,4% de mercurio; en cuanto al consumo específico se pasó de 450 g/ton de mineral procesado antes de la intervención a 230,2 g/ton después de la adecuación de los nuevos equipos.
- Se observa aparentemente que el consumo de agua en el proceso sigue siendo alto con un valor de 22,11 m³ por 1,8 toneladas procesadas, sin embargo es importante resaltar que en la actualidad el agua se está recirculando y por ende reutilizando, situación que no ocurría antes puesto que el agua utilizada en el deslode se perdía en el vertimiento.
- Los consumos de energía no disminuyen significativamente debido a la incorporación de nuevos equipos instalados que requieren energía para su funcionamiento.
- Se recomienda realizar estudios económicos donde se tengan en cuenta balances en cuanto a costos de producción por consumo de energía, agua e incorporación de los nuevos equipos, con miras a establecer la rentabilidad de la nueva tecnología incorporada.

- Con relación al medio ambiente, si bien se continúan con los vertimientos, se debe mejorar este aspecto, haciendo más eficiente el proceso de sedimentación incorporando el uso de floculantes que garanticen que el agua que se vierte en los cuerpos de agua contenga la mínima cantidad de sólido, causando el menor impacto ambiental posible.

BIBLIOGRAFIA

CINEP. Programa por la Paz. Informe especial. Minería, conflictos sociales y violación de derechos humanos en Colombia.(2012). En: www.cinep.org.co/index.php?option=com_docman&task.

Erwin Wolff Carreño. Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga. Incorporación de tecnologías limpias para beneficiar minerales auríferos en la pequeña minería de vetas y californita (Santander) buscando reducir vertimientos de mercurio y cianuro.

Garmendia Salvador, A; Salvador Alcaide, A; Crespo Sánchez, C. Evaluación de impacto ambiental. Prentice Hall. 2005. Capítulo 3 y capítulo 7.

Instituto Geológico y Minero de España. Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológicos – mineros. 2010. Páginas: 40 y 51.

J. E. B. Galvis, «Tesis de grado: Caracterización en la extracción metalúrgica de oro y plata del distrito minero Segovia - Remedios,» Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Materiales, Medellín, 2005.

Ministerio de Minas y energía. Colombia Minera. Boletín informativo No. 23. (2011). En: http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Minas_%20Anllela/Boletines/boletin%2023/Boletin_23_espanol_v10.pdf

Ministerio de minas y energía. Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de una iniciativa de producción más limpia dirigido al sector de los metales preciosos en pequeña escala en Colombia para ser implementado a

través de los centros ambientales mineros – cams – u otros instrumentos técnicos. (2005). En: <http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria/1865.pdf>

Ministerio de minas y energía. Centro provincial de gestión minero agroempresarial del alto Nordeste antioqueño. Convenio GSA No. 75. Introducción de tecnologías más limpias que permitan la eliminación o reducción del consumo de mercurio en procesos de beneficio de oro.

Restrepo Oscar Jaime; Montoya Carlos Arturo y Muñoz Nury Alexandra. (2006). Degradación microbiana de cianuro procedente de plantas de beneficio de oro mediante una cepa nativa de *P. fluorescens*. Dyna. Vol 73; núm 149, pp 46-51.