

**BÓRAX EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO COMO UN
SUSTITUTO DEL MERCURIO EN DOS ENTABLES DE LA COOPERATIVA
MINERA DE SUAREZ CAUCA**



**WILDER FERNANDO JUANILLO BRAVO
CRISTIAN ANDRES GARCES**

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
GRUPO DE INVESTIGACION DE TECNOLOGIA Y AMBIENTE
POPAYAN CAUCA 2017**

**BÓRAX EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO COMO UN
SUSTITUTO DEL MERCURIO EN DOS ENTABLES DE LA COOPERATIVA
MINERA DE SUAREZ CAUCA**



**WILDER FERNANDO JUANILLO BRAVO
CRISTIAN ANDRES GARCES**

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director

Ingeniero Ambiental

FRANCISCO JOSE IDROBO IDROBO

**CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
GRUPO DE INVESTIGACION DE TECNOLOGIA Y AMBIENTE
POPAYAN CAUCA 2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados del trabajo de grado:
BÓRAX EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO COMO UN SUSTITUTO DEL MERCURIO EN DOS ENTABLES DE LA COOPERATIVA MINERA DE SUAREZ CAUCA. Realizado por: Wilder Fernando Juanillo Bravo y Cristian Andrés Garcés, una vez realizado el informe final y aprobada la sustentación del mismo, autorizan la realización de los trámites requeridos para optar al título: profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

Firma del Director

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA
WILDER FERNANDO JUANILLO BRAVO

Dedico este gran logro a Dios todo poderoso, quien me ayudo y me protegió de todo mal y peligro para seguir adelante en cada dificultad que se me presento en el transcurso de mi carrera.

A mis padres Miguel Juanillo y Liliana Bravo quienes fueron y seguirán siendo el motor de mi vida, a mis hermanos y de más familiares que de una u otra manera contribuyeron a alcanzar este triunfo en mi vida.

De manera especial dedico este triunfo a la señora Yolanda Mosquera por su apoyo incondicional en mi carrera.

A mis abuelos Ernesto Bravo y Teófilo Juanillo quienes ya no están con migo pero siempre me acompañaran en mi vida.

Al compañero Cristian Andrés Garcés por compartirme su gran conocimiento en las etapas del trabajo.

A todas aquellas personas que me dieron la mano cuando la necesite, compañeros de estudio y profesores, en especial al profe Arnol Arias y Adriana Sánchez por confiar en mis capacidades y aporta su visión crítica en el desarrollo de mi trabajo final.

DEDICATORIA CRISTIAN ANDRES GARCES

A Dios

En primera instancia le dedico a este trabajo a él, por haberme permitido llegar hasta este punto y darme salud para lograr unos de mis tantos objetivos propuestos a largo plazo.

A Mi Hijo

Miuller Andrés por ser una parte de mí, he impulsarme a cruzar cada obstáculo y adversidades que se me presenta.

A Mi Madre.

Por darme la vida, estar presente en los momentos difíciles, por darme ese voto de confianza y creer en mí sin importar el pensar de los demás, y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, infinitamente todo esto te lo debo a ti.

A Mis Hermanas

Karina Castillo Garcés y Solanyi Castillo Garcés por estar presente en cada paso que doy, en especial a mi hermana Karina quien ha sido mi motor he impulsarme a tan hermosa carrera convirtiéndose en un excelente apoyo incondicional.

A Mi Primo

Jhon EDward Arizala Garcés por ser la espléndida persona que es, y quien me ha acompañado en mis días de angustias; ante manos le dedico este trabajo a al resto de familiares quienes de un modo u otro se han preocupado por mí.

A Mi Compañero

Por estar ahí en todo el proceso de estudio y además de ser unos de los amigo en el largo camino y el que queda por recorrer. Gracias Wilder Fernando Juanillo Bravo

AGRADECIMIENTOS
WILDER FERNANDO JUANILLO BRAVO

Agradezco a Dios todo poderoso por mantenerme firme en cada paso que doy en mi vida, y por poder culminar y alcanzar este triunfo en presencia de mis padres y demás familiares.

A mis padres Liliana Bravo y Miguel Juanillo les agradezco con toda mi alma su apoyo, su sacrificio, por acompañarme en los malos y buenos momentos, y ser siempre mi ejemplo a seguir.

A mi novia Marni Fernández por su apoyo y tolerancia durante la elaboración del proyecto.

Estoy muy agradecido con mis hermanos Ruben, Brayan, Hector, Maribel, quienes me ayudaron a lograr este triunfo con su inmenso amor.

Agradezco de ante mano a la Cooperativa de mineros del municipio de Suarez Cauca en especial a su presidente Gabriel Guaza quien nos brindó su apoyo para realizar este tipo de trabajo, muchas gracias.

A mis tíos Yolanda Bravo, y Ismael Juanillo que con su granito de arena fueron fundamentales para poder lograr tan hermoso sueño.

Al señor Fabio Muños el cual fue enviado por dios para estar ahí cuando más lo necesite.

A los profesores Adriana Lorena Sánchez, Arnol Arias, Paola Gómez, Francisco Hidrobo. Muchas gracias y Dios los bendiga.

AGRADECIMIENTOS CRISTIAN ANDRES GARCES

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional más, sin contar los vínculos establecidos en dichosa carrera.

Infinidad de agradecimiento a mi madre Venus del Pilar Garcés Castillo, faltan hojas para expresar lo dichoso que estoy de pertenecer a tu núcleo familiar y ser tu hijo. Ante manos agradecer a mi apreciada hermana por ser mi confidente y mi moral en días bajos. Gracias mujeres por todo, por brindarme esa confianza la cual me tiene donde estoy.

A mi padre por el respetado intento y agradecido apoyo en el trascurso de esta carrera.

A mi amigo y compañero de tesis Wilder Fernando Juanillo Bravo quien admiro profúndame por su esfuerzo y dedicación puesto en nuestro trabajo y por compartir momentos significativos.

Totalmente agradecido con los profesores Arnol Arias, Adriana Sánchez, Paola Gomes y Francisco Idrobo por aportar su punto crítico en dicho trabajo. Muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN	17
1. PROBLEMA	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2 JUSTIFICACIÓN	20
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo General.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	23
2 MARCO TEORICO O REFERENTES CONCEPTUALES	24
2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	24
2.1.1 Economía.....	25
2.1.2 Fauna.....	26
2.2 ANTECEDENTES	26
2.3 BASES TEÓRICAS	28
2.3.1 Minería.....	28
2.3.2 Minería de oro artesanal y en pequeña escala.....	29
2.3.3 Historia de la minería de oro en Colombia.....	29
2.3.4 Historia minera del municipio de Suarez Cauca.....	32
2.3.5 Tipos de minería.....	34
2.3.5.1 Minería tradicional.....	34
2.3.5.2 Minería formal.....	34
2.3.5.3 Minería legal.....	35
2.3.5.4 Minería no autorizada.....	35
2.3.6 ¿Qué es el mercurio?.....	35
2.3.7 ¿Cuáles son las principales fuentes de liberación de mercurio?.....	37
2.3.8 ¿Cuáles son las fuentes antropógenas?.....	37
2.3.9 Toxicología.....	39
2.3.10 Exposición actual al mercurio y evaluaciones del riesgo para la salud humana.....	41
2.3.11 Ficha técnica sobre el mercurio.....	42
2.3.12 Bórax.....	43
2.3.13 Ficha técnica sobre el borato de sodio (Bórax).....	44
2.4 BASES LEGALES	45

3	METODOLOGIA.....	47
3.1	Identificar las plantas de beneficio o entables en los que se emplee mercurio como insumo para la recuperación de oro, y presten disposición a desarrollar ejercicios demostrativos sobre el uso de bórax como sustituto de mercurio.	47
3.1.1	Socialización.....	47
3.1.2	Reconocimiento de zonas a intervenir	47
3.2	Analizar los datos de manera cualitativa y cuantitativamente a partir de ensayos preliminares para determinar el comportamiento de los reactivos.....	49
3.2.1	Transporte del mineral	51
3.2.2	Trituración del mineral	51
3.2.3	Primera molienda del mineral	52
3.2.4	Calculo de relación mercurio - bórax	53
3.2.5	Segunda molienda del mineral	54
3.2.6	Descargue y deslodamiento.....	57
3.2.7	Amalgamación	58
3.2.8	Obtención de oro	59
3.2.9	Tabulación de datos estadísticos	60
3.3	Realizar capacitación a la comunidad minera y entidades públicas del municipio de Suarez Cauca de los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación	60
4	RESULTADOS.....	61
4.1	Identificación de las plantas de beneficio o entables en los que se emplee mercurio como insumo para la recuperación de oro.....	61
4.1.1	Situación encontrada de los entables.....	64
4.1.2	Matriz de aspectos e impactos ambientales.....	67
4.2	Análisis de los datos de manera cualitativa y cuantitativamente a partir de ensayos preliminares para determinar el comportamiento de los reactivos.	71
4.2.1	Tabulación de los resultados obtenidos en los diferentes entables.....	71
4.2.2	Análisis	74
4.3	Realización de capacitación a la comunidad minera y entidades públicas del municipio de Suarez Cauca de los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación.	81
5	CONCLUSIONES.....	83
6	RECOMENDACIONES.....	85
7	BIBLIOGRAFÍA	87
8	ANEXOS	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aspectos a tener en cuenta de la ficha técnica sobre el mercurio	42
Tabla 2. Aspectos a tener en cuenta de la ficha técnica sobre el bórax.....	44
Tabla 3. Marco normativo colombiano	45
Tabla 4. Entables mineros seleccionados	62
Tabla 5. Descripción general de los entable	63
Tabla 6. Ingreso anual de gramos de mercurio	64
Tabla 7. Valoración ambiental de los entables	65
Tabla 8. Matriz de impactos ambientales ocasionados por la actividad minera en los entables de Suarez Cauca.	68
Tabla 9. Tabulación de datos cuantitativos a partir de ensayos realizados en el entable Tamboral y Maravelez	71
Tabla 10. Tabulación de datos cuantitativos a partir de ensayos realizados en el entable la turbina.....	71
Tabla 11. Ingreso anual de gramos de mercurio en las unidades mineras.....	78
Tabla 12. Pérdidas y recuperación de gramos de mercurio en ensayos con mercurio	79
Tabla 13. Pérdidas y recuperación de gramos de mercurio en ensayo (mercurio-bórax)	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Fuentes de contaminación industrial del mercurio.	38
Figura 2. Esquema de las partes de un molino de bolas.....	48
Figura 3. Diagrama del proceso para la obtención de oro utilizando mercurio y bórax.	50
Figura 4. Movimiento del mineral en un molino de bolas.....	52
Figura 5. Esquemas de barril de molienda por separado (segunda molienda).....	55

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Gramos de oro recuperados con los reactivos mercurio vs bórax en el entable Tamboral	74
Grafica 2. Gramos de oro recuperados con los reactivos mercurio vs bórax en el entable Maravelez.....	76
Grafica 3. Gramos de oro recuperados con los reactivos mercurio vs mezcla (mercurio-bórax) en el entable La Turbina.....	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Capacitación.....	91
Anexo 2. Registro fotográfico entable Tamboral.....	91
Anexo 3. Registro fotográfico mina maravelez.....	96
Anexo 4. Registro fotográfico mina La Turbina.....	100
Anexo 5. Metodos de obtencion de oro sin mercurio	104

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Municipio de Suarez-Cauca.	24
Mapa 2. Localización geográfica de los entables en la localidad de Suarez Cauca	62

**BÓRAX EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO COMO UN
SUSTITUTO DEL MERCURIO EN DOS ENTABLES DE LA COOPERATIVA
MINERA DE SUAREZ CAUCA**

RESUMEN

El presente estudio se fundamentó en conocer la eficiencia del borato de sodio (Bórax) en el proceso de recuperación de oro y comparar los resultados obtenidos frente a la eficiencia que presenta el mercurio en la captura del oro en dos entables de la cooperativa minera de Suarez Cauca. Para lograr dicho propósito en primera instancia se localizaron las plantas de beneficio otorgadas por la cooperativa minera de la región es decir, se seleccionaron las plantas que utilizaran mercurio en el proceso, que su acceso fuera factible, y que nos dispusieran el mineral para realizar los ensayos.

Buscando dar cumplimiento a este proceso investigativo se realizaron 2 jornadas de muestreos, las cuales consistieron en la toma de muestras en campo por medio de 3 ensayos experimentales realizados en cada entable para analizar semi cuantitativamente la eficiencia de recuperación de oro, utilizando como reactivos principales el mercurio y el borato de sodio (bórax) por separado.

Con respecto a los resultados obtenidos en el presente estudio, se compararon los valores de eficiencia que presentaron los reactivos mercurio y bórax en el proceso, logrando obtener valores de oro que oscilan entre 0,2 gramos a 1,3 gramos, utilizando borato de sodio como recuperador del metal. En lo que compete a los ensayos realizados con mercurio, se recuperaron cantidades fluctuantes entre 0,4 gramos y 2,8 gramos, obteniendo mayor recuperación con el uso de mercurio en la captura de oro, hay que mencionar, además que los ensayos realizados con el insumo bórax fueron alterados por presencia de mercurio en el interior de los barriles de molienda, resultando así una amalgama compuesta entre oro y mercurio de color plata. Conviene subrayar que el bórax en presencia de mercurio logro recuperar unas ciertas cantidades de oro, por ello se optó por realizar un ensayo adicional utilizando los dos insumos de manera simultánea, en busca de reducir las dosis de mercurio en los procesos de recuperación. Como resultado se pudo denotar, que los valores de oro obtenidos utilizando bórax y mercurio de manera simultánea, superan los valores recuperados utilizando solo mercurio en el proceso, por consiguiente, se sugirieron medidas de adaptación de este método, que garantiza reducir el uso de mercurio y disminuir los costos al minero por el continuo uso de dicho metal.

Palabras claves: Mercurio, Bórax, Planta de beneficio, Recuperación de oro.

BORAX IN THE RECOVERY PROCESS OF GOLD AS A SUBSTITUTE OF THE MERCURY IN TWO ENTABLES OF THE MINING COOPERATIVE OF SUAREZ CAUCA

ABSTRACT

The present study was based on knowing the efficiency of the Sodium borate (Borax) In the gold recovery process and compare the results obtained against the efficiency of mercury in the capture of gold in two “entables”(units of mining productions) of the mining cooperative of Suarez Cauca. In order to achieve this, in the first instance, the plants of benefit trials were located. Those plants were given by the mining cooperative of the region, namely the plants that use mercury, were selected in the process, that their access would be feasible, and that the ore would be available for us to make the trials.

In order to comply with this investigative process, two sampling days were carried out, that consisted of the field sampling by means of 3 experimental tests carried out in each “entable” to quantitatively analyze the gold recovery efficiency, using mercury and Sodium borate (borax) separately.

About the results obtained in the present study, we compared the efficiency values presented by the mercury and borax supplies in the process, obtaining gold values ranging from 0.2 grams to 1.3 grams, using sodium borate as a catcher of the metal In what concerns the tests carried out with mercury, fluctuating quantities between 0.4 grams and 2.4 grams were recovered, obtaining greater effectiveness the use of mercury as gold catcher. It is necessary to mention that the tests carried out with the borax supplies were altered by the presence of mercury inside the grinding barrels, resulting in an amalgam composed of gold and mercury with silver color. It should be emphasized that borax in the presence of mercury was able to recover significant amounts of gold, so it was decided to carry out an additional test using the two supplies simultaneously, in order to reduce the doses of mercury in the recovery processes. As a result, it was possible to denote that the gold values obtained using borax and mercury simultaneously exceed the values recovered using only mercury in the process, therefore, it was suggested measures of adaptation of this method, which guarantees to reduce the use of mercury and reduces the costs to the miner by the continuous use of that metal.

Key words: Mercury, Borax, Plant of benefit, Gold recovery.

INTRODUCCIÓN

Es necesario aclarar la minería ilegal de la minería artesanal o de hecho; ya que muchas veces se trata de confundir estas formas de minería sin tener en cuenta que la artesanal, es aquella que las comunidades han venido realizando durante décadas y hacen parte de sus prácticas culturales, y medios de subsistencia para luchar contra la pobreza; este tipo de minería es la que se desarrolla en el municipio de Suarez Cauca. Mientras que la minería ilegal es muy diferente ya que es ejercida por grupos armados para el beneficio de estructuras del narcotráfico o en algunos casos para multinacionales que se ven beneficiadas con sus acciones de despojo y confinamiento. La minería en síntesis, es la actividad comercial primaria que consiste en la extracción de los minerales que, durante muchísimos años y por procesos naturales, se han acumulado en los subsuelos conformando yacimientos [1].

En Colombia la minería a pequeña escala o conocida como minería de hecho, existe desde mucho tiempo atrás, la cual ha conseguido un auge notable en los últimos años, debido principalmente a la evolución hacia un aumento en los precios internacionales de los minerales, específicamente el del oro ha sido considerable. Así por ejemplo, durante el año 2007 el precio del oro creció un 31%(su máximo aumento anual desde 1979) y era cotizado a 876 dólares la onza; en (noviembre 2013), el precio por una onza de oro fue de 1228,20 dólares [2]. El crecimiento acelerado de la actividad minera en diversas regiones del país, aporta al ambiente grandes cantidades de mercurio provenientes del beneficio del oro, no obstante departamentos como Antioquia, Cauca, y Choco son algunos de los tantos donde la pequeña minería se distingue por sus altos índices en el uso del mercurio.

Sin embargo el uso irracional del mercurio en la actividad minera ha llegado a condiciones muy alarmantes por los impactos ocasionados al medio ambiente y a la salud humana, siendo la inhalación de vapores de mercurio junto con la ingesta de peces contaminados las principales fuentes de contaminación con

este metal, no obstante, otra fuente adicional reconocida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es el consumo de agua contaminada [3]. Pese a esto y no menos importante la pequeña y mediana minería en Suarez utiliza la amalgamación del oro como proceso para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra. Este proceso es realizado utilizando mercurio elemental, el cual forma aleaciones con varios metales, entre ellos el oro, y de esta forma logra extraerlo del material rocoso. Una vez formada la amalgama, esta es sometida a alta temperatura evaporando el mercurio elemental, quedando una mezcla de oro y otros metales en menor proporción. El mercurio evaporado es inhalado directamente por los mineros en varias etapas de la extracción aurífera, especialmente durante la quema de la amalgama, por lo que en la cadena productiva, los más afectados son los quemadores de amalgamas [4].

Por lo anterior, es necesario realizar procesos de investigación que permitan encontrar una solución a dicha problemática, es así que este proyecto tiene como fin realizar ensayos preliminares para identificar la eficiencia del bórax en el proceso de recuperación de oro y comparar los resultados obtenidos frente a la eficiencia que presenta el mercurio en la captura del oro, en dos entables de la cooperativa minera en el municipio de Suarez Cauca.

1. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la minería artesanal, el oro es extraído por amalgamación en diferentes partes del mundo, con mercurio metálico (Hg^0), el cual es posteriormente volatilizado por calentamiento y liberado al ambiente utilizando este metal como alternativa para una mayor obtención de oro. Se estima que un 45% de este mercurio se introduce a la columna de agua, y es posteriormente transformado por los microorganismos en metil mercurio (MeHg) el cual es altamente tóxico [5]. En el agua el MeHg es rápidamente absorbido en la cadena alimenticia, desde organismos detritívoros hasta carnívoros, acumulándose en cantidades importantes en peces, reptiles y mamíferos acuáticos causando serios efectos en la biota y en las personas debido a la ingesta de alimentos contaminados [6]. 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 menos costoso que otros [7]. Según datos del centro de análisis "Mercury Watch", las emisiones de mercurio de la minería de oro artesanal en Colombia están entre las más elevadas del mundo, lo que representa una amenaza a la salud y al medio ambiente por la alta toxicidad de esta sustancia, que se evapora fácilmente y puede permanecer por años en la atmósfera.

El oro representa para muchas familias una forma de sustento diario y el Cauca es uno de los departamentos en los que la minería es una alternativa que contribuye al desarrollo regional. En el caso del municipio de Buenos Aires Cauca donde los mineros laboran de forma artesanal y con fines en su mayor parte de subsistencia, algunos nuevos mineros laboran de forma más mecanizada, generando empleo local y excedentes económicos. Pero esta

muestra serios reparos en el balance ambiental por el uso inadecuado de mercurio [8].

En el municipio de Suarez Cauca al igual que otras regiones, las actividades mineras incorporan el mercurio elemental en sus procesos de extracción de oro el cual es utilizado ampliamente, generando impactos negativos de manera directa e indirectamente como es el caso de suelos, aire y cuerpos de agua empleadas como fuentes para consumo humano. No menos importantes los mineros utilizan este metal sin ninguna protección de seguridad estando expuestos a enfermedades por manipulación y por la absorción en el proceso de quema [9][3].

Por ende surgen otros métodos para llevar a cabo procesos de esta magnitud con el uso de otros elementos como el caso del bórax [10], como sustituto del mercurio químicamente conocido como borato de sodio, un compuesto importante del boro. De hecho, el bórax mejora significativamente la captura del metal, es más económico que el método de amalgamación y no produce efectos adversos sobre la salud y el medio ambiente [10]. Por tal se piensa en la formulación de una alternativa de solución para disminuir o erradicar el uso de mercurio utilizado en el beneficio del material aurífero, de tal forma que contribuyan estas alternativas al cumplimiento gradual de lo establecido en la Ley 1658 de 2013. Por ello es preciso cuestionarnos sobre qué tan eficiente es el bórax como sustituto del mercurio en el proceso de extracción del oro.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La minería artesanal y en pequeña escala es agravada por los impactos que afectan directamente al ecosistema y a la salud humana. Esta actividad se realiza con herramientas y procesos técnicos rudimentarios, por ello y según la organización internacional de trabajo (OIT) [11], los cinco principales riesgos para la salud asociados con la minería artesanal en pequeña escala son:

1. La exposición al polvo ocasionando problemas pulmonares.
2. La exposición al contacto de sustancias químicas como el mercurio y cianuro.
3. Los efectos del ruido.
4. Ventilación deficiente.
5. Efectos de esfuerzo excesivo en un espacio insuficiente para trabajar con equipos inadecuados.

Todo esto genera alto riesgo ocupacional, daño ecológico al medio ambiente y posteriormente a la población (mineros). Por consiguiente está claro decir que la minería artesanal es el principal sustento en la región del municipio de Suarez Cauca, por ende las consecuencias ambientales son altas por el uso de mercurio en los diferentes puntos referentes a la extracción de oro. No obstante uno de los puntos críticos es el manejo de los vertimientos, debido a que no se cuentan con los tratamientos adecuados para reducir las concentraciones de mercurio presentes en las aguas residuales. Cabe mencionar que no hay una responsabilidad en materia ambiental por parte de la cooperativa minera de Suarez, que contribuya a la no contaminación de los cuerpos de agua, y la protección de los diferentes efectos que causa el mercurio en la salud humana, siendo la falta de conocimiento sobre temáticas ambientales del pequeño minero y la falta de recursos económicos para implementar procesos de producción más limpia en minería los principales aspectos que conllevan al inadecuado manejo del mercurio.

El grado de responsabilidad ambiental con que se realiza la explotación minera es de gran relevancia al utilizar o implementar sustancias químicas como mercurio, esto da lugar a la creación de unos nuevos tipos de contaminantes como es el caso del metilmercurio que son especialmente peligrosos para la salud humana [12].

Sin duda, el mercurio elemental constituye el principal tóxico al que están expuestos los pequeños y medianos mineros auríferos en Colombia. La forma

en que este tóxico entra a los humanos y desarrolla los efectos en los mismos están bien documentados [13], y en su mayoría existe consenso en los aspectos seguidamente descritos. Durante la exposición al mercurio elemental, aproximadamente el 80% se absorbe a través de los pulmones y desde allí es distribuido a todos los órganos del cuerpo, estos efectos nocivos del mercurio están científicamente corroborados y entre ellos figuran graves daños neurológicos, además de causar deformación fetal cuando la víctima de la intoxicación es una mujer embarazada. La reducción de los efectos negativos, causados por la actividad minera está relacionada directamente con la aplicación de técnicas y tecnologías menos contaminantes en la etapa de explotación y beneficios.

De esta forma se busca establecer una minería sustentable y amigable con el medio ambiente, implementando alternativas económicas, eficientes y ecológicas, para erradicar o minimizar el uso del mercurio en un corto y mediano plazo. Por lo tanto es necesario cualificar y cuantificar la eficiencia del bórax en la recuperación de oro, y del mismo modo analizar la eficiencia del mercurio; con el fin de realizar un análisis comparativo de ambos reactivos para la conclusión de datos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar el comportamiento del bórax en el proceso de recuperación de oro y comparar los resultados obtenidos frente a la eficiencia que presenta el mercurio en la captura del oro en dos entables de la cooperativa minera del municipio de Suarez Cauca.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las plantas de beneficio o entables en los que se emplee mercurio como reactivo para la recuperación de oro, y presten disposición a desarrollar ejercicios demostrativos sobre el uso de bórax como sustituto de mercurio.
- Analizar los datos de manera cualitativa y cuantitativamente a partir de ensayos preliminares para determinar el comportamiento de los reactivos.
- Realizar capacitación a la comunidad minera y entidades públicas del municipio de Suarez Cauca de los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación

La ubicación de esta Región (Municipio de Suarez), está en la zona tropical entre 4 y 5 grados latitud norte, los valores medios de ciertas variables del clima como la temperatura, la presión atmosférica y la humedad relativa exhiben fluctuaciones importantes en función de la altura sobre el nivel del mar pero no presentan variabilidad a lo largo del año. Este lugar se halla entre las alturas que van desde los 1100 y 2400 msnm [15].

Respecto a su ecología, Suarez cuenta con ríos importantes como el Cauca, Ovejas, Marilopito, Damián, Inguitó, Asnazú y Marilópez, con las Quebradas El Chupadero, La Chorrera, Los Pasos, Los Morados, La Laja, El Danubio y San Miguel. Un Embalse Artificial en la Hidroeléctrica de SALVAJINA, llamada Presa Ciro Molina Garcés [15].

2.1.1 Economía

Basada fundamentalmente en el sector primario; agricultura (café, yuca, caña panelera, maíz, frijol, frutales entre otros) y minería principalmente. La extracción del oro se realiza en la zona Suroriental del municipio en inmediaciones de los corregimientos de La Toma y Mindalá, siendo esta la principal fuente de explotación. En la zona noroccidental la producción agropecuaria es la actividad económica más importante, a tal punto que la agricultura participa en un 52% de la producción del municipio, seguido de la actividad minera con un 27%, el comercio con un 3% y el 18% restante está en actividades como piscicultura, avicultura, ganadería, entre otros. En algunos sectores se practica la actividad forestal por Smurfit Cartón de Colombia [15].

El turismo no presenta aún una actividad económica importante para el Municipio por su deficiente infraestructura y publicidad, pero este sector promete convertirse en una actividad líder si se aprovechan las ventajas escénicas naturales y artificiales que tiene este municipio, sobre todo la representada por el lago o embalse de Salvajina y el Sistema Hídrico Municipal incluyendo sus principales ríos.

2.1.2 Fauna

Como en muchos municipios del país, la fauna en Suarez ha sido afectada por diversos factores antrópicos y degradación de suelo que ha mermado el número de especies y de individuos por especie debido a la destrucción de su hábitat natural como lo es el caso de la minería [15].

2.2 ANTECEDENTES

Respecto al borato de sodio (Bórax) artículos como, La extracción de oro: ¿maldición en Colombia oportunidad en India?, promueve el uso de métodos alternativos de extracción de oro para mineros de pequeña escala en Colombia, donde a partir de un estudio se presenta el método bórax, como una técnica adoptada por mineros artesanales de la India y Filipinas en la explotación aurífera.

Según el (Ministerio de Minas y Energía, 2011) la minería es también uno de los sectores dinámicos de la economía colombiana, dado el caso la extracción de oro se ha incrementado significativamente desde el año 2000, sobre todo en un escenario de informalidad, donde el 86,7 % de unidades de producción minera (UPM) del país dedicadas a la explotación de oro extraen sin título minero en departamentos como Antioquia, Bolívar, Cauca, Caldas y Putumayo.

A diferencia de la India, pero como sucede en muchos otros países, los mineros artesanales colombianos extraen oro con el uso excesivo del mercurio. Prácticamente todo el mercurio en el país se utiliza en el proceso aurífero; de hecho, hoy en día más de diez millones de mineros artesanales y a pequeña escala en todo el mundo extraen oro utilizando mercurio, empleando aproximadamente 1.400 toneladas de mercurio por año [16].

Frente al riesgo inminente que significa la explotación aurífera en el país, exploran las opciones y soluciones en estados como Goa y Karnataka (India),

donde los mineros han implementado el uso de bórax, químicamente conocido como borato de sodio, un compuesto importante del boro que se utiliza en la fabricación de detergentes y tratamiento de textiles [16].

En las Filipinas la fundición directa se realiza reduciendo la cantidad del concentrado con una batea hasta obtener el oro libre de impurezas, teniendo cuidado de que el oro no se pierda. El proceso se realiza con varias bateas; el concentrado se recoge y se mezclan cantidades iguales de bórax. Se vierten aproximadamente 50 gramos de la mezcla en una bolsa plástica pequeña, luego se deposita en un crisol de cerámica y se calienta con un soplete o con carbón de leña entre 5 – 15 minutos, incrementando el calor con un ventilador. El resultado es oro sólido. Concluyendo así, la eficiencia de la implementación de dicho proceso [17].

Mientras en Ghana la fundición directa logra aproximadamente 50 gramos de concentrado en 20 minutos. Este se considera un sistema bien diseñado que produce resultados consistentes y de alta calidad [17].

No solo la minería, la industria textil sigue unas pautas de consumo de sustancias químicas sumamente complejas. La mayor parte de las iniciativas realizadas para reducir su impacto medioambiental han consistido en el diseño de nuevos procesos, más que en la sustitución de sustancias químicas tóxicas por alternativas más seguras. Sin embargo, sustituir estas sustancias es importante debido a que a pesar de que pueden ser sustancias de baja toxicidad su uso es masivo y por tanto estamos expuestos a dosis altas. Por consiguiente esta industria da como ejemplo la implementación del borato de sodio (bórax) en sus procesos textiles [18].

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 Minería

Se conoce como ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. Casi desde el principio de la Edad de Piedra, hace 2,5 millones de años o más, viene siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los predecesores del Homo sapiens empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. Al principio, implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria, de desenterrar el sílex u otras rocas. A medida que se vaciaban los yacimientos de la superficie, las excavaciones se hacían más profundas, hasta que empezó la minería subterránea. La minería de superficie se remonta a épocas mucho más antiguas que la agricultura [19].

De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía, según lo expuesto en la cartilla minera "ASI ES LA MINERIA", en Colombia esta se conoce como una actividad económica mediante la cual se extraen selectivamente de la corteza terrestre, diferentes tipos de minerales que son básicos para la producción de materiales empleados por la sociedad moderna y que son básicos en el diario vivir. Además la minería reúne un conjunto de actividades que relacionan el descubrimiento, exploración y explotación de yacimientos [20].

2.3.2 Minería de 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 [21].

2.3.3 Historia de la minería de oro en Colombia

La minería artesanal y de pequeña escala es una actividad de mucho tiempo atrás caracterizada por sus condiciones socioeconómicas, tanto financieras como en beneficios sociales referentes a la generación de empleo. Hay que mencionar además, la parte medio ambiental está siendo afectada directa e indirectamente por los procesos de extracción de oro a niveles muy considerables, consiguiente a esto, es de suma importancia saber sobre la historia de la minería del oro en Colombia.

La minería es una de las actividades económicas más antiguas de la humanidad. Además no es por nada que se clasifican las épocas prehistóricas

según los minerales utilizados: Edad de Piedra, Edad de Bronce, Edad de Hierro. La actividad minera a nivel mundial se desarrolla con diferentes dimensiones; estas son fundamentalmente tres: gran minería, mediana minería y pequeña minería o minería artesanal. Esta última aparece especialmente, en los países en desarrollo, en este caso como lo es Colombia [22].

Unas de las principales partes de la extracción de oro, en Colombia y en su historia se dio a cabo, en el Bajo Cauca antioqueño, caracterizándose por ser una práctica anterior a la época de la Conquista, debido a que los conquistadores españoles se asentaron en las orillas de los ríos y quebradas, por ser los sitios más propicios para esta actividad minera; las prácticas artesanales vigentes emergieron en el sincretismo en tiempos coloniales. Por ende los Indígenas Zenú y Embera trabajaron forzosamente en las minas, junto a personas negras provenientes del occidente de África como apoyo y por sus conocimientos de explotación. Desde entonces, la minería aurífera de aluvión ha sido muy importante en las dinámicas de asentamiento y trashumancia en el Bajo Cauca. Adicionalmente, el ordenamiento jurídico en tiempos coloniales en esta zona sirvió para el posterior desarrollo de Códigos de Minas durante la República [23].

Durante tres siglos largos el actual territorio colombiano produjo oro y lo envió a España a razón de tres, cuatro o más toneladas métricas por año. A lo largo de ese tiempo no se realizó ninguna innovación tecnológica en la minería neogranadina. Esta tecnología contaba solamente con la mano de obra esclava, algunas herramientas de hierro y la pólvora negra como medios de producción [24].

Sin embargo la industria minera en Colombia a pesar de ser la más antigua, ha sufrido diferentes desplomes en cuanto a su nivel de producción. Uno de ellos se evidencia en 1729 cuando el Rey de la época no permitió que a ningún indígena se le obligase a la labor de minas, situación que dio como resultado el inmediato abandono de las minas de Mariquita y Pamplona. Después de esto

se dio inicio a la guerra de la Independencia la cual fue una época de intensa lucha, razón por la que el tiempo para trabajar era muy poco, lo que dio por resultado que el producto de las minas disminuyera en un 40%; este rendimiento trato de tener un pequeño aumento pero nuevamente se vio perjudicado entre 1851 y 1860, cuando se inició la Guerra Civil que prácticamente como todas las demás guerras tiene su trasfondo político. Sin embargo después de 1864 la producción de oro en el país ha iniciado nuevamente su ascenso progresivo y es así como se ha podido aumentar el nivel en un 50% [25].

Según el Ministerio de Minas y Energía en Colombia, entre 1999 y 2005 se produjeron 289 mil kilos de oro, lo cual a precios de 2011 representa más de cinco billones de dólares. Las autoridades ambientales calculan que por cada gramo de oro que se produjo en el país se consumió al menos medio gramo de mercurio [26]. El departamento de Antioquia produce el 70% del oro del país, y sus municipios Remedios y Segovia son, después de China e Indonesia, los lugares más contaminados por mercurio en el planeta [26].

Pero el panorama no es del todo alentador en todas las zonas del país porque de acuerdo con informe especial presentado por el CINEP, de las toneladas de metal que produce anualmente el país, la cuarta parte de estos es extraída principalmente por compañías extranjeras (Centro de Investigación y Educación Popular CINEP, 2012); esto quiere indicar que si bien el nivel de producción es considerablemente bueno, todos estos recursos no hacen parte del PIB del país ya que priman los intereses de terceros.

No obstante, dentro de las dinámicas arbitrarias de explotación, la minería artesanal ha captado la atención de distintos actores, incluida la opinión pública. Esta forma de explotación ha logrado visibilidad internacional gracias a instituciones como Oro Verde, creada a partir de «alianzas entre mineros, líderes comunitarios y profesionales jóvenes, quienes querían acabar con la devastación social y ambiental que causaban las malas e irresponsables

prácticas mineras [27]. Adicionalmente, Oro Verde establece vínculos desde las comunidades locales hacia las comunidades nacional e internacional, abriendo mercados, diseminando información sobre la experiencia, creando alianzas estratégicas y nuevos canales de interacción. Todo lo anterior para lograr una mayor conciencia del público sobre lo que está ocurriendo con la minería artesanal.

2.3.4 Historia minera del municipio de Suarez Cauca

Hechos históricos, culturales y económicos influyeron para que se desarrollara la actividad minera inicialmente a las márgenes del río Cauca y luego se concentró en el área de Paso Bobo situada a 3.5 Km al sur del municipio de Suarez sobre de estribación oriental de la cordillera occidental, donde se explotan vetas mineralizadas de oros y plata de origen hidrotermal, igualmente en la cabecera desde la quebrada el Ciprés. De acuerdo a la historia de la minería de los yacimientos de oro en el municipio de Suarez Cauca, hace unos varios años atrás esta actividad se concentraba en el área de Paso Bobo y por procesos erosivos a través del tiempo permitió, el origen de extensos aluviones auríferos en las plantas de los causes de los ríos y quebradas, donde la extracción de oro se realiza hoy a nivel de pequeña minería, mediante barequeo o mazamorreo [28].

El municipio de Suarez Cauca presenta una de las mayores áreas de desarrollo minero del departamento y muestra el mayor potencial de recursos en la zona donde se explotan diversos minerales del subsuelo como el oro, carbón, arenas y arcillas para el sector de la construcción. La extracción minera se realiza a cielo abierto y subterráneo. En corregimientos como Mindala, las veredas del Desquite, el Tamboral, la Turbina y corregimiento como la Toma en lo que corresponde al perímetro del embalse de la Salvajina la actividad minera que se desarrolla es artesanal e empírica y de explotación subterránea con un nivel de tecnificación escaso, limitándose a obtener los gramos de oro que justifiquen el sustento diario; alrededor de esta área se localizan un mínimo de

70 bocaminas conocidas popularmente como guerreras, 6 sitios adecuados para trituración, molienda y concentración gravimétrica de mineral enriquecido con oro y plata (ver anexo 4), 2 sitios con tanques de cianuración y/o proceso de beneficio de arenas argentíferas. El menor promedio de los sitios identificados es de 10 a 20 g/ton y se producen 400 ton/mes de arenas y lodos; por otro lado en minas como Maravelez y Tamboral se han llevado trabajos de explotación con mínimo rendimientos, a pesar de que Suarez posee un buen potencial del recurso aurífero, es un área mal explotada debido a la falta de recursos para adelantar estudios especializados, bajo nivel tecnológico y la ambivalencia vocacional que existe entre la agricultura y la minería la cual origina el subdesarrollo de los dos sectores [28].

No obstante en el municipio de Suarez Cauca se presenta un índice relevante de minería artesanal o minería de hecho, la cual ha sido heredada de generación en generación, reconocido por la comunidad minera que aun hace uso de técnicas ancestrales. (Ver imagen 1)

Imagen 1. trituracion ancestral del mineral



Fuente. Elaboración propia

La imagen 1. muestra un minero propio de la región que tritura el mineral utilizando una técnica ancestral, con el fin de desmenuzar y llevar a un material

particulado dicho mineral, por medio de fricción en una superficie plana en asistencia de un objeto sólido hasta este quedar dispuesto para ser lavado en batea.

2.3.5 Tipos de minería

2.3.5.1 Minería tradicional

Según el decreto 0933 del 9 de mayo de 2013, expedido por Ministerio de Minas y Energía define la minería tradicional como aquella que ha sido ejercida desde antes de la vigencia de la Ley 685 de 2001, en un área específica en forma continua o discontinua, por personas naturales o grupos de personas naturales o asociaciones sin título minero inscrito en el Registro Minero Nacional, en yacimientos minerales de propiedad del Estado y que, por las características socioeconómicas de éstas y la ubicación del yacimiento, constituyen para dichas comunidades la principal fuente de manutención y generación de ingresos, además de considerarse una fuente de abastecimiento regional de los minerales extraídos. Esta minería es también informal y puede ser objeto de procesos de formalización a los que hacen referencia los artículos 31 y 257 de la Ley 685 de 2001, así como los programas de qué trata el Capítulo XXIV de la Ley 685 de 2001- Código de Minas. Por lo anterior, se entiende que la minería tradicional es una especie de la minería informal [29].

2.3.5.2 Minería formal

Es aquella actividad cuyas unidades productivas desarrollan las labores mineras bajo el amparo de título minero y cumplen con los parámetros técnicos (mineros y ambientales), económicos, laborales y sociales de la industria, definidos por la legislación vigente en cada uno de estos aspectos [29].

2.3.5.3 Minería legal

Son aquellas unidades productoras mineras amparadas en un título minero (acto administrativo escrito mediante el cual el Estado, otorga el derecho a explorar y a explotar el subsuelo minero de propiedad nacional), inscrito en el registro minero nacional, susceptibles a ser formalizadas [29].

2.3.5.4 Minería no autorizada:

La minería desarrollada sin estar inscrita en el registro minero nacional, es considerada como minería ilegal o no autorizada; [29] es decir, sin título minero.

2.3.6 ¿Qué es el mercurio?

El mercurio se da de manera natural en el medio ambiente y existe en una gran variedad de formas. Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura, se lo conoce como mercurio “elemental” o “metálico” (cuyo símbolo químico es Hg). Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas. A su vez el mercurio elemental es un metal blanco plateado brillante, en estado líquido a temperatura ambiente, que normalmente se utiliza en termómetros y en algunos interruptores eléctricos [30]. No obstante el mercurio metálico de no estar encapsulado se evapora parcialmente formando vapores de mercurio; los vapores de mercurio son incoloros e inodoros. Cuando más alta sea la temperatura, más vapores emanarán del mercurio metálico líquido. Algunas personas que han inhalado vapores de mercurio indican haber percibido un sabor metálico en la boca [31]. Además el mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente (representado como Hg(I) y Hg(II)). A partir del Hg(II) se pueden formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio.

Algunos de los compuestos inorgánicos de mercurio son: sulfuro de mercurio (HgS), óxido de mercurio (HgO) y cloruro de mercurio (HgCl_2). A estos compuestos también se les conoce como sales de mercurio. La mayoría de los compuestos inorgánicos de mercurio son polvos o cristales blancos, excepto el sulfuro de mercurio, que es rojo y se vuelve negro con la exposición a la luz. Algunas sales de mercurio (como el HgCl_2) son lo bastante volátiles para existir como gas atmosférico. Sin embargo, la solubilidad en agua y reactividad química de estos gases inorgánicos (o divalentes) de mercurio hacen que su deposición de la atmósfera sea mucho más rápida que la del mercurio elemental. Esto significa que la vida atmosférica de los gases de mercurio divalentes es mucho más corta que la del gas de mercurio elemental [31].

Tanto el mercurio como sus sales tienen una gran resistencia a la biodegradación, por lo que se acumulan creando graves problemas de contaminación ambiental. Es por ello que existen reglamentaciones especiales para el manejo, producción y disposición de desechos, en países industrializados. Los compuestos de mercurio son generalmente coloridos; pueden ser insolubles en agua y son muy tóxicos por ingestión o inhalación de sus polvos [32].

Cuando el mercurio se combina con carbono se forman compuestos conocidos como compuestos “orgánicos” de mercurio u organomercuriales. Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos de mercurio (como el dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio), pero el más conocido de todos es el metilmercurio. Al igual que los compuestos inorgánicos de mercurio, el metilmercurio y el fenilmercurio existen como “sales” (por ejemplo, cloruro de metilmercurio o acetato de fenilmercurio). Cuando son puros, casi todos los tipos de metilmercurio y fenilmercurio son sólidos blancos y cristalinos. En cambio, el dimetilmercurio es un líquido incoloro.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el compuesto orgánico de mercurio más común que generan los microorganismos

y procesos naturales a partir de otras formas es el metilmercurio. El metilmercurio es particularmente inquietante porque puede acumularse (bioacumulación y biomagnificación) en muchos peces de agua dulce y salada comestibles, así como en mamíferos marinos comestibles, en concentraciones miles de veces mayores que las de las aguas circundantes.

2.3.7 ¿Cuáles son las principales fuentes de liberación de mercurio?

Las emisiones de mercurio se pueden presentar de forma natural en la corteza terrestre, puede provenir de la actividad volcánica, la erosión de las rocas o la actividad humana. Esta última es la principal causa de las emisiones de mercurio, procedentes sobre todo de la combustión de carbón en centrales eléctricas, calefacciones y cocinas, de procesos industriales, de la incineración de residuos y de la extracción minera de mercurio, oro y otros metales.

Así mismo, PNUMA (Programa de las naciones unidas para el medio ambiente) menciona que el mercurio se sigue desprendiendo de los emplazamientos industriales muy contaminados y las operaciones mineras abandonadas. Además, las actividades de ordenación de las tierras, el agua y los recursos, como las prácticas silvícolas y agrícolas, y las inundaciones pueden aumentar la biodisponibilidad de mercurio. Los altos niveles de nutrientes y materias orgánicas en las masas de agua influyen en la metilación y la bioacumulación. Además, las inclemencias frecuentes del tiempo pueden contribuir a que el mercurio se desprenda durante las inundaciones o por erosión del suelo.

2.3.8 ¿Cuáles son las fuentes antropógenas?

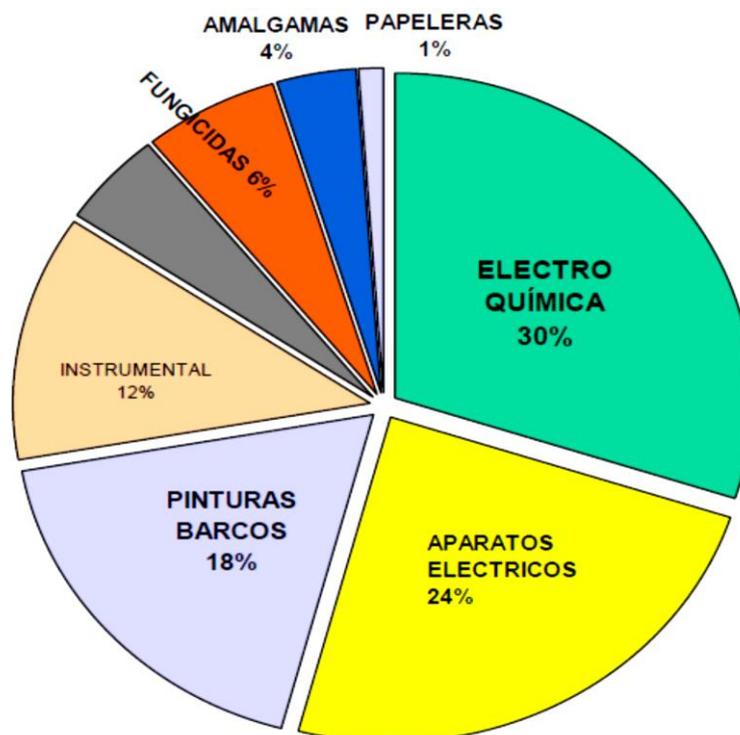
Las fuentes de liberación antropogénicas son varias; la utilización del mercurio como fungicida, herbicida y conservante de semillas en agricultura; las papeleras, la industria electroquímica, su uso en pinturas y pilas, la industria de

los catalizadores, la combustión de carbones, los vertidos industriales y por las alcantarillas, son las más importantes [33].

Teniendo en cuenta aquellas liberaciones antropógenas que se producen a raíz de la extracción y el uso intencional del mercurio entre ellas la minería del mercurio; la minería del oro y la plata en pequeña escala; la producción de cloro alcalino; el uso de lámparas fluorescentes, faros de automóviles, manómetros, termostatos, termómetros y otros instrumentos y su rotura accidental; las amalgamas dentales; la fabricación de productos que contienen mercurio; el tratamiento de desechos y la incineración de productos que contienen mercurio; los vertederos y la cremación.

Cabe destacar, sobre todo la fuente de contaminación industrial, ya que supone aproximadamente el 83 % de la contaminación total de mercurio por este tipo de fuente. En la figura 1, se muestra un gráfico del uso industrial del mercurio, con los porcentajes que corresponden a cada sector.

Figura 1.- Fuentes de contaminación industrial del mercurio.



Fuente. Antonio Doadrio Villarejo (2004)

2.3.9 Toxicología

La toxicología del mercurio es diferente, según su especie química, y si la intoxicación es aguda o crónica [33].

2.3.9.1 Intoxicaciones agudas

El mercurio presenta un cuadro clínico de debilidad, escalofríos, sabor metálico, náuseas, vómitos, diarrea, tos y opresión torácica. Basta con una exposición breve al vapor de Hg para producir los síntomas en pocas horas. El Hg^{2+} precipita proteínas de las mucosas y da un aspecto ceniciento a la boca, faringe e intestino, con dolor intenso y vómitos por el efecto corrosivo sobre la mucosa del estómago, que produce shock y muerte. La recuperación se produce solo con un tratamiento rápido. Los derivados orgánicos no suelen producir intoxicaciones agudas, y cuando éstas tienen lugar son irreversibles y producen la muerte del individuo.

2.3.9.2 Intoxicaciones crónicas

El mercurio, en este caso produce efectos neurológicos y el llamado síndrome vegetativo asténico, cuyos efectos son: bocio, taquicardia, pulso lábil, gingivitis, irritabilidad, temblores, pérdida memoria y salivación intensa. Estos efectos son reversibles. Los derivados orgánicos producen una reducción del campo visual irreversible, dificultad auditiva, así mismo irreversible, ataxia, parálisis y muerte. Los efectos, dependen de la dosis, produciéndose los dos primeros a bajas concentraciones, y los últimos a altas concentraciones del tóxico. Además son teratógenos, y afectan al feto, con retardo mental y deficiencias neuromusculares [33].

Sumado esto, para ciertos segmentos de la población, el uso de cremas y jabones a base de mercurio para aclarar la piel, y el uso de mercurio con

propósitos culturales/rituales o en medicina tradicional, también puede conducir a la exposición a mercurio inorgánico o elemental [33].

2.3.9.3 Metilmercurio

Conjuntamente, el metilmercurio es un neurotóxico muy bien documentado, que puede provocar efectos perjudiciales particularmente en el cerebro en formación. Además, este compuesto atraviesa con facilidad la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica; por eso es muy preocupante la exposición durante el embarazo. Asimismo, algunos estudios indican que incluso un pequeño aumento en la exposición al metilmercurio puede causar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular y un incremento en la mortalidad. Considerando la importancia de las enfermedades cardiovasculares en todo el mundo, estos resultados, aunque no estén confirmados, sugieren que las exposiciones al metilmercurio requieren más atención y un seguimiento adicional. Además, basándose en su evaluación general, el Centro Internacional de Investigación sobre él, considera que los compuestos de metilmercurio pueden ser carcinógenos para los seres humanos.

Para poner en perspectiva el nivel de exposiciones al metilmercurio, la dosis de referencia estimada por el Consejo Nacional de Investigación (National Research Council,) de los Estados Unidos para el efecto perjudicial más comúnmente aceptado como no letal en efectos en el desarrollo neuronal es de 58 microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$) de mercurio total en sangre del cordón umbilical o de 10 microgramos por gramo ($\mu\text{g/g}$) de mercurio total en el pelo de la madre, según datos del estudio de las Islas Faroe sobre exposiciones de seres humanos al mercurio. Éstos son los niveles en tejidos que se estimaron a partir de una ingesta diaria promedio de aproximadamente 1 g de metilmercurio por kilogramo de peso corporal al día (1 g/kg de peso corporal por día) [34].

2.3.10 Exposición actual al mercurio y evaluaciones del riesgo para la salud humana

Como ya se ha mencionado, la población general está expuesta al metilmercurio principalmente por la dieta (en particular de pescado), y a los vapores de mercurio elemental por las amalgamas dentales. Puede haber otras contribuciones considerables a la ingesta de mercurio total vía aire y agua, según la carga local de contaminación por mercurio. Asimismo, el uso personal de cremas y jabones para aclarar la piel, el uso del mercurio para usos religiosos, culturales y rituales, la presencia de mercurio en algunos medicamentos tradicionales (por ejemplo en algunos remedios tradicionales de Asia) y el mercurio en hogares y lugares de trabajo pueden aumentar sustancialmente la exposición humana. Dado el caso, los niveles de mercurio en el aire de los hogares ha incrementado por filtraciones de mercurio de medidores de gas viejos, así como otros derrames [34].

La principal ruta de entrada del mercurio al organismo es la inhalación debido a que este se vaporiza a temperatura ambiente y es absorbido por los pulmones, además los síntomas también dependen del tipo de exposición. Si esta es crónica provoca inflamación de la cavidad bucal, salivación excesiva, pérdidas de los dientes, daños a los riñones, temblores musculares, cambios de personalidad, depresión, irritabilidad y además espasmos intestinales. La exposición aguda puede producir efectos tales como neumonitis química, edema agudo de pulmón, bronquiolitis necrosante, insuficiencia respiratoria y muerte; además de efectos renales como síndrome nefrótico, cardiovasculares como hipertensión, gastrointestinales como náuseas o diarrea, dermatológicas como descamación de palmas y otros efectos neurológicos [35].

2.3.11 Ficha técnica sobre el mercurio

La tabla 1 muestra los aspectos a tener en cuenta sobre el mercurio elemental según su ficha técnica [36].

Tabla 1. Aspectos a tener en cuenta de la ficha técnica sobre el mercurio

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Estabilidad y reactividad	Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento.
Productos de descomposición	Vapores de mercurio, vapores extremadamente venenosos
Incompatibilidades	Acetilidas, halógenos, halogenuros de hidrógeno, halogenóxidos, metales alcalinos (litio, sodio, potasio,...), metales, azidas, amoníaco, carburos.
Condiciones a evitar	Condiciones desfavorables de almacenamiento, humedad; cercanía a incompatibilidades; calor; luz directa.
INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA	
Toxicidad	N.D (Muy venenoso)
Tras inhalación	Irrita las vías respiratorias, existe peligro de irritación del tracto gastrointestinal. Las intoxicaciones actúan sobre el sistema nervioso central. Son posibles daños renales.
Tras contacto con la piel	Irrita la piel
Tras contacto con los ojos	Irritación a los ojos.
INFORMACIÓN ECOLÓGICA	
Información sobre efectos ecológicos	No biodegradable. Peligro para flora y fauna. Líquido corrosivo que reacciona violentamente con el agua. Existe peligro para el agua potable. Toxicidad aguda en los peces: LC 50 (96h) = 0,16 mg/L Toxicidad aguda en cangrejos: EC 50 (24h) = 5,34 mg/L. Artemia salina.

Fuente. Ficha técnica del mercurio (Universidad Javeriana Cali)

2.3.12 Bórax

El Tetraborato de Sodio decahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), natural o refinado, comúnmente denominado bórax 10 o simplemente bórax es un sólido cristalino de color blanco, tiene un peso molecular de 381,37 (g/mol), se obtiene mediante reacción química de la ulexita, que es un compuesto de Boro, Sodio y Calcio ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), con carbonato de sodio e hidrocbonato de sodio en medio acuoso. Los boratos están definidos como “sales o ésters de ácido bórico, un compuesto que contiene B_2O_3 ”. También está definido por la industria como algún compuesto que contiene o suministra óxido bórico. A partir del mineral de bórax se obtienen varios productos comerciales refinados tales como el bórax decahidratado, el bórax pentahidratado y el ácido bórico entre otros. Este último es un producto químico obtenido por reacción de boratos inorgánicos, con ácido clorhídrico o sulfúrico, en medio acuoso. El Bórax 10 es uno más de los tantos productos que derivan del boro, este elemento en la naturaleza generalmente se encuentra en combinación con oxígeno y otros elementos, especialmente sodio o calcio, se expide en estado sólido granular [37].

2.3.12.1 Aplicaciones

El bórax se utiliza ampliamente en detergentes, suavizantes, jabones, desinfectantes y pesticidas. Se utiliza en la fabricación de esmaltes, cristal y cerámica. También se convierte fácilmente en ácido bórico o en borato, que tienen muchos usos; los boratos se usan en cientos de productos y procesos en formas que los acercan a la vida cotidiana de casi todas las personas. Empleados originalmente de forma casi exclusiva por los artesanos que utilizaban el bórax como fundente o desoxidante, hoy en día los boratos desempeñan una importante función en muchas áreas, desde baterías de cocina y medicina hasta el almacenamiento de residuos nucleares y la exploración del espacio. Sus principales aplicaciones incluyen la producción de cristal, preparados para detergentes, aplicaciones agrícolas y esmaltes y vidriados cerámicos [37].

2.3.13 Ficha técnica sobre el borato de sodio (Bórax)

En este ítem se muestra algunos aspectos a tener en cuenta por parte del borato de sodio (bórax) según su ficha técnica.

Tabla 2. Aspectos a tener en cuenta de la ficha técnica sobre el bórax

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Manejo	Evitar la generación excesiva de polvo. Evite cualquier contacto con el producto y no coma, beba ni fume durante su manipulación. Lávese muy bien el cuerpo inmediatamente después de terminar el trabajo con este producto y las manos y cara antes de comer o ir al baño.
Almacenamiento	Proteger contra daño físico. Almacenar en un área fresca, seca, y bien ventilada. Mantener en contenedores altamente sellados. Los contenedores de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos, puesto que retienen residuos de productos (polvos, sólidos); observar toda advertencia y precaución listada para este producto.
INFORMACIÓN TOXICOLOGICA	
Toxicidad a corto plazo	Se está investigando las características muta-genéticas del producto
Toxicidad a largo plazo	No se conoce efectos nocivos en el largo plazo
Efectos locales y sistemáticos	Es irritante en la piel.
Sensibilización alérgica:	No se producirá
INFORMACIÓN ECOLOGICA	
Información sobre efectos ecológicos	El bórax es biodegradable naturalmente, es soluble en agua y lixivia normalmente en el suelo. Este producto es

	<p>tóxico a peces y vida silvestre. No se debe aplicar directamente al agua. El boro es un microelemento, o micronutriente, esencial para el crecimiento sano de plantas; sin embargo, puede ser dañino para plantas sensibles al boro en altas cantidades [38]. Toxicidad en peces (LC50): 88 mg/L (24 horas). Toxicidad en algas (LC50): 24 mg/L (96 horas). Toxicidad daphnia (LC50): 242 mg/L (24 horas). Inestabilidad: Estable. Persistencia/degradabilidad: Degradable/dato no disponible. Bioacumulación: Dato no disponible.</p>
--	---

2.4 BASES LEGALES

En Colombia existe una amplia normatividad minero ambiental que hace referencia a los procesos mineros y el uso del mercurio como insumo para el beneficio de oro, lo cual sustenta el proceso investigativo en pro de identificar una alternativa viable para la sustitución del mercurio en el proceso extractivo de oro, dentro de las cuales según la Agencia Nacional de Minería se destacan:

Tabla 3. Marco normativo colombiano

NORMA	DESCRIPCION E LA NORMA
<p>LEY 685 DEL 2001</p>	<p>Por la cual se expide el código de minas y se dictan otras disposiciones. El presente Código tiene como objetivos de interés público fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país</p>

NORMA	DESCRIPCION E LA NORMA
LEY 1658 DEL 2013	Por medio de la cual se establecen las disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras dispersiones.
DECRETO 0933 DE 2013	Por el cual se dictan disposiciones en materia de formalización de minería tradicional y se modifican unas definiciones del glosario técnico minero.
DECRETO 2691 DE 2014	Por el cual se reglamenta el art. 37 de la ley 685 de 2001 y se define los mecanismos para acordar con las autoridades ambientales las medidas necesarias para la protección del ambiente sano, y en especial, de sus cuencas hídricas, el desarrollo económico, social, cultural de sus comunidades y la salubridad de la población en desarrollo del proceso de autorización de actividades de exploración y explotación minera.
DECRETO 2133 DE 2016	Por el cual se establecen medidas de control a la importación y comercialización de mercurio y los productos que lo contienen, en el marco de lo establecido en el artículo 5 de la Ley 1658 de 2013.

3 METODOLOGIA

En este capítulo hace relación a los métodos y estrategias utilizadas con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados, teniendo en cuenta que el presente trabajo de investigación para la determinación del comportamiento del bórax en los entables mineros de Maravelez y Tamboral se enfocó en el esquema productivo, debido al uso de productos químicos como lo es el mercurio. Sin embargo; dado los hallazgos en campo surgió la necesidad de operar en un tercer entable (La Turbina) en el cual se empleó de manera simultánea una mezcla mercurio-bórax, para el mismo barril de molienda.

En cumplimiento de los objetivos planteados se realizó la metodología de la siguiente manera.

3.1 Identificar las plantas de beneficio o entables en los que se emplee mercurio como insumo para la recuperación de oro, y presten disposición a desarrollar ejercicios demostrativos sobre el uso de bórax como sustituto de mercurio.

3.1.1 Socialización

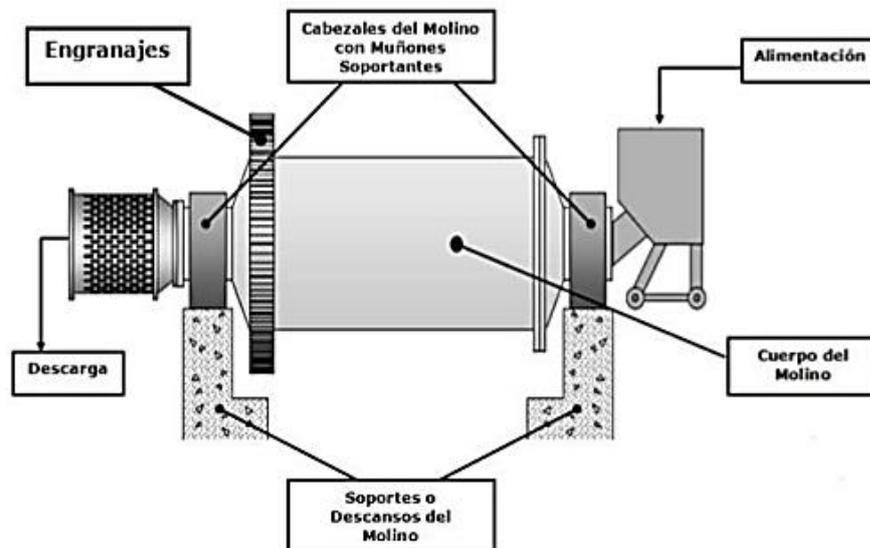
Como actividades preliminares se llevó a cabo reuniones previas con los titulares de los entables mineros, y la comunidad minera en general, con el apoyo de la cooperativa de mineros buscando establecer mediante este tipo de acercamientos los permisos requeridos para el desarrollo del proyecto. Una vez socializadas las partes del trabajo se obtuvo la disposición de dos entables mineros para el desarrollo del trabajo investigativo.

3.1.2 Reconocimiento de zonas a intervenir

Adelantadas las actividades preliminares se realizaron visitas técnicas a los entables adscritos a la cooperativa de mineros, pertenecientes al señor Ronald Villegas y al señor Hugo Guerrero, con la finalidad de analizar las condiciones

de las instalaciones para el desarrollo de la investigación, del mismo modo se tuvieron en cuenta diferentes factores externos como variables, las cuales tienen una gran influencia en la investigación, entre ellas se mencionan: *las vías de acceso y transporte del mineral*, para un fácil acercamiento a la unidad minera; y *la selección de los tambores de molienda* buscando que estos estuvieran en óptimas condiciones y con poco uso, ya que se considera que las partículas de mercurio quedan adherida en el interior de los tambores, por esta razón se realizó la selección con la finalidad de evitar alteraciones en los resultados. (Ver figura 2)

Figura 2. Esquema de las partes de un molino de bolas



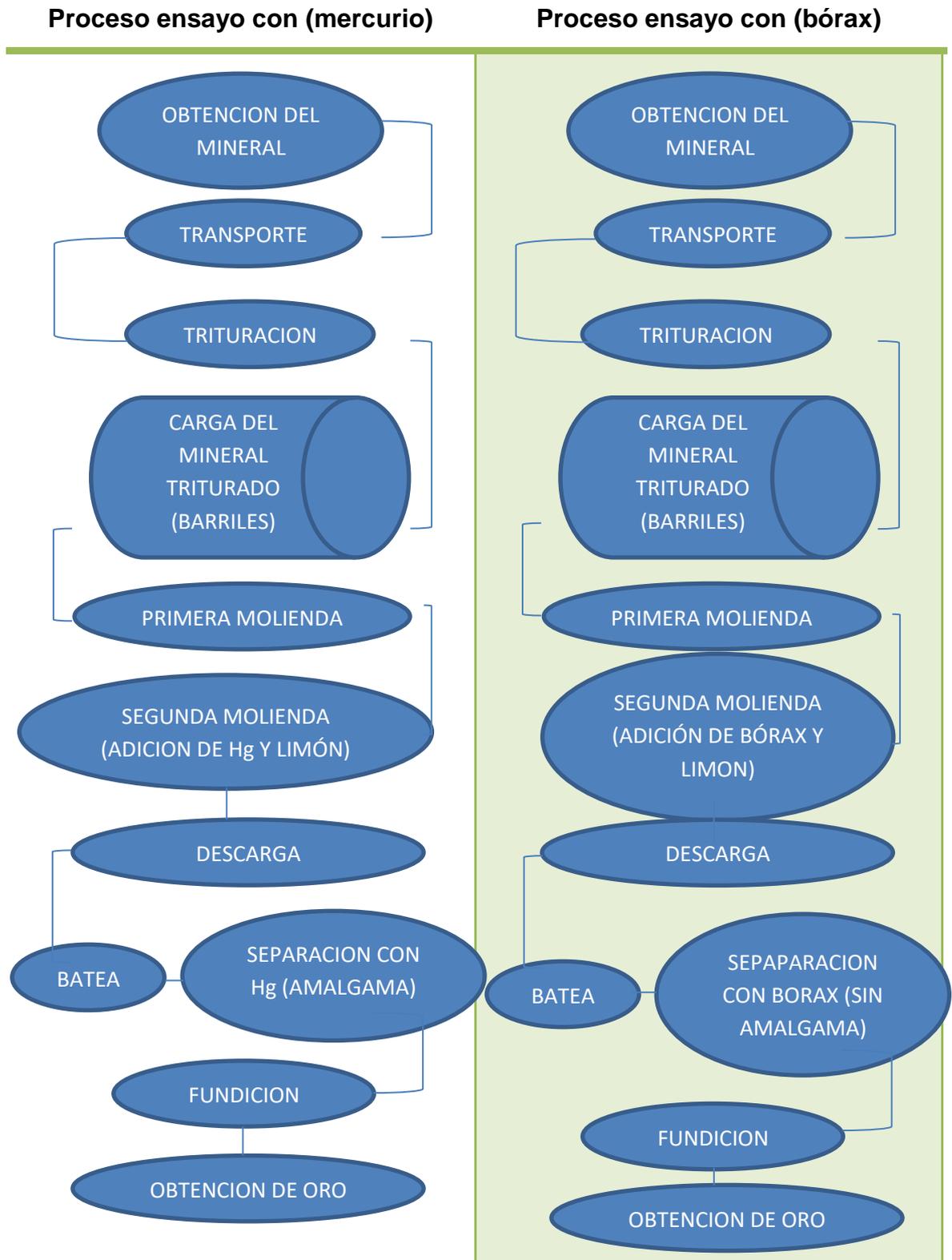
Fuente. Miguel Arriagada (2013)

Por otro lado se consideraron los entables o las unidades de producción minera que nos proporcionara el mineral, debido a que en la extracción del mismo se requiere del uso de explosivos y herramientas hidráulicas que solo personal capacitado puede manipular. Se incluyó el posicionamiento satelital de los puntos de muestreos mediante un GPS garmin Etrex 10 navegador personal, tomando como referencia la ubicación de los entables mineros

3.2 Analizar los datos de manera cualitativa y cuantitativamente a partir de ensayos preliminares para determinar el comportamiento de los reactivos.

Al realizar la investigación no contamos con un material metodológico que permita un seguimiento detallado, considerando dicha investigación como un estudio preliminar. Avanzando en nuestro conocimientos se llevaron a cabo diferentes tipos de actividades orientadas al proceso productivo como el transporte del mineral, trituración del mineral, primera y segunda molienda del mineral, deslodamiento, amalgamación y quema para la obtención de oro con la finalidad de lograr datos concretos para cumplir con el objetivo principal de determinar el comportamiento del bórax (ver figura 3). Estos procesos se realizaron tres veces en cada unidad minera en diferentes fechas debido a la larga jornada de trabajo y además teniendo en cuenta la productividad del entable de tal manera que el minero no se vea afectado.

Figura 3. Diagrama del proceso para la obtención de oro utilizando mercurio y bórax.



Fuente. Elaboración propia

3.2.1 Transporte del mineral

Una vez de haber extraído el mineral fue transportado internamente utilizando un tipo de transporte manual mediante el empleo de buggys o carretillas, y en casos particulares es realizado a fuerza humana. En cuanto a los transporte externos se tiene como disposición la mula como principal elemento de acarreo hacia la planta de beneficio.

3.2.2 Trituración del mineral

Transportado el mineral el cual tenía una granulometría variada se le realizó la trituración utilizando como instrumento fundamental la trituradora de quijada, conformada por una barra que hace presión al mineral en una superficie sólida mediante movimientos vibratorios (ver imagen 2; anexo 2 y 4), están construidas de una aleación especial de acero de alta resistencia. Los chancadores (triturador de quijada) son alimentados por la parte superior y descargan el mineral chancado por su parte inferior a través de una abertura graduada de acuerdo al diámetro requerido. Lo anterior con el objeto de desgranar las rocas gruesas a una de menor tamaño.

Imagen 2. Trituración del mineral

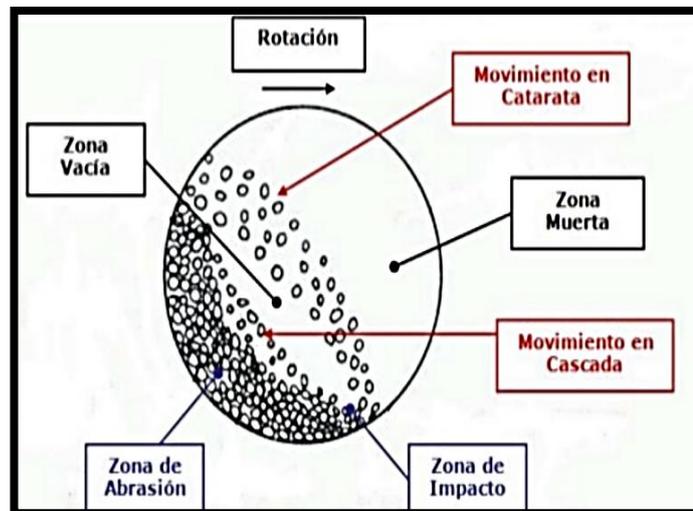


Fuente. Elaboración propia

3.2.3 Primera molienda del mineral

Luego de haber obtenido el mineral en menor proporción de tamaño es llevado a un pre-tiempo de molienda que varía dependiendo el tipo de mineral, al ser de tipo rocoso y presentar características mineralógicas de difícil trituración fue sometido entre 2 y 3 horas constantes en los cocos amalgamadores, los cuales están compuestos por una estructura de acero y bolas del mismo material; las bolas de acero caen en forma de cascada sobre las rocas cuando el molino se encuentra en rotación (ver figura 4), reduciendo aún más su tamaño, permitiendo la liberación del oro presente en partículas individuales.

Figura 4. Movimiento del mineral en un molino de bolas



Fuente. Miguel Arriagada (2013)

En este sentido se hizo uso de 4 barriles, de los cuales 2 fueron destinados para realizar los respectivos ensayos con mercurio y 2 con borato de sodio (borax). Cada tambor de molienda contaba aproximadamente con 40 kilogramos de mineral triturado además de 30 litros de agua, finalmente se sellaron con el objeto de dar inicio a las horas de molienda. Ver imagen 3

Imagen 3. Adición del mineral y agua a los tambores de molienda



Fuente. Elaboración propia

3.2.4 Cálculo de relación mercurio - bórax

Para el cálculo de la dosis del borato de sodio se realizaron diferentes muestreos tipos ensayo y error en concordancia para una relación adecuada en el proceso de molienda, dicho lo anterior se trabajó inicialmente con una proporción de igual cantidades en unidades de gramos referente a los dos insumos (mercurio - bórax), teniendo en cuenta de que 1 onza (Oz) de mercurio es equivalente a 28 gramos (g); valor utilizado para la siguiente relación; por cada 28 gramos de mercurio se emplean 28 gramos de bórax.

$$R = 28 \text{ g (Hg)} * 28 \text{ g (Borax)}$$

Dónde:

R= relación

Imagen 4. Peso del borato de sodio



Fuente. Elaboración propia

No obstante y por lo visto en campo, los mineros de la localidad de Suarez Cauca utilizan en promedio 4 onzas de mercurio para cada barril aproximadamente a 112 gramos, dado el caso se replantó y se asumió otra proporción en la cual surgió la intuición de multiplicar la cantidad de bórax a criterios propios, ya que no se cuenta con una referencia metodológica exacta que permita un seguimiento. Por tal razón se planteó la siguiente relación (100 gramos bórax por cada 28 gramos de mercurio).

$$R = 28 \text{ g (Hg)} * 100 \text{ g (Borax)}$$

Dónde:

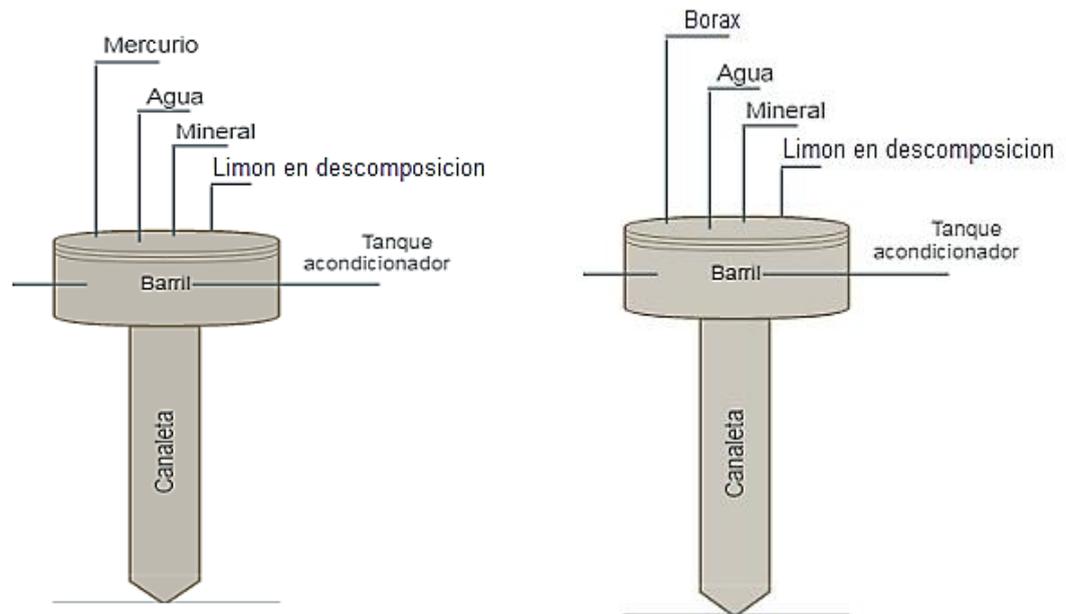
R= relación

Sin embargo; dado lo hallado en campo surgió la necesidad de operar en un tercer entable (La Turbina) en el cual se empleó de manera simultánea una mezcla mercurio-bórax, para el mismo barril de molienda a disposición.

3.2.5 Segunda molienda del mineral

Transcurrida las tres horas de la primera molienda, es detenido el proceso para la adición de limón en descomposición, mercurio y borato de sodio en los diferentes barriles por separado como se ilustra en la en la figura 5.

Figura 5. Esquemas de barril de molienda por separado (segunda molienda)



Fuente. Pedro Ernesto: Corporación Autónoma Regional Del Cauca, 2007.

Editado

Adición de limón en descomposición

Culminada las tres horas de la primera molienda se hace uso de limón en descomposición (ver imagen 5), el cual se agregó en primera instancia después de haber destapado los barriles o tambores de molienda. Esta sustancia se utiliza a consideración del propietario como coadyuvante en el proceso con la finalidad de servir a manera de desengrasante y limpiador del metal. Es necesario recalcar que el mineral adquiere grasa industrial que proviene de la lubricación de herramientas utilizadas en los diferentes procesos como el martillo hidráulico utilizado para la extracción del mineral.

Imagen 5. Adición de limón en un alto grado de descomposición



Fuente. Elaboración propia

Adición del mercurio y bórax

Se procedió a la adición del mercurio, del mismo modo se adiciono el borato de sodio a sus respectivos tambores, manejando la relación de 100 g bórax por cada 28 gramos de mercurio, posteriormente se taparon muy bien, prolongando un tiempo de molienda de una hora. (Ver imagen 6)

Imagen 6. Adición de bórax



Fuente. Elaboracion propia

3.2.6 Descargue y deslodamiento

Concluida las horas de molienda se seleccionaron aquellos barriles que en su interior contenían mercurio, posteriormente se descargaron en tinas o poncheras de material plástico con la finalidad de precipitar el oro libre, donde las partículas suspendidas de mercurio forman una aleación denominada amalgama (aleación de oro y mercurio). Cabe señalar que para cada barril se emplearon entre dos y tres poncheras para la descarga (ver imagen 7), a las cuales se les adicionó agua suficiente y mediante movimientos circulares se retiró el material flotante como arcilla y arena.

Imagen 7. Descargue, deslodamiento y retorta del mineral culminada la segunda molienda



Fuente. Elaboracion propia

El mismo método de lavado se realizó en aquellos barriles que contenían la dosis de borato de sodio. Por consiguiente, una vez separado el material arcilloso y de verter el agua residual a los canales, se forma una retorta o solución rica en la parte inferior de la ponchera, este precipitado es llevado a un tipo de instrumento artesanal denominado batea, la cual es utilizada para obtener oro de manera gravitacional. (Ver imagen 8)

Imagen 8. Lavado en la batea



Fuente. Elaboracion propia

Nota de consideración: En contraste con lo anterior se señala la contaminación de los tambores de molienda y otras herramientas con presencia de mercurio de tal forma que influyen en los resultados referentes a los tambores asignados para el uso del bórax, alterando claramente la recuperación de oro de parte de este insumo. Hay que resaltar además que por más que se hizo limpieza e implementación de tambores nuevos los resultados fueron alterados por presencia de mercurio. En vista a lo anterior surgió la necesidad de trabajar en un tercer entable, utilizando una mezcla heterogénea de mercurio más bórax, con el fin de conocer su variación con respecto a los demás ensayos realizados simultáneamente.

3.2.7 Amalgamación

Está claro decir que la amalgamación es la unión entre oro y el mercurio, por lo tanto es necesario separar ambos metales para la obtención del oro presente. Dado el caso, esta amalgama fue sometida a un tipo de filtración manual donde se empleó tela como material filtrante con la finalidad de conseguir el oro con una presencia mínima de mercurio. Este proceso se realizó a los barriles que

poseían mercurio como recuperador de oro, de igual forma a los barriles trabajados con borato de sodio.

Imagen 9. Amalgama oro - mercurio



Fuente. Elaboración propia

3.2.8 Obtención de oro

Para la obtención del oro, la amalgama fue llevada a fundición donde se sometió a altas temperaturas entre los 2000 y 3000 °C con el fin de liberar el oro adherido al resto del mercurio en la amalgama, este proceso se realizó al aire libre en un periodo de tiempo aproximado de cinco minutos como se muestra en la imagen 10.

Imagen 10. Fundición de la amalgama



Fuente. Elaboración propia

3.2.9 Tabulación de datos estadísticos

Terminado este proceso se efectuaron diferentes análisis teniendo como base la estadística descriptiva logrando cuantificar y cualificar la eficiencia del sustituto en los entables asignados por la cooperativa minera. También se realizaron análisis de costo con la finalidad de tener otro criterio con el cual evaluar la eficiencia de los reactivos partiendo a raíz desde un resultado que aparentemente demuestra viabilidad.

3.3 Realizar capacitación a la comunidad minera y entidades públicas del municipio de Suarez Cauca de los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación

Se realizó una socialización a la comunidad minera y funcionarios de la alcaldía municipal, de los resultados obtenidos en la investigación una vez concluido el estudio del comportamiento del borato de sodio como sustituto del mercurio en la actividad minera. Buscando fortalecer el compromiso ambiental y lo importante de tener un ambiente libre de contaminantes los cuales han afectado el patrimonio ambiental, y la salud humana de los habitantes del municipio. Por tal motivo es de vital importancia la implementación de alternativas amigables con el medio ambiente o métodos tecnificados que permitan eliminar el uso de mercurio.

4 RESULTADOS

4.1 Identificación de las plantas de beneficio o entables en los que se emplee mercurio como insumo para la recuperación de oro.

Es importante mencionar que para el desarrollo del proyecto de investigación se realizaron reuniones con los propietarios de los entables como se muestra en la imagen 11, pertenecientes a la cooperativa de minero, entidad encargada de los asuntos mineros del municipio, buscando establecer medidas de cooperación para el desarrollo de actividades de carácter investigativas, con el propósito de adquirir alternativas que contribuyan al mejoramiento de la calidad ambiental del municipio.

Imagen 11. Socialización del proyecto



Estos entables presentan una localización geográfica determinada como se denota en el siguiente mapa.

Mapa 2. Localización geográfica de los entables en la localidad de Suarez Cauca



Tabla 4. Entables mineros seleccionados

No	Nombre de la mina	Propietario	Situación legal	Coordenadas		
				Norte (m)	Este (m)	Zona
1	Tamboral	Ronald Villegas	Adscrito a la cooperativa de mineros	814296.46	1038592.24	18
2	Maravelez	Hugo Guerrero	Adscrito a la cooperativa de mineros	814007.81	1038857.94	18
3	La turbina	Cuco Iván	Adscrito a la cooperativa de mineros	815472.85	1038276.87	18

La tabla 4 contiene la localización de los entables mineros sujetos a estudios, también se puede corroborar que los entables están adscritos a la cooperativa de mineros de Suarez quien agrupa a la mayor parte de mineros de la región, y realiza la intermediación de herramientas necesarias para hacer minería (explosivos). Esta agrupación ha venido trabajando para lograr adquirir un soporte, decreto, o resolución por parte de la Agencia Nacional Minera (ANM), el ANLA u otra entidad, que autorice la minería de hecho en la región y no se califique como minería ilegal; dado que el Decreto 0933 de 2013 por el cual se dictaban las disposiciones en materia de formalización de minería tradicional, en la actualidad se encuentra inasequible.

Tabla 5. Descripción general de los entable

Entables	Numero de barriles	Ingreso de gramos de mercurio por barril	Mineral en cada barril (kg)	Días de funcionamiento al máximo		
				Semana	Mes	año
Tamboral	18	112	40 – 50	1	4	48
Maravelez	8	140	40 – 50	1	4	48
La Turbina	7	112	40 – 50	1	4	48

De acuerdo a la tabla 5 se plantea información descriptiva relacionada a la parte productiva de los entables. Generalmente los entable funcionan continuamente durante el año, considerando el día sábado como los días de mayor trituración de material y molienda al máximo para el beneficio del oro, se puede evidenciar que la cantidad de mercurio a utilizar para cada tambor de molienda o coco amalgamador varía según la perspectiva del minero, esto también depende del tenor de mineral (Porcentaje neto de mineral económicamente recuperable de una mena) es decir:

A mejor mineral > cantidad de oro > recuperación

En el proceso de amalgamación los mineros utilizan un promedio de 4 onzas de mercurio por cada barril, lo que indica un uso aproximado de 112 gramos de mercurio por cada 40 kilogramos de mineral. Si proyectamos estos valores teniendo en cuenta la cantidad de tambores por cada entable minero, obtendríamos los siguientes resultados establecidos en la tabla 6.

Tabla 6. Ingreso anual de gramos de mercurio

Entables	Cantidad de barriles por entables	Ingreso de gramos de mercurio por barril	Días de funcionamiento al máximo por entable			Ingreso de gramos de mercurio al máximo por entable			kilogramos
			Semanal	Mes	año	Semanal	Mes	Año	
Tamboral	18	112	1	4	48	2016	8064	96768	96,768
Maravelez	8	140	1	4	48	1120	4480	53760	53,760
La turbina	7	112	1	4	48	784	3136	37632	37,632
Total	33					3920	15680	188160	188,160

Calculada algunas proyecciones es evidente la problemática que incide en esta región por el uso excesivo del mercurio, cabe resaltar que Suarez cuenta con más 60 plantas de beneficio, deduciendo que al año superan las 3 toneladas de mercurio, cifra altamente considerable y de tener en cuenta. En vista de lo anterior, radica la importancia de buscar alternativas para la erradicación del mercurio de tal forma que no presente efectos adversos a la salud como al medio ambiente.

4.1.1 Situación encontrada de los entables

A continuación se muestran las características o aspectos ambientales que presentan los diferentes entables en su proceso de recuperación minera lo cual varían dependiendo al diseño y el tamaño de cada planta de beneficio, es decir que estos aspectos determinan si el sitio estudiado cumple o no cumple con parámetros de control y uso eficiente de los recursos suelo y agua, manejo de residuos mineros, y el estado actual de la seguridad industrial en sus entables.

Tabla 7. Valoración ambiental de los entables

ACTIVIDAD	Entables		
	Maravelez	Tamboral	La Turbina
Permiso para la obtención del recurso hídrico en todo el proceso.	NO	NO	NO
Manejo de los residuos generados en la extracción de oro	NO	NO	NO
Disposición final de los lodos generados en el proceso de recuperación de oro	NO	NO	NO
Presencia de seguridad industrial en el entable, referente a la protección personal	NO	NO	NO

Dónde:

No = no cumple

Actualmente la minería aurífera debe cumplir con ciertas exigencias regulatorias y normativas, al mismo tiempo adaptarse a condiciones cambiantes, por ejemplo el Artículo 1° de la Ley 27651 del 2001 tiene por objeto introducir en la legislación minera un marco legal que permita una adecuada regulación de las actividades mineras desarrolladas por pequeños productores mineros y mineros artesanales, propendiendo a la formalización, promoción y desarrollo de las mismas.

No obstante las unidades de producción minera tanto de Maravelez Tamboral y La Turbina no cuentan con ningún permiso de concesión por parte de la Autoridad Ambiental, que permita la captación de los cuerpos de aguas

proveniente de las quebradas entre ellas la quebrada Paso Bobo. Este recurso es almacenado en un tanque de concreto que posee una capacidad de almacenamiento aproximadamente de 30 m³ para llevar acabo las actividades en el proceso de beneficio.

No cumplen con un manejo apropiado referente al almacenamiento de los lodos obtenidos mediante la sedimentación de material arenoso encontrado en el agua residual, por lo tanto en un perímetro de 10 metros asumen como sitio de descarga algún lugar determinado sin ningún tipo de pre-tratamiento, que garantice un control temporal y la no disminución de las zonas verdes. No obstante la disposición final que se le hace a este tipo de residuos no es el apropiado dado que se presentan impactos negativos sobre el suelo, flora y fauna.

El uso de los elementos de protección personal en la extracción de oro tales como guantes, vestimenta adecuada y gafas son de suma importancia en el momento de proteger al trabajador de los riesgos presentes en su área. Se evidencio la ausencia de los elementos de protección (ver imagen 12), siendo una falencia que debe ser corregida mas no ignorada por el riesgo que implica exponer la salud del minero, ya que ejercen uno de los oficios más peligrosos considerados según la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

Imagen 12. Adición del mercurio y bórax en ausencia de los elemento de protección



4.1.2 Matriz de aspectos e impactos ambientales

Para contribuir a un desarrollo sostenible, equilibrado y compatible con la conservación del medio natural, es preciso aplicar herramientas que contribuyan a la gestión ambiental, aplicando principios de prevención de los deterioros causados al ambiente siendo la evaluación del impacto ambiental un instrumento que permite determinar estas alteraciones para su gestión posterior. Por lo tanto para la identificación de los impactos ambientales ocasionados por la actividad minera establecida en el municipio de Suarez Cauca, a partir de los entables Tamboral Maravelez y La Turbina, se tuvieron en cuenta cada una de las etapas comprendidas en el desarrollo de la extracción de oro; de igual forma se consideraron las actividades que conllevan a el beneficio del preciado metal y los recursos naturales de mayor índice de afectación.

Tabla 8. Matriz de impactos ambientales ocasionados por la actividad minera en los entables de Suarez Cauca.

ETAPAS	ACTIVIDAD	REGULARIDAD	ASPECTO	IMPACTO	PERSONAS EXPUESTAS
Adecuación del terreno	Descapote y movimiento de tierra	Poco frecuente	Pérdida de la cobertura vegetal	Cambio en las propiedades físicas del suelo	–
				Degradación de la fauna y flora propia del suelo	–
				Alteración de la calidad visual del paisaje	–
	Construcción de vías de acceso	Poco frecuente	Pérdida de la cobertura vegetal	Migración de especies	–
	Construcción del entable	Poco frecuente	Remoción del suelo	Pérdida de la diversidad biológica del suelo	–
Extracción del material	Frecuente	Remoción del subsuelo	Pérdida de hábitat apropiadas para la micro flora y fauna subterránea	–	
			Cambio en la dinámica de las corrientes hídricas subterráneas	–	
		Generación de Residuos Sólidos (escombros)	Contaminación de suelo perdida vegetal	–	

Proceso para el beneficio del oro	Transporte del material	Frecuente	Generación de material particulado	Contaminación atmosférica	Mineros y población
	Trituración	Frecuente	Generación de ruido	Contaminación auditiva	Mineros y comunidad aledaña
	Molienda	Frecuente	Generación de ruido	Contaminación auditiva	Mineros y comunidad aledaña
			Generación de agua residual (con mercurio)	Contaminación de fuentes hídricas	Mineros y población
	Amalgamación	Frecuente	Generación de vapores por mercurio	Contaminación atmosférica	Mineros y población
		Frecuente	Generación de agua residual (con mercurio)	Contaminación de fuentes hídricas y suelo	Mineros y población
		Frecuente	Generación de material estéril	Contaminación del suelo y fuentes hídricas	Mineros y población
	Fundición	Frecuente	Generación de vapores por mercurio	Contaminación atmosférica	Mineros y población
Disposición de residuos mineros	Disposición de lodos	Frecuente	Almacenamiento en áreas del predio minero	Contaminación de suelo y fuentes hídricas	Mineros y comunidad aledaña

En la matriz elaborada se puede observar que los principales impactos ocasionados por la actividad minera al ambiente radican en los recursos naturales agua y suelo. El uso de mercurio para la amalgamación y el vertimiento directo de estas aguas industriales a las fuentes superficiales sin previo tratamiento alteran las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del agua, inclusive permitiendo la bioacumulación de este metal pesado en la fauna acuática. Por otro lado se generan afectaciones al recurso suelo, debido a que esta intervención antrópica permite la pérdida de la cobertura vegetal induciendo a procesos erosivos y de igual manera a la pérdida de especies endémicas de la zona, alterando el ciclo biológico. No obstante los recursos naturales referente a flora fauna y aire se presentan en un menor índice de afectación teniendo en cuenta que despliegan el mismo índice de importancia, como es el caso de la contaminación atmosférica por parte de la generación de vapores en la etapa de fundición y amalgamación; liberando gran parte de mercurio residual al ambiente, ocasionando la alteración de sus propiedades, además de ser perjudicial a la salud del pequeño minero que desarrolle esta actividad y población en general ya que el mercurio tiende a ser volátil y bioacumulable en los tejidos.

Al realizar la matriz no solamente es para destacar los impactos negativos en el ambiente, de lo contrario se pueden resaltar aquellos impactos positivos que la misma actividad genera, dado el caso la generación de empleo es una de ellas ya que permite un aporte de economía al pequeño minero para la canasta familiar.

4.2 Análisis de los datos de manera cualitativa y cuantitativamente a partir de ensayos preliminares para determinar el comportamiento de los reactivos.

4.2.1 Tabulación de los resultados obtenidos en los diferentes entables

A continuación se mostraran los resultados obtenidos en el estudio, recapitulando los diferentes procesos realizados para determinar el comportamiento de los reactivos, mercurio bórax en cumplimiento con los objetivos planteados.

Tabla 9. Tabulación de datos cuantitativos a partir de ensayos realizados en el entable Tamboral y Maravelez

Entables	Muestras						Gramos de oro obtenidos					
	Mercurio			Bórax			Mercurio			Bórax		
	Gramos Hg			Gramos bórax								
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Tamboral	56	56	28	200	200	100	1,0	0,6	0,5	1,3	0,8	0,2
Maravelez	112	112	112	200	200	200	2,4	1,6	2,8	1,0	1,1	1,1

Tabla 10. Tabulación de datos cuantitativos a partir de ensayos realizados en el entable la turbina

Entable	Muestras					Gramos oro obtenidos			
	Mercurio		Mezcla mercurio- bórax			Mercurio		Mercurio - bórax	
	Gramos Hg		Gramos Hg		Gramos bórax				
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	
La Turbina	56	56	28	200	100	0,1	0,6	0,4	

Dónde: E1 = Ensayo 1 E2 = Ensayo 2 E3 = Ensayo 3

De acuerdo a la serie datos obtenidos en la tabla 9 y 10 es necesario recalcar que el mineral utilizado para cada unidad minera presentaba aspectos diferentes, ya que independientemente cuentan con distintos lugares para la extracción del mineral. En cambio los ensayos llevados a cabo para cada

entable, si presentaban las mismas características por ser del mismo sitio de extracción por efecto se consideró esta razón como una de las que podría haber influido en los valores obtenidos, los cuales oscilan entre 0,1 gramo a 2,8 gramos de oro. Consiguientemente se especifica que en el tercer ensayo del entable Tamboral se trabajó utilizando dos barriles de molienda a causa de que el mineral dispuesto no superaba los 20 kilogramos, a raíz de esto se decidió trabajar empleando 28 gramos de mercurio en un barril y 100 gramos de bórax en otro barril.

Para el entable Maravelez es importante mencionar que los ensayos preliminares realizados fueron adoptados como muestras contraste no comparativas con la finalidad de afianzar si la relación; 28 gramos de Mercurio por 100 gramos de Bórax establecida en la metodología es más óptima de emplear tanto en términos de producción minera como en términos ambientales. Por lo tanto para estos tres ensayos se trabajó con una cantidad de bórax diferente, en busca de conocer su comportamiento empleando menores dosis; avanzando en nuestro razonamiento se manejó una proporción de 50 gramos de bórax por 28 gramos de mercurio, teniendo un total de 112 gramos y 200 g por cada ensayo como se manifiesta en la tabla 9, Además se utilizaron mayores cantidades de mercurio en comparación a la cantidad utilizada en el entable Tamboral, debido a que el propietario afirmó que el mineral contiene suficiente oro, y menos de 140 gramos, aproximadamente 5 onzas de mercurio no atraparía la totalidad del oro presente en cada proceso de molienda. Se obtuvieron una serie de resultados desfavorables respecto al bórax en comparación a lo obtenido con mercurio; razón por la cual, esta relación no satisface en términos ambientales y en términos de producción minera a diferencia del reporte de datos obtenidos en el entable Tamboral.

Para tabla 10 se muestran aquellos resultados que se obtuvieron en una tercera planta de beneficio anexada en efecto al comportamiento de los resultados obtenidos en los otros dos entables referente a los ensayos que contenían borato de sodio como recuperador. Dicho lo anterior los ensayos

para este entable fueron realizados de igual manera que el entable Maravelez y entable Tamboral con la diferencia que para estos ensayos se utilizó bórax y mercurio de manera simultánea (mezcla) en el mismo barril de molienda manteniendo la proporción metodológica (100 gramos de bórax por cada 28 gramos de mercurio). Además se tuvo en cuenta un ensayo por separado en el cual se implementó mercurio como recuperador de oro; con la finalidad realizar comparaciones referentes a los otros dos ensayos.

Cabe resaltar que para estos ensayos se trabajó con un mineral el cual ya contaba con horas de molienda y recuperación de oro (lodos), por lo tanto se tuvieron en cuenta 3 barriles con una carga de 40 kilogramos de mineral; dos propuestos para la adicción de la mezcla mercurio-bórax, y 1 barril para la adicción de mercurio como punto comparativo. No obstante la razón por la cual no se llevaron otros ensayos al igual que Tamboral y Maravelez, fue por la falta de mineral en un estado de pre-molienda como se muestra en la imagen 13.

Imagen 13. Mineral triturado para ser llevado a molienda

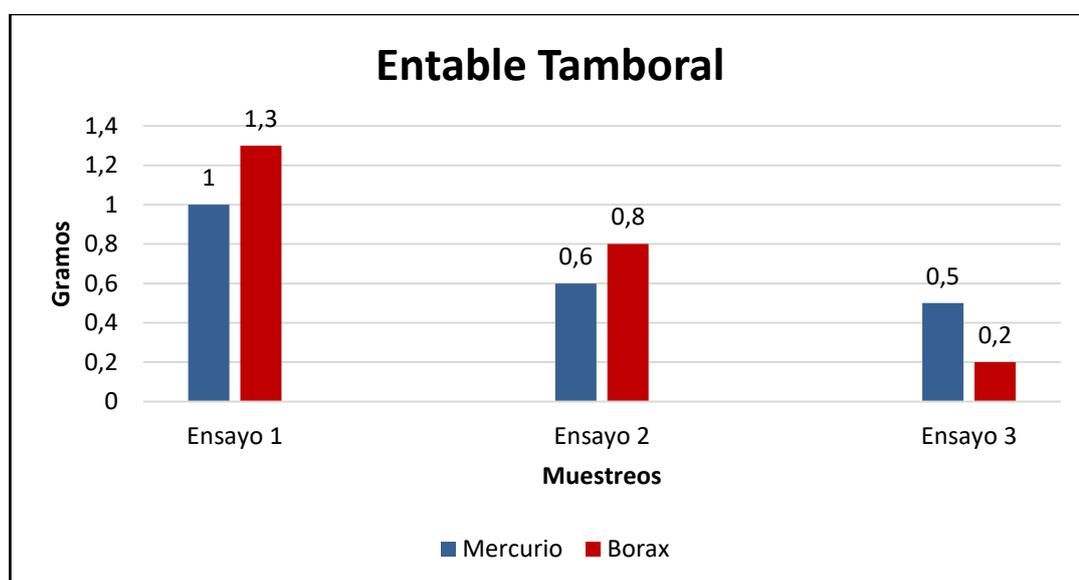


En concordancia a los objetivos planteados se graficaron los datos de obtención de oro de las diferentes unidades mineras para dar un mejor análisis del porque los resultados.

4.2.2 Análisis

En este ítems se encuentran graficados los resultados de los ensayos preliminares, describiendo el comportamiento que presentaron los reactivos mercurio y bórax en el proceso de recuperación de oro de los entables asociados a la cooperativa minera de Suarez.

Grafica 1. Gramos de oro recuperados con los reactivos mercurio vs bórax en el entable Tamboral



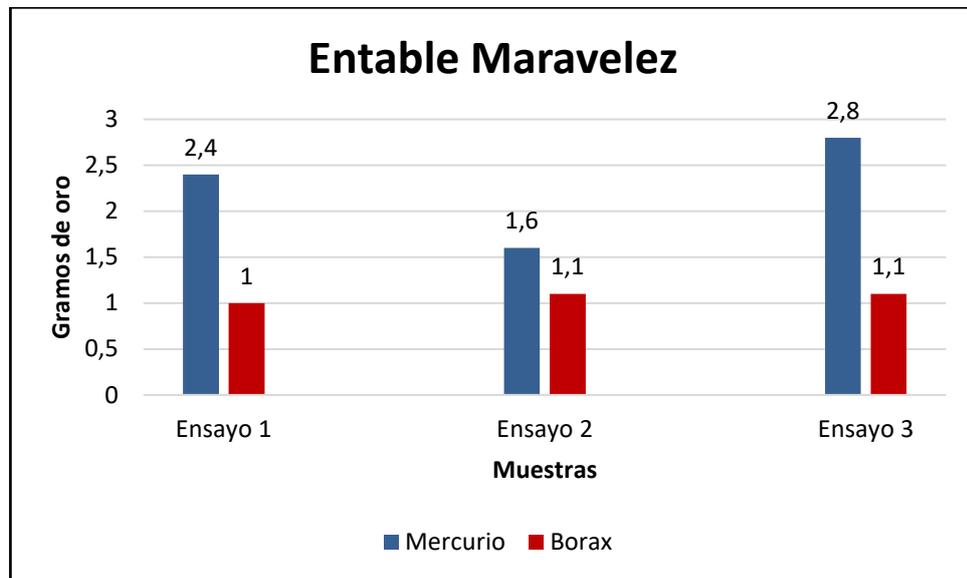
Las fuentes naturales de incorporación de mercurio a la atmósfera son las erupciones volcánicas, la liberación desde depósitos naturales y la volatilización desde los océanos, lo podemos encontrar en estado gaseosa como (dimetilmercurio), en estado líquido (mercurio elemental). Al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, por tal razón el mercurio aparece como cinabrio en los suelos mineralizados [28]. El mercurio como ya se dijo no es un insumo biodegradable causando peligro para flora y fauna. Es un líquido corrosivo que reacciona violentamente con los cuerpos de agua. Altamente tóxico y parcialmente inquietante porque puede bioacumularse en muchos peces comestibles de agua dulce y agua salada, así como en mamíferos marinos, en concentraciones miles de veces mayores que las de las aguas adyacentes.

Por el contrario el bórax se biodegrada naturalmente es un producto el cual no presenta bioacumulación, según la EPA (Agencia de Protección Ambiental), el bórax no es tóxico para las aves y peces, pero es muy perjudicial para los seres humanos y puede conducir a la irritación de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. También puede dar lugar a efectos negativos para la salud en el sistema nervioso central, tracto gastrointestinal, el hígado y los riñones cuando se ingiere o se inhala directamente. El bórax es soluble en agua y lixivia normalmente en el suelo según la ficha técnica. Por lo tanto no representa ningún tipo de riesgo en la salud humana recordando que se implementó una cantidad no mayor a 200 gramos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la gráfica 1 ilustra los datos de concentración de oro con respecto a la planta de beneficio Tamboral. Al parecer la recuperación de oro con bórax presento mejor eficiencia que el mercurio, cabe recordar que los ensayos realizados con borato de sodio tuvieron índices de contaminación en presencia de mercurio. Se puede decir que el bórax, en presencia de mercurio se manifiesta con mayor eficiencia para dicho entable.

Según estudios realizados de *Producción más limpia en la minería para los distritos mineros del Cauca en asistencia de la CRC* [39], mencionan que aunque de manera más rápida la adición del mercurio logra juntar las partículas de oro por amalgama, en ningún momento se aumenta la recuperación de este, ya que la presencia de minerales como plomo, carbono, arsénico y cobre, crean una apariencia o camuflaje sobre el mercurio, evitando que este se amalgame directamente con el oro, indicando que el proceso de amalgamación es inviable para mejorar la recuperación aurífera en el distrito de Suarez. Sin embargo las pérdidas por mercurio si contribuyen significativamente a la contaminación del medio, riesgo ambiental, la salud de los mineros y población en general. Ya que unas de las vías de exposición pueden ser a través de los alimentos los cuales son una fuente principal transportadora de mercurio.

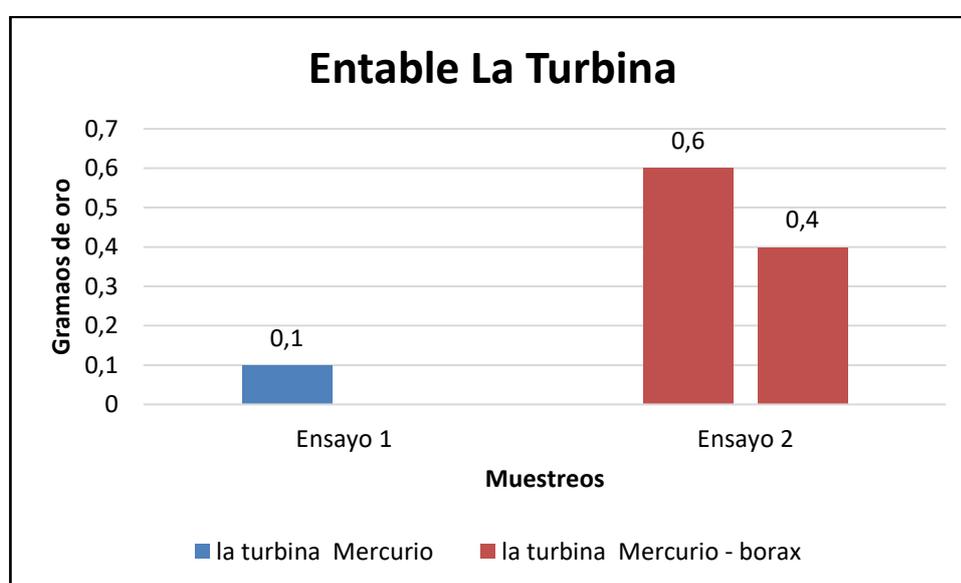
Grafica 2. Gramos de oro recuperados con los reactivos mercurio vs bórax en el entable Maravelez.



Conforme a la gráfica 2, las partículas de oro varían su tamaño dependiendo el sitio donde se encuentra la roca para ser desprendidas y ser utilizadas en la recuperación de metal. En la zona de Maravelez el mineral contiene granos de oro con partículas que oscilan entre 50 y 100 micra (μm) esto corresponden a ser intervalos con una longitud de gran tamaño [39], por lo tanto el minero tiende a utilizar mayor proporción de mercurio en el proceso de molienda. Las partículas de oro de mayor diámetro logran amalgamarse de manera más fácil ya que pueden atravesar la pared del mercurio logrando una mejor recuperación a diferencia de las de menor tamaño. Acorde con lo anterior el entable Maravelez según parece presentar mayor promedio de recuperación de oro tanto para mercurio como para bórax. Sin embargo, los pequeños mineros en general no conocen la granulometría de los minerales que procesan, lo cual introduce a errores en la molienda que se traducen en mayores consumos de energía, en pérdidas de oro, en aumento en consumos de reactivos, en el incremento de los tiempos de proceso y en mayores emisiones y liberaciones de mercurio, al estimar estas concentraciones se considera que los trabajadores y comunidad cercana se encuentran expuesta a muchos factores de contaminación que pueden repercutir sobre la salud y causar afectaciones en el medio ambiente.

No obstante en Maravelez el bórax presentó un desfavorecimiento debido a la separación de las impurezas en el proceso de deslodamiento o lavado del mineral utilizando movimientos circulares, de tal forma que partículas de oro libre son arrastradas por la corriente de agua al verter el agua residual a los canales de lodos, pudiendo ser un factor influyente en la poca eficiencia que presentó el borato de sodio como recuperador de oro.

Grafica 3. Gramos de oro recuperados con los reactivos mercurio vs mezcla (mercurio-bórax) en el entable La Turbina



La utilización de mezcla (mercurio - bórax) en la recuperación de oro lanzaron valores muy considerables en cuanto a la obtención de partículas de oro segregadas en el mineral. Por lo tanto mediante los dos ensayos preliminares realizados se obtuvo un promedio de manera porcentual partiendo de un reporte de datos de 0,6 gramos de oro para el cual se utilizaron 56 gramos de mercurio más bórax; y 0,4 gramos de oro cuando se utilizó 28 gramos de mercurio más bórax, al parecer y según los resultados ilustrados en la gráfica 3, al mezclar de manera simultánea mercurio-bórax se puede reducir en un 40% la dosis de mercurio empleada por los mineros de la región; aclarando que no es posible asegurar lo anterior por la falta de ensayos y estudios sobre esta investigación.

Si un minero utiliza en promedio 112 gramos de mercurio por cada barril o tambor de molienda, utilizando bórax-mercurio de manera simultánea aparentemente reduciríamos el consumo en un 40% equivalente a 44,8 gramos de mercurio por cada barril, siendo una disminución muy significativa, que podría dejar de provocar efectos perjudiciales en los cuerpos de agua y suelos de los entornos mineros. Esta reducción es un factor relevante en la parte económica del minero, teniendo en cuenta el precio de la onza de mercurio en el mercado que oscila entre los 17000 mil pesos (onza) mientras que el bórax se encuentra en un valor de 5500 pesos el kilogramos, equivalente a 1000 gramos de los cuales se emplean 100 gramos por cada onza de mercurio (28 gramos) utilizada en el proceso de molienda.

A continuación se presenta un análisis de costo proyectado a un año (48 semanas) de la mina Tamboral Maravelez y La Turbina teniendo en cuenta una reducción de un 40% de los gramos de mercurio para cada barril en un periodo de funcionamiento de 1 día como punto máximo por semana que ostensiblemente según los datos y ensayos preliminares en La Turbina sería lo que se reduciría.

Tabla 11. Ingreso anual de gramos de mercurio en las unidades mineras

Entables	Numero de tambores	Ingresos de gramos Hg por barril		Ingreso de gramos Hg al máximo por semana		Días de funcionamiento al máximo	Ingresos gramos de Hg anual	
		Normal	Menos un 40%	Normal	Menos un 40%	Anual	Normal	Menos un 40%
Tamboral	18	112	67,2	2016	1209,6	48	96768	58060,8
Maravelez	8	140	84	1120	672	48	53760	32256
Turbina	7	112	67,2	784	470,4	48	37632	13171,2
Total	33						188160	112896

$$100 \% = 188160$$

$$60 \% = 112896$$

$$\textit{Gramos de Hg suprimidas} = 188160 - 112896$$

$$\textit{Gramos de Hg suprimidas} = 75264 \textit{ gramos de Hg}$$

De acuerdo a la tabla 11 posiblemente se podría tener una reducción total de 75264 gramos de mercurio, aproximadamente a 2688 onzas de Hg. Cifra considerable para la parte ambiental, ya que serían 2688 onzas de mercurio que no se expondrían a las activadas antrópicas como lo es la minería artesanal a pequeña y mediana escala. De igual modo reducir el uso de mercurio podría generar grandes beneficios en la comunidad minera, en términos de valores económicos, el mercurio es un producto con altos costos en el mercado, y durante el beneficio de oro se generan pérdidas significativas que de tal forma incrementan los gastos totales del pequeño o mediano minero que a su vez se ven reflejados en la canasta familiar y el desarrollo sectorial. Por lo tanto se proyectó que tanto gastaría un minero al año utilizando mercurio como recuperador de oro para el entable Tamboral por poseer mayor número de barriles amalgamadores y que tanto gastaría implementando la relación de 28 gramos de mercurio por cada 100 gramos bórax, recordando que aparentemente podría reducir un 40% al promedio que utilizan los mineros de la región.

Tabla 12. Pérdidas y recuperación de gramos de mercurio en ensayos con mercurio

Entable Tamboral	Valor unitario de 28 gramos Hg (\$)	Nº barriles	Ingreso de gramos Hg por barril	Ingreso de gramos de Hg al año	30% de pérdidas de mercurio	Gramos de mercurio recuperado
Ensayo con Hg	17000	18	112	96768	29086,4	67737,6

Tabla 13. Pérdidas y recuperación de gramos de mercurio en ensayo (mercurio- bórax)

Entable Tamboral	Valor unitario de insumos (\$)		N° barriles	Ingresos de insumos por barril		ingreso de los insumos al año		30% de pérdidas de mercurio	Gramos de Hg recuperado
	1 onza de Hg	1 kg de bórax		Hg menos un 40%	Bórax (g)	Mercurio (g)	bórax (g)		
Ensayo Mezcla bórax-Hg	17000	5500	18	67,2	240	58060,8	207360	17418,24	40642,56

Sabiendo que 1 onza de mercurio equivale aproximadamente a 28 gramos, y que 1 kilogramos de bórax equivale a 1000 gramos, se efectuaron los siguientes datos ya que en el mercado encontramos ambos reactivos por dichas unidades.

Ensayo con Hg

$$\text{Gasto anual de Onzas de Hg} = 3456 \text{ Oz Hg} * 17000 \$$$

$$\text{Gasto anual de Onzas de Hg} = 58,752,000 \$ \text{ MILLONES}$$

Ensayo mezcla (bórax- mercurio)

$$\text{Gasto anual de Onzas de Hg} = 2073,6 \text{ Oz Hg} * 17000 \$$$

$$\text{Gasto anual de Onzas de Hg} = 35,251,200 \$ \text{ MILLONES}$$

$$\text{Gasto anual de Kg de Borax} = 207,36 \text{ Kg Borax} * 5500 \$$$

$$\text{Gasto anual de Kg de Borax} = 1,140,480 \$ \text{ MILLONES}$$

$$\text{Ensayo (Borax – Mercucurio)} = 35,251,200 \$ + 1,140,480 \$$$

$$\text{Gasto anual ensayo (Borax – Mercucurio)} = 36,391,680 \$ \text{ MILLONES}$$

Diferencia de costos

$$\text{diferencia} = 58,752,000 \$ - 36391,680 \$$$

$$\text{diferencia} = 22,360,320 \$ \text{ MILLONES}$$

Llegado a este punto la diferencia que podría darse entre ambos procesos por la parte económica sería relevante, de tal manera que si el minero del municipio de Suarez tecnificara el uso del borato de sodio e hicieran uso de otras disposiciones como métodos tecnológicos en la extracción minera estarían cumpliendo con lo estipulado en la ley 1658 de 2013 por medio de la cual se establecen las disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, fijando requisitos e incentivos para su reducción y eliminación.

El mercurio es un elemento residual de difícil biodegradabilidad debido a sus propiedades fisicoquímicas y capacidad de bioacumularse en medios acuáticos, no obstante los procesos que se llevan a cabo en las plantas de beneficio generan pérdidas significativas a causa del mal uso y poca recuperación del metal durante el lavado del mineral, perdidas por quema de Amalgama y volatilización de las cuales se ven expuestos el personal laboral y comunidad en general. Cabe resaltar que las pérdidas de mercurio producto del beneficio de oro, eventualmente tienden a estar en un rango del 20 - 40%, es decir que el 60 y 80% es recuperado para ser reutilizado. A causa de lo anterior es evidente que existe una alteración en los valores de gastos ya que su proyección se encuentra plasmada para un año.

4.3 Realización de capacitación a la comunidad minera y entidades públicas del municipio de Suarez Cauca de los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación.

Terminados los resultados con sus respectivos análisis, estos fueron socializados a la comunidad minera mediante charlas participativas, haciendo uso de equipos audiovisuales como apoyo grafico para una presentación mucho más detallada, con la finalidad de dar a conocer el comportamiento del borato de sodio como alternativa para sustituir el mercurio, además de brindar capacitación (ver imagen 14) sobre temas como la extracción minera y sus métodos, mejoramiento de los procesos de recuperación en el beneficio del

oro, y programas de producción más limpia, con el objeto de motivar al minero para que de manera voluntaria cumpla los requisitos ambientales mediante estos procesos de asistencia técnica en ayuda de la cooperativa minera de Suarez Cauca y personal capacitado.

Imagen 14. Capacitación a la comunidad minera



Una vez socializadas las partes del proyecto la comunidad minera tuvo un espacio donde pudieron expresar su opinión referente a los resultados del estudio, pronunciando el señor Gabriel Guaza presidente de la cooperativa minera de Suarez, que buscarán la manera de fortalecer este tipo de proyectos, expresando además un agradecimiento formal al grupo de trabajo por haber ejecutado este estudio en el municipio, el presidente también mostro diferentes métodos que no requieren mercurio para extraer oro y que se han implementado en algunos entables mineros, uno de estos métodos es el uso de mesas concentradoras que son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada donde se recupera el oro sin hacer ningún tipo de daño al medio ambiente, también agrego que muchos mineros aun hacen uso del molino de pisón lo cual es una técnica ancestral que extrae el oro gravimétricamente y no requiere de ningún componente químico (ver anexo 5), por ultimo manifestó su interés por erradicar el uso del mercurio y el apoyo a quienes promuevan en la zona alternativas para sustituir dicho metal.

5 CONCLUSIONES

Se logró conocer el comportamiento que presenta el bórax en la recuperación del oro, aparentemente este insumo no sustituye el mercurio en su totalidad debido a su baja eficiencia, cabe destacar que empleando el borato de sodio de manera simultánea con el mercurio se podría reducir aproximadamente un 40% de la dosis de mercurio empleada en el beneficio de oro.

Se concluyó, que el mercurio utilizado como recuperador de oro, es una técnica eficiente y muy usada por el pequeño y mediano minero. Sin embargo la peligrosidad que este insumo genera es evidente, Aun así, la contaminación por este insumo no es 100% culpa de la actividad minera, si no de la poca y baja tecnificación y control del proceso.

El borato de sodio al parecer puede ser utilizado de manera simultánea con el mercurio en el proceso de recuperación, garantizando la obtención de un poco más de oro, rentabilidad económica por el bajo precio del bórax en el mercado. Al disminuir el uso de mercurio en el proceso se reduciría el aporte de este metal al ecosistema y a la población.

El proceso de molienda y quema de amalgama, acarrearán las mayores pérdidas de mercurio en la producción de oro de la actividad minera aurífera contribuyendo a un elevado porcentaje de contaminación por presencia de mercurio frente a la comunidad minera en general, afectando directamente las principales vías de exposición expuestas a las emisiones del mercurio.

El análisis de eficiencia del bórax presentó un alto índice de contaminación por mercurio en diferentes ensayos realizados en los tres entables mineros, por consiguiente se observa que las herramientas de trabajo disponibles en las unidades de producción minera se encuentran altamente contaminadas y se hace necesario tomar medidas rápidas al respecto aún más teniendo en cuenta

que los mineros no hacen uso de ningún elemento de protección que los aislé del mercurio.

Los dueños de los entables mineros de la región presentan un gran interés por sustituir el mercurio con otro método recuperador de oro que les ofrezca rentabilidad económica y a su vez sea amigable con el ambiente, y no afecte la salud humana, siendo esta una de las metas propuestas por muchos mineros que buscan formalizar su minería para optar un permiso legal de explotación.

6 RECOMENDACIONES

Se recomienda que la comunidad de la industria minera adopte el presente documento que tiene como objeto, establecer prioridades y estrategias para disminuir el uso de mercurio en el procesamiento de minerales.

Se sugiere el uso del borato de sodio en los entables mineros como medida de disminución de la dosis de mercurio empleada por cada unidad de tambor.

Se aconseja sensibilizar a los mineros y comunidad en general, implementando estrategias educativas sobre la toxicidad y ciclo del mercurio, buscando la adopción de nuevos métodos que contribuyan al desarrollo de procesos sustentables.

Se invita realizar estudios más detallados sobre la eficiencia que presenta el borato de sodio utilizado de manera simultánea con el mercurio en el proceso de recuperación de oro ya que los estudios efectuados no son suficientes para testificar su comportamiento.

Otra alternativa a tener en cuenta es el uso de tecnologías amigables con el ambiente como es el caso de las concentraciones gravimétricas los cuales son métodos para separar partículas de diferente peso específico de mineral, por las diferencias en movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas simultáneamente la gravedad y/u otras fuerzas, como la hidráulica y de fricción. Es el método más sencillo y más económico referente a los métodos de concentración. Su aplicación se recomienda cuando sea practicable, porque permite la recuperación de minerales en tamaños tan gruesos como sea posible, reduciendo costos en trituración, molienda y concentración, y disminuyendo pérdidas en los finos que generalmente se forman en las operaciones de reducción de tamaños.

Por ultimo lado se recomienda la adecuación de los entables en la recuperación de oro incluyendo el porte de los instrumentos de seguridad personal para cada minero además de un sitio de que disponga con sus respectivas medidas, un buen manejo de los residuos generados en la planta de beneficio.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. G. Moncada, «Radiografía de la explotación minera artesanal e industrial ilegal y legal del oro en Colombia en los últimos 50 años», 2014.
- [2] R. E. Banda, «La Otra Cara Del Oro : La Minería Informal E Ilegal Un Problema Aún Por Resolver», Artículo, vol. 3, 2012.
- [3] F. A. Díaz-Arriaga, «Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano Mercury in ASGM and its impact on water resources used for domestic water supply», Rev. salud pública, vol. 16, n.º 6, pp. 947-957, 2014.
- [4] Santiago Español Cano, «Contaminación con mercurio por la actividad minera», Rev, Biomédica, vol. 32, n.º 3, pp. 309-11, oct. 2012.
- [5] A. B. y M. G. Fernando Trujillo, Carlos A. Lasso, María Claudia Diazgranados, Oriana Farina, Luis E. Pérez, «Evaluacion de La Contaminacion Por Mercurio en Peces de Interes Comercial», 2005. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/284557113/Evaluacion-de-La-Contaminacion-Por-Mercurio-en-Peces-de-Interes-Comercial>.
- [6] D. Limbong, J. Kumampung, J. Rimper, T. Arai, y N. Miyazaki, «Emissions and environmental implications of mercury from artisanal gold mining in North Sulawesi, Indonesia.», Sci. Total Environ., vol. 302, n.º 1-3, pp. 227-36, ene. 2003.
- [7] PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), «El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala», 2008.
- [8] Corporacion Autónoma Regional del Cauca, «Contaminación Por Mercurio Y Otros Cauca ” Apoyo a Proyectos De Producción Más Limpia En Minería Para Los Distritos Mineros Del Cauca ” Crc», Artículo, pp. 1-77, 2007.
- [9] H. A. Nevado JJB, Martín-Doimeadios RCR, Bernardo FJG, Moreno MJ, «Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: A review»,

- Environ. Int., vol. 36, n.º 6, pp. 593-608, ago. 2010.
- [10] P. W. U. Appel y L. Na-Oy, «The Borax Method of Gold Extraction for Small-Scale Miners», J. Heal. Pollut., vol. 2, n.º 3, pp. 5-10, jun. 2012.
- [11] Organización Internacional del Trabajo, Social and labour issues in small-scale mines. Informe para ser examinado en la Reunión tripartita sobre los problemas sociales y laborales en las explotaciones mineras pequeñas. OIT, 1999.
- [12] U. E. C. Waste, «Latin America and the Caribbean Mercury Storage Project - Inception Workshop | Chemicals and Waste», 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/global-mercury-partnership/mercury-supply-and-storage/meetings/events/latin-america-and-caribbean-0>.
- [13] J.-D. Park y W. Zheng, «Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury.», J. Prev. Med. Public Health, vol. 45, n.º 6, pp. 344-52, nov. 2012.
- [14] Alcaldía de Suárez - Cauca, «Nuestro Municipio, información general», 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.suarez-cauca.gov.co/informacion_general.shtml.
- [15] Corporación Autónoma Regional del Cauca, «Diagnóstico ambiental en el municipio de Suarez, área de influencia corregimientos de Mindala y la toma». [En línea]. Disponible en: http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/MINERIA_SUAREZ/DIAGNOSTICO_AMBIENTAL.pdf.
- [16] Imagomundi, «La extracción de oro: ¿maldición en Colombia o oportunidad en India?», Rev. Zero, 2014.
- [17] PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), «SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA», n.º Mc, 2012.
- [18] A. Walters, D. Santillo, y P. Johnhston, El tratamiento de textiles y sus repercusiones ambientales, vol. 8. 2005.
- [19] Ministerio de Minas y Energía de Colombia, «Glosario Minero», Minist. minería y energía, p. 168, 2015.

- [20] Ministerio de minas y energía., Así es la minería. Bogota: Colombia minera desarrollo responsable ministerio de minas y energía., 2009.
- [21] Programa de las naciones unidas para el medio Ambiente, «MODULO 3 El uso del minería del oro artesanal y en pequeña escala», p. 20, 2008.
- [22] S. E. Cano, «Contaminación con mercurio por la actividad minera», Biomédica, vol. 32, n.º 3, pp. 309-11, 17-oct-2012.
- [23] Aída Sofía Rivera Sotelo, Minería aurífera en el Bajo Cauca antioqueño, 32.^a ed. Rev. Zero, 2014.
- [24] G. Poveda Ramos, «La minería colonial y republicana | banrepcultural.org», Banco de la Republica Actividad Cultural, 2002. [En línea]. Disponible en: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/credencial/julio2002/lamineria.htm>.
- [25] V. Restrepo, «Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia», 1888. [En línea]. Disponible en: <https://archive.org/details/estudiosobrelas00unkngoog>.
- [26] L. F. Muñoz y L. F. Garcia, «Percepcion sobre daños a la salud y utilidad de medidas de proteccion de personas expuestas ocupacionalmente al mercurio en la mineria del oro», Articulo, vol. 9, n.º 1, pp. 53-61, 2011.
- [27] O. Juan Martín, Crowdfunding y oro en Colombia, 32.^a ed. Rev. Zero, 2011.
- [28] CRC Corporación Autónoma Regional del Cauca, «Aspecto minero en el municipio de Suarez, área de influencia corregimientos de Mindala y la Toma.» [En línea]. Disponible en: [http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/MINERIA SUAREZ/DIAGNOSTICO MINERO.pdf](http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/MINERIA_SUAREZ/DIAGNOSTICO_MINERO.pdf).
- [29] Ministerio de Minas y Energía - Colombia, «Política Nacional para la Formalización de la Minería en Colombia», p. 111, 2014.
- [30] PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), «Evaluación mundial sobre el mercurio», pp. 1-303, 2002.
- [31] G. F.-F. on H. and the Environment, «Mercurio», Cogeneris sprl. Des., 2016.

- [32] Fichas Internacionales de Seguridad Química, «Mercurio», 2001. [En línea]. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0056.pdf>.
- [33] A. L. D. Villarejo, «Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio», Artículo, pp. 933-959, 2004.
- [34] Godelia Canchari Silverio. Oswaldo Ortiz Sanchez, «SISTEMADE GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS (PILAS Y BATERIAS) EN LA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA, METALURGICA Y GEOGRAFICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS», Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas de la UNMSM, 1998.
- [35] S. Flórez, «Minería y Salud Pública: Una mirada desde la evidencia», p. 51, 2012.
- [36] Pontificia Universidad Javeriana Cali, «Ficha de datos de seguridad. Mercurio metálico». [En línea]. Disponible en: [http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/Mercurio metálico.pdf](http://portales.puj.edu.co/doc-quimica/fds-labqca-dianahermith/Mercurio%20metálico.pdf).
- [37] Ecured conocimientos con todos y para todos, «Bórax». [En línea]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Bórax>.
- [38] S. A. Oxiquim, «Hoja de datos de seguridad de productos. Borato de Sodio», pp. 1-6, 2007.
- [39] P. Africano, «Apoyo a proyectos de producción más limpia en minería para los distritos mineros del Cauca», 2006.

8 ANEXOS

Anexo 1. Capacitación



Fotografía No.1

Capacitación sobre temas de la minería aurífera

Anexo 2. Registro fotográfico entable Tamboral.



Fotografías No. 2

Bocamina entable Tamboral.



Fotografías No. 3
Extracción del mineral



Fotografías No. 4
Trituradora de quijada (trituration del mineral)



Fotografías No. 5

Adición de agua a los barriles de molienda



Fotografías No. 6

Adición del mineral a o los tambores de molienda



Fotografías No. 7

Adición de la dosis dispuesta de mercurio en los tambores de molienda



Fotografías No. 8

Descargue después de un tiempo determinado de molienda.



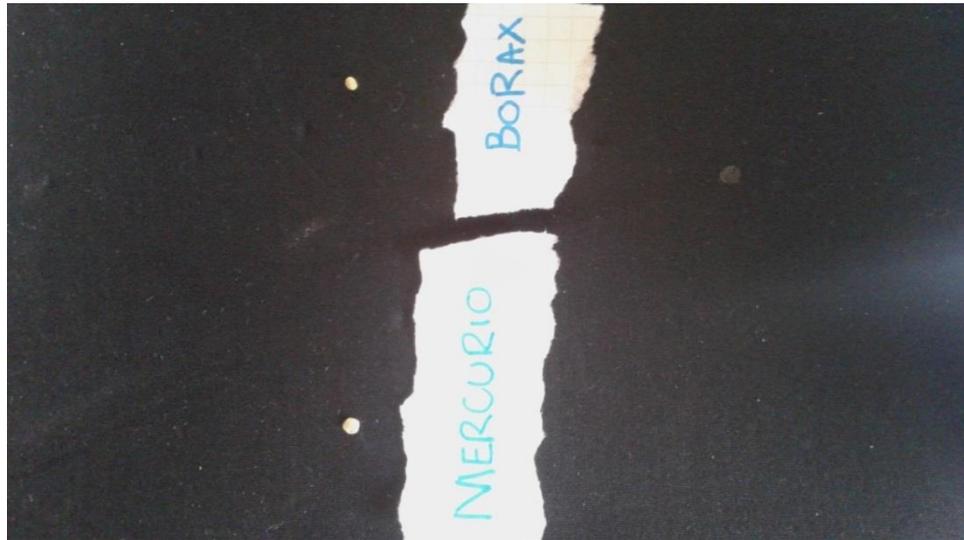
Fotografías No. 9

Lavado del mineral en la batea



Fotografías No. 10

Quema de amalgama (oro y mercurio)



Fotografías No. 11

Obtención de oro libre de impurezas.

Anexo 3. Registro fotográfico mina maravelez



Fotografías No. 12

Mineral utilizado en el proceso



Fotografías No. 13
Barriles o Tambores de molienda.



Fotografías No. 14
Molienda del mineral.



Fotografías No. 15

Adición del borato de sodio en los tambores de molienda



Fotografías No. 16

Deslodamiento de la mezcla después de la molienda.



Fotografías No. 17
Amalgama (Oro y Mercurio)



Fotografías No. 18
Fundición de la amalgama



Fotografías No. 19

Otencion de oro libre sin precencia de mercurio

Anexo 4. Registro fotográfico mina La Turbina.



Fotografías No. 20

Mineral utilizado (lodo)



Fotografías No. 21
Trituración del mineral



Fotografías No.22
Adición del mineral al tambor de molienda



Fotografías No.23

Molienda



Fotografías No. 24

Deslodamiento de la mezcla después de la molienda.



Fotografías No. 25
Obtención del oro libre



Fotografías No. 26
peso del oro obtenido

Anexo 5. Metodos de obtencion de oro sin mercurio



Fotografías No. 27

Molino de pison



Fotografías No. 28

Lavado del mineral



Fotografías No. 29

Mesa de concentración gravimétrica