

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL “BÓRAX” EN EL PROCESO
DE RECUPERACIÓN DE ORO EN DOS ENTABLES MINEROS EN EL
MUNICIPIO DE SUÁREZ (CAUCA)**



Uniautónoma
DEL CAUCA

LEIDY GABRIELA SANCHEZ MEDINA

JAVIER ERNESTO ÁVILA MARÍN

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
POPAYÁN (CAUCA)
2019**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL “BÓRAX” EN EL PROCESO DE
RECUPERACIÓN DE ORO EN DOS ENTABLES MINEROS EN EL
MUNICIPIO DE SUÁREZ (CAUCA)**



LEIDY GABRIELA SÁNCHEZ MEDINA

JAVIER ERNESTO ÁVILA MARÍN

**Trabajo de grado para optar por el título de profesional en Ingeniería
Ambiental y Sanitaria.**

**Director
Ingeniero de Minas
Especialista en Gestión del Riesgo de Desastres
FRANCISCO JOSÉ IDROBO IDROBO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
POPAYÁN (CAUCA)
2019**

Nota de aceptación:

El director y los jurados del trabajo de grado: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL "BÓRAX" EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO EN DOS ENTABLES MINEROS EN EL MUNICIPIO DE SUÁREZ (CAUCA), realizado por: Leidy Gabriela Sanchez Medina y Javier Ernesto Ávila Marín, 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 presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán (Cauca) (octubre del 2019)

DEDICATORIA
LEIDY GABRIELA SANCHEZ MEDINA

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios por asignarme la ingeniería ambiental y sanitaria como misión de vida. Por su infinito amor derramado diariamente, por la fortaleza y la sabiduría que me ha otorgado a través de su espíritu santo, por llevarme de su mano en el recorrido de este camino y ser mi roca aun en los momentos de mayor dificultad.

A mi familia, en cabeza de mi Padre, mi madre, mi hermano y mi abuelita, por sus infinitos esfuerzos para ayudarme a llegar hasta donde he llegado, por su amor incondicional y su fe en mí, por ser mi motor y mi refugio, porque, así como han compartido mi sufrimiento y mis tristezas, merecen también sentir este logro como suyo y la alegría de alcanzarlo.

A mi compañero de investigación y actual pareja, por compartir esta experiencia, por tantos aprendizajes, metas cumplidas y sueños proyectados, por su amor, comprensión y compañía incondicional.

A mis amigos y compañeros, por hacer parte de mi vida y de mi crecimiento profesional, por enseñarme el valor de un consejo, de un buen recuerdo y un abrazo sincero.

Al semillero de investigación SIMIR, quien nos brindó la oportunidad de conocer y aprender la importancia de la investigación para generar impactos positivos en los distintos aspectos del ambiente y la sociedad

A la comunidad minera de Suárez, por abrirnos las puertas de sus entables, por hacer parte fundamental de este proceso investigativo y por todas sus enseñanzas

DEDICATORIA
JAVIER ERNESTO ÁVILA MARÍN

Dedico este trabajo primero a Dios por guiarnos en este camino, por protegernos, y darnos sabiduría para sacar este trabajo adelante.

A mi madre, por darme la vida, por ser el pilar más importante, por su esfuerzo, perseverancia, gallardía, amor infinito y motivación en todos los momentos de mi carrera, que me permitieron llegar hasta este punto.

A mi padre, que, aunque no lo diga o lo demuestra, sé que estará orgulloso de verme convertido en ingeniero.

A mi tía Rubiela por todo el cariño, apoyo y motivación brindada.

A mi compañera y pareja por todos los momentos en esta travesía, por su apoyo incondicional, locura, amor y paciencia.

A mi familia, mis primos, mis tíos y tías por su compañía en este proceso.

Al nuestros profesores por los conocimientos y ayuda brindada.

AGRADECIMIENTOS
LEIDY GABRIELA SANCHEZ MEDINA

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida, por ser mi roca y mi guía durante todo este camino, por demostrarme su amor día a día y por permitirme cumplir mi misión a través de la ingeniería ambiental y sanitaria,

Agradezco a mi madre por todo su amor, su dedicación y sus sacrificios, no existen palabras ni números que reflejen lo que ella merece le sea dicho, agradezco a mi padre por ser ejemplo de fortaleza y nobleza, por enseñarme que “nunca se debe quejar ni renegar de las secuelas que deja hacer lo que se ama”, a mi hermano por su a veces insoportable pero incondicional compañía y cariño, a mi abuelita por sus oraciones, por su infinito afecto y por su fe en mí, y en general gracias a toda mi familia por todo su apoyo, sus consejos y sus bendiciones.

Gracias también a Javier por ser mi colega, mi pareja, mi mejor amigo y todo lo que he necesitado cuando lo he necesitado, ha sido toda una aventura vivir esta experiencia a su lado.

Agradezco a los docentes del grupo de investigación GITA por toda su colaboración y apoyo, especialmente a Francisco Idrobo nuestro director y a Jorge Manrique coordinador del grupo de investigaciones

Finalmente, gracias infinitas a la comunidad minera de Suárez, en especial a los administradores de los entables trabajados y sus ayudantes, sin ellos el desarrollo de esta investigación no hubiera sido posible

AGRADECIMIENTOS
JAVIER ERNESTO ÁVILA MARÍN

Agradezco primeramente a Dios por guiar mi camino y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Agradezco infinitamente a mi madre por todo lo que ha hecho por mí, por su valor, por su gran sacrificio realizado para que pudiera terminar mis estudios, por su amor demostrado todos los días.

A mi padre por la motivación y el apoyo a salir adelante y culminar esta etapa.

A mi familia por la motivación y la ayuda brindada.

Gracias a Gabriela Sanchez mi pareja y amiga, por acompañarme en este viaje y en la vida, por su apoyo, por las metas cumplidas y amor brindado día a día.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	18
PROBLEMA.....	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	20
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 Objetivo General	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II	22
2. REFERENTES CONCEPTUALES	22
2.1 ANTECEDENTES.....	22
2.2 BASES TEÓRICAS	25
2.2.1 Área de estudio	25
2.2.2 Minería	27
2.2.3 Minería en Colombia.	31
2.2.4 Minería aurífera en Colombia.....	35
2.2.5 Tipos de minería aurífera en Colombia	35
2.2.6 procedimientos recuperación de oro por amalgamación.....	37
2.2.7 Minería en el Cauca	39
2.2.8 La problemática de la explotación minera de oro en el Cauca.....	39
2.2.9 La minería en Suárez	41
2.2.10 El mercurio.....	42
2.2.11 Bórax.....	49
2.3 BASES LEGALES	51
CAPÍTULO III	53
3. METODOLOGÍA.....	53
3.1 Fase 1. Selección de entables	53
3.1.1 Reconocimiento de la zona y acercamiento con la comunidad.....	53
3.1.2 Selección de los entables a trabajar.....	53
3.1.3 Cartografía y georreferencia de la zona	54

3.1.4	Caracterización de los entables	54
3.1.5	Selección del mineral para pruebas en campo	55
3.2	Fase 2.....	55
3.2.1	Realización de las pruebas en campo.....	55
3.3	Fase 3 Entregables.....	65
3.3.1	Realización de la guía de aplicación	65
3.3.2	Video explicativo	65
CAPÍTULO IV.....		66
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	66
4.1	Fase 1.....	66
4.1.1	Datos básicos y georreferenciación	66
4.1.2	Caracterización de los entables	68
4.2	Fase 2.....	101
4.2.1	Resultados pruebas de campo (Bórax vs Mercurio).....	101
4.2.2	Análisis pruebas de campo Las Palmas.....	102
4.2.3	Análisis Pruebas CMEDC	109
4.2.4	Resultados de primeras pruebas realizadas en Suárez con bórax como insumo minero	111
CAPÍTULO V.....		116
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
5.1	CONCLUSIONES	116
5.2	RECOMENDACIONES.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....		120
ANEXOS.....		126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados pruebas filipinas.....	23
Tabla 2. Resultados pruebas Bolivia	24
Tabla 3. Información Geográfica de Suárez	26
Tabla 4. producción de minerales 2012- junio de 2016	32
Tabla 5. Tipos de minería aurífera en Colombia.....	36
Tabla 6 Propiedades del Mercurio.....	43
Tabla 7 Fuentes antrópicas de mercurio a nivel mundial	48
Tabla 8 Propiedades del Bórax	50
Tabla 9. Bases legales	51
Tabla 10. Variables.....	63
Tabla 11. Pruebas realizadas E1.....	64
Tabla 12. Pruebas realizadas E2.....	64
Tabla 13. Información general Las Palmas	66
Tabla 14. Información general CMEDC	67
Tabla 15. Inventario de materiales Las Palmas.....	70
Tabla 16. Inventario de herramientas Las Palmas	70
Tabla 17. Inventario de insumos Las Palmas	71
Tabla 18. Inventario de elementos de protección personal (EPP) Las Palmas	71
Tabla 19. Inventario de materiales	75
Tabla 20. Inventario de herramientas CMEDC	75
Tabla 21. Inventario de insumos CMEDC	75
Tabla 22. Inventario de elementos de protección personal (EPP) CMEDC.....	76
Tabla 23. Caracterización socio económica Las Palmas	77
Tabla 24. Caracterización socio económica CMEDC	79
Tabla 25. Matriz evaluación ambiental Las Palmas 1.....	83
Tabla 26. Matriz evaluación ambiental CMEDC	84
Tabla 27. Matriz reversibilidad Las Palmas	88
Tabla 28. Matriz reversibilidad entable CMEDC	89
Tabla 29. Matriz de magnitudes entable Las Palmas	94
Tabla 30. Matriz de magnitudes entable CMEDC.....	95
Tabla 31. Matriz de manifestación de efectos entable Las Palmas	98
Tabla 32. Matriz manifestación de efectos entable CMEDC	99
Tabla 33 Resultados pruebas de campo Bórax vs Mercurio	101
Tabla 34 Composición mineralógica de las minas trabajadas	106
Tabla 36 Resultados en Bolivia y Filipinas	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del municipio	25
Figura 2. Minería de cielo abierto.....	28
Figura 3. Cantera	28
Figura 4. Minería en forma de lavaderos,	29
Figura 5. Minería subterránea en forma de autosoportados.	30
Figura 6. Minería subterránea, método soportados	30
Figura 7. Tambor o molino de trituración.	37
Figura 8. Filón	41
Figura 9. Mercurio	42
Figura 10. Ciclo del mercurio	44
Figura 11. Biomagnificación del mercurio	46
Figura 12. Procesos de metilación – desmetilación	47
Figura 13. Amalgama de mercurio	49
Figura 14. Bórax.....	50
Figura 15. Extracción de mineral.....	56
Figura 16. Mulas de carga	56
Figura 17. Material descargado.....	57
Figura 18. Trituración de mineral	58
Figura 19. Barriles.....	58
Figura 20. Cuerpos moledores.....	58
Figura 21. Agregado de Bórax	59
Figura 22. Agregado de mercurio.....	60
Figura 23. Deslode 2.....	60
Figura 24. Deslode 1.....	60
Figura 25. Lavado 2	61
Figura 26. Lavado 1	61
Figura 27. Agregado de Jabón.....	62
Figura 28. Mezcla de mercurio.....	62
Figura 29. Oro libre	62
Figura 30. Amalgama.....	62
Figura 31. Fundición 1	63
Figura 32. Fundición 2	63
Figura 33. Estructura de una prueba.....	65
Figura 34. Cartografía de los entables trabajados [61]	67
Figura 35 Entable Las Palmas	69
Figura 36. Esquema del entable Las Palmas.....	72
Figura 37. Cuerpos moledores 2.....	73
Figura 38. Trabajadores sin EPP del entable Las Palmas	73
Figura 39. Entable CMEDC.....	74
Figura 40 Esquema entable CMEDC	76

Figura 41. Molino continuo [64].....	92
Figura 42 Resultados de pruebas bórax vs mercurio, entable Las Palmas	102
Figura 43 Resultados de pruebas bórax vs mercurio, entable CMEDC	109
Figura 44 Resultados de pruebas en entables Cooperativa y Gelima	111
Figura 45 Resultados pruebas en entables El Tamboral y Maraveles	113

LISTA DE ACRÓNIMOS

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

ANM: Agencia Nacional Minera

Au: Oro

Bórax: Borato de Sodio

CRC: Corporación Autónoma Regional del Cauca

Hg: Mercurio

INGEOMINAS: Instituto Colombiano de Geología y Minería

MINERALCO: Sociedad de Minerales de Colombia S.A.

Mime: Ministerio de Minas y Energía

MP: Material particulado

MR: Minería Responsable

PIB: Producto Interno Bruto

PML: Producción más limpia

PND: Plan Nacional de Desarrollo

RMN: Registro Minero Nacional

SGC: Servicio Geológico Colombiano

SIMCO: Sistema de Información Minero Colombiano

SIMIR: Semillero de Investigación en Minería Responsable

SIMINERO: Sistema de Gestión de Trámites y Procesos Mineros

UPM: Unidades de Producción Minera

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética

PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se desarrolló a fin de realizar la evaluación de la eficiencia del borato de sodio (Bórax), en el proceso de extracción artesanal de oro en dos entables mineros del municipio de Suárez, departamento del Cauca. Para ello se tomaron como base dos investigaciones llevadas a cabo anteriormente en la zona, por parte del Semillero de Investigación en Minería Responsable (SIMIR) de la Universidad Autónoma del Cauca.

El primer paso que se llevó a cabo fue la selección de los entables a trabajar, para lo cual se tomó en cuenta el tamaño de los mismos, sus características de producción y la disposición de los propietarios para la realización del proyecto, siendo así los entables escogidos Las Palmas y CMEDC. En estas plantas de recuperación, fueron llevadas a cabo 6 pruebas, 4 en el primer establecimiento minero y 2 en el segundo. Cada prueba constó de dos barriles con material, uno con adición de mercurio y otro con adición de bórax, esto a fin de comparar la recuperación con cada una de estas sustancias.

Los resultados obtenidos mostraron que para el primer entable la recuperación de oro fue más favorable con mercurio que con Bórax, pues en las 4 pruebas realizadas se recuperó en promedio un 50% menos con el borato. En el segundo entable, la recuperación del mineral fue mejor con el bórax, en las 2 pruebas ejecutadas la diferencia de recuperación presentada fue del 100%, esta discrepancia de recuperación entre los dos entables se debió a múltiples factores de los cuales se destaca, la desigualdad entre los minerales procesados en cada establecimiento.

Palabras clave: Bórax, mercurio, minería de oro

ABSTRACT

This research work was carried out in order to evaluate the efficiency of sodium borate (Borax), in the process of artisanal gold mining in two mine floors in the municipality of Suárez, department of Cauca. This was done on the basis of two studies previously carried out in the area by the Mining Research Center (SIMIR) of the Autonomous University of Cauca.

The first step that was carried out was the selection of the floors to be worked, for which the size of the floors was taken into account, their production characteristics and the willingness of the owners for the project, being the chosen establishments Las Palmas and CMEDC. In these recovery plants, six tests were carried out, four in the first mining establishment and two in the second. Each test consists of two barrels with material, one with mercury addition and one with borax addition, this in order to compare recovery with each of these substances.

The results showed that for the first establishment the recovery of gold was more favorable with mercury than with Borax, since in the 4 tests carried out it recovered on average 50% less with borate. In the second mining establishment, the recovery of the ore was better with borax, in the 2 tests executed the difference of recovery presented was 100%, This recovery discrepancy between the two sites was due to multiple factors of which the inequality between the processed minerals at each facility stands out.

Keywords: Borax, mercury, gold mining

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país megadiverso, es decir que posee una amplia gama de recursos naturales, los cuales sirven como fuente de supervivencia y sustento de sus pobladores, dentro de estos incontables bienes se destacan aquellos que son producto del potencial geológico con el que el país cuenta, estos son los minerales, existentes en un apetecible espectro, del cual sobresale uno particularmente valioso que es el oro.

La forma de extraer el oro en Colombia, es en su mayoría a través de la minería en pequeña escala o artesanal, la cual según información histórica existe desde el tiempo de la conquista [1] y dada su importancia, se ha sostenido hasta la actualidad. Esta actividad económica según estudios de la Universidad del Rosario proveía de empleo aproximadamente a 141.887 personas a lo largo y ancho del territorio [2] siendo estos en su mayoría población rural y vulnerable.

La minería de pequeña escala emplea para el desarrollo de sus actividades, prácticas rudimentarias, en muchos casos de tipo ancestral, dentro de estas prácticas se destaca para la mayoría de los casos el uso del mercurio como componente principal en el proceso de beneficio de oro. Este elemento de número 80 en la tabla periódica está clasificado como un metal pesado [3] y posee la propiedad de amalgamarse con otros metales, esto facilita la captación del oro, del material rocoso que lo contiene, de aquí la recurrencia en su uso para las prácticas mineras.

La problemática del uso del mercurio en la minería radica en que este es un elemento de alta toxicidad, y dado que los procesos no son llevados de forma tecnificada, tanto los mineros, como el medio ambiente se ven expuestos a altas dosis del componente. Los efectos sobre la salud incluyen afecciones respiratorias, renales, cardiovasculares, neurológicas entre otros [3], mientras que los efectos sobre el ambiente implican contaminación del aire, suelo, agua y sus componentes de fauna y flora.

Cabe resaltar que a partir del 16 de julio del 2018 se prohibió el uso del mercurio en cualquier fase de la minería en Colombia [4], sin embargo, muchas de las plantas ubicadas en zona rural de Suárez continúan utilizando este elemento para la recuperación de oro, como consecuencia a la falta de alternativas o métodos que superen o igualen los porcentajes de recuperación con mercurio.

Este trabajo de investigación en la búsqueda de alternativas de sustitución del mercurio en la minería puso a prueba la eficiencia del bórax en el proceso de

extracción de oro como sustituto del elemento, encontrando así que, dependiendo el tipo de mineral que se procese en los entables, el compuesto si puede ser, aunque limitado, un sustituto del mercurio. Esto es un pequeño aporte al inicio de la transformación de la práctica minera en el Cauca y busca dar pie a nuevas investigaciones que logren un mayor grado de efectividad.

CAPÍTULO I PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La minería de pequeña y mediana escala son actividades económicas muy importantes para más de 50 países ubicados en Asia, África y Suramérica, entre los cuales se encuentra nuestro país Colombia, pues este cuenta con una gran riqueza de oro que se ha venido extrayendo principalmente por medio de minería artesanal, la cual utilizan diferentes sustancias como el mercurio [Hg], para obtener el mineral [5].

La función del mercurio en el proceso de extracción de oro es separar el metal del mineral que lo contiene, en este procedimiento los mineros se ven expuestos de dos formas al mercurio. La primera es una exposición cutánea pues el elemento es agregado de forma manual a los tambores en la fase de molienda del mineral enriquecido y la segunda es una exposición respiratoria, pues la amalgama resultante del proceso de molienda y bateo se quema para eliminar el mercurio.

Esta segunda práctica produce emisiones de mercurio, de alrededor de 300 Ton/año en todo el mundo [6]. Según la OMS la inhalación de vapor de mercurio puede ser perjudicial para los sistemas nervioso, inmunitario, digestivo, y respiratorio, con consecuencias a veces fatales [7]. Además de esto también se producen liberaciones de tipo sólidas y líquidas las cuales dan lugar un impacto ecológico muy importante.

Colombia ocupó el segundo lugar de los países que más contamina el planeta con mercurio, y en efecto, es el más contaminante en América Latina [4]. El departamento del Cauca desde el año 2012 hasta el año 2017 extrajo oficialmente más de 23,4 millones de gramos de oro, según informes del Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO), usando aproximadamente 15.606 kg de mercurio para el año 2011, [8], [9] .

Visualizada esta problemática el semillero (SIMIR) ha trabajado en la búsqueda de alternativas de reemplazo del mercurio para la minería, y se ha identificado a través de proyectos previos el potencial que tiene el bórax como sustituto del mismo, pues este desarrolla una función equivalente con respecto al elemento en el proceso de beneficio, pero sin consecuencias tan altas puesto que no es tóxico [10], [11].

Este proyecto busca identificar los niveles de eficiencia en el uso del bórax como sustituto del mercurio en la extracción del oro en dos entables de Suárez Cauca. Contribuyendo a la erradicación paulatina del mercurio, a fin de generar una mejora en la calidad de vida de los mineros, reducir los impactos medioambientales, ayudar a los mismos a acogerse a la Ley 1658 del 2013 y al desarrollo sostenible [12].

1.2 JUSTIFICACIÓN

La minería aurífera en Colombia se ha convertido en un importante problema socioambiental y esto se debe en gran medida al uso del mercurio metálico en el desarrollo de la actividad, el cual se utiliza para facilitar la separación y extracción del oro de la roca que lo contiene, dadas sus propiedades de amalgamación. El problema radica en que en el transcurso del proceso y al finalizar el mismo el mercurio puede ser lanzado al ambiente en forma de vapor y/o en forma líquida a través de los vertimientos sin ningún tipo de tratamiento.

El mercurio en estado gaseoso puede ser inhalado por el hombre y de ser así, retenido en un 80% y oxidado rápidamente a ion mercúrico en la sangre y los tejidos [13] o puede también oxidarse y regresar al ambiente acuático donde puede ser transformado en metilmercurio, el cual es acumulado y movilizado en las cadenas alimenticias acuáticas, llegando finalmente al hombre [14]. Como se evidencia, el mercurio no solo afecta la salud de quien lo manipula, sino que puede ingresar a los ecosistemas exponiendo a la población circundante a sus afecciones.

Por estas causas, el Congreso de la República decretó a través de la ley 1658 de 2013, bajo el objeto de “A efectos de proteger y salvaguardar la salud humana y preservar los recursos naturales renovables y el ambiente” en su artículo 3°, la reducción y paulatina eliminación del uso del mercurio en todas las actividades económicas, específicamente dio un plazo máximo de “10 años” para los procesos industriales y de “5 años” para los procesos mineros [12].

Para los mineros que trabajan en pequeña escala y con recursos limitados, el establecimiento de esta ley fue inesperada, dado que en la mayoría de los casos manifiestan no contar con la posibilidad de hacer la rápida transición a diferentes tecnologías permitidas, el agravante es que desde el año 2019 entró en vigor la mencionada prohibición, puesto que ya se cumplieron los 5 años de plazo dados por el congreso.

Por lo descrito anteriormente, este proyecto perteneciente al semillero SIMIR, realizó pruebas que permitieran verificar el efecto del bórax como sustituto del mercurio en la minería de oro, a fin de aportar a la búsqueda de un reemplazo del elemento, que a futuro posibilite su erradicación, logrando así disminuir los impactos negativos causados por este, además de brindar una alternativa que permita a los mineros acogerse a la legislación vigente sin abandonar su labor.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Realizar la evaluación de la eficiencia del “Bórax” en el proceso de recuperación de oro, en los entables mineros Las Palmas y CMEDC en el municipio de Suárez (Cauca)

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización técnica, ambiental y social de cada entable a trabajar
- Determinar el efecto de la cantidad de Bórax en la recuperación de oro.
- Establecer un protocolo de uso y aplicación del Borato de sodio como sustituto del mercurio en prácticas mineras.

CAPÍTULO II REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 ANTECEDENTES

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) la minería del oro artesanal y en pequeña escala es la mayor fuente de liberación de mercurio del mundo, la utilización de este elemento en el proceso de minería, tiene como resultado una extensa degradación del medio ambiente y contaminación del ecosistema, los efectos que pueden perdurar durante varias décadas después del cese de las actividades mineras [15].

El mercurio es capaz de ocasionar daños a los organismos incluso en bajas concentraciones, como resultado del envenenamiento a la exposición de las formas solubles en agua del mercurio, por la inhalación de vapor de mercurio, o por la ingestión de cualquiera de sus formas [16], [17].

A nivel mundial se ha visto manifestada la preocupación por el uso del mercurio en los distintos procesos, los gobiernos han acordado que existen pruebas suficientes de los efectos adversos del mercurio, que justifican la adopción de medidas al respecto [18], ejemplos prueba de esto son El Proyecto Mundial del Mercurio liderado por la ONU el cual destinó 180 millones de dólares para la reducción del mercurio en la minería de oro artesanal y a pequeña escala, [19].

Quizás el más importante El Convenio de Minamata, el cual o es un tratado mundial que tiene como objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropógenas de mercurio y compuestos de mercurio. Firmado por 128 países entre ellos Colombia [20]. Uno de Los aspectos más destacados de dicho convenio es el compromiso con la reducción y posterior eliminación, del mercurio de una serie de productos y procesos el cual notoriamente incluye la minería [21].

Actualmente existe información no formalizada sobre el uso del bórax como insumo en la minera de oro artesanal y a pequeña escala, los cuales se describirán posteriormente. Sin embargo, no se tiene evidencia de información científica como artículos, trabajos de investigación, entre otros, que puedan ayudar al desarrollo de este trabajo.

A nivel internacional el uso del bórax en la minería de oro artesanal y en pequeña escala comenzó en el norte de filipinas, más específicamente en la provincia de benguet, donde hace más de treinta años un grupo de mineros aplicó esta nueva

técnica con éxito, su proceso solo se basó en 4 fases; La primera de ellas una trituración del mineral, seguida de una preconcentración del mineral pulverizado más agua en una canaleta, para posteriormente obtener un concentrado con el uso de bateas y finalizando con una fusión directa del concentrado con bórax, para la separación del oro [22].

A nivel internacional se han llevado a cabo investigaciones, “en Gaang y Kiaas, dos provincias de Filipinas, donde se realizaron dos series de pruebas, una con mercurio y otra con concentración mediante canaleta y batea, seguida por la fundición de bórax. se utilizaron de 7 a 14 sacos de mineral para cada una de las pruebas. La recuperación de oro con bórax superó en todos los ensayos la recuperación obtenida con mercurio, como se puede evidenciar en la **Tabla 1**. En algunos casos la eficiencia superó hasta tres veces el resultado con amalgamación, y los mineros reportaron que luego de practicar el método, el tiempo de producción se redujo en hasta en un 30%.” [22].

Tabla 1. Resultados pruebas filipinas

Oro recuperado en gramos		
Ubicación	Amalgamación con mercurio	Fusión con bórax
Gaang 1	1,2	3,2
Gaang 2	2,3	4,8
Gaang 3	1,8	4,2
Gaang 4	7,2	22,5
Kiaas 1	0,4	1,1
Kiaas 2	0,8	1,3

En Suramérica se conocen ensayos realizados en Arequipa al noreste de Bolivia, en los cuales se utilizaron para cada prueba unos 50 kg de mineral, y se realizó un proceso con Mercurio y otro empleando el Bórax. En todos los casos, la extracción de oro sin mercurio recuperó la mayor parte del oro como se muestra en la **Tabla 2** y se logró una reducción de los tiempos del proceso hasta en un 10% [22].

Tabla 2. Resultados pruebas Bolivia

Oro recuperado en gramos		
Ubicación	Amalgamación con mercurio	Fusión con bórax
Suerte 1	0,1	0,5
Suerte 2	0,4	0,5

Recientemente la fundación Plagbol, con la ayuda de la Unión europea, ha desarrollado un manual que forma parte del material informativo y educativo sobre extracción de oro con bórax sin el uso de mercurio en Bolivia, los pasos que se describen en esta cartilla son los siguiente:

- Trituración del mineral provenientes de las minas hasta lograr un grosor menor a 1 mm.
- Mezcla del mineral previamente molido con agua, para posteriormente pasar a lo que ellos consideran canaletas o lavaderos.
- Antes de verter la mezcla en la canaleta se debe colocar una alfombra de fieltro, la cual es la encargada de atrapar el oro libre junto con otros metales como cobre y plata.
- Se procede a lavar la alfombra cuidadosamente en un recipiente grande con agua. Sumergiendo la alfombra y quitando todo el mineral que se ha adherido a esta, con la precaución de no realizar demarres del mineral fuera del recipiente.
- Se añade detergente en polvo para garantizar que el oro se asiente y no salga sobrenadante.
- Se remueve el exceso de hierro con la ayuda de un imán envuelto en una bolsa plástica
- Se recolecta el oro de forma manual con la ayuda de bateas y se va recolectando un recipiente,
- Por último se adiciona el bórax en una relación de 1:1, y se procede a fundir el oro en un crisol [23].

Recientemente en Colombia se llevaron a cabo dos investigaciones realizadas por parte del Semillero de Investigación de Minería Responsable, (SIMIR), en 5 entables mineros, de Suárez (Cauca), las cuales tuvieron resultados favorables en el proceso de obtención de oro con bórax. Dichas investigaciones iniciaron con un conjunto de ensayos por método de tanteo, para encontrar un rango

favorable de recuperación de oro, comparándolo con el método tradicional [10], [11].

El rango de bórax se estableció entre 100-200 g. Logrando beneficios de oro hasta del 300% más en comparación a lo obtenido utilizando el método con mercurio. También se logró reducir hasta en un 95% la cantidad del elemento utilizada, sumado a esto se obtuvo una mejor calidad del oro, en comparación al obtenidos con mercurio. De esta forma se redujeron los impactos producidos, cuantificados y cualificados, por medio de matrices de impacto ambiental [10], [11].

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Área de estudio

El área de estudio, se localiza en el municipio de Suárez, perteneciente al departamento del Cauca, el cual se encuentra ubicado geográficamente en el valle superior del río Cauca, sobre el piedemonte oriental de la cordillera Occidental, **Figura 1**, [24]. Los límites de nuestra zona de estudio son: Al norte con los municipios de Jamundí y Buenos Aires; al occidente, con El Tambo y López de Micay; al sur, Morales y al oriente, con Buenos Aires.



Figura 1. Ubicación del municipio

En la **Tabla 3** se muestran los datos generales geográficos del municipio de Suárez:

Tabla 3. Información Geográfica de Suárez

Coordenadas geográficas	Latitud norte: 2° 57' 15" - Longitud oeste: 76° 41' 37"
Área (Extensión total)	389,87 km ²
Altitud (zona urbana)	1050 msnm
Temperatura promedio	27 °C
Población (DANE 2018)	Población total 19690 habitantes

La economía del municipio se basa esencialmente en actividades agrícolas y mineras, la primera representada por la producción de Caña panelera, frijol, café, yuca, maíz, y frutales, entre otros. Del otro lado está la minería principalmente de oro, la cual se realiza principalmente en la zona suroriental del municipio, en inmediaciones de los corregimientos de La Toma y Mindalá [25].

El aporte de las actividades productivas va de la siguiente forma: La agricultura participa en un 52% de la producción del municipio, seguida de la actividad minera, con un 27%, el comercio con un 3%, y el 18% restante está representado por actividades como la piscicultura, avicultura y ganadería, entre otras. En algunos sectores Smurfit Cartón de Colombia práctica la actividad forestal [25].

El municipio posee variedad de recursos naturales, la cobertura vegetal está compuesta en su mayoría por pastos naturales, con zonas de rastrojos, bosques y cultivos permanentes, estos albergan alrededor de 22 especies avícolas, 6 mamíferas, 28 reptiles y 8 anfibias. El sector occidental del municipio corresponde a suelos destinados a conservación pues es parte del corredor PNN-Munchique [26].

La hidrología de la zona está conformada por ríos valiosos como el Cauca, Ovejas, Marilopito, Damián, Inguitó, Asnazú, Marilópez y San Miguel, así mismo posee las subcuencas, El Chupadero, La Chorrera, Los Pasos, Los Morados, La Laja y El Danubio. El municipio posee también un importante cuerpo hídrico a nivel departamental este es un embalse artificial en la hidroeléctrica de La Salvajina, llamado Ciro Molina Garcés [26].

Suárez posee dos vías de acceso. La primera se encuentra sobre la vía panamericana, partiendo desde Popayán hacia la ciudad de Cali, en el municipio de Piendamó se localiza un desvío con dirección al municipio de Morales, este mismo conduce a Suárez. La segunda vía Parte desde el municipio de Santander de Quilichao, donde también sobre la Vía Panamericana se encuentra un desvío con dirección a Timba y desde Timba se parte hacia Suárez.

2.2.2 Minería

La minería consiste en la extracción o explotación de los minerales acumulados en el en suelo o el subsuelo, comúnmente conocidos como yacimientos. Estos yacimientos pueden ser de minerales metálicos como hierro, cobre, plomo, oro, plata, cromo, mercurio, aluminio, entre otros; no metálicos como granito, mármol, arena, arcilla, sal, mica, cuarzo, esmeralda, zafiro; o combustibles y energéticos como petróleo, gas natural y carbón [27].

- **Clases de minería**

Minería superficial.

Este tipo de minería se realiza para la extracción de minerales metálicos y no metálicos, por lo general pueden alcanzar profundidades de 160 – 800 m de la superficie y sin la realización de galerías subterráneas; Generalmente se realiza con máquinas de gran porte y el uso de explosivos, con el fin de remover gran cantidad de material [28]. Sus principales métodos son:

Minería a cielo abierto o tajo abierto.

Se utiliza este método particularmente en la explotación de yacimientos de metales básicos y preciosos, se realiza un cráter el cual se va profundizando a medida que la explotación avanza y se hacen vías de acceso en forma de zigzag o de espiral en la zona de los costados con el fin de permitir el ingreso de la maquinaria necesaria la excavación, como se puede ver en la **Figura 2**, [29], se puede profundizar tanto como sea necesario, o hasta que esta deja de ser rentable [30].



Figura 2. Minería de cielo abierto

- **Cantera.**

Este nombre se da a la explotación de mineral que suele utilizarse directamente en aplicaciones industriales, como lo son minerales de sílice, caliza y piedra de construcción, como se puede evidenciar en la **Figura 3**, [31] el mineral extraído de las canteras no es sometido a procesos de concentración y por lo general este tipo de explotaciones no suelen ser de gran tamaño, [32]



Figura 3. Cantera

- **Lavaderos o placeres.**

Corresponde a la explotación de depósitos de arena grava, limo o arcilla, normalmente situados en antiguos lechos de ríos o playas ver en la **Figura 4**, [33] , con el fin de recuperar oro, piedras preciosas u otros elementos químicos valiosos, las profundidades de los lavaderos puede variar desde los 3 m hasta más de 30 m según la geología del lugar,[34].



Figura 4. Minería en forma de lavaderos,

- **Otros**

Existen otros métodos no convencionales para la extracción de minerales, como la disolución, que se utiliza principalmente para la extracción de sales mediante el uso de solventes, y la minería costa afuera o marina, para la extracción de elementos presentes en el fondo del océano, en la cual se utilizan máquinas como las dragas [30].

Minería subterránea.

Como su nombre lo indica se basa en la excavación bajo tierra, donde se tienen que considerar aspectos como resistencia del mineral y de la roca encajonante, tamaño, forma, profundidad, ángulo de buzamiento, etc. La maquinaria debe ser de un tamaño mucho menor a la utilizada en la minería superficial para poder ingresar en los túneles, [35]. En este tipo de minería se puede encontrar diferentes métodos los cuales se explican a continuación:

- **Autosoportantes o de caserones abiertos.**

Este tipo de minería la mina debe mantenerse estable en forma natural o requerir escasos elementos de refuerzo ver **Figura 5**, [36]. Este tipo de minería tiene diferentes métodos el más popular es el “Room and Pillar”, el cual es considerado de bajo costo, se está aplicado ampliamente y en los últimos años se ha desarrollado bastante. Sus principales ventajas incluyen

que puede llegarse a una mecanización completa, lo que reduce ampliamente los costos de explotación [37].

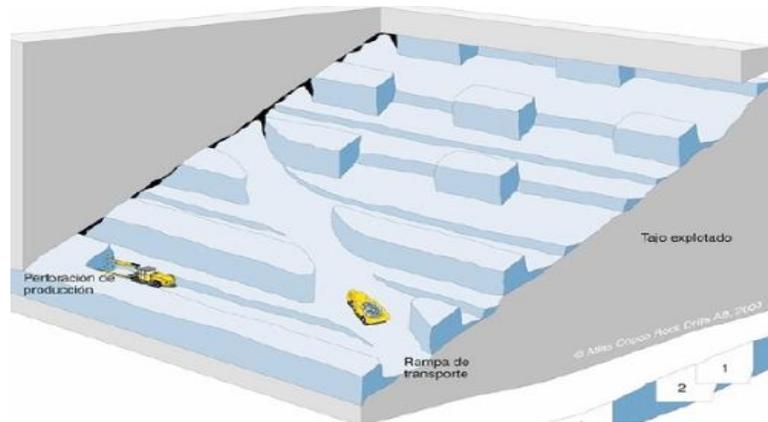


Figura 5. Minería subterránea en forma de autosostres.

- **Métodos soportados o de caserones.**

Para este método es necesario el uso de soportes para mantenerse estable. El diseño más común es el "Cut and Fill" ver **Figura 6**, [36], en el cual la extracción se hace por franjas horizontales o verticales siempre empezando por la parte inferior y avanzando verticalmente, al finalizar la franja se rellena con el material restante o de desecho el cual sirve de soporte, [37] .

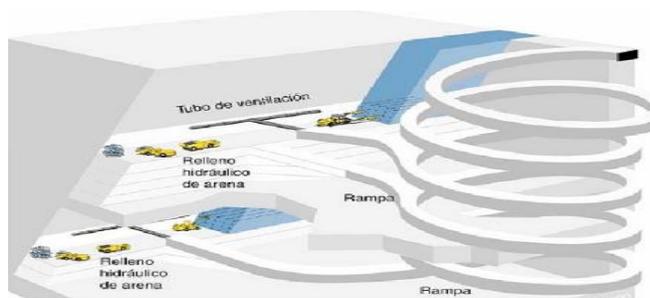


Figura 6. Minería subterránea, método soportados

- **Por disolución**

si bien puede ser una técnica menos conocida no es por eso menos importante. La disolución consiste en la formación de pozos a diferentes niveles, en los que se inyecta solventes a elevadas presiones. Esto provoca la disolución de elementos de interés que se encuentran ubicados en las paredes y en el fondo, posteriormente la mezcla es drenada a otros pozos para la posterior extracción [35].

2.2.3 Minería en Colombia.

En el año 2012 el ministerio de minas y energía reportó exportaciones del sector minero por casi US 12.5 millones siendo el segundo sector más importante superado únicamente por la exportación de petróleo que reportó US 31.64 millones. Sin embargo en los últimos años la caída de los precios internacionales ha disminuido la producción, tanto así que en el año 2016 las exportaciones del sector bajaron a 2.8 millones de dólares y las del sector petrolero pasaron a 7.4 millones de dólares [38], [39].

El mismo efecto lo podemos observar en todos los minerales como por ejemplo, en la producción de carbón la cual pasó de 89.02 a 44.6 miles de toneladas en el año 2016, también afectando la producción de plata y platino que decayó un 58 y un 30% respectivamente. esta disminución de la producción ha traído consigo el decrecimiento de la inversión extranjera, sin embargo la producción de oro entre el año 2015 y primer semestre de 2016 tuvo un aumento de 3.8% dado a la implementación de buenas prácticas y la confianza inversionista, **Tabla 4** [38], [39].

Tabla 4. producción de minerales 2012- junio de 2016

PRODUCCIÓN NACIONAL DE MINERALES 2012-2016						
MINERAL	UNIDAD	2012	2013	2014	2015	2016
MINERALES PRECIOSOS						
Oro	Kilogramos	66178	55745	57015	59202	32577
Plata	Kilogramos	19368	13968	11498	10155	5361
Platino	Kilogramos	1460	1504	1135	861	367
MINERALES NO METÁLICOS						
Sal terrestre	Toneladas	308547	319184	340263	33880 4	18122 7
Sal marina	Toneladas	211721	154709	105577	78634	88021
Azufre	Toneladas	63790	52470	48513	63236	Nd
Calizas (para cemento)	Miles de toneladas	13548	13954	15374	16312	2233
MINERALES METÁLICOS						
Cobre (concentrados)	Toneladas	3901	3294	19956	Nd	Nd
Mineral de hierro	Toneladas	809224	710047	676180	90173 6	40694 1
Ni contenido en ferroníquel	Toneladas	519756	49320	41221	36670	19391
MINERALES COMBUSTIBLES						
Carbón	Miles de toneladas	89024	85496	88578	85548	44629
PIEDRAS PRECIOSAS						
Esmeraldas	Miles de quilates	1211	2627	1967	2167	918

- **Fases de la minería.**

En Colombia los procesos mineros están reglamentados por la ley 685 del 2001 conocida como el código de minas. La cual regula todas las formas de hacer minería, sus fases descritas a continuación, los alcances zonas de exclusión de minería entre otros aspectos, [4].

Al igual es importante aclarar que en el país todos los recursos naturales no renovables son propiedad del estado, por ende, para que una persona natural o jurídica pueda tener el derecho de explotar minas de propiedad estatal debe tramitar un contrato de concesión minera o conocido también como título minero.

Exploración.

La fase de exploración es el primer paso en el contrato de concesión minera, esta está diseñada para una duración de 3 años desde la fecha de inscripción, en el registro minero nacional. Los estudios y obras diseñados para esta etapa están diseñados para determinar la ubicación de o los minerales, así como su cantidad, calidad, viabilidad, impactos ambientales, y el entorno social [40].

Delimitación.

Posterior a realizar los estudios geológicos, conocer las dimensiones y ubicaciones, de él, o los minerales a explotar; Se realiza un informe que se presenta al final de la fase de exploración, en donde se represente la delimitación definitiva del área, incluyendo las zonas de los montajes necesarios para el beneficio, el transporte interno del mineral, las obras de carácter ambiental entre otras, también debe contener el cálculo de las reservas al igual que la producción estimada, todos los requerimientos se encuentran en el artículo 80 del código minero y en las guías minero – ambientales [4], [40].

Zonas de exploración adicional

En el artículo 83 de la ley 685 explica que el El concesionario podrá pedir que le autorice la exploración en las zonas aledañas el perímetro delimita este plazo no podrá ser mayor a 2 años, y en caso que se consideren ponerlas en explotación deben anexarlas en el programa de trabajos y obras, también, pedir la modificación de la Licencia Ambiental si es necesario [4].

Programa de trabajos y obras (POT)

Antes que se venza el plazo de 3 años para los trabajos de exploración el concesionario debe presentar el POT para su posterior aprobación el cual debe cumplir con los siguientes requisitos:

- ✓ Delimitación definitiva del área de explotación.
- ✓ Mapa topográfico del área.
- ✓ Detallada información cartográfica del área.
- ✓ Ubicación, cálculo y características de las reservas que habrán de ser explotadas en desarrollo del proyecto.

- ✓ Descripción y localización de las instalaciones y obras de minería, depósito de minerales, beneficio y transporte.
- ✓ Plan Minero de Explotación.
- ✓ Plan de Obras de Recuperación geomorfológica paisajística y forestal del sistema alterado.
- ✓ Escala y duración de la producción esperada.
- ✓ Características físicas y químicas de los minerales por explotar.
- ✓ Descripción y localización de las obras e instalaciones necesarias para las operaciones mineras.
- ✓ Plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes y de la infraestructura [4].

Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

El EIA debe entregarse junto al POT y debe contener los recursos naturales que serán aprovechados, o afectados como consecuencia las actividades de explotación, así como las obras de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal del ecosistema alterado que se realizarán una vez terminen las labores de explotación; sin la aprobación del EIA no podrá ser expedición la Licencia Ambiental y no se podrán iniciar los trabajos de explotación [4], [40].

Construcción del montaje

El proceso inicia una vez delimitada el área de intervención y como su nombre lo indica en esta fase se prepara toda la infraestructura necesaria para su posterior explotación, previamente aprobadas en el POT. Su duración es de 3 años, con posibilidad de una prórroga no superior a un año. Si se prevé que la fase de explotación puede empezar de forma anticipada, será necesario que el concesionario de previo aviso a la autoridad competente [41].

Explotación

La fase de explotación está diseñada para una duración de 24 años sin embargo el concesionario puede pedir una prórroga hasta de 30 años más. En esta última etapa se tiene en cuenta todo lo relacionada con extracción de minerales, acopio, beneficio, obras ambientales descritas en el EIA y cierre y abandono de montajes e infraestructura contemplados en el POT [28].

2.2.4 Minería aurífera en Colombia.

En el año 2012 el ministerio de minas y energía reportaron producción de oro de 66.2 toneladas, poniendo a Colombia en el tercer puesto por debajo de Perú y México, con un precio de 3.85 millones de dólares y siendo el Cauca el cuarto departamento con más producción con 3166.92 Kg. [39], sin embargo, desde el mismo año empezaron a bajar las producciones internacionales logrando así que en año 2015 la producción de oro bajara hasta los 59.202 t y para el primer semestre del año 2016 aumentó en 3.8% [38].

2.2.5 Tipos de minería aurífera en Colombia

En la **Tabla 5.** Tipos de minería aurífera en Colombia **Tabla 5** se describen de manera textual todos los tipos de minería contemplados en el código de minas o ley 685 [4].

Tabla 5. Tipos de minería aurífera en Colombia

TIPO DE MINERÍA	DESCRIPCIÓN
M. de granel	Método de minería que consiste en extraer grandes cantidades de mena o material de bajo tenor conjunto con la mena o material de alta ley.
M. de subsistencia	Minería desarrollada por personas naturales que dedican su fuerza de trabajo a la extracción de algún mineral mediante métodos rudimentarios y que en asocio con algún familiar o con otras personas generan ingresos de subsistencia. Se denomina así a la explotación de pequeña minería de aluvión, más conocida como barequeo, y a la extracción ocasional de arcillas, en sus distintas formas, y los materiales de construcción.
M. formal	Conformada por unidades de explotación de tamaño variable, explotadas por empresas legalmente constituidas.
M. ilegal	Es la minería desarrollada sin estar inscrita en el Registro Minero Nacional y, por lo tanto, sin título minero. Es la minería desarrollada de manera artesanal e informal, al margen de la ley. También incluye trabajos y obras de exploración sin título minero. Incluye minería amparada por un título minero, pero donde la extracción, o parte de ella, se realiza por fuera del área otorgada en la licencia.
M. informal	Constituida por las unidades de explotación pequeñas y medianas de propiedad individual y sin ningún tipo de registros contables.
M. legal	Es la minería amparada por un título minero, que es el acto administrativo escrito mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo mineros de propiedad nacional, según el Código de Minas. El título minero deberá estar inscrito en el Registro Minero Nacional.

2.2.6 procedimientos recuperación de oro por amalgamación

- **Trituración**

Una vez el mineral llega a la planta de procesamiento, este tiene que pasar necesariamente por un proceso de trituración dado que por sus dispensaciones iniciales no es posible seguir el proceso. Por ende, se pasan por máquinas que fragmentan y reducen su tamaño a unas 2 – 4 pulgadas. Una vez triturado es apilado para su posterior ingreso a la molienda.

- **Molienda**

En este proceso se utilizan barriles o cocos hecho en acero de alto calibre, alrededor de 5 mm, con dimensiones *que* pueden variar desde los 30 cm a los 56 cm de largo y diámetros entre los 15 - 25 cm, con capacidad de 30 – 70 kg de carga de mineral. En su interior son cargados con cuerpos moledores los cuales son bolas de acero de alta densidad y diferentes tamaños, una vez puesto en marcha el barril los cuerpos de acero caen libremente y muelen el material por impacto, aplastamiento y fricción, como se representa en la **Figura 7**, [25].

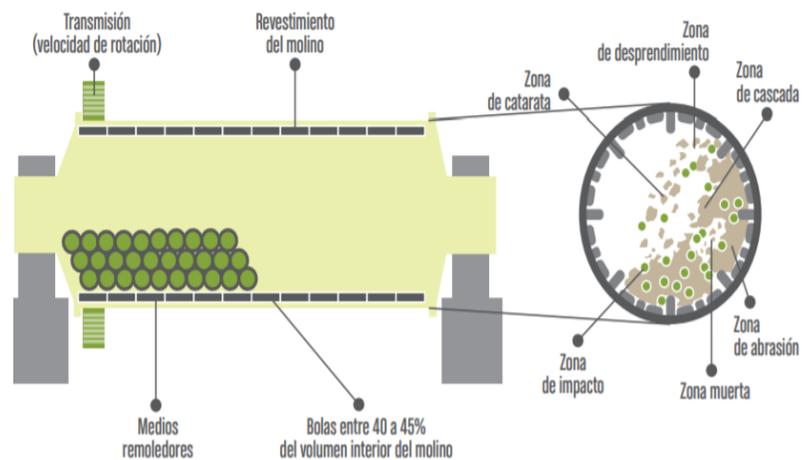


Figura 7. Tambor o molino de trituración.

- **Adición del Hg y segunda molienda.**

Una vez termina el proceso de molienda previa, se paran los barriles, se destapan y se les adiciona el mercurio que se considere necesario, este puede variar entre las 3-5 Oz por cada barril, también los mineros suelen agregar miel de purga y aproximadamente 5 g de jabón de jabón en barra. Posteriormente se cierran los barriles y se continúa el proceso de molienda, entre 1,45 - 4 horas según la procedencia del mineral.

- **Deslode.**

El proceso de deslode se realiza con la ayuda de un tanque cilíndrico, el cual en su parte inferior tiene forma de embudo. En este proceso se inyecta agua a gran velocidad en la parte inferior, causando que partículas pesadas como el oro se precipiten y mineral más liviano salga por la parte superior del tanque, al final del proceso se logra tener una solución rica en oro.

- **Recuperación o beneficio.**

Una vez obtenida la solución rica en oro, se procede a hacer la recuperación de este en forma manual con el uso de bateas normalmente hechas en madera, a las cuales se les adiciona más mercurio con el fin de amalgamar el oro libre que no fue atrapado en los procesos anteriores, una vez recuperado el oro en forma de amalgama se filtra el mercurio con el uso de trozo de tela que tenga poca porosidad, la cual separa el mercurio libre el cual es reutilizado en el proceso y por otro lado se obtiene el amalgama de oro.

- **Limpieza.**

Una vez obtenida la amalgama de oro se procede a la limpieza de esta con el uso de jabón e hipoclorito de sodio o lejía al 3 % o 5 %, alternando entre estos y haciendo varias repeticiones, este proceso se realiza con el fin de eliminar la mayor cantidad de impurezas y lograr una amalgama mucho más pura, para que en el momento de su quema el oro tenga la menor cantidad de impurezas posibles.

- **Quema y venta**

El proceso de quema se lleva a cabo en un crisol de cerámica, con la ayuda de un soplete alimentado normalmente por gas natural. Antes de iniciar la

quema se adiciona bórax para que este forme una especie de telaraña evitando que el oro escape por la fuerza de la llama antes de ser fundida. Una vez evaporado el mercurio, el oro queda listo para su posterior pesaje y venta.

2.2.7 Minería en el Cauca

La minería en el departamento inicia con el descubrimiento y explotación de yacimientos mineros ubicados en los municipios de El tambo, Morales, Santander de Quilichao, La Vega, Almaguer y Bolívar, por parte propiedad de la realeza española hacia los años 1662 y 1664. Muchos antecedentes históricos hablan de la riqueza minera del departamento no solo de metales, sino también de minerales no metálicos, [42].

Cabe resaltar que, en el departamento, el oro ha sido por largos años la prioridad de las explotaciones mineras, el cual se extrae aun en la actualidad de forma artesanal y a pequeña escala. Sin embargo, hoy día se realiza también en algunos puntos del departamento la extracción de carbón, azufre y mármol, pese a esto se considera que un alto potencial minero sigue sin ser aprovechado y esto principalmente a causa de la falta de estudios y exploraciones que permitan verificar la cantidad y calidad de los yacimientos disponibles.

2.2.8 La problemática de la explotación minera de oro en el Cauca

En el departamento del Cauca, según reportes de la agencia nacional de minería, para el año 2017 se contaba con un total de 225 títulos mineros en vigencia, estas titulaciones abarcaban un área correspondiente a 260951,0495 Ha, aproximadamente un 8,52% del departamento, además de esto se encontraban 416 solicitudes más en periodo de estudio y 157 solicitudes de legalización [43].

Es quizás esta última cifra, posee una importancia significativa implícita puesto que en el Cauca se debate una guerra interna entre lo legal y lo ilegal, y la minería de oro no es ajena a este fenómeno, la mencionada dualidad viene causando desde hace varios años, considerables cambios en la práctica productiva y disociaciones entre la población de muchos municipios del departamento especialmente en los ubicados al noroccidente del mismo.

Las dos caras de la minería se ven representadas de la siguiente forma, por un lado, está la extracción legal del oro, perteneciente en buena parte a

grandes empresas mineras en su mayoría extranjeras, que gozan de su posesión de títulos otorgados por el estado y que ejercen actividades como la minería de oro legal transicional, pero que a su vez también vincula otras actividades como la plantación de monocultivos de caña y la creación de parques industriales.

Por el otro lado se encuentra la minería ilegal, que generalizadamente ha sido estigmatizada y despreciada tanto por el estado que de cierta forma la obliga a ser realmente criminal, pues los insumos utilizados para la práctica, deben ser conseguidos en el mercado negro o con ayuda de organizaciones al margen de la ley. Si bien es cierto que en este lado hay grupos guerrilleros y bandas criminales que practican la minería ilegal también hay mucha gente del común que subsiste gracias a la actividad.

Se habla de subsistencia, porque en zonas mineras, es inevitable evidenciar el grado de pobreza en que viven quienes realizan esta actividad y sus familias, lo que resulta de cierta forma irónico, pues es bien sabido que la minería es una actividad económica muy rentable, pero entonces ¿Por qué sucede esto? La respuesta es simple, falta de educación y apoyo estatal, los mineros en su mayoría poseen conocimientos limitados y horizontes muy cortos, esto los lleva a mal invertir sus ganancias.

La solución puede estar en manos del estado, este debe adelantar acciones que permitan la modernización de la práctica minera incluso en los sitios más alejados apoyándose en herramientas como la investigación científica y de la misma forma debe empezar a abrir espacios de formación para los mineros, esto seguido de estudios para llevar a todos los puntos de explotación minera a una formalización.

Estas políticas inclusivas permitirán que el estado se reconcilie con zonas y municipios mineros, los cuales en su mayoría reflejan olvido por parte de el mismo y el sentir de los mineros es que la nación misma “reprime a los trabajadores humildes y brinda garantía y libertad a las multinacionales” lo que de cierta forma es verdad y esto se da a causa de la ausencia de leyes claras, abiertas y justas con este sector productivo.

Las cooperativas mineras del departamento del Cauca y de todo el país necesitan apoyo en cuestiones de asistencia técnica, financiamiento, apropiación de procesos limpios de producción, inclusión de mercados verdes, pues esto favorece y daría pie a actividades secundarias incluso más rentables e inclusivas como la joyería sobre todo hacia la mujer, puesto que el pesado trabajo en los entables limita mucho su participación en la actividad [44].

2.2.9 La minería en Suárez

Una de las mayores zonas de desarrollo minero del departamento del Cauca, se encuentra en el municipio de Suárez dado su potencial en recursos de esta índole, en él se extraen carbón, arenas y arcillas para la construcción y quizás el elemento más importante para la región el oro [45]. Se estima que son más de 5500 personas las que dependen de las actividades mineras en el municipio [46].

Las minas de oro más importantes del sector son: La Toma, El Carmen, El peñón, Gelima, La Montaña, El Desquite, Maraveles, Guayabillas, El Tamboral, El Calvario, El Danubio, La Carolina y La Turbina. La extensión minera podría estar representada aproximadamente por 120 km², cabe resaltar que el oro que se extrae de estas minas es oro de filón **Figura 8**,[46] al cual se accede a través de socavones o bocaminas [26].



Figura 8. Filón

- **Geología regional**

La zona está conformada por afloraciones rocosas de la edad cretácea, terciaria y cuaternaria. Al oeste se encuentran una secuencia de cherts, grauvacas, limolitas y areniscas limolíticas oscuras, con intercalaciones de flujo de basalto y dolerita. Sobre la margen derecha del río Cauca yacen rocas sedimentarias terciarias: arcillas limolíticas grises, limolitas grises, arcillas bituminosas con intercalaciones de shales, arcillas amarillas, conglomerados y areniscas limolíticas de color gris oscuro, [42].

- **Tipo de mineralización**

La cuarzodiorita y la roca encajante del límite norte de esta zona presentan mineralización de sulfuros de cobre y hacia el sur se presenta una veta constituida por venillas de cuarzo con oro de hasta 5 cms. de ancho; algunas diseminaciones de sulfuros ocurren dentro de las intercalaciones del intrusivo cerca de su contacto. La dirección preferencial de la mineralización en esta zona es de N40W, N60E, [42].

- **Calidad**

Análisis espectrográficos y de absorción atómica realizados por INGEOMINAS en el área detectaron la presencia de oro y plata en todas las muestras evaluadas. El máximo valor de oro en esta zona se registró en una muestra proveniente de un frente de la mina El Carmen (Suárez) con un contenido de 273 ppm. de oro y el mínimo valor de este metal se detectó en un fragmento de roca proveniente de la quebrada Turbina con 0.01 ppm. de oro, [42].

2.2.10 El mercurio

El mercurio es un elemento metálico, generalmente líquido, no posee olor es de color plateado y se volatiliza a temperatura ambiente **Figura 9**, [47]. En estado sólido es blanco y maleable. Su símbolo (Hg) proviene del latín: hydrargyrum, que significa plata líquida. comúnmente se conoce también como azogue [48]. Se da de manera natural en el medio ambiente y existe en una gran variedad de formas [18].



Figura 9. Mercurio

El elemento es definido como constitutivo de la tierra, en su forma pura, se lo conoce como mercurio “elemental” o “metálico” se representa como Hg (0) o Hg⁰, sin embargo, rara vez se le encuentra en esta forma. Como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas a temperatura ambiente se puede evaporar, si no está encapsulado, formando así vapores de mercurio, los cuales no poseen color ni olor. A mayor temperatura, más vapores se emitirán [49].

- **Propiedades fisicoquímicas del mercurio**

En la **Tabla 6** se indican algunas de las propiedades fisicoquímicas más importantes del mercurio:

Tabla 6 Propiedades del Mercurio

Número atómico	80
Valencia	1,2
Estado de oxidación	+2
Masa atómica (g/mol)	200,59
Densidad (g/ml)	16,6
Punto de ebullición (°C)	357
Punto de fusión (°C)	-38,4

- **Formas del mercurio**

El mercurio puede formar compuestos orgánicos e inorgánicos. Los primeros se forman cuando el mercurio se combina con carbono y son llamados también compuestos “orgánicos” de mercurio u organomercuriales, de los cuales existe una gran cantidad como por ejemplo (el dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio), pero el más conocido de todos es el metilmercurio el cual existe como sal [18].

Por su parte Algunos de los compuestos inorgánicos de mercurio son: sulfuro de mercurio (HgS), óxido de mercurio (HgO) y cloruro de mercurio (HgCl₂). 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 [18].

El mercurio no se descompone ni atenúa en sustancias inofensivas. En su ciclo, si puede cambiar de estado y especie, pero incluso en su forma más

simple el mercurio elemental, es nocivo para los seres humanos y el ambiente. Una vez liberado a partir de los minerales, o depósitos yacentes en la corteza terrestre, y emitido a la biosfera, el mercurio puede tener una gran movilidad y circular entre la superficie terrestre y la atmósfera [49].

- **Toxicología**

La toxicidad del mercurio depende de su forma química y, por lo tanto, los síntomas y signos varían dependiendo si la exposición fue al mercurio elemental, a los compuestos inorgánicos u orgánicos de mercurio. Las fuentes de exposición también varían notablemente de una a otra forma de mercurio. En **Figura 10**. Ciclo del mercurio **Figura 10**, [50], la se puede evidenciar un ciclo del mercurio y algunas formas en las que el hombre se ve expuesto

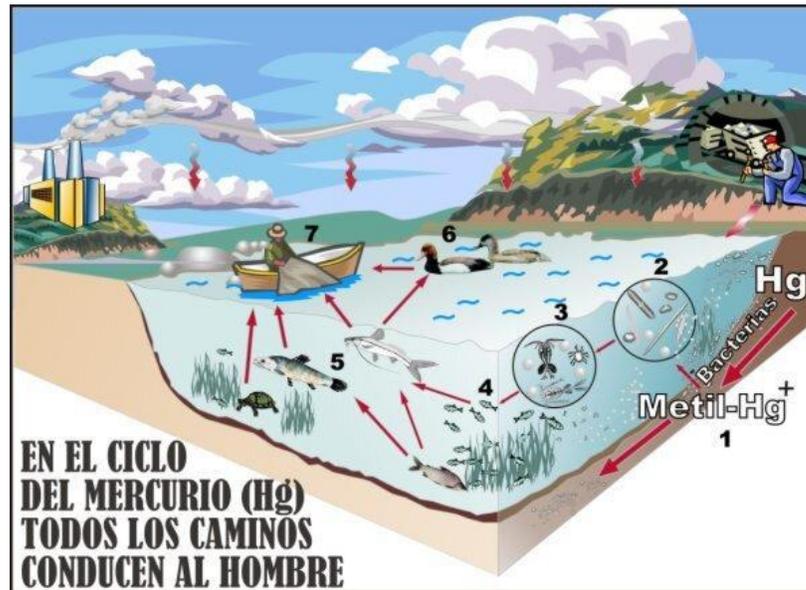


Figura 10. Ciclo del mercurio

- **Metilmercurio**

El metilmercurio es un compuesto orgánico de mercurio, que ocupa una atención especial, dado que mucha población está expuesta a él, es por ello que sus efectos tóxicos están mejor caracterizados que los de otros compuestos orgánicos de mercurio. Se considera que, dentro del grupo de los compuestos orgánicos de mercurio, los compuestos de alquilvercurio (en particular, etilvercurio y metilmercurio) son similares en toxicidad,[51].

El compuesto se absorbe en el tracto gastrointestinal en un 95%. Pasa a la sangre donde tiene una vida media de entre 44-80 días. Se distribuye por todos los tejidos, incluso transpasa con facilidad la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica, provocando efectos perjudiciales en el cerebro en formación. Algunos estudios indican que un pequeño aumento en la exposición al metilmercurio puede causar efectos negativos en el sistema cardiovascular y un incremento en la mortalidad, [52].

- **Mercurio elemental y compuestos inorgánicos de mercurio**

La exposición a esta forma de mercurio se da principalmente por la inhalación de sus vapores, de los cuales cerca del 80% es absorbido por los tejidos pulmonares, estos también penetran con facilidad la barrera de sangre del cerebro. Por otra parte, la absorción intestinal de mercurio elemental es baja, sin embargo, este puede oxidarse en los tejidos corporales a la forma divalente inorgánica, [18].

Se ha visto que tras la inhalación de vapor de mercurio elemental los seres humanos presentan trastornos neurológicos y de comportamiento. Algunos de estos síntomas contemplan: temblores, labilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular y dolores de cabeza. Se han observado asimismo efectos en el riñón y la tiroides. Las exposiciones altas también han ocasionado mortalidad, [18].

- **Efectos del mercurio en el medio ambiente**

El mercurio en el medio ambiente posee una preocupante facultad para aglomerarse en organismos y escalar por la cadena alimenticia como se observa en **Figura 11**, [53]. Aunque todas las formas del elemento pueden llegar a acumularse hasta cierto punto, es el metilmercurio quien se absorbe y acumula más que otras formas. El mercurio inorgánico también puede ser absorbido, sin embargo, en menores cantidades y con menor eficiencia que el metilmercurio, [18].

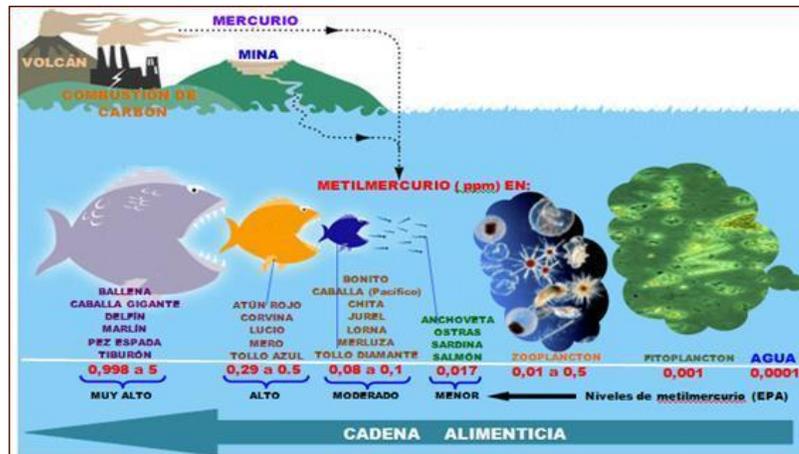


Figura 11. Biomagnificación del mercurio

El efecto del mercurio que más incurre en los animales y en los humanos es la biomagnificación del mismo. Aparentemente, los peces incorporan con fuerza el metilmercurio; el cual representa casi el 100% del mercurio que se bioacumula en los mismos. La mayor parte del metilmercurio en tejidos de peces genera enlaces covalentes con grupos sulfhidriilo proteínico, con lo que la vida media de eliminación resulta ser de aproximadamente 2 años, [52].

Fuera de la concentración en alimentos, se encuentran otras causas que inciden en la bioacumulación del mercurio, una de estas es el efecto de las bacterias metiladoras de mercurio, como los reductores de sulfato. La combinación de estos factores, provoca que el índice de metilación neta pueda influir mucho en la cantidad de metilmercurio que se produce y que puede ser acumulado y retenido por organismos acuáticos como se observa en la **Figura 12**, [54], [18].

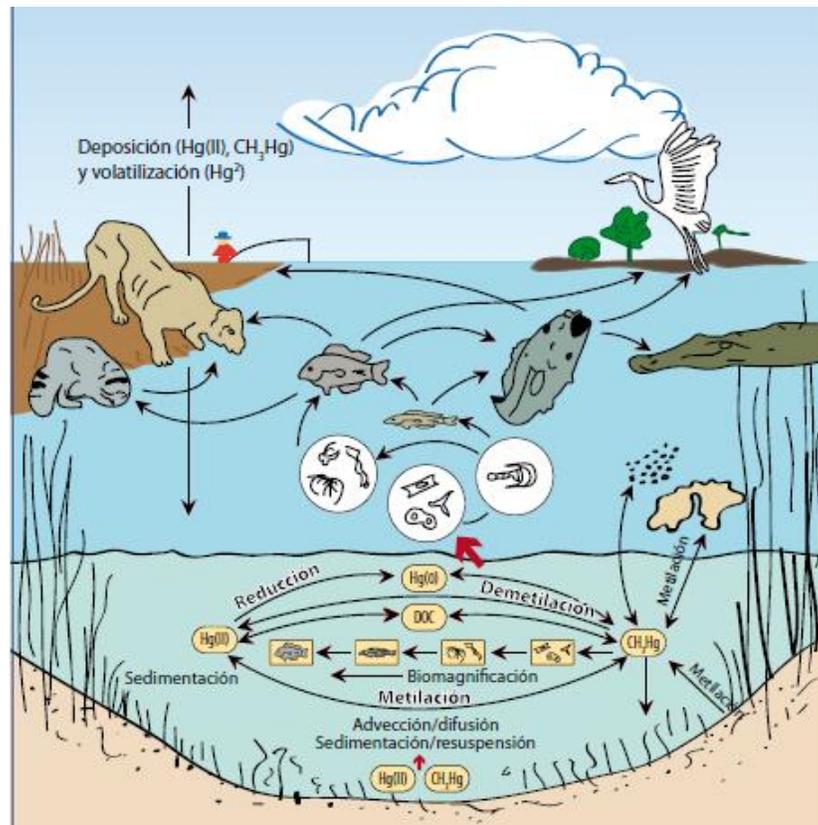


Figura 12. Procesos de metilación – desmetilación

En comparación a las cadenas alimentarias terrestres, las acuáticas dadas sus dinámicas suelen tener más niveles, en tierra los depredadores de especies silvestres rara vez se alimentan unos de otros y, por lo tanto, la biomagnificación acuática generalmente alcanza valores mayores. Así, pues, el mercurio se transfiere y acumula de uno a otro nivel de la cadena alimentaria, [18].

- **Fuentes del mercurio en el medio ambiente**

Las liberaciones de mercurio en la biosfera pueden agruparse en cuatro categorías:

- ✓ Fuentes naturales: Son liberaciones producidas por la movilización natural del mercurio generado naturalmente en la tierra, ya sea por actividad volcánica o por erosión de las rocas;
- ✓ Liberaciones antropogénicas provocadas por la presencia de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo y otros

minerales extraídos, tratados y reciclados). De las emisiones antropogénicas el 85% de Hg provienen de esta fuente.

- ✓ Liberaciones antrópicas generadas por la utilización intencional de mercurio en productos y procesos, provocadas por liberaciones durante la producción, fugas, eliminación o incineración de productos de desecho u otras.
- ✓ Removilización de liberaciones antropógenas pasadas depositadas en suelos, sedimentos, aguas, vertederos y pilas de desechos/residuos, [51].

- **Fuentes antropógenas de mercurio**

En la **Tabla 7**, se presentan las actividades que han sido fuentes de mercurio a nivel mundial por parte de actividades antrópicas

Tabla 7 Fuentes antrópicas de mercurio a nivel mundial

Liberaciones por la movilización de impurezas de mercurio	Producción de energía y de calor alimentada por carbón
	Producción de energía a base de otros combustibles fósiles del carbón
	Producción de cemento (Mercurio en cal)
	Minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y elaboración de materiales vírgenes reciclados, ejemplo: producción de hierro, acero y oro
Liberaciones de extracción y uso intencional del mercurio	Minería de mercurio
	Minería de oro y plata en pequeña escala (proceso de amalgamación)
	Producción cloroalcalina
	Uso de lámparas fluorescentes
	Fabricación de productos que contienen mercurio (manómetros, interruptores eléctricos y electrónicos etc.)
Liberaciones del tratamiento de desechos (impurezas y uso intencional)	Incineración de desechos (municipales, médicos y peligrosos)
	Vertederos de basuras
	cremaciones
	Cementerios (liberaciones al suelo)

- **El mercurio y la minería de oro**

Dadas las propiedades que posee el mercurio y la afinidad que este presenta con el oro, es usado sobre todo en la minería artesanal y en pequeña escala para el extraer el mineral precioso de la roca que lo contiene, [15]. El elemento metálico es agregado a los barriles donde se tritura el material enriquecido o en las canaletas donde se separa el material por gravimetría, posterior a esto se lava el producto, pasando por un segundo proceso de concentración gravimétrica.

Una vez lavado y concentrado el material se agrega más mercurio a las arenas resultantes y estas se someten a un proceso de barequeo o un tercer proceso de concentración gravimétrica, donde se evidencia la amalgama formada entre el oro y el mercurio **Figura 13**, [55], según algunos datos solo el 10% del mercurio agregado se mezcla con el oro y forma amalgama, el resto es sobrante y se recicla o desecha al medio ambiente.



Figura 13. Amalgama de mercurio

2.2.11 Bórax

El tetraborato de sodio, más conocido como bórax o sal de boro, es un cristal de color blanco **Figura 14**, [56], con facilidad de disolución en agua, es también un compuesto importante del boro, no provoca cáncer, tampoco es acumulable en el cuerpo ni se absorbe a través de la piel. Además de no dañar la salud humana tampoco es perjudicial para el medio ambiente, [57]. En La **Tabla 8** se muestran algunas de sus características



Figura 14. Bórax

Tabla 8 Propiedades del Bórax

Heptaoxotetraborato de sodio	
<u>Na₂B₄O₇·10H₂O</u>	
Apariencia	blanco
Densidad	1730 <u>kg/m³</u> ; 1,73 <u>g/cm³</u>
Masa molar	381,4 g/mol
Punto de fusión	1014 K (741 °C)
Solubilidad en agua	55 g en 100 g de agua 5.93 x10 ⁴ mg/L a 25°C.

El bórax se puede formar naturalmente en depósitos de rocas sedimentarias producidas por la evaporación continua de los lagos estacionarios, [48]. En las reacciones químicas, el borato se considera un anfótero es decir que puede comportarse tanto como ácido y como base. Esta característica permite que el pH del bórax sea regulado tanto en disoluciones como en productos químicos que tienen base acuosa. También, el bórax tiene la capacidad de disolver óxidos metálicos al fusionarse con ellos, [49].

2.3 BASES LEGALES

En La ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. se recopila la legislación minera, las leyes que rigen el mercurio y una parte de legislativa ambiental, que gobierna en nuestro país.

Tabla 9. Bases legales

fundamentos legislativos en la política ambiental colombiana	
La Constitución Nacional de 1991.	
La Ley 9 de 1979 por la cual se dictan medidas sanitarias, sanciones y prohibiciones.	
La Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.	
El Decreto 2811 de 1974 que dicta el Código Nacional de Recursos Naturales.	
Legislación que rige al mercurio	
Ley 1658 del 15 de Julio de 2013	"Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones".
Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
Decreto 3930 del 25 de octubre de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2691 del 23 de diciembre de 2014	Por el cual se reglamenta el artículo 37 de la Ley 685 de 2001 y se definen los mecanismos para acordar con las autoridades territoriales 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.
Resolución 2115 del 22 junio de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano

Resolución 631 del 17 de marzo de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Legislación minera	
Ley 685 del 15 de agosto de 2001	por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.
Decreto 0933 del 9 de mayo de 2013	Por el cual se dictan disposiciones en materia de formalización de minería tradicional y se modifican unas definiciones del Glosario Minero
Decreto 1666 del 21 de octubre de 2016	"Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, relacionado con la clasificación minera" define la minería tradicional
Decreto 4134 del 3 de noviembre de 2011	Por el cual se crea la Agencia Nacional de Minería, ANM, se determina su objetivo y estructura orgánica
Resolución 18-1467 del 7 de septiembre de 2011	Por la cual se adopta la Política Nacional de Seguridad Minera
Convenios Internacionales	
Convenio de Minamata	El objetivo de este tratado global es proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropógenas de mercurio y compuestos de mercurio.
Convenio de Rotterdam	promover la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de los países, en el ámbito del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos, a fin de proteger la salud humana y el ambiente de posibles daños y contribuir a su utilización adecuada.
Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a nivel internacional SAICM	Es una declaración de alto nivel que reafirma el compromiso expresado por la Cumbre Mundial, en su Plan de Aplicación de Johannesburgo, sobre el Desarrollo Sostenible. Busca minimizar los efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente, derivados de la producción y utilización de productos químicos

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo de investigación se llevó a cabo en tres fases, las cuales se describen a continuación:

3.1 Fase 1. Selección de entables

3.1.1 Reconocimiento de la zona y acercamiento con la comunidad

Se realizó una primera visita de reconocimiento al municipio de Suárez, en la que se recorrió una zona de concentración minera situada a 9 km de la cabecera municipal en la vereda el Tamboral. En esta zona se visitaron 5 entables mineros, y se socializó a sus encargados y trabajadores la importancia de la realización del proyecto a nivel investigativo y se obtuvo una buena respuesta y acogida por parte de esta comunidad.

3.1.2 Selección de los entables a trabajar.

Para el desarrollo del proyecto se hizo necesario hacer uso de dos entables mineros a fin de obtener dos grupos de resultados que representaran entornos de producción y extracción distintos y permitieran visualizar las diferencias o similitudes en los resultados. La selección de los entables se hizo a partir de un grupo de características definidas, descritas posteriormente, a partir de las necesidades del mismo proyecto y buscando la viabilidad de la realización de las pruebas.

El primer entable seleccionado requería ser uno previamente utilizado y caracterizado en investigaciones anteriores, esto a fin de verificar y comparar los resultados obtenidos en el rendimiento de obtención de oro. Dada esta característica se escogió el entable **Las Palmas**, sumado a esto el sitio presentaba un funcionamiento continuo y su encargado mostró afinidad y disposición para el desarrollo del proyecto.

El segundo entable se seleccionó teniendo en cuenta que no se hubieran realizado pruebas en el con anterioridad, para evidenciar la reproducibilidad de las pruebas en nuevos entables, sumado a esto el material utilizado para el proceso de beneficio debía también ser diferente al del primer entable, esto con el fin de evaluar la influencia de las distintas variables en el desarrollo y

los resultados del proyecto. El entable escogido dadas sus características y acogida al proyecto fue **CMECD S.A.S.**

3.1.3 Cartografía y georreferencia de la zona

Una vez establecidas las áreas de trabajo, se realizó la cartografía de cada uno de los entables y del área de trabajo en general utilizando, la plataforma tecnológica Google Maps©, con la que se obtuvieron imágenes satelitales. La georreferenciación de cada entable se realizó en campo utilizando un GPS (**Garmin eTrex® 10**).

3.1.4 Caracterización de los entables

Con el objetivo de medir el impacto de la actividad minera, a nivel social, ambiental y económico y de la misma forma medir el alcance del proyecto, se realizaron tres tipos de caracterizaciones en cada entable (físicas, social y ambiental). Estas caracterizaciones se realizaron en campo en visitas exclusivas para este fin, con el objetivo de recopilar los datos de primera mano y de forma precisa.

La primera caracterización que se llevó a cabo en los entables fue la caracterización física, en esta se realizó un inventario detallado de los equipos, herramientas, materiales e insumos presentes en cada sitio de trabajo, esto con el fin de identificar sus características y cantidades puesto que las mismas son variables que pudieron influir en el resultado de las pruebas. Para esta caracterización se usó una lista de chequeo de elaboración propia (Anexo 2).

La segunda caracterización realizada, fue de tipo social, para este aspecto se entrevistaron tanto a los encargados de cada entable, como a sus trabajadores, a fin de obtener datos sobre su educación, bienestar y economía. Para esta caracterización se utilizó como base una matriz socio-económica de Sisbén extraída del Departamento Nacional de Planeación (Anexo 3),[58].

La tercera caracterización realizada fue de tipo ambiental, con esta se buscó cualificar y cuantificar los impactos provocados por la actividad minera realizada en los dos entables, sobre los distintos componentes del medio ambiente. Para la realización de este análisis se utilizó la estructura y algunos

aspectos de la matriz de Leopold, sumado a esto se aplicaron los conceptos de evaluación del método analítico para el cálculo de matrices ambientales de Corteza, Fernández y Vitoria y finalmente se asignaron colores de consideración propia a cada intervalo con el fin de cualificar los impactos.

3.1.5 Selección del mineral para pruebas en campo

La selección de material para realizar las pruebas en cada entable se hizo partiendo del requerimiento, de que todas las pruebas debían realizarse con el mismo material, por lo tanto, debía contarse para cada caso con una cantidad mínima de 100 kg de material para trabajar. En el caso del entable Las Palmas se escogió una mezcla 50/50 de material procedente de las minas Maraveles y la Turbina, dado que el propietario del entable habitualmente combina estos minerales para ser procesados. Para el entable CMEDC se trabajó con mineral procedente de la mina El Desquite.

En los dos casos, antes de iniciar las pruebas se dispuso el material existente sobre una superficie plana, y se le aplicó con ayuda de una pala el método de cuarteo, hasta obtener una cantidad de 50 kg debidamente pesada con una balanza tipo dinamómetro para cada barril, esto a fin de garantizar que el trabajo se hiciera con una muestra homogénea del material, sobre todo en el caso del primer entable, donde la procedencia del mismo fue de dos minas.

3.2 Fase 2

3.2.1 Realización de las pruebas en campo

Las pruebas realizadas en campo buscaron evaluar la eficiencia del borato de sodio, como sustituto del mercurio en las prácticas mineras de extracción de oro, en los entables “Las Palmas” y “CMEDC”. La aplicación de las pruebas se hizo siguiendo el esquema tradicional y ancestral que aplican los mineros de la zona, pues el objetivo del proyecto fue realizar la búsqueda de un sustituto, pero sin modificar el proceso de beneficio ya establecido.

El paso a paso que llevan los mineros en los dos entables trabajados para la extracción de oro es el mismo y consta de 8 fases las cuales se describen a continuación:

- **Extracción del mineral:** El tipo de minería que se lleva a cabo en la zona es llamado de filón o de socavón, para extraer el mineral realizan voladuras en la roca madre, identifican la veta de oro y la van desprendiendo con ayuda

de cincel y maceta, el material suelto va siendo empacado en sacos, los cuales son sacados posteriormente a la bocamina donde reposan para hasta transportados, ver **Figura 15**, [59].



Figura 15. Extracción de mineral

- **Transporte:** El mineral apilado afuera de las minas, es transportado generalmente por animales de carga, **Figura 16**, [60] estos son en su mayoría yeguas de mediana edad a las cuales se les amarran a sus costados los bultos de mineral, de un peso aproximado entre 45 y 60 kg, dadas las condiciones del terreno estos animales la mejor opción para el transporte del material desde la mina hasta los entables.



Figura 16. Mulas de carga

- **Recepción del mineral:** Una vez llega el mineral al entable, el encargado y los ayudantes se disponen a descargar las mulas y a acopiar los bultos en espacios destinados para tal fin. Seguidamente el material es vaciado en un espacio abierto como se observa en la **Figura 17** donde se revisa si el tamaño es apto para trituración, si es muy grande >2 pulgadas se reduce su tamaño de forma manual usando una maceta.



Figura 17. Material descargado

- **Trituración:** Una vez se tiene todo el material homogeneizado a un tamaño de partícula menor a 2 pulgadas, se procede a depositarlo en la trituradora, esta es una máquina que fractura y minimizan el material, hasta llevarlo a un tamaño de partícula menor a 15 mm **Figura 18.** El material que va pasando por la trituradora va siendo inmediatamente dispuesto para entrar a molienda.



Figura 18. Trituración de mineral

- **Molienda:** Se lleva a cabo en una serie de barriles metálicos **Figura 19**, unidos en uno de sus extremos por una polea artesanal a un motor, los barriles poseen una capacidad de carga de entre 40 y 70 kg. Junto con el material se agregan, los cuerpos moledores, que son unas bolas de hierro, cuyos diámetros oscilan entre 1/2 y 3 pulgadas **Figura 20**, estos cuerpos pulverizan las rocas a medida que el barril gira. Dependiendo la procedencia del material a procesar, la molienda puede durar de entre 2 a 6 horas, dada la dureza de la roca.



Figura 19. Barriles



Figura 20. Cuerpos moledores

- **Agregado de insumos:** A mitad del tiempo total de la molienda, para el caso de las pruebas en los dos entables a las 2 horas, los barriles se detienen y se destapan para agregar el mercurio **Figura 22** al proceso, en este punto con el mineral semi pulverizado el mercurio va amalgamando el oro con cada giro del barril. junto con el elemento se agrega también jabón antigrasa, en el caso del entable 1 se añade también a la molienda miel de purga.

Aquí radica la esencia de la realización de las pruebas, pues a uno de los dos barriles que la componen, no se le agrega mercurio sino Bórax, **Figura 21** en una cantidad escogida entre un rango de 100 y 200 gramos, el cual fue establecido por las investigaciones base [10], [11], dada su recuperación positiva de oro al final de la prueba. Para las 6 pruebas realizadas se utilizaron 4 cantidades distintas, a fin de observar con qué cantidad se lograba mejor recuperación.



Figura 21. Agregado de Bórax



Figura 22. Agregado de mercurio

- **Deslode:** El deslode, se realiza inmediatamente termina la molienda, el material pulverizado se deposita en contenedores de plástico **Figura 24**, junto con el agua lodo proveniente del lavado cuidadoso que se realiza a los barriles y a los cuerpos moledores participantes en el procedimiento a fin de no desperdiciar material enriquecido **Figura 23**. las poncheras se dejan reposar con el objetivo de que el material se someta a una concentración gravimétrica pasiva y se alistan para el lavado.



Figura 24. Deslode 1



Figura 23. Deslode 2

- **Lavado:** El lavado del material se puede realizar de dos formas, manual o mecánica. Para el caso de las pruebas, en ambos entables se hizo de modo manual. El proceso consistió que a los mismos recipientes donde se descarga el material, se inyectó agua a presión por un costado, este se va revolviendo con la mano y se va vaciando de a poco el material menos denso, hasta dejar un concentrado de aproximadamente de 1 libra.



Figura 26. Lavado 1



Figura 25. Lavado 2

- **Concentrado (Amalgamación):** la concentración se realizó manualmente haciendo uso de un elemento circular cóncavo llamado batea, en ella se depositó el concentrado de material procedente del lavado, generalmente se agrega aún más mercurio **Figura 28** para recoger las partículas de oro que la amalgama inicial no recogió, además del mercurio se agrega jabón desengrasante **Figura 27** y en ocasiones lejía para limpiar el mineral



Figura 27. Agregado de Jabón



Figura 28. Mezcla de mercurio

El barequero realiza movimientos circulares hasta deshacerse de todo el material sobrante y se evidencie sólo la amalgama si ha utilizado mercurio **Figura 30**. Para el caso del Bórax el oro recuperado es oro libre por lo tanto el barequeo se realiza hasta que solo se evidencian los gránulos del elemento **Figura 29** los cuales al final se deslizan con agua sobre un trozo de seda.



Figura 30. Amalgama



Figura 29. Oro libre

- **Fundición:** la amalgama resultante se pasa por un trozo de seda donde se filtra el excedente de mercurio y presiona hasta formar una circunferencia, esta es dispuesta en una superficie metálica y con un soplete se calienta

hasta una temperatura mayor de 1064 °C (1337,15 °k) que es la temperatura de fundición del oro, **Figura 31** y **32** una vez se verifique que ya no quedan trazas del elemento, el oro resultante es pesado y se dispone para ser vendido.



Figura 31. Fundición 1



Figura 32. Fundición 2

Para la aplicación de las pruebas en los dos entables, aunque se siguió la estructura mencionada, se llevó un protocolo mucho más estricto a fin de que la única variable representativa entre la línea con mercurio y la línea con Bórax fuera precisamente la diferencia en la aplicación de cada insumo, sin embargo, cabe mencionar que a causa de la contaminación cruzada en CMEDC la línea en que se aplicó bórax registro trazas de mercurio.

En todo lo demás se buscó la mayor equivalencia posible, a través de aforos, pesas y medidas. La diferencia en las cantidades de mercurio usadas en cada entable para las pruebas se debió a la dificultad en la obtención del mismo para el entable 2. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se reflejan las variables controladas.

Tabla 10. Variables

	Entable 1	Entable 2
Cantidad de material	50 kg por barril	50 kg por barril
Cantidad de agua agregada a los barriles	Dos recipientes por c/u Recipiente = 20 l	

Cantidad de cuerpos molidores	100 por barril Densidad y tamaño variables	
Dimensiones de los barriles	40,5 largo x 51 diámetro	40 largo x 50 diámetro
Revoluciones de los barriles	-	50 RPM
Motor usado para giro	Motor eléctrico	Motor eléctrico
Cantidad de mercurio agregada	3 oz x barril	1 oz x barril
Cantidad de jabón agregada	5 gramos	
Cantidad de miel de purga agregada	50 gramos x barril	-----
Tiempo total de molienda	3,75 horas	3,75 horas

En las **Tabla 11** y **12**, se representan la cantidad de pruebas realizadas por entable con algunos datos generales, además se ejemplifica en la **Figura 33** la estructura y forma de realización de una prueba.

Entable 1 (Las Palmas)

Tabla 11. Pruebas realizadas E1

Pruebas realizadas	Fecha de realización	Cantidad de mercurio utilizada	Cantidad de Bórax utilizada
1	6/08/2019	3 oz	125 gr
2	6/08/2019	3 oz	150 gr
3	17/05/2019	3 oz	175 gr
4	17/06/2019	3 oz	300 gr

Entable 2 (CMEDC)

Tabla 12. Pruebas realizadas E2

Pruebas realizadas	Fecha de realización	Cantidad de mercurio utilizada	Cantidad de Bórax utilizada
1	20/08/2019	1 oz	125 gr
2	20/08/2019	1 oz	175 gr

Representación gráfica de una prueba

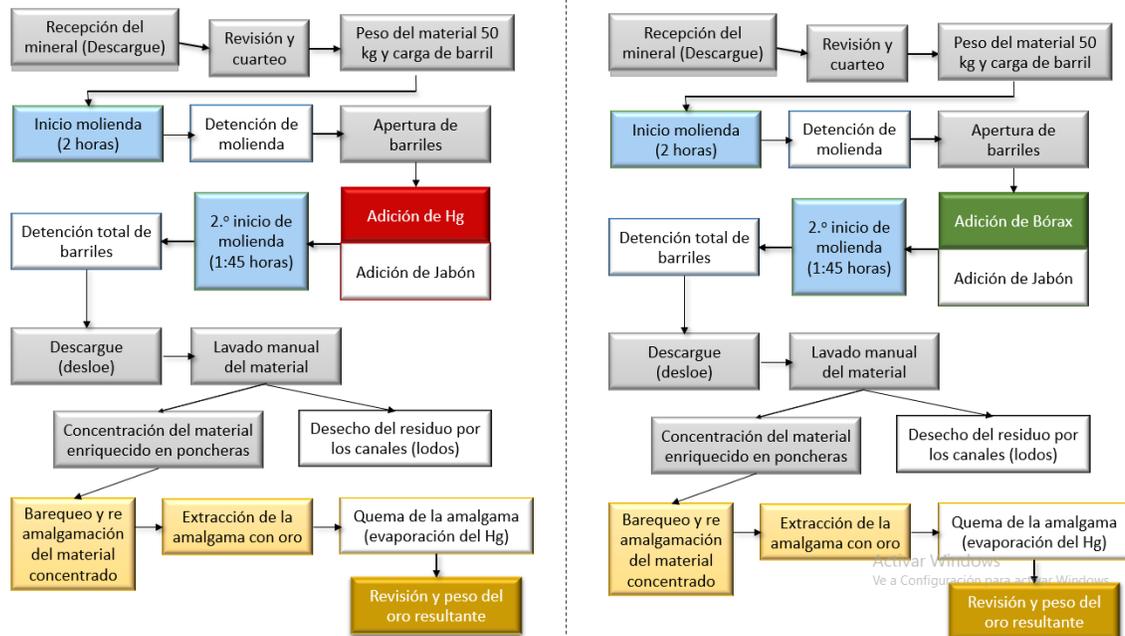


Figura 33. Estructura de una prueba

3.3 Fase 3 Entregables

3.3.1 Realización de la guía de aplicación

Es necesario mencionar que inicialmente se pretendía realizar y entregar un protocolo detallado donde se estableciera la dosis óptima de aplicación de bórax y demás variables, sin embargo, las variaciones que se debieron realizar transcurso del proyecto y los resultados propios de la investigación no permitieron desarrollar tal fin, en reemplazo del protocolo se desarrolló una guía básica de aplicación del método del bórax la cual contiene un paso a paso del proceso sin profundizar en cantidades requeridas ni valores de insumos.

La realización de la guía se hizo, con ayuda de la herramienta Microsoft® Publisher en formato folleto, el paso a paso descrito corresponde a la metodología resumida del presente proyecto de investigación.

3.3.2 Video explicativo

Se realizó un breve video con la ayuda del software de edición DaVinci Resolve® 16, donde se describe los pasos a seguir para la aplicación del método del bórax como sustituto del mercurio de forma concisa y dinámica.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados se organizaron y plantearon en las mismas fases dadas por la metodología, que en su defecto corresponden al cumplimiento de cada objetivo específico y en conjunto dan respuesta al objetivo general y al propósito del desarrollo de esta investigación.

4.1 Fase 1

4.1.1 Datos básicos y georreferenciación

En las ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y

Tabla 13. Información general Las Palmas

Información de ubicación					
Departamento	Cauca	Municipio	Suárez	Vereda	La estrella
Coordenadas	Este (x)	76°43'17,66"	Altitud (msnm)	1178	
	Norte (y)	2°55'19,04"			
Información general de la UPM					
Nombre de la UPM	Las Palmas	Área total de la planta	1700m ²	Área del entable	23m ²
Estado de la UPM	Activa	Vía de acceso	Carretera sin pavimentar	Distancia a la cabecera	0,75 horas/ 13 km

Tabla 14. Información general CMEDC

Información de ubicación					
Departamento	Cauca	Municipio	Suárez	Localidad	Cabecera municipal
Coordenadas	Este (x)	76°43'17,6"	Altitud (msnm)	1025	
	Norte (y)	2°57'37,00"			

Información general de la UPM					
Nombre de la UPM	CMEDC	Área total de la planta	8085m ² aprox	Área del entable	15m ²
estado de la UPM	Activa	Vía de acceso	Carretera pavimentada en mal estado	Distancia a la cabecera	0 horas/ 0 km

se evidencian las coordenadas geográficas de los entables trabajados y algunos datos extra sobre su ubicación, además se establecieron ciertas notas sobre su información general, anexo a esto se muestra su ubicación satelital por medio de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, [61], **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** extraída de Google Maps©.

Tabla 13. Información general Las Palmas

Información de ubicación					
Departamento	Cauca	Municipio	Suárez	Vereda	La estrella
Coordenadas	Este (x)	76°43'17,66"	Altitud (msnm)	1178	
	Norte (y)	2°55'19,04"			
Información general de la UPM					
Nombre de la UPM	Las Palmas	Área total de la planta	1700m ²	Área del entable	23m ²
Estado de la UPM	Activa	Vía de acceso	Carretera sin pavimentar	Distancia a la cabecera	0,75 horas/ 13 km

Tabla 14. Información general CMEDC

Información de ubicación					
Departamento	Cauca	Municipio	Suárez	Localidad	Cabecera municipal
Coordenadas	Este (x)	76°43'17,6"	Altitud (msnm)	1025	
	Norte (y)	2°57'37,00"			
Información general de la UPM					
Nombre de la UPM	CMEDC	Área total de la planta	8085m ² aprox	Área del entable	15m ²
estado de la UPM	Activa	Vía de acceso	Carretera pavimentada en mal estado	Distancia a la cabecera	0 horas/ 0 km



Figura 34. Cartografía de los entables trabajados [61]

- **Análisis georreferencia y cartografía de las zonas a intervenir.**

El entable Las Palmas se encuentra ubicado en zona rural del municipio de Suárez, aproximadamente a 13 km de la cabecera municipal, sin embargo, el tiempo de viaje puede durar hasta 45 minutos en carro, pero esto se debe al mal estado de la vía, la cual dificulta el acceso a la zona de las plantas de procesamiento. Por su parte CMEDC se encuentra ubicado en la cabecera municipal, a 5 minutos en carro desde el parque principal.

Al comparar las áreas construidas de los entables, se observó que Las Palmas posee más espacio en comparación a CMEDC e incluso cuenta con una vivienda dentro del área de trabajo, sin embargo, CMEDC posee un predio más grande ya que procesan más cantidad de material y usan también el método de cianuración por lo tanto ocupan un montaje de mayor tamaño que los entables que solo trabajan con amalgamación

4.1.2 Caracterización de los entables

- ***Caracterización física***

Entable Las Palmas

El entable Las Palmas, **Figura 35**, se caracteriza por ser uno de los más grandes de la zona, actualmente funciona continuamente de lunes a sábado, cuenta con 3 trabajadores permanentes, los cuales son el encargado y dos ayudantes. Este entable se alquila a los propietarios de minas de la zona por un valor de 7000 pesos/hora, para realizar el proceso de molienda, en este caso, el propietario del mineral debe contratar los obreros necesarios para llevar a cabo el trabajo y a estos se les paga por jornales.



Figura 35 Entable Las Palmas

Las **Tabla 15****Tabla 16****Tabla 17**,**Tabla 18** muestran la información recolectada en el estable Las Palmas a partir de la caracterización realizada, en esta se inventariaron todas las herramientas, insumos, materiales y equipos que pudieran tener influencia en la realización del proyecto y en los resultados de las pruebas, también se contabilizaron los elementos de protección personal utilizados por los trabajadores durante cada proceso.

Tabla 15. Inventario de materiales Las Palmas

Número de líneas de producción	4	Número de barriles	30	Dimensiones promedio (largo - diámetro) en cm	51 x 44,5
RPM promedio	56,4	Capacidad mínima por barril (kg)	45	Capacidad máxima por barril (kg)	70
Promedio de cuerpos moledores por barril	102	Ø mínimo de los cuerpos moledores (pulgadas)	1/2	Ø máximo de los cuerpos moledores (pulgadas)	2
Número de motores	5	Caballos de fuerza (hp)	5	RPM	1800
Trifásico o monofásico	Monofásico	Voltaje (v)	220	Amperaje (A)	22
Número de tanques para el almacenamiento de agua	2	Capacidad de tanques m³	23	Número de mangueras de agua	2
Ø de manguera (pulgadas)	2	Caudal promedio en l/s	1,7	Tipo de trituración	Quijada
Capacidad de producción por molienda (kg)	1725	Agua requerida por molienda promedio (l)	6840		

Tabla 16. Inventario de herramientas Las Palmas

Palas	2	Recipientes de 20 l	40	Porras	2
Bateas	2	Dinamómetro	1	Elutriador	2

Gramera	1	Soplete de gas natural	1	Crisol	2
----------------	---	-------------------------------	---	---------------	---

Tabla 17. Inventario de insumos Las Palmas

Mercurio por barril (oz)	3	Bórax (kg)	2	Miel de purga (kg)	5
Tipo de fundición	Soplete de gas natural	Limón	-----	Ácido (gal)	1
Hipoclorito de sodio (ml)	500	Seda para filtrar Hg	1	Cuerda	1

Tabla 18. Inventario de elementos de protección personal (EPP) Las Palmas

Botas de seguridad	No	Uso de casco de seguridad	No	Vestimenta adecuada	No
Guantes	No	Mascarilla para gases	No	Gafas de seguridad	No
Tapa oídos	No	Overol para fundición	No	Gafas de fundición	No

Análisis Caracterización física entable Las Palmas

La caracterización física permitió identificar varios aspectos relevantes. El entable dado su tamaño posee cuatro líneas de producción con un total de 30 barriles, cada línea es movida por un motor distinto como se evidencia en la **Figura 36**. El primer factor que se hizo evidente fue la desigualdad en los tamaños de los cocos (barriles), logrando establecer solo 3 parejas de dimensiones semejantes en los 30 barriles existentes; este efecto se vio reflejado en los RPM de cada barril, lo cual fue un inconveniente para la realización de las pruebas, dado que no se contó con una velocidad exacta para los dos barriles utilizados en cada una de las 4 pruebas.

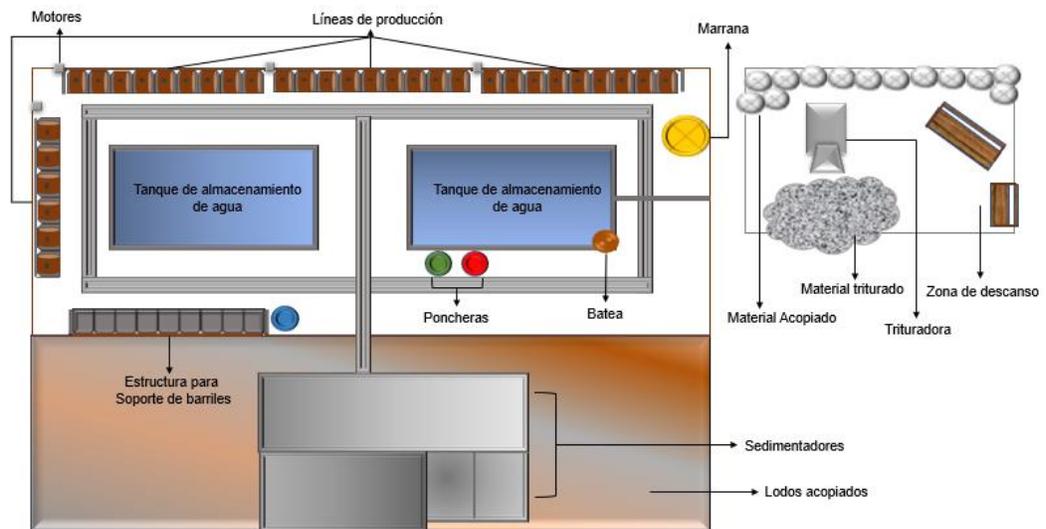


Figura 36. Esquema del entable Las Palmas

El agua utilizada en la planta es conducida por gravedad aproximadamente 300 m lineales desde una subcuenca del río Cauca, el caudal presente en las mangueras se mostró variable, dada la proporcionalidad directa al caudal que se presente en el cuerpo hídrico, los tanques de almacenamiento de agua, aunque poseen en conjunto una capacidad de $23m^3$, normalmente se encuentran mezclados con lodos para reproceso, lo cual incrementa su peso y disminuye su capacidad de almacenamiento.

Se evidenció también que, a los tanques usados para la recolección y sedimentación de lodos, no se les realiza un mantenimiento regular, debido a la dificultad que representa limpiar y retirar estos desechos lo que ocasiona que los tanques permanezcan colmatados y los vertimientos productos de la actividad, no tengan el tratamiento previo por el que deberían pasar, antes de llegar a la fuente hídrica.

El tamaño de los cuerpos moledores fue otra variable muy difícil de controlar debido a la variedad y la cantidad de estos, aunque a cada barril de prueba se le agregaron 100 cuerpos contados, fue casi imposible estandarizar las dimensiones de los mismos, dado que estos son comprados en diámetros de entre 1/2 y 2 pulgadas para garantizar una trituración efectiva del mineral, sumado a esto con el transcurso de cada molienda, los mismos se van deformando y reduciendo su tamaño, como se observa en la **Figura 37**.



Figura 37. Cuerpos moledores 2

La segunda etapa de la caracterización permitió evidenciar un aspecto de suma importancia y es la ausencia de elementos de protección personal (EPP) en los trabajadores durante el proceso de beneficio, como se muestra en la **Figura 38** muchos de ellos trabajan, sin casco, sin camisa, en sandalias, o botas de caucho sin puntera de seguridad. No se protegen si del ruido, ni del material particulado, ni de un accidente laboral con el material. La parte más preocupante es que la manipulación del mercurio la hacen sin guantes y la quema de este sin careta ni máscaras de protección.



Figura 38. Trabajadores sin EPP del entable Las Palmas

Entable CMEDC

La planta de beneficio CMEDC **Figura 39** está legalmente constituida y posee un contrato de concesión FLN-093. Cuenta con un montaje de gran tamaño, dado el volumen de material que se maneja al ser una empresa, sin embargo, su entable costa solo de 12 barriles, esto se debe a que el método principal de recuperación de oro es la cianuración. El mineral que llega a proceso es vaciado en una tolva, la cual está conectada a una banda transportadora, donde antes de entrar a proceso de molienda se realiza doble trituración.



Figura 39. Entable CMEDC

En la **Tabla 19, 20, 21, 22** se muestra la información recolectada en la planta CMEDC de igual manera a las realizadas en el entable Las Palmas.

Tabla 19. Inventario de materiales

Número de líneas de producción	2	Número de barriles	12	Dimensiones promedio (largo-diámetro) en cm	50x40
RPM promedio	50	Capacidad mínima por barril (Kg)	50	Capacidad máxima por barril (Kg)	60
Promedio de cuerpos moledores por barril	100	Ø mínimo de los cuerpos moledores (pulgadas)	1/2	Ø máximo de los cuerpos moledores (pulgadas)	3
Número de motores	2	Caballos de fuerza (hp)	5	RPM	1200
Trifásico o monofásico	Trifásico	Voltaje (v)	440	Amperaje (A)	9
Número de tanques para el almacenamiento de	1	Capacidad de tanques m³	30	Número de mangueras de agua	2
Ø de manguera (pulgadas)	2	Caudal promedio (l/s)	1,62	Tipo de trituración	Doble Quijada
Capacidad de producción por molienda (kg)	360	Agua requerida por molienda promedio (l)	787		

Tabla 20. Inventario de herramientas CMEDC

Palas	2	Recipientes de 20 l	6	Porras	1
Bateas	2	Dinamómetro	1	Elutriador	1
Gramera	1	Soplete de gas natural	1	Crisol	2

Tabla 21. Inventario de insumos CMEDC

Mercurio por barril (oz)	1	Bórax (kg)	2	Miel de purga	----
Tipo de fundición	Soplete	Limón	---	Acido	-----
Hipoclorito de sodio	-----	Seda para filtrar mercurio	1	Cuerda	1

Tabla 22. Inventario de elementos de protección personal (EPP) CMEDC

Botas de seguridad	Si	Uso de casco de seguridad	No	Vestimenta adecuada	Si
Guantes	No	Mascarilla para gases	No	Gafas de seguridad	No
Tapa oídos	Si	Overol para fundición	-----	Gafas de fundición	-----

Análisis Caracterización física entable CMEDC

En este entable cuentan con solo dos líneas de producción como se observa en **Figura 40**, sin embargo, se evidenció que los barriles poseen dimensiones muy similares, casi idénticas, las revoluciones de estos fueron mucho menores, a las que se registraron en Las Palmas. Para el caso de Las Palmas los motores con que se trabaja son de 1800 RPM, mientras que los que se manejan en CMEDC son de 1200 RPM

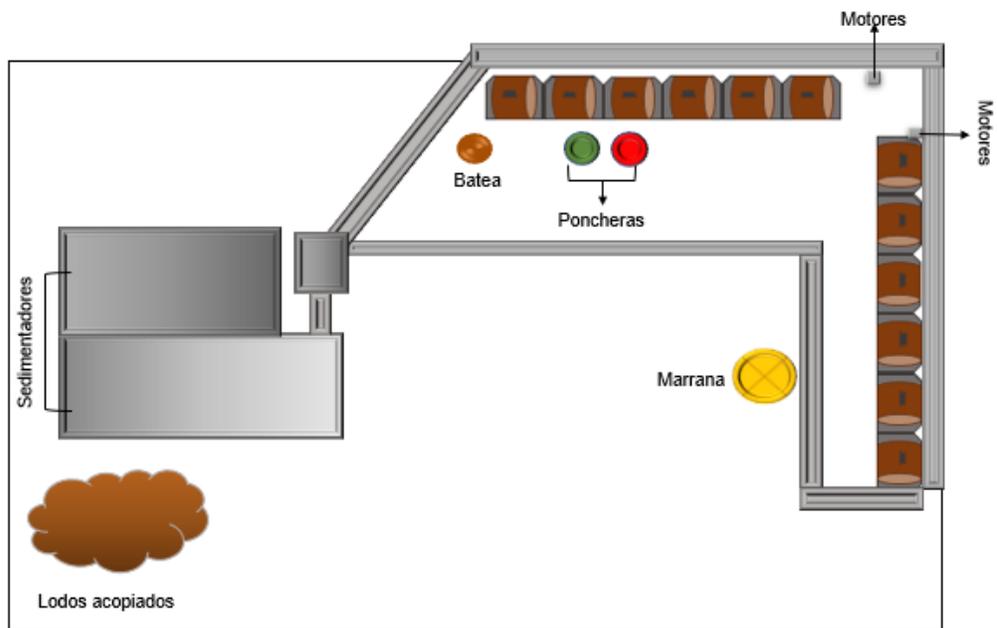


Figura 40 Esquema entable CMEDC

En el entable Las Palmas los motores con que trabajan los barriles están conectados a un voltaje de 220, son monofásicos y funcionan a 22 Amperes, ya que el consumo de energía está determinado por el amperaje, estos

representan un mayor gasto en comparación a los usados en CMEDC, pues pese a que estos cuentan con un voltaje de 440 y pagan más por esta conexión, los motores son trifásicos y su amperaje es de 9, esto les representa un ahorro en costos por ese aspecto.

La captación del agua que utiliza esta planta para los procesos es del río Cauca y todos los lodos y agua lodos resultantes de las moliendas, se acumulan en piscinas, para ser sometidos posteriormente a cianuración. En cuanto a los cuerpos moledores se usó la misma cantidad que en Las Palmas, pero se obtuvo el mismo problema de estandarización de tamaños debido a su variedad.

En CMEDC se apreció una mayor organización, en cuanto a la delegación de funciones, además de esto se evidenció el uso de algunos elementos de protección personal, como lo son botas de seguridad en todos los trabajadores, el uso de tapa oídos en el área de trituración, y la dotación de guantes, monogafas, mascarilla y overol para el encargado del laboratorio, sin embargo, no cuenta con la ventilación necesaria y tampoco con ducha de emergencia. Solo los empleados del área administrativa cuentan con dotación de uniformes.

- **Caracterización socioeconómica**

La caracterización socio económica fue realizada a través de entrevistas particulares a los trabajadores y a los encargados de cada entable, la información se recolectó en las **Tabla 23, 24**, estas se hicieron con base en la ficha de caracterización socio económica del SISBÉN del Departamento Nacional de Planeación, [58]. Los datos recolectados permitieron visualizar el estilo de vida que llevan los mineros.

Tabla 23. Caracterización socio económica Las Palmas

Aspectos generales					
Número de trabajadores promedio	3	Número de trabajadores hombres	3	Número de trabajadoras mujeres	0
Información de vivienda					
La UPM cuenta con vivienda	Si	Tipo de vivienda	Cuarto	Material predominante de las paredes	guadua

Material predominante del suelo	guadua	Número de cuartos de la vivienda	2	Número de personas que comparten la vivienda	0
Información servicios públicos					
Energía eléctrica	Si	Acueducto	si	Agua potable	No
Alcantarillado	no	Recolección de basuras	No	Gas natural	No
Información básica del hogar					
Qué tipo de conexión posee el sanitario	Pozo séptico	El sanitario se encuentra dentro o fuera de la vivienda	Fuera	De donde se tiene el agua para la preparación de alimentos	Quebrada o bolsa
El agua para beber se le realiza algún tipo de tratamiento	No	Cual	----	La vivienda tiene cocina	Cocineta
Qué tipo de combustible usan para cocinar	cilindro de gas natural	Cuenta con algún servicio adicional	No	Cual	----
Educación e ingresos promedio en la UPM					
En promedio la mayoría de las personas saben leer y escribir	Si	Actualmente estudian	No	Nivel educativo promedio	Básica primaria
Cotiza a fondo de pensiones	No	Cuántas semanas lleva trabajando	1040	Posee subsidios del estado	Si
Otros ingresos	No	Cual(es)	----		

Análisis matriz de características socioeconómicas entable Las Palmas.

En la planta no se cuenta con trabajadoras mujeres contratadas, y es difícil ver a alguna haciendo parte del proceso de extracción de oro dado el nivel de exigencia de este, sin embargo, algunos días a la semana en los cuales el entable no se encuentre alquilado, estas solicitan permiso de los encargados y se dedican a trabajar con materiales de rechazo o a lavar

alrededor de los entables, con la esperanza de encontrar algo oro para su sustento.

La cantidad de trabajadores contratados y permanentes es baja, dado que como se explicó anteriormente, cuando el entable se alquila, el propietario del mineral a procesar lleva sus propios trabajadores. Las semanas de trabajo totales de cada empleado son muy diferentes, dada la diferencia en las edades de estos, sin embargo, coinciden en que iniciaron sus labores en la minería desde los 15 – 17 años, dejando de lado los estudios. Ninguno de ellos realiza cotizaciones a fondos de pensión, ni poseen un seguro de salud.

En la información básica del hogar, el entable cuenta con una vivienda en bahareque, la cual se encuentra abandonada por el riesgo de colapso que presenta la misma, también poseen una construcción rustica en guadua sobre de la zona de trituración, la cual consta de dos habitaciones con colchonetas en el suelo para descansar mientras se lleva a cabo el proceso de molienda, adicionalmente cuenta con una estufa de dos boquillas alimentada por cilindro de gas natural.

La situación de los empleados no es muy distinta, pues la riqueza que representa el oro contrasta con la situación de pobreza que se refleja en la zona minera, las casas en su mayoría están construidas con bahareque y esterilla, sus pisos son de tierra, los techos son de zinc y los baños se encuentran afuera de la vivienda.

En cuanto a los servicios públicos, cuentan con energía y acueducto, pese a esto el agua no es completamente potable. En la zona no se cuenta con recolección de basura, debido a estos los mismos son quemados, tampoco cuentan con servicio de alcantarillado, las aguas residuales de origen domésticas son vertidas al suelo, y las aguas residuales industriales son vertidas por canales las cuales van a un sedimentador y posteriormente van a la represa, por canales naturales productos de la erosión hídrica.

Tabla 24. Caracterización socio económica CMEDC

Aspectos generales					
Número de trabajadores promedio	9	Número de trabajadores hombres	7	Número de trabajadoras mujeres	2
Información de vivienda					
	no		----		-----

La UPM cuenta con vivienda		Tipo de vivienda		Material predominante	
Material predominante del suelo	-----	Número de cuartos de la vivienda	-----	Número de personas que comparten la vivienda	-----
Información servicios públicos					
Energía eléctrica	Si	Acueducto	Si	Agua potable	No
Alcantarillado	si	Recolección de basuras	Si	Gas natural	No
Información básica del hogar					
Qué tipo de conexión posee el sanitario	alcantarillado	El sanitario se encuentra dentro o fuera de la vivienda	-----	De donde se tiene el agua para la preparación de alimentos	acueducto
El agua para beber se le	-----	Cual	-----	La vivienda tiene cocina	-----
Qué tipo de combustible usan para cocinar	-----	Cuenta con algún servicio adicional	No	Cual	-----
Educación e ingresos promedio en la UPM					
En promedio la mayoría de las	si	Actualmente estudian	No	Nivel educativo	Técnico, tecnólogo
Cotiza a fondo de pensiones	si	Cuántas semanas lleva trabajando	-----	Posee subsidios del estado	alguno
Otros ingresos	algunos	Cual(es)	Prefiere no decirlo		

Análisis matriz de caracterización socioeconómicas entable CMEDC

En comparación al entable Las Palmas, las condiciones laborales y de vida de los trabajadores de CMEDC son muy distintas. En primer lugar, por ser este establecimiento una empresa legal, sus empleados cuentan con un salario fijo y demás prestaciones legales, cumplen con el horario legal de trabajo establecido y se les pagan sus horas extras. En este sitio se encuentran contratadas dos mujeres de planta.

El establecimiento no cuenta con una vivienda interna, pero sí con un área administrativa y un laboratorio debidamente organizadas y con todos los elementos necesarios. Las condiciones de vivienda de los empleados son buenas dado que algunos viven en la ciudad de Jamundí y los demás viven en la cabecera municipal, esto garantiza que al menos los servicios básicos estén bien cubiertos.

En cuanto al nivel académico la diferencia de este establecimiento con respecto a Las Palmas también es alta debido a que la empresa tiene capacitados a todos sus trabajadores en las labores que realizan, siendo mininamente técnicos certificados, de ahí en adelante se cuenta con varios tecnólogos y tres ingenieros.

- **Caracterización ambiental.**

La caracterización de impacto ambiental, tuvo como fin medir los impactos provocados por la actividad minera, en los distintos aspectos bióticos y abióticos del entorno, dados estos requerimientos, se escogió la evaluación **de los impactos ambientales (EIA)** como herramienta para realizar la valoración requerida. Esta herramienta consta de varias matrices, para efectos de este proyecto se usaron 4, las cuales se muestran a continuación.

- **Matrices de evaluación de Impacto Ambiental.**

Como se describió anteriormente en la fase de metodología, para la aplicación de las matrices de impacto se tomó como referencia la metodología aplicada por Vicente Conesa Fernández-Vítora 1993 [62]. La cual se adaptó al esquema utilizado para las aplicaciones de matrices de Leopold, y a criterio personal se le asignó un color representativo a cada intervalo de cuantificación.

Matriz de tipo de impacto

Esta matriz de tipo de impacto representada en las **Tabla 25, 26** correspondientes a cada entable, evalúa el modo en que se produce el efecto de cada actividad sobre los componentes ambientales, Para ello se valora utilizando las siguientes siglas:



Impacto primario (Pr): Utilizado para aquél impacto cuyo efecto tiene una incidencia inmediata en algún factor ambiental



Impacto acumulativo (Ac): Aquel que al prolongarse en el tiempo incrementa progresivamente su gravedad



Impacto sinérgico (Sn): Para aquel impacto que se produce como consecuencia de varios agentes o acciones, conllevando una incidencia ambiental mayor.

Tabla 25. Matriz evaluación ambiental Las Palmas 1

		AIRE		AGUA		SUELO			FLORA Y FAUNA			
		Calidad de Aire / Emisiones	Niveles de Ruido y Vibraciones	Calidad agua superficial/ subterránea	Vertimientos	Erosión / erodabilidad	Afectación de hábitats	Calidad de suelo por presencia de desechos	Flora Terrestre	Flora acuática	Fauna terrestre	Fauna acuática
Trituración	Carga	Pr	Pr									
	Triturado	Pr	Pr			Ac		Ac				
	Carga a poncheras	Pr						Ac				
Primera molienda	Carga a barriles		Pr									
	Adición de agua			Sn	Pr							
	Molienda		Pr	Sn								
Segunda molienda	Adición de Hg	Pr		Pr								
	Adición de miel de purga			Pr								
	Adición de jabón			Pr								
Deslode	Vaciado de barriles		Pr	Sn	Pr	Ac		Ac				
	Lavado de barriles			Sn	Pr	Ac	Sn	Ac	Ac		Ac	Ac
	Deslode del elutriador			Sn	Pr	Ac	Sn	Ac	Ac	Ac		Ac
Recuperación	Azogue	Pr		Sn	Pr		Ac	Ac	Ac			Ac
	Adición de ácido sulfúrico	Pr		Pr	Pr							
	lavado con hipoclorito	Pr		Pr	Pr							
	Lavado con jabón			Pr	Pr				Ac			Ac
Fundición	Quema con filtro de agua	Pr		Pr	Pr		Ac	Pr	Ac	Ac	Ac	Ac
	Quema de amalgama directa	Pr										

Tabla 26. Matriz evaluación ambiental CMEDC

		AIRE		AGUA		SUELO			FLORA Y FAUNA			
		Calidad de Aire / Emisiones	Niveles de Ruido y Vibraciones	Calidad agua superficial/subterránea	Vertimientos	Erosión/erodabilidad	Afectación de hábitats	Calidad de suelo por presencia de desechos	Flora Terrestre	Flora acuática	Fauna terrestre	Fauna acuática
Trituración	Descarga en tolva	Pr	Pr									
	Triturado previo	Pr	Pr					Ac				
	Segundo triturado	Pr	Pr					Ac				
	Carga tolva previa a molienda	Pr	Pr									
Primera molienda	Carga a barril		Pr									
	Adición de agua			Sn	Pr							
	Molienda		Pr	Sn	Pr			Ac				
Vaciado de barril	Obtención del concentrado			Pr	Pr	Ac		Pr				
	almacenamiento de lodos			Pr	Pr	Ac		Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
Segunda molienda	Carga de barriles											
	Adición de Hg	Pr		Sn								
	Adición de jabón			Sn								
Deslode	Vaciado de barriles		Pr	Sn	Pr	Pr	Sn		Ac			
	Lavado de barriles			Sn	Pr	Pr	Sn	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
	Deslode del elutriador			Sn	Pr	Pr	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
Cianuración de lodos	vaciado de colas a los tanques			Pr	Pr							
	Adición de KCN			Pr								
	Descarga de tanques			Sn	Pr	Ac	Sn		Ac	Ac		Ac
Recuperación	Azogue	Pr		Sn	Pr		Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
	Adición de ácido sulfhídrico	Pr		Pr								
Fundición	Quema de amalgama directa	Pr										

Análisis matriz tipo de impacto Las palmas.

Lo evaluado en la matriz permitió identificar que en el proceso de trituración se obtiene impactos primarios (Pr), generados por el ruido procedente del uso de maquinaria y la generación de polvo causada por la trituración; en cuanto a los impactos acumulativos (Ac), se tiene por una parte la erosión causada por la caída de minera bajo la trituradora y por la alteración del suelo donde se acumula el material desechado o sobrante de tamaño muy pequeño y difícil recolección.

La primera molienda presenta impactos Pr debido a los altos niveles de ruido que generan los molinos de bolas; también, se producen como consecuencia de vertimientos causados por el derrame de agua al momento de llenar los barriles. Los impactos de tipo Sn se reflejan en la calidad del agua superficial producto de la mezcla entre el líquido, el mineral que se está moliendo y los demás compuestos que puedan estar presentes en el barril producto de actividades anteriores.

En la segunda molienda solo presentan impactos Pr, dados por: El vapor de mercurio en el proceso de adición a los molinos, seguido por la alteración en la calidad de agua superficial, como consecuencia de la incorporación de miel de purga, jabón y mercurio. Los cuales los mineros consideran como insumos necesarios para el proceso.

El proceso de deslode podría calificarse como la actividad de mayor impacto; se evidencia impactos Pr, como los son: El ruido provocado por los cuerpos molidores al momento de vaciar los barriles. Los impactos Sn se obtienen producto de la alteración a la calidad de agua superficial y la generación de vertimientos los cuales contienen una alta calidad de sólidos suspendidos (SS), mercurio, entre otros elementos productos de la trituración del mineral, los cuales son vertidos de forma directa a la fuente hídrica provocando afectación de hábitats.

En este mismo proceso los impactos Ac son generados por: La erosión hídrica, producto de las altas cantidades de agua necesaria para el deslode o lavado y la acumulación de mercurio, el cual es transportado en las descargas, siendo posteriormente depositados en el suelo, fauna acuática y flora en general, como consecuencia de la falta de tratamiento a los vertimientos.

La recuperación presenta impactos producidos por: La adición de mercurio en la batea conocido por los mineros como azogue, la mezcla de ácido sulfúrico y agua que genera vapores de SO_3 , [63], y por el uso de lejía y jabón utilizados para el lavado de la amalgama; los impactos de tipo Ac son causados por la acumulación del mercurio explicada anteriormente, por último la descomposición del jabón en el agua, el cual, aunque se considera como impacto acumulativo no muy significativo.

En la fundición de la amalgama se presentan impactos Pr principalmente causados por la generación de vapores de mercurio, los cuales son considerados altamente tóxicos, [7]; la quema de la amalgama con filtro de agua genera impactos Ac dado que el mercurio es condensado nuevamente y vertido de forma directa sin ningún tipo de tratamiento.

Análisis matriz tipo de impacto planta CMEDC

En CMEDC, el proceso de trituración se diferencia de Las Palmas porque el volumen manejado es mayor en esta planta, sin embargo, la maquinaria utilizada es similar, este parecido en las trituradoras ocasiona que los impactos Pr y Ac sean semejantes, por ende, la generación de ruido y polvo son impactos Pr y el material dispuesto en el suelo se clasifica como impacto de tipo Ac, de igual manera que en la matriz anterior.

Los impactos de tipo Pr que son generados en el proceso de primera molienda se deben a: La generación de ruido producto del mismo proceso. De igual manera que en Las Palmas los impactos de tipo As se dan por los vertimientos y la alteración en la calidad de agua superficial se dan por la mezcla del agua con el mineral procesado. Los impactos Ac son causados principalmente por la presencia de SS en el agua, los cuales alteran las dinámicas naturales tanto de la flora terrestre como la flora y fauna acuática.

El vaciado del barril principal genera impactos Pr debido a derrames que se presentan en el momento de obtención del concentrado, de igual manera se presentan vertimientos en el almacenamiento de los lodos, ya que estos a medida que van ingresando al tanque van rebozando y agitando el agua que se encuentra en estos, aumentando su turbiedad y saliendo por el canal de descarga generando impactos de tipo Ac por la presencia de los SS.

En la segunda molienda o molienda del concentrado se evidencian impactos de tipo Pr semejantes a los generados en el entable Las Palmas, la única diferencia presente en esta etapa es el volumen procesado, el cual es menor

por tratarse de mineral concentrado. Los impactos Sn se dan en la calidad de agua superficial, por la adición de jabón y mercurio, los cuales se mezcla en el barril provocando una afectación mayor.

En el proceso de deslode se tiene los mismos impactos Pr, As y Ac que se presentan en la planta Las Palmas, ya que las actividades no varían entre una planta y otra. Sin embargo, en posteriores matrices obtienen diferentes cuantificaciones debido a al volumen que se procesa en cada una de ellas.

La Cianuración del mineral resultante de los procesos de primera molienda, vaciado de barril y segunda molienda genera impactos Pr, asociados a las reacciones del cianuro de potasio (KCN). Los impactos de tipo As son por los vertimientos al finalizar el proceso, el cual afecta calidad del agua superficial; los impactos Ac son la consecuencia de las descargas realizadas de forma puntual al suelo y al río Cauca por acción de la pendiente del terreno, en donde llega el residuo de las reacciones entre el cianuro y el mineral.

El proceso de fundición solo se realiza si la recuperación fue realizada con mercurio, ya que es necesaria la quema de la amalgama para lograr la obtención del oro, por lo tanto, los impactos generados son de tipo Pr como consecuencia a la generación de vapores de mercurio los cuales son considerados como altamente tóxicos [7] .

- **Matriz de reversibilidad**

Una matriz de reversibilidad mide el grado o capacidad de volver al estado anterior de los impactos, es decir, su capacidad de remediación, a continuación, se presentan en la **Tabla 27 y 28**, la aplicación de esta en los entables, para calificación utilizan los siguientes valores:



Muy lento (24 meses o más): 8 a 10
Lento (12 a 24 meses): 6 a 7,9
Medio (6 a 12 meses): 4 a 5,9
Rápido (1 a 6 meses): 2 a 3,9
Muy rápido (1 meses): 0,1 a 1,9

Tabla 27. Matriz reversibilidad Las Palmas

		AIRE		AGUA		SUELO		FLORA Y FAUNA				
		Calidad de Aire / Emisiones	Niveles de Ruido Y Vibraciones	Calidad agua superficial/subterránea	Ventimientos	Erosión / estabilidad	Afectación de hábitats	Calidad de suelo por presencia de desechos	Flora Terrestre	Flora acuática	Fauna terrestre	Fauna acuática
Trituración	Carga	0,1	0,1									
	Triturado	0,1	0,1			0,1		10				
	Carga a poncheras		0,1									
Primera molinda	Carga a barriles		0,1									
	Adición de agua			1,9	0,1							
	Molienda		0,1	10								
Segunda molinda	Adición de Hg	10		10								
	Adición de miel de purga			0,1								
	Adición de jabón			1,0								
Deslode	vaciado de barriles		0,1	10	10			10	10	10		10
	Lavado de barriles		0,1	10	10		10	10	10	10		10
	Deslode del elutriador			10	10		10	10	10	10		10
Recuperación	Azogue	10		10	10			10	10	10		10
	Adición de ácido sulfhídrico	1		0,1								
	lavado con hipoclorito de sodio	0,1		0,5					0,5	0,5		0,5
	Lavado con jabón			0,5	0,5				0,5	0,5		0,5
Fundición	Quema con filtro de agua	10		10	10		10	10	10	10		10
	Quema de amalgama directa	10										

Tabla 28. Matriz reversibilidad entable CMEDC

		AIRE		AGUA		SUELO			FLORA Y FAUNA			
		Calidad de Aire / Emisiones	Niveles de Ruido y Vibraciones	Calidad agua superficial/subterránea	Vertimientos	Erosión / erodabilidad	Afectación de hábitats	Calidad de suelo por presencia de desechos	Flora Terrestre	Flora acuática	Fauna terrestre	Fauna acuática
Trituración	Descarga en tolva	0,1	0,1									
	Triturado previo	0,1	0,1			0,1		10				
	Segundo triturado	0,1	0,1			0,1		10				
	Carga tolva previa a molienda	0,1	0,1									
Primera molienda	Carga a barril		0,1									
	Adición de agua			10	0,1							
	Molienda		0,1	10	0,1							
Vaciado de barril	Obtención del concentrado				0,1							
	almacenamiento de lodos			10	0,1							
Segunda molienda	Carga de barriles			10	0,1							
	Adición de Hg	10		10								
	Adición de jabón			1,0								
Deslode	Vaciado de barriles		0,1	10				10	10	10		10
	Lavado de barriles		0,1	10	10		10	10	10	10		10
	Deslode del elutriador			10	10		10	10	10	10		10
Cianuración de lodos	Vaciado de colas a los tanques			0,1	0,1							
	Adición de KCN			10								
	vaciado de piscinas			10	0,1			10	10	10		10
Recuperación	Azogue	10		10	10		10	10	10	10		10
	Adición de ácido sulfhídrico	1		0,1								
Fundición	Quema de amalgama directa	10										

Se evidencia que en las dos matrices se presentan solo impactos de reversibilidad muy rápida y muy lenta. Dado que las mismas actividades que se llevan a cabo, como lo son por ejemplo los niveles de ruido y vibraciones en el proceso de molienda el cual solo duran unas cuantas horas, y el proceso de azogue por la presencia de mercurio tiene una cuantificación alta por que la reversibilidad dura mas de 24 meses.

- **Análisis matriz de reversibilidad las Palmas**

El análisis de la matriz anterior permitió identificar que la trituración no tiene impactos significativos, puesto que el ruido, polvo y vibraciones cesan en el momento que termina este proceso, regresando las condiciones ambientales a su estándar; el único valor significativo que se puede evidenciar es producto de material previamente triturado, el cual por su tamaño no entra a molienda y posteriormente es depositado en el suelo, el valor asignado a este es de 10 y radica en su difícil degradación e incorporación al suelo.

En la primera molienda se puede evidenciar que cuantificación en las actividades de la carga y la adición de agua no altas, pues estas al igual que la trituración cesan rápidamente; en la actividad de molienda la alteración en la calidad del agua superficial tiene un gran valor, esto se debe principalmente a la mezcla del mineral con el agua, la cual por la falta de tratamiento no queda con las características que traía antes de ser agregada a los barriles.

En el proceso de segunda molienda, la adición de mercurio se considera la actividad con más impacto, debido a los vapores que se obtiene en el momento de destapar el recipiente donde se almacena el mercurio, esto antes de adicionarlo a los barriles, también, por la mezcla de este con el agua y el mineral; el jabón y la miel de purga no consideran impactos de gran tamaño ya que estos son de fácil degradación.

En el deslode la generación de ruido y vibraciones cesa al finalizar la actividad, al igual que en procesos anteriores; los impactos significativos se obtienen como consecuencia de derrames en la actividad de vaciado, también se evidencian en los vertimientos con presencia de mercurio, los cuales a su paso impactan al suelo, flora, fauna y agua, por la falta de un manejo integral. De igual manera la erosión hídrica al no ser controlada posee una alta calificación, puesto que la regeneración del medio a su estado inicial por si solo tardará más de 2 años.

En la recuperación se evidencia los mayores valores, el proceso de azogue, el cual consiste en la adición de mercurio en la batea para facilitar la amalgamación de oro, genera vapores de mercurio, contaminación al agua y demás alteraciones explicadas anteriormente, seguido de este se encuentra el lavado con hipoclorito de sodio y jabón los cuales se degradan a baja velocidad, incluso, el hipoclorito en presencia de agua se genera cloro (Cl-) y sodio (Na+), estos pueden reaccionar con otros electos presentes en el agua, el suelo o los lodos del proceso, [64].

La fundición con filtro de agua es la actividad con más valor, por los impactos que genera, los cuales ya han sido explicados con anterioridad, la fundición directa de la amalgama solo se cuantifica en emisiones por la relación directa que se tiene con los vapores de mercurio los cuales no se degradan con fácilmente.

Análisis matriz de reversibilidad CMEDC

La trituración, tiene la misma cuantificación que se presenta en el análisis de la planta Las Palmas, debido a la semejanza del proceso; el ruido, polvo y vibraciones es mayor, dado la envergadura de la maquinaria y la cantidad de material que se procesa, sin embargo, cuando termina la jornada laboral o cuando no se cuenta con material suficiente, no se tienen impactos producidos por este proceso. El valor asignado en alteración del suelo se da por el mineral que cae de las bandas transportadoras y no se degrada rápidamente.

La primera molienda es muy semejante en cuanto actividades y cualificación dada en el anterior análisis, la diferencia entre este proceso y el que se tiene en Las Palmas, radica en el uso de un solo molino continuo, ver **Figura 41**, [65], el cual tiene alimentación de material constante dado las características de su funcionamiento, en su interior cuenta con los cuerpos moledores y canales semejantes a un tornillo, los cuales van conduciendo el mineral molido a salida de este.



Figura 41. Molino continuo

En el vaciado de barril se generan derrames de agua lodo, aunque es considerado como impacto este no tiene gran significancia, ya que se corrige de inmediato, por otro lado, el líquido derramado es conducido por un canal en concreto hasta los tanque donde se depositan los lodos, sin embargo, el almacenamiento de estos genera vertimientos de agua lodo producto del rebose de los tanques, esta mezcla va de forma directa al río Cauca ya que no se le realiza un tratamiento previo, esto se deduce en su alta calificación en la casilla de calidad de agua superficial.

La segunda molienda posee la misma cuantificación que la asignada en la matriz de Las Palmas, en cuanto a la adición de mercurio y jabón, ya que este proceso se lleva de igual manera en las dos plantas, la única diferencia que se presenta en CMEDC es la actividad de carga del barril, donde se le adiciona agua, la cual, cambian sus características iniciales por lo tanto se da una alta calificación en calidad de agua superficial, por otro lado por presencia de derrames accidentales se tiene un valor bajo en los vertimientos.

El proceso de cianuración de lodos genera grandes impactos desde el momento que se descargan los tanques, los vertimientos asociados llevan consigo el residuo de las reacciones del cianuro que son descargados de forma directa al suelo sin ningún tipo de tratamiento, posteriormente son vertidos al río por Cauca de la pendiente del terreno. Por ende, su alta calificación en los factores de calidad de agua superficial, afectación al suelo, flora y fauna.

Como se explicó en el análisis de la matriz anterior, los impactos generados por el mercurio en el proceso de recuperación y la fundición como método de final, los impactos cuantificados son altos como consecuencia a la poca facilidad de revertir los efectos del mercurio una vez expuesto en el medio ambiente, ya que este por sí solo no se degrada,[66].

○ **Matriz de magnitudes de impacto**

Esta matriz califica el tamaño de la afectación provocada por la actividad minera sobre los distintos recursos del medio ambiente, a continuación, se presentan la **Tabla 29** y **30** aplicadas en las plantas; para ello se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

- Muy alta (80-100%): 8 a 10
- Alta (60-79%): 6 a 7,9
- Media (40-59%): 4 a 5,9
- Baja (20-39%): 2 a 3,9
- Muy baja (0-19%): 0 a 1,9

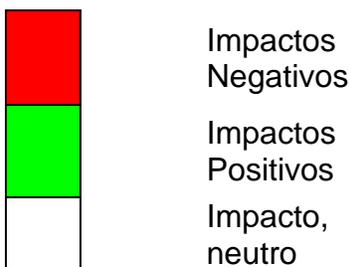


Tabla 29. Matriz de magnitudes entable Las Palmas

		AIRE		AGUA		SUELO			FLORA Y FAUNA			
		Calidad de Aire / Emisiones	Niveles de Ruido y Vibraciones	Calidad agua superficial/subterránea	Vertimientos	Erosión / erodabilidad	Afectación de hábitats	Calidad de suelo por presencia de desechos	Flora Terrestre	Flora acuática	Fauna terrestre	Fauna acuática
Trituración	Carga	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Triturado	-0,1	-3,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Carga a poncheras	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Primera molienda	Carga a barriles	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Adición de agua	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Molienda	0,0	-5,0	-5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Segunda molienda	Adición de Hg	-10,0	0,0	-10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Adición de miel de purga	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Adición de jabón	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Deslode	vaciado de barriles	0,0	-0,1	-8,0	-0,1	0,0	0,0	-10,0	-10,0	-10,0	0,0	-10,0
	Lavado de barriles	0,0	-0,1	-10,0	-10,0	-0,1	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	0,0	-10,0
	Deslode del elutriador	0,0	0,0	-10,0	-10,0	-2,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	0,0	-10,0
Recuperación	Azogue	-10,0	0,0	-10,0	-10,0	0,0	0,0	-10,0	-10,0	-10,0	0,0	-10,0
	Adición de ácido sulfhídrico	-5,0	0,0	-5,0	-5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	lavado con hipoclorito	-5,0	0,0	-2,0	-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Lavado con jabón	0,0	0,0	-0,5	-0,5	0,0	-0,5	0,0	-0,5	-0,5	0,0	-0,5
Fundición	Quema con filtro de agua	-10,0	0,0	-10,0	-10,0	0,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	0,0	-10,0
	Quema de amalgama directa	-10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 30. Matriz de magnitudes entable CMEDC

		AIRE		AGUA		SUELO			FLORA Y FAUNA			
		Calidad de Aire / Emisiones	Niveles de Ruido y Vibraciones	Calidad agua superficial/subterránea	Vertimientos	Erosión / erodabilidad	Afectación de hábitats	Calidad de suelo por presencia de desechos	Flora Terrestre	Flora acuática	Fauna terrestre	Fauna acuática
Trituración	Descarga en tolva	-0,5	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Triturado previo	-1,0	-4,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Segundo triturado	-1,0	-4,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Carga tolva previa a molienda	-0,5	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Primera molienda	Carga a barriles	0,0	-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Adición de agua	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vaciado de barril	Molienda	0,0	-5,0	-5,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Obtención del concentrado	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	almacenamiento de lodos	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Segunda molienda	Carga de barriles	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Adición de Hg	0,0	-0,1	-8,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Adición de jabón	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-1,0	-1,0	-0,2	0,0	0,0
Deslode	Vaciado de barriles	0,0	-0,1	-10,0	-10,0	0,0	0,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0
	Lavado de barriles	-0,1	0,0	-10,0	-10,0	0,0	0,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0
	Deslode del elutriador	0,0	0,0	-10,0	-10,0	0,0	0,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0
Recuperación	Azogue	-10,0	0,0	-10,0	-10,0	0,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0
	Adición de ácido	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cianuración de lodos	Vaciado de colas a las piscinas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Adición de cianuro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	vaciado de piscinas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fundición	Quema de amalgama directa	-10,0	0,0	-10,0	-10,0	0,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0	-10,0

Análisis matriz de magnitudes de impacto Las Palmas

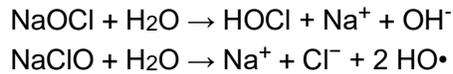
En la matriz anterior se analizaron los impactos por su simbología y magnitud; se evidencia que los efectos obtenidos en el proceso de trituración, son mayoritariamente negativos, el cual presentan su mayor magnitud como consecuencia al alto nivel de ruido en el triturado del mineral, sin embargo, también se cuenta con impactos positivos al suelo, dado que al agregar el mineral que no fue recogido por su reducido tamaño, este empieza a aportar nutrientes de forma lenta, lo cual a largo plazo mejoraría las condiciones presentes en el terreno.

En el proceso de primera molienda los mayores impactos son consecuencia de los altos niveles de ruido producidos por los barriles al realizar la actividad de molienda, como también la constante alteración en la calidad del agua superficial producto de la mezcla entre el líquido y el mineral molido; se evidencian impactos poco significativos como lo son vertimientos accidentales.

En la segunda molienda se evidencia impactos negativos de alta magnitud, esto debido a la adición de mercurio y los efectos que trae esta actividad para la calidad del agua y la generación de vapores explicados en las matrices anteriores, la adición de otros insumos no presenta efectos considerables para el ambiente, por ende, su baja calificación.

En el proceso de deslode se evidencian gran cantidad de impactos negativos de alta magnitud, como consecuencia a la mezcla entre agua lodo con presencia de mercurio y el agua utiliza para el proceso de lavado de mineral sobrante, esta mezcla afecta considerablemente al suelo, flora, fauna desde el momento de su vertimiento, también, producto del caudal necesario para las diferentes actividades, se aporta al proceso de erosión hídrica que ya presenta en los canales naturales.

El uso de mercurio, ácido sulfhídrico e hipoclorito de sodio representa impactos negativos de gran magnitud debido a las reacciones que presentan en contacto con el agua. el efecto del mercurio ha sido explicado con anterioridad, sin embargo, la reacción del ácido sulfhídrico genera vapores de trióxido de azufre (SO₃) considerados altamente tóxicos [63], [67]. Por otro lado, la reacción del hipoclorito genera ácido clorhídrico, el cual es altamente corrosivo, [64], [68].



El proceso de fundición posee gran valor en cuanto a generación de vapores en las dos actividades, los impactos relacionados con la quema con uso de filtro de agua han sido explicados en matrices anteriores, de ahí de que los demás factores posean una alta calificación negativa.

Análisis matriz de magnitudes de impacto CMEDC

La magnitud de los impactos analizados en el proceso de trituración es mayor al comprarlos con los obtenidos en Las Palmas, esto se debe principalmente al volumen que se procesa en esta planta, la cual por el mismo requiere del uso de maquinaria más grande, elevando los impactos como lo son el ruido, vibración y calidad del aire por presencia de polvo. Sin embargo, la afectación positiva al suelo es similar en los dos entables, dado que esta no es significativa por la poca cantidad en la que se genera.

Al igual que en el proceso anterior, las diferencia que se pueden evidenciar n entre las dos matrices en la primera molienda, se deben al volumen de procesamiento que se obtiene en CMEDC, aumentando los efectos al ambiente y por ende su calificación negativa como se explicó en el párrafo anterior.

El vaciado del barril no genera impactos significativos, sin embargo, es necesario cuantificar estos por pequeños que se presente

Matriz plazo en el que se manifiesta el efecto

Esta matriz califica la evolución que posee el efecto provocado sobre los distintos aspectos ambientales, desde el momento en que se produce y a través del tiempo hasta sus últimas consecuencias, en la **Tabla 31 y 32** se representa la aplicación de esta matriz en los entables, para ello usa los siguientes valores:



Muy rápido (1 mes): 8 a 10
 Rápido (1 a 6 meses): 6 a 7,9
 Medio (12 a 24 meses): 4 a 5,9
 Lento (12 a 24 meses): 2 a 3,9
 Muy lento (24 meses o más): 0,1 a 1,9

Tabla 31. Matriz de manifestación de efectos entable Las Palmas

		AIRE		AGUA		SUELO			FLORA Y FAUNA			
		Calidad de Aire / Emisiones	Niveles de Ruido y Vibraciones	Calidad agua superficial/ subterránea	Vertimientos	Erosión / erodabilidad	Afectación de hábitats	Calidad de suelo por presencia de desechos	Flora Terrestre	Flora acuática	Fauna terrestre	Fauna acuática
Trituración	Carga	10	10									
	Triturado	10	10			0,1		0,1				
	Carga a poncheras	0,1						0,1				
Primera molienda	Carga a barriles		10									
	Adición de agua			10								
	Molienda		10	10								
Segunda molienda	Adición de Hg	10		10								
	Adición de miel de purga			10								
	Adición de jabón			10								
Deslode	vaciado de barriles			10								
	Lavado de barriles		10	10	10	0,1	8	10	9	7	9	8
	Deslode del elutriador			10	10	0,1	8	10	9	7	9	8
Recuperación	Azogue	10		10	10		8	10	9	7	9	8
	Adición de acido	10		10	10			10	10	7	9	8
	lavado con hipoclorito			10	10			10	10	7	9	8
	Lavado con jabón			10	10			10	9	8	8	
Fundición	Quema con filtro de agua	10		10	10	0,1	10	10	9	7	9	8
	Quema de amalgama directa	10										

Tabla 32. Matriz manifestación de efectos entable CMEDC

		AIRE		AGUA		SUELO			FLORA Y FAUNA			
		Calidad de Aire / Emisiones	Niveles de Ruido y Vibración	Calidad agua superficial/subt erránea	Vertimientos	Erosión / erodabilidad	Afectación de hábitats	Calidad de suelo por presencia de	Flora Terrestre	Flora acuática	Fauna terrestre	Fauna acuática
Trituración	Descarga en tolva	10	10									
	Triturado previo	10	10			0,1		0,1				
	Segundo triturado	10	10					0,1				
	Carga tolva previa a molienda	10	10									
Primera molienda	Carga de barriles		10									
	Adición de agua			10	10	0,1						
	Molienda		10	10	10	0,1						
Vaciado de barril	Obtención del concentrado			10	10	0,1						
	almacenamiento de lodos			10	10	0,1						
Segunda molienda	Carga de barriles			10								
	Adición de Hg	10		10								
	Adición de jabón			10								
Deslode	Vaciado de barriles		10	10	10			10	9	7		8
	Lavado de barriles		10	10	10	0,1		10	9	7		8
	Deslode del elutriador			10	10	0,1		10	9	7		8
Recuperación	Azogue	10		10	10			10	9	8		
	Adición de acido											
Cianuración de lodos	Vaciado de colas a las piscinas			10								
	Adición de cianuro											
	vaciado de piscinas											
Fundición	Quema de amalgama directa	10										

Análisis matriz plazo en el que se manifiesta el efecto.

El análisis de la matriz anterior se realiza de forma conjunta para los dos entables, dado similitudes en las cuantificaciones. Como su nombre lo indica en esta matriz se evalúa la rapidez en la que se manifiestan los efectos, los cuales al ser de forma muy rápida tienen el mayor valor asignado, como lo son la generación de emisiones, ruido, vibraciones, polvo, alteraciones en la calidad de agua superficial, vertimientos, reacciones químicas y demás, es por eso que en la gran mayoría se evidencia altos valores en las cuantificaciones de esta matriz

Se presentan cuantificaciones rápidas, principalmente por el uso del mercurio y la contaminación de este en el suelo, se sabe, que al verter este elemento tanto a suelo, la absorción de este a las plantas no se realiza de forma inmediata, del mismo modo ocurre con la fauna acuática, el proceso de reacción de mercurio a metilmercurio no es inmediato, por ende, no alcanza a ser cuantificado como un efecto rápido, [69].

4.2 Fase 2

4.2.1 Resultados pruebas de campo (Bórax vs Mercurio)

En la **Tabla 33**, se muestra la cantidad total de pruebas realizadas y las dosis de mercurio y bórax utilizadas en cada una con su respectiva recuperación de oro, seguidamente se muestran los resultados de cada entable por separado a fin de realizar el respectivo análisis dadas las diferencias encontradas.

Es necesario mencionar que, a falta de la realización de una caracterización mineralógica al material procesado en cada prueba, el tenor de estos fue desconocido, por lo tanto, fue imposible determinar el porcentaje de recuperación de oro para el mercurio y el bórax, con respecto a la cantidad total mismo.

Tabla 33 Resultados pruebas de campo Bórax vs Mercurio

Planta	Cantidad De Hg utilizada [Oz]	Recuperación de oro con Hg [g]	Cantidad de bórax utilizada [g]	Recuperación de oro con bórax [g]
Las Palmas	3	1,2	125	0,8
	3	2,0	150	0,5
	3	4,8	175	2,5
	3	1,8	300	1,0
CMEDC	1	0	125	0,8
	1	0	175	0,6

Resultados entable Las Palmas

La **Figura 42** muestra Los resultados obtenidos en el entable Las Palmas, las cantidades de oro recuperadas fueron muy variadas, es necesario mencionar que a falta de la posibilidad de desarrollar todas las pruebas requeridas en un intervalo de tiempo corto, las muestras de mineral proveídas por el encargado de este entable pudieron confundirse o mezclarse con

algunas provenientes de otras minas, dado el alto flujo de trabajo en este sitio.

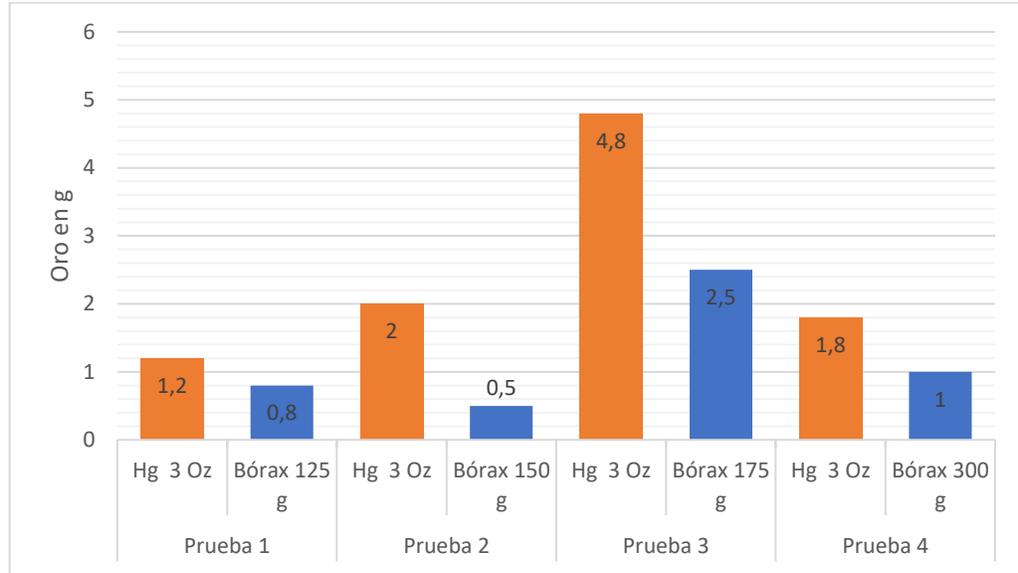


Figura 42 Resultados de pruebas bórax vs mercurio, entable Las Palmas

4.2.2 Análisis pruebas de campo Las Palmas

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el entable Las Palmas, fueron negativos, no porque no se haya obtenido recuperación, sino porque se obtuvo un porcentaje menor de oro con bórax, en relación al obtenido utilizando mercurio, esto en la búsqueda de un sustituto del elemento no representa una buena alternativa. Sin embargo, dados los antecedentes del insumo y sus resultados positivos en el otro entable, este análisis se basará en entender el por qué de los resultados más allá de la ineficiencia del Bórax.

Con el objetivo de obtener respuestas confiables, el análisis de los resultados se abordará desde tres perspectivas, cuyos factores pudieron influir en los mismos. La primera perspectiva está basada en el aspecto físico de las pruebas, en el mismo procedimiento y la forma en que se llevó a cabo cada etapa, la segunda perspectiva aborda el aspecto geológico, puesto que las características mineralógicas del mineral trabajado en cada entable tienen gran influencia en la forma como actúan los insumos, el tercer aspecto aborda la parte química de cada insumo y las reacciones que pudieron haberse presentado.

Perspectiva física

En la parte física, se identificaron 4 aspectos que se considera pudieron tener algún efecto significativo en los resultados:

Carga de los barriles: como se mencionó en la caracterización física, los tamaños de los barriles en cada entable, son bastante variables y aunque para cada prueba si se trabajó en dos barriles de dimensiones similares, siguiendo las recomendaciones de las investigaciones anteriores se usó en todas las pruebas una carga de 50 kg. Sin embargo, en la búsqueda de posibles factores que influyeran en los resultados se encontró que antes de iniciar las pruebas se debió realizar un cálculo de carga ideal para garantizar una molienda adecuada.

Cada dimensión de barril debe tener una carga ideal, la cual debe ser menor a tres cuartas partes del volumen del barril, dado que; si el barril se encuentra muy lleno, los cuerpos moledores se vuelven parte la carga a moler y no realizan su función ya que giran con ella. Si los barriles están muy vacíos los cuerpos moledores se golpean entre ellos y se desgastan a mayor velocidad, en cualquiera de los dos casos no se da una liberación de partícula adecuada [69], al no haber tenido esta variable en cuenta desde el inicio de la investigación, no se tiene forma de garantizar la efectividad del proceso de molienda.

Tiempo de molienda: Para todas las pruebas realizadas se trabajó con un tiempo de molienda de dos horas bajo la guía de investigaciones anteriores [10] [11] y una remolienda de una hora y cuarenta minutos, ésta sugerida por el encargado del entable, sin embargo, no existió un modo más confiable de saber si este tiempo de molienda fue el más adecuado, para que el bórax actuara con efectividad y en cualquiera de las dos situaciones descritas a continuación éste pudo verse afectado.

Si el tiempo de molienda es muy corto, se considera que la partícula no se libera a un tamaño en que los insumos puedan actuar correctamente, para el caso del bórax se tiene la hipótesis de que funciona mejor con partículas de tamaños pequeños, por lo tanto, si el mineral no se molió lo suficiente el bórax pudo no haber reaccionado con la mayoría de partículas de oro

Si el tiempo de molienda es mayor, la forma irregular de las partículas se pierde, tomando una forma plana o laminar. Si la partícula de oro se comporta como tal, se corre el riesgo que, al entrar en contacto con el agua, en cualquiera de los procesos sea en el deslode, lavado, o barequeo ésta salga sobrenadante entre el fluido y se pierda entre los lodos residuales.

Revoluciones de los barriles: Uno de los factores que se considera pudieron influir en proceso realizado en Las Palmas, fue la velocidad crítica la cual se representa en la siguiente fórmula

$$N_c = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{g}{R-r}}, \quad [70],$$

En donde g representa la gravedad en m/s^2 , R es el radio del barril en metros y r el radio del cuerpo molidor, representado en metros.

Para la aplicación de esta prueba se utilizó r promedio (r_{prom}) la cual se calculó realizando promedio de 100 cuerpos molidores de un barril del entable Las Palmas debido a que los radios de los cuerpos molidores son muy diferentes.

Si la velocidad obtenida es menor a la presentada en los barriles, significa que los cuerpos molidores no están cumpliendo su función, ya que estos estarían girando con barril y no caen para realizar de forma óptima el proceso de molienda; También se recomienda que la rotación de los barriles se encuentre entre el 65-80% del valor de la N_c , [70].

Cálculo de N_c para el entable Las Palmas.

$$R = \frac{44.5cm}{2} \times \frac{1m}{100cm} = 0.22225 m$$

$$r_{prom} = \frac{1.38 pulg}{2} \times \frac{2.54 cm}{1 pulg} \times \frac{1 m}{100 cm} = 0.0172 m$$

$$N_c = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{9.81 m/s^2}{0.22225 m - 0.0172 m}}$$

$$N_c = 1.079 rps$$

$$N_c = 1.079 \frac{revoluciones}{segundo} \times \frac{60 segundos}{1 min} = 64.760 RPM$$

Cabe resaltar que esta variable no se tuvo en cuenta al momento de aplicación de las pruebas por falta de conocimiento de la misma; el barril al cual se agregó mercurio tenía RPM de 64, mientras que al que se agregó bórax tenía 62 RPM, sin embargo, estos barriles eran los más similares en una misma línea de operación. A partir de los resultados obtenidos del N_c se

infiere que por esta diferencia en las revoluciones el barril 1 tuvo un mejor proceso de molienda que el barril 2, logrando una mayor trituración, lo cual se reflejaría en la mayor liberación de oro.

Lavado del material (Concentración): Durante las pruebas se evidenció que en éste entable el proceso de lavado tanto para los barriles que contenían bórax, como para los que contenían mercurio se hacía de forma muy ruda, desde el paso del material molido a los recipientes plásticos, además se considera que no se dejó reposar el material un el tiempo necesario para que las partículas de oro más pequeñas logran sedimentarse, por lo tanto, al inyectar agua a presión, parte de estas pudieron haberse desbordado de las poncheras.

Es necesario recordar que el oro que extrae el bórax es oro libre, por lo tanto, requiere mayor tiempo de sedimentación a comparación de la amalgama que al ser la mezcla de mercurio y oro es más pesada.

Recuperación del mineral en la batea: El barequeo es también un paso muy importante para lograr una buena recuperación. Una vez el concentrado final se pasa a la batea, el barequero debe realizar movimientos muy precisos para evitar deshacerse del oro por error, la ventaja que tiene realizar la recuperación con mercurio, es que en la batea se hace visible la amalgama que contiene el oro por lo tanto al material sobrante se retira con mayor seguridad.

El oro que se recupera con bórax es oro libre y requiere mucho más cuidado y tiempo para su extracción. La dificultad en la realización de las pruebas radicó en que el encargado del entable no poseía mucha experiencia recuperando oro libre, por lo tanto, esto pudo provocar que una parte del oro que se encontrara en el concentrado se perdiera en el barequeo, y terminara depositado en los canales como desperdicio.

Perspectiva geológica y química

El análisis de las perspectivas geológica y química se realizó en conjunto por efectos de orden y practicidad, púes al exponer los posibles componentes presentes en cada muestra de mineral, se pudo explicar seguidamente la forma en que pudieron reaccionan entre sí y con el bórax, esto pudo llevar a una posible explicación de forma más clara de lo qué sucedió durante la prueba.

El bórax $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ es una sal que debe su alta solubilidad a la capacidad de disociarse en agua, lo que conlleva a que sea el ion borato quien sea capaz de atrapar el oro [71]. Sin embargo, es posible que este compuesto pueda reaccionar con algún otro elemento o alguna otra

sustancia diferente a el oro, restándole potencial eficiencia al producto esperado.

Es necesario recordar que el material con el que se trabajó en el entable Las Palmas, fue producto de una mezcla entre el mineral proveniente de la mina La Turbina y de la mina Maraveles, mientras que el mineral usado en CMEDC provino de la mina El Desquite.

A falta de la realización de pruebas que permitieran obtener la composición mineralógica de las muestras usadas en cada prueba pero con la necesidad de verificar si la distinta composición de las mismas pudo influir en los resultados obtenidos, se realizó una comparación de las minas usando como referente la evaluación minero ambiental realizada por la CRC en el año 2006 [45], y sus resultados se muestran en la **Tabla 34**.

Tabla 34 Composición mineralógica de las minas trabajadas

Mina	Cuarzo	Arsenopirita	Pirrotina	Calcita	Ganga de silicatos
Maraveles	43%	4%	1%	40%	10%
La Turbina	95%	< 1%	1%	0%	0%
	10%	Trazas	≤ 1 %	0%	78%
	95%	≤ 1%	1%	0%	0%
El Desquite	60%	4%	<1 %	10%	0%
	20%	0%	40%	0%	30%
	20%	≤1%	0%	15%	40%

Los cinco componentes más importantes y de mayor variabilidad identificados en las minas fueron:

Cuarzo: La composición básica de este mineral está dada por sílice SiO_2 , [72], la caracterización indica, que dos de las tres muestras tomadas en la mina El Tamboral poseen un alto porcentaje de este mineral, sin embargo pese a que el silicio y el bórax si pueden reaccionar para formar borosilicato, es muy improbable, que en este caso y a temperatura ambiente se diera a lugar la formación del compuesto.

Para que el silicio pueda ser liberado del cuarzo, este debe pasar por un proceso de trituración minuciosa y debe ser mezclado con otro elemento como el magnesio, luego esta mezcla debe ser calentada a fin de que el

magnesio reaccione con el oxígeno del cuarzo liberando el silicio, [73] si de alguna forma pudieran darse las condiciones que logran la liberación del silicio, este y el bórax deberían someterse a temperaturas superiores a su punto de fusión las cuales están por encima de los 700° C para lograr la formación de borosilicatos [74].

Arsenopirita: la arsenopirita es un mineral compuesto por arsénico, hierro y azufre, de todos los elementos mencionados quien puede llegar a reaccionar con el bórax es el hierro formando ferroboro (FeB), [75], sin embargo, esta reacción tampoco es posible que se de en las condiciones del entable y a temperatura ambiente. Además, las concentraciones en que se encuentra en las tres minas son muy bajas y similares, así que se infiere que esta no es una causa probable de los resultados.

Cabe aclarar que no se encontró ningún registro o datos de una reacción química entre el Arsénico (As) y el Boro y/o Bórax, por lo tanto, no se afirma ni descarta la influencia del elemento en el proceso.

Pirrotina: Este mineral pertenece al grupo de los sulfuros, su fórmula química es $Fe_{1-x}S$, [76]. La caracterización mineralógica indica que a excepción de una de las muestras tomadas en la mina El Desquite, este compuesto no tiene mucha representatividad en el material usado en las pruebas, por lo tanto, se asume que no representa gran significancia en los resultados, sin embargo como se mencionó anteriormente el boro en otras condiciones y a altas temperaturas si podría llegar a reaccionar con el hierro o con el azufre formando sulfuros [77].

Calcita: La calcita, es un mineral conformado 56,03% de CaO y el 43,97% de CO₂, [78]. Una investigación realizada acerca de los aglutinantes del borato de calcio indica que el calcio y el borato pueden llegar a reaccionar formando hexahidrobórta $Ca[B(OH)_4]_2 \cdot 2H_2O$ [79]. Podría inferirse que para este caso y a temperatura ambiente, parte del borato pudo haber reaccionado con el calcio de la calcita, restándole potencial en su reacción con el oro.

Otra investigación realizada en el 2015 por un grupo de ingenieros biomédicos, demostró que el Ca^{2+} desempeña un papel esencial en combinación con bórax, [80] ya que este último tiene capacidad de quelar iones metálicos tales como calcio, magnesio, hierro y manganeso, [81], desde otra perspectiva esta información refuerza la premisa de que el bórax tenga prioridad de reacción con otros elementos.

Ganga de silicatos: El término ganga hace referencia “al mineral secundario que acompaña al metal que se desea explotar preferentemente” [82]. Según la caracterización los silicatos se encuentran en gran proporción en una de las muestras del La Turbina, sin embargo, como se explicó anteriormente, aunque el bórax si puede llegar a reaccionar con el silicio y los silicatos para formar borosilicatos y boratos de calcio, las condiciones del entable y la temperatura inviabilizan la formación de estas reacciones.

Los elementos que podrían tener más importancia dentro de esta caracterización y para efectos del análisis de los resultados son el Ca y el Fe pues como se mencionó anteriormente, estos dos elementos tienen gran capacidad de quelación con el borato, si se encontrasen en estado libre las posibilidades de que estos enlaces se hubiesen dado antes que la reacción del insumo con el oro por su nobleza son de consideración [80].

Es necesario mencionar que la variabilidad mineralógica de la zona podría dificultar la posibilidad de establecer una dosis óptima de aplicación del bórax, a menos que ésta se establezca tomando en cuenta las condiciones más críticas, pero esto aun así no garantizaría la efectividad del método en un ámbito nacional o global, donde la variabilidad mineralógica va a ser mucho mayor

Un último aspecto, está relacionado con el tamaño de las partículas de oro de la zona minera de Suárez, que según la guía ministerio de minas del 2017, se encuentra entre las 40 y 70 micras [25]; esta dimensión podría favorecer el enlace covalente formado entre el mercurio y el oro conocido como amalgama, más nó el formado entre el borato y el oro, pues lo que se forma es un quelato el cual podría ser muy débil para soportar partículas de oro de mencionado calibre o si se forma podría ser muy propenso a rupturas.

Lo mencionado anteriormente explicaría la diferencia de recuperación en los dos entables trabajados, puesto que en Las Palmas se trabajó con material recién extraído de la mena por lo tanto el tamaño de partícula de oro pudo ser superior al que pudo estar presente en el mineral trabajado en CMEDC, o al menos visualmente se identificó que tamaño del material saliente de Las Palmas fue mucho mayor al material saliente de CMEDC, el cual como ya se mencionó, fue un mineral reprocesado que iba a ser dispuesto a cianuración para recuperar lo que los mineros llaman oro residual o oro de tamaño de partícula muy reducida, que el mercurio no

alcanza a enlazar, pero que probablemente el borato si, de ahí la recuperación positiva en ese lugar.

Resultados entable CMEDC

La **Figura 43** muestra los resultados obtenidos en el entable CMEDC, en ellos se evidencia que la recuperación del bórax frente al mercurio resultó ser muy positiva, pues para este caso de estas pruebas el mercurio no logró recuperación alguna, seguidamente en el análisis de resultados se abordaron las posibles causas de estos resultados.

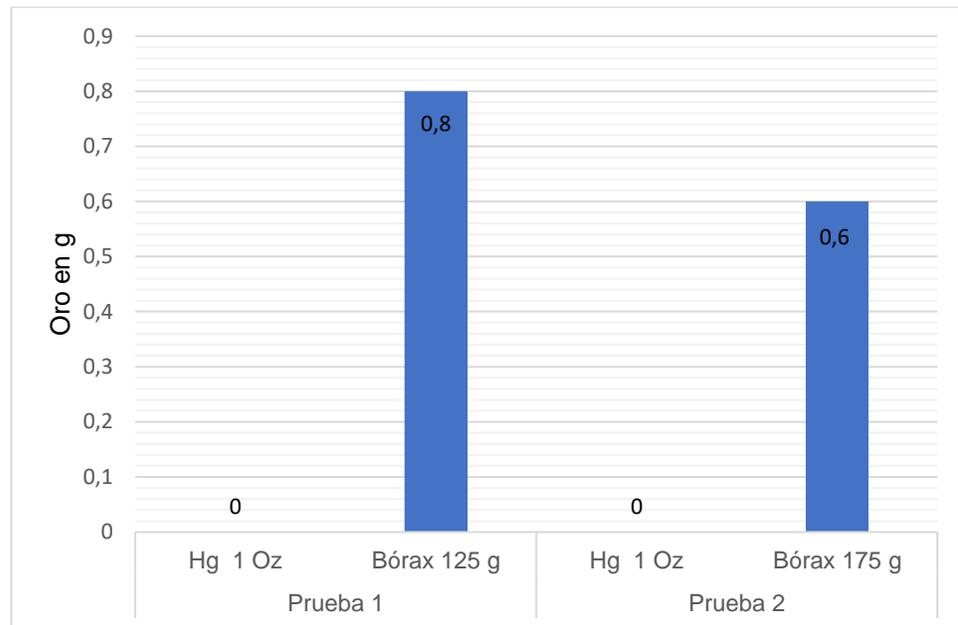


Figura 43 Resultados de pruebas bórax vs mercurio, entable CMEDC

4.2.3 Análisis Pruebas CMEDC

En el entable CMEDC se realizaron solo dos pruebas para medir la eficiencia del bórax, en ellas a diferencia del entable las Palmas se utilizó solo 1 Oz de mercurio para efectuar la comparación, sumado a esto el material que fue proveído para las mismas por mención misma del encargado del entable se supo era un mineral poco enriquecido, que iba a ser destinado para recuperación de oro por cianuración

El procedimiento de recuperación de oro fue idéntico al aplicado en el primer entable paso a paso, sin embargo, al realizar las pruebas y adicionar bórax como insumo a dos de los cuatro barriles, estos arrojaron recuperaciones de <1 g con bórax resultados pequeños en relación a los obtenidos en Las Palmas, pero positivos siendo mayores a lo arrojado por los barriles con mercurio.

Si bien lo positivo de los resultados pudo deberse a la efectividad del bórax sobre las características del material usado, cuya procedencia fue de la mina El Desquite, cabe mencionar que, a diferencia de Las Palmas, en este entable al momento de pasar el concentrado resultante del lavado a la batea, se evidenció un poco de amalgama producto de la contaminación cruzada, así que de cierta forma el mercurio pudo tener influencia en la recuperación del oro. Pese a que la presencia de mercurio podría invalidar la comparación entre los resultados obtenidos y dificulta la medición del efecto mismo del bórax a falta de la realización de más pruebas y de la inesperada aparición de la contaminación cruzada, se debió trabajar con los resultados obtenidos.

Un aspecto relevante en la aplicación de estas pruebas es que de los barriles a los cuales se les agregó solo mercurio, no se obtuvo oro pese a que el proceso de barequeo se realizó idéntico para la recuperación de los cuatro barriles, aquellos que solo poseían mercurio como insumo arrojaron al final la amalgama vacía la cual se filtró a través de un pañuelo y pasó en limpio. Es necesario mencionar que al ser un mineral reprocesado un porcentaje de oro ya había sido retirado, sin embargo, según la misma experiencia de los mineros en el primer proceso nunca se extrae la cantidad total de oro.

Lo descrito anteriormente lleva a pensar en ¿por qué la mezcla de bórax y mercurio resultó más eficiente en la recuperación que el mercurio solo?, lo que podría abrir paso a posteriores investigaciones.

Si se analiza desde la perspectiva químico-geológica se debe tener en cuenta que el único mineral encontrado en mayor cantidad en una de las muestras de El Desquite fue la pirrotina sin embargo como se mencionó anteriormente se considera que ésta en condiciones de un entable no puede afectar mucho el borato. Por otra parte, la calcita de la cual se infiere si pudo haber tenido influencia en los resultados de Las Palmas, en El Desquite se encontró en menor cantidad.

4.2.4 Resultados de primeras pruebas realizadas en Suárez con bórax como insumo minero

Resultados de la investigación de E. C. Rojas, O. S. Muñoz

En la **Figura 44** se muestran los resultados obtenidos por, E. C. Rojas, O. S. Muñoz en su investigación, “Identificación de los niveles de eficiencia del bórax como sustituto del mercurio en dos plantas artesanales de extracción de oro, municipio Suárez departamento del Cauca” [11].

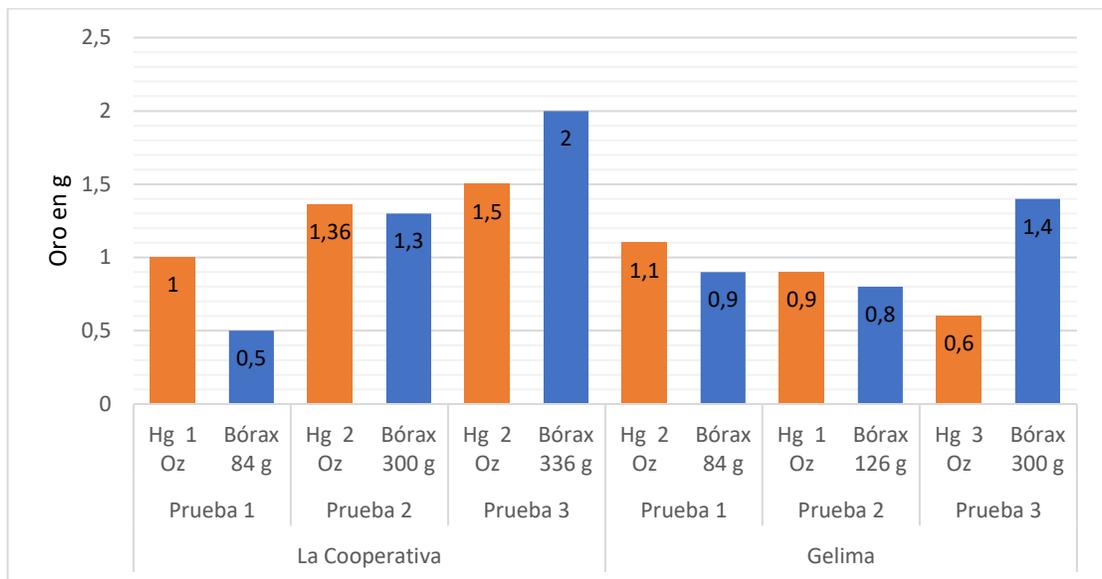


Figura 44 Resultados de pruebas en entables Cooperativa y Gelima

- **Análisis comparativo entre los resultados obtenidos la investigación de E. C. Rojas, O. S. Muñoz y los obtenidos en la presente investigación**

La investigación realizada por E. C. Rojas, O. S. Muñoz, (2017), se llevó a cabo en dos entables y se realizaron tres pruebas en cada uno, dado que no contaban con una metodología a seguir la establecieron a base de pruebas empíricas al igual que las dosis de borato utilizadas, de ahí que los porcentajes usados en sus pruebas sean tan variables [11]. La investigación actual buscó estandarizar las constantes físicas a fin de verificar su influencia en los resultados obtenidos, sin embargo, estos fueron muy similares arrojando sólo dos resultados positivos con bórax en cada investigación.

Se destaca que la cantidad de bórax que usaron estos investigadores por barril no superó los 168 g siendo este el valor máximo agregado y al tiempo

el que mayor recuperación con el insumo logró, sin embargo, la cantidad mínima agregada que fueron 42 g por barril, no obtuvo la menor recuperación estas cantidades de bórax usadas, se entiende según lo analizado en su investigación se escogieron según su criterio.

Los resultados observados en la investigación realizada por E. C. Rojas, O. S. Muñoz, (2017), y los resultados obtenidos en la presente investigación permiten inferir que la cantidad de bórax agregada por molienda no es directamente proporcional a la cantidad de material recuperado, ya que si se observa en la presente investigación la menor cantidad de bórax usada obtuvo la segunda mejor recuperación y no la menor como podría esperarse, similar a lo que les ocurrió a los mencionados investigadores.

Por último, que en su investigación no se especifica la procedencia del mineral usado, es difícil establecer si las composiciones del mismo poseen similitud con los minerales usados en las pruebas realizadas en la presente investigación, de ahí que no se pueda inferir ni descartar si las condiciones geológico-químicas que pudieron afectar los resultados fueron las mismas.

Resultados de la investigación de W. F. Juanillo Y C. A. Garcés

En la **Figura 45** se muestran los resultados obtenidos por, W. F. Juanillo Y C. A. Garcés en su investigación, “Bórax en el proceso de recuperación de oro como un sustituto del mercurio en dos entables de la cooperativa minera de Suárez Cauca” [10].

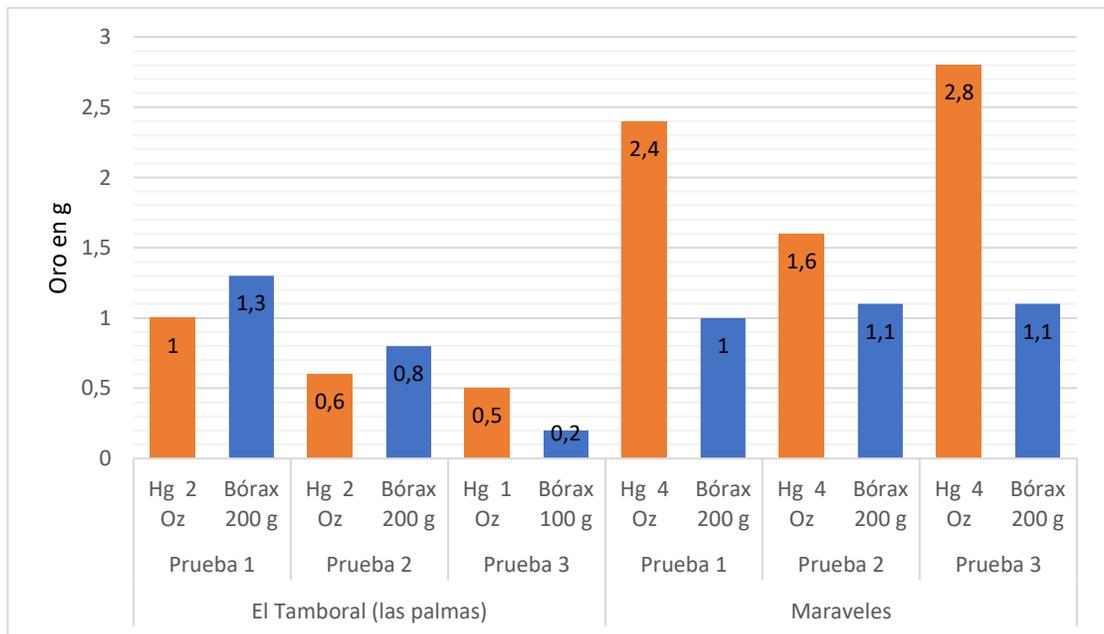


Figura 45 Resultados pruebas en entables El Tamboral y Maraveles

- **Análisis comparativo entre los resultados obtenidos la investigación de W. F. Juanillo Y C. A. Garcés y los obtenidos en la presente investigación**

Las seis pruebas realizadas por W. F. Juanillo Y C. A. Garcés (2017) se llevaron a cabo en dos establecimientos mineros tres en cada uno, al igual que en la investigación mencionada anteriormente no contaban con porcentajes de agregado de bórax establecidos, por lo tanto, aplicaron el ensayo y error hasta lograr recuperaciones con la sustancia [10]. La recuperación de oro fue muy variada en sus resultados, al igual que en la presente investigación, esto refuerza el planteamiento de la dificultad que representa lograr la homogeneidad en el material usado para cada prueba.

Una parte importante de la comparación con los resultados de esta investigación es que desarrolló parte de sus pruebas en el entable El Tamboral, el cual es el mismo denominado en este documento como Las Palmas, esto quiere decir que las pruebas realizadas en este mismo establecimiento pudieron verse sometidas a condiciones físicas similares. Sin embargo, fue en El Tamboral donde los investigadores obtuvieron recuperaciones positivas con bórax, esto permite inferir que las condiciones físicas no tuvieron gran impacto en los resultados de las pruebas desarrolladas.

En el análisis que W. F. Juanillo Y C. A. Garcés realizan a sus resultados, adjudican en gran parte la recuperación obtenida las pruebas donde el bórax fue mejor insumo a la contaminación cruzada, pues describen que al momento de pasar el concentrado a la batea surgió amalgama. A diferencia de ellos en las pruebas que se realizaron en este entable no se obtuvo ni evidenció amalgama en ninguna parte del proceso, mientras que en el entable CMEDC si, y en este lugar también se obtuvo una recuperación mayor con mercurio.

Las condiciones anteriores pueden llevar a pensar que, si bien el bórax no sustituye 100% al mercurio, quizás pueda funcionar como un potencializador pues aparentemente las pruebas que se realizaron en barriles que contenían por contaminación cruzada considerables trazas de mercurio, dieron resultados de recuperación agregando bórax mucho mejores que a los que solo se les añadió mercurio, sin embargo es necesario recordar que bajo el marco de la legislación colombiana vigente el uso del mercurio en actividades

mineras e industriales es ilegal [9], por lo tanto no es posible usar la mencionada mezcla.

- **Resultados obtenidos en investigaciones realizadas en Bolivia y Filipinas**

La investigación reportada por Eppers et al (2017) cuenta acerca de la aplicación y uso del bórax como sustituto del mercurio en la minería se obtuvieron del artículo “El uso del bórax para una producción de oro sin mercurio en la minería a pequeña escala” según lo indicado y que se muestra en la **Tabla 35** todos los resultados fueron positivos.

Tabla 35 Resultados en Bolivia y Filipinas

Oro recuperado en gramos		
Ubicación	Amalgamación con mercurio	fusión con bórax
Suerte 1	0.1	0.5
Suerte 2	0.4	0.5
Gaang 1	1.2	3.2
Gaang 2	2.3	4.8
Gaang 3	1.8	4.2
Gaang 4	7.2	22.5
Kiaas 1	0.4	1.1
Kiaas 2	0.8	1.3

- **Análisis comparativo entre los resultados obtenidos en pruebas internacionales y los obtenidos en la presente investigación**

Dada la escasez de información son pocos los aspectos que se pueden analizar en comparación, sin embargo, el primero y más evidente es la diferencia en los procesos realizados pues pese a que el material si pasa por un proceso de trituración este se realiza en un molino chileno, la concentración realizada también es distinta pues esta se hace por medio de canaletas, mientras que en Suárez se realiza a través del proceso de lavado, por la falta de datos, no es posible saber qué proceso es más eficiente.

El segundo aspecto a tomar en cuenta son las cantidades recuperadas tanto con bórax como con mercurio, pues pese a la diferencia mineralógica que debe existir entre cada sitio donde se aplicaron las pruebas, las porciones recuperadas son muy similares, sin embargo, no se cuenta con información acerca de las cantidades de bórax agreda, ni de las características de las minas trabajadas, por lo tanto, no se puede realizar una comparación y análisis más a fondo como con las dos investigaciones anteriores.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Los resultados de la caracterización técnica realizada en los entables permiten concluir que Las Palmas puede procesar hasta 1,36 toneladas más de mineral por cada molienda en relación a CMEDC, esto va directamente relacionado con los tamaños y demanda de los entables. También se puede concluir que el gasto energético de los motores eléctricos de Las Palmas es mayor al que se presenta en CMEDC, como consecuencia del amperaje (A) requerido para el funcionamiento de los mismos.

A partir de la caracterización socio/económica se concluye que las condiciones laborales y de vida de los empleados de CMEDC son mejores que las que poseen los empleados de Las Palmas, esto se debe en primera medida a que CMEDC se encuentra ubicado en zona urbana del municipio de Suárez, por lo tanto, todos cuentan mínimamente con los servicios públicos básicos. En segunda medida al ser CMEDC una empresa legal, los empleados cuentan con salario fijo y con todas las prestaciones sociales descritas por ley, lo contrario se presenta en Las Palmas donde lo único que reciben los empleados es un pago por jornada trabajada.

Con la caracterización ambiental realizada a los dos establecimientos mineros se concluye que Las Palmas genera un mayor impacto ambiental con relación a CMEDC y esto se debe principalmente a dos aspectos, el primero es a causa de la cantidad de mercurio que requerida y usada para llevar a cabo el proceso de obtención de oro usando el método tradicional o de amalgamación la cual generalmente son 3 onzas, mientras que en CMEDC se usa solo 1, y la segunda causa es la mayor capacidad de producción que posee Las Palmas usando el método tradicional, en el cual adicionalmente usan otros elementos perjudiciales para el ambiente como lejía y ácidos.

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en campo para determinar el efecto de la cantidad de bórax en la recuperación de oro se puede concluir que la cantidad de bórax aplicada, no es directamente proporcional a la recuperación de oro. Se concluye también que, pese a que el bórax no alcanzó la misma efectividad en recuperación de oro en comparación al mercurio en el entable Las Palmas, en todas las pruebas logro recuperación incluso en CMEDC

donde el mercurio solo no obtuvo oro, por lo tanto, si podría llegar a ser un sustituto, aunque con un menor rendimiento.

Se concluye también que la efectividad de la reacción oro-bórax depende de algunos factores clave, dentro de estos se destaca el tamaño de partícula, pues químicamente se sabe que el enlace que forman estas dos sustancias mencionadas no es tan fuerte y se infiere que no soporta una partícula pesada, por lo que su efectividad en materiales con oro libre de baja granulometría podría ser mejor.

5.2 RECOMENDACIONES

En primera medida se recomienda a los mineros la implementación y uso de elementos de protección personal, con el fin de reducir los riesgos laborales en la zona de trabajo y las posibles afectaciones a la salud; así mismo se recomienda la aplicación de métodos soportados en los manuales de buenas prácticas en el trabajo y cuidados a la salud, tanto por los insumos utilizados como por las actividades realizadas en todo el proceso de recuperación de oro.

Se recomienda continuar un proceso de investigación que permita validar la efectividad del borato de sodio como sustituto del mercurio en la minería aurífera, ya que los resultados obtenidos hasta el momento dejaron planteadas una nueva serie de interrogantes, que requieren ser resueltos antes de dar un dictamen final.

Para el fin mencionado anteriormente, se recomienda recrear las pruebas en un laboratorio en el cual se pueda controlar y estandarizar todas las variables, con el fin de reducir la incidencia de estas en los resultados, también se sugiere la realización de pruebas de titulación de bórax con los principales minerales y agua de la zona, para conocer las posibles reacciones que se puedan dar entre el borato de sodio y los componentes mineralógicos, que puedan afectar la recuperación de oro con este método.

Por otra parte, se aconseja una reestructuración en la infraestructura de los entables con el fin enfocar el proceso hacia métodos gravimétricos que faciliten la aplicación de nuevas alternativas en aras de sustituir el mercurio en la minería artesanal de oro a pequeña escala. También la realización de obras de ingeniería con el fin de reducir los impactos al ambiente producto de los vertimientos.

Se recomienda a posibles futuros proyectos de investigación en esta línea, realizar la caracterización mineralógica de cada uno de los materiales que llega, o que se vayan a trabajar en el transcurso del proyecto, dado que el conocimiento concreto de las sustancias y sus cantidades presentes en el mineral usado para la realización de las pruebas es determinante para entender que reacción puede estar teniendo bórax en la mezcla, pues como se mencionó anteriormente éste tiene mayor tendencia o afinidad a quelar elementos del grupo dos como el Ca y el Mg o metales como el Fe, por lo que la presencia de

estos y algunos más en estado libre puede significar, que la prioridad del bórax químicamente se desvíe y alcance a oro solo en pequeñas proporciones

Finalmente y a modo de recomendación personal se considera es necesaria la intervención y apoyo de organismos gubernamentales a las prácticas mineras, no solo de Suárez sino del Cauca, pues al ser la minería una actividad económica tan importante, merece ser apoyada estructuralmente a fin de lograr su tecnificación, educando a los mineros en cuanto a las buenas prácticas en las minas y en los entables a fin de proteger su salud la de sus familias y reducir los impactos provocados al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. Robert, *LA MINERIA DE ALUVION EN COLOMBIA DURANTE EL PERIODO COLONIAL.pdf*. Bogota 1972: Imprenta Nacional.
- [2] L. Güiza, “La Pequeña Minería En Colombia: Una Actividad No Tan Pequeña Small Scale Mining in Colombia: Not Such a Small Activity,” *Dyna*, vol. 80, no. 181, pp. 109–117, 2013.
- [3] M. Gaioli, D. Amoedo, and D. Gonz, “Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente,” vol. 110, no. 3, pp. 259–264, 2012.
- [4] Congreso de la República de Colombia, “Ley 685,” vol. 2, no. agosto 15. pp. 1–109, 2001.
- [5] J. Ruiz, M. Carmona, and W. Borlibar, “Análisis del impacto ambiental generado por la emisión de mercurio desde fuentes fijas o entables del municipio de Andes-Antioquia.” medellin, 2016.
- [6] UNIDO, “El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala,” 2008.
- [7] O. de N. Unidas, “El mercurio y la salud.” [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>. [Accessed: 04-Oct-2019].
- [8] U. de P. M. Energetica, “oro,” 2018. [Online]. Available: https://public.tableau.com/profile/upme#!/vizhome/Oro_1/Historia1. [Accessed: 04-Oct-2019].
- [9] Congreso de la República de Colombia, “Ley 1892. Por medio de la Cual se aprueba el convenio de Minamata sobre el mercurio, hecho en Kumamoto (Japón) el 10 de octubre de 2013,” no. 1892. Bogota, p. 82, 2018.
- [10] W. Juanillo and C. Garces, “Bórax en el proceso de recuperación de oro como un sustituto del mercurio en dos entables de la cooperativa minera de Suarez Cauca,” Corporación Universitaria Autónoma Del Aauca, 2017.
- [11] C. Rojas and O. Muñoz, “Identificar los niveles de eficiencia del bórax como sustituto del mercurio en dos plantas artesanales de extracción de oro , en el minicipio de Suárez Cauca.,” Corporacion Universitaria Auntonoma Del Cauca, 2017.
- [12] Congreso de la República de Colombia, ““POR MEDIO DE LA CUAL SE ESTABLECEN DISPOSICIONES PARA LA COMERCIALIZACIÓN Y EL USO

DEL MERCURIO EN LAS DIFERENTES ACTIVIDADES INDUSTRIALES DEL PAÍ, SE FIJAN REQUISITOS E INCETIVOS PARA SU REDUCCIÓ Y ELIMINACIÓ Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES "." Bogota, p. 11, 2013.

- [13] A. de P. A. de E. Unidos., "Informaci3n b3sica sobre el mercurio." [Online]. Available: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-mercurio#exposures>. [Accessed: 04-Oct-2019].
- [14] A. J. Ldrovo *et al.*, "Niveles de mercurio y percepci3n del riesgo en una poblaci3n minera aurífera del Guainía (Orinoquia colombiana)," *Biomédica*, vol. 21, no. 2, p. 134, 2001.
- [15] P. de las N. Unidas and para el M. Ambiente, "El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala," 2008. [Online]. Available: https://ige.org/archivos/IGE/mercurio_en_la_Mineria_de_Au.pdf. [Accessed: 02-Oct-2019].
- [16] A. V Ramírez, "Intoxicaci3n ocupacional por mercurio," *An. la Fac. Med.*, vol. 69, no. 1, p. 46, 2013.
- [17] D. Rodríguez-Heredia, "Intoxicaci3n ocupacional por metales pesados," *Medisan 2017;21(12):3372*, vol. 21, no. 12, pp. 3372–3385, 2017.
- [18] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, "Evaluaci3n mundial sobre el mercurio," 2002.
- [19] O. de N. Unidas, "Destinan 180 millones de dólares a reducir el mercurio en la extracci3n del oro." [Online]. Available: <https://news.un.org/es/story/2019/02/1451421>. [Accessed: 03-Oct-2019].
- [20] Naciones Unidas, "Convenio de Minamata sobre el Mercurio: Textos y Anexos," 2017.
- [21] "Preparaci3n Temprana para el Convenio de Minamata sobre el Mercurio (MIA) en la Repú blica de Colombia.," 2017.
- [22] O. Eppers, "El uso de b3rax para una producci3n de oro sin mercurio en la minería a pequeña escala.," no. July, 2017.
- [23] F. Plagbol, "Manual de extracci3n de oro sin el uso del mercurio." La Paz, Bolivia, 2014.
- [24] Milensioscuro, "Colombia - Cauca - Suárez.svg," 2011. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colombia_-_Cauca_-_Suárez.svg. [Accessed: 28-Oct-2019].
- [25] Ministerio de Minas y Energía and S. G. Colombiano, "GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO. SUÁREZ,BUENOS

- AIRES Y EL TAMBO (CAUCA),” 2017.
- [26] C. A. R. del Cauca, “DIAGNOSTICO AMBIENTAL MUNICIPIO DE SUAREZ ARE DE INFLUENCIA CORREGIMIENTOS DE MANDALA Y LA TOMA.” p. 23.
- [27] “Minería.” [Online]. Available: <https://conceptodefinicion.de/mineria/>. [Accessed: 04-Oct-2019].
- [28] E. Concesionario and P. Exploratorio, “¿Cuándo inicia la fase de explotación?” .
- [29] F. Sáenz, “Megaminería a cielo abierto: otra amenaza para el Quindío,” 2016. [Online]. Available: <https://www.las2orillas.co/megamineria-a-cielo-abierto-otra-amenaza-para-el-quindio/>. [Accessed: 28-Oct-2019].
- [30] J. Herrera Herbert, *INTRODUCCIÓN A LOS FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA MINERA MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO, CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO*. Madrid, 2006.
- [31] M. Benito, “El SIG aplicado a minería: nuevas oportunidades laborales.” [Online]. Available: <https://geoinnova.org/blog-territorio/sig-aplicado-a-mineria-nuevas-oportunidades-laborales/>. [Accessed: 28-Oct-2019].
- [32] “Explotación de Minas - Seleccin de Metodo,” vol. 1, pp. 271–338.
- [33] “La minería se consume a Colombia.” [Online]. Available: <http://m.tascaambiental.webnode.com.co/>. [Accessed: 20-Oct-2019].
- [34] “Minas de placer o minas de aluvión,” 2015. [Online]. Available: <http://jsmf1999.blogspot.com/2015/05/minas-de-placer-minas-de-aluvion.html>. [Accessed: 04-Oct-2019].
- [35] “Explotación de minas-seleccin de metodo,” pp. 271–338.
- [36] A. Pardo, “Metodos de explotación subterránea.” [Online]. Available: <https://bsginstitute.com/bs-campus/blog/Metodos-de-Explotacion-Subterránea-1135>. [Accessed: 04-Oct-2019].
- [37] J. R. A. & R. Menon, “Minas y canteras,” *Encicl. Secur. y salud en el Trab.*, vol. 3, pp. 35–40, 2001.
- [38] Ministerio de Minas y Energía, “Boletín Estadístico de Minas y energía 2012 – 2016,” *Minist. Minas y Energía*, p. 200, 2016.
- [39] M. D. M. Y. ENERGÍA, “Anuario estadístico minero Colombiano,” Bogota, 2012.
- [40] Unidad de Restitución de Tierras. Agencia Nacional de Minería (ANM), “Cartilla Minera,” p. 40, 2015.

- [41] A. Minera and I. Ambiental, “¿Qué es la construcción y el montaje minero?” Bogota.
- [42] M. A and B. Lopez, “MINERIA EN EL CAUCA ‘Compendio de estudios realizados en las zonas mineralizadas del Cauca,’” Popayán, 1996.
- [43] A. N. de Minería and Ministerio de Minas y Energía, “CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD MINERA DEPARTAMENTAL,” 2017.
- [44] N. Paz, “LA ECONOMÍA MINERA EN LA FORMACIÓN CULTURAL DEL CAUCA,” 2018. [Online]. Available: <https://www.proclamadelcauca.com/la-economia-minera-en-la-formacion-cultural-del-cauca/>. [Accessed: 05-Oct-2019].
- [45] C. A. R. del Cauca, “ASPECTO MINERO EN EL MUNICIPIO DE SUAREZ, AREA DE INFLUENCIA CORREGIMIENTOS DE MINDALA Y LA TOMA.”
- [46] P. Lopez, “APOYOS A PROYECTOS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN LA MINERÍA PARA LOS DISTRITOS MINEROS DEL CAUCA.,” Popayán, 2006.
- [47] “Mercurio Elemento.” [Online]. Available: <https://conceptodefinicion.de/mercurio-elemento/>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [48] “MERCURIO.” [Online]. Available: <http://www.quimicaweb.net/tablaperiodica/paginas/mercurio.htm>. [Accessed: 05-Oct-2019].
- [49] Greenfacts, “Mercurio.” [Online]. Available: <https://www.greenfacts.org/es/mercurio/n-3/mercurio-1.htm>. [Accessed: 05-Oct-2019].
- [50] “Mercurio, contaminación y riesgos para la salud,” *Salud y tecnología*, 2013. [Online]. Available: <http://www.tecnologiahechapalabra.com/salud/miscelanea/articulo.asp?i=7582>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [51] M. González-Estecha *et al.*, “Exposición al metilmercurio en la población general; toxicocinética; diferencias según el sexo, Factores nutricionales y genéticos,” *Nutr. Hosp.*, vol. 30, no. 5, pp. 969–988, 2014.
- [52] G. Duque, J. Marrugo-Negrete, H. Suárez, and M. Olivares, *Evaluación de riesgo de mercurio en peces de aguas continentales en Colombia*, no. November 2016. 2016.
- [53] “Bolivia: Contaminación por Mercurio y Minería en la ‘Ruta del oro,’” *natzone*, 2016. [Online]. Available: <http://www.natzone.org/index.php/areas-de-investigacion/desarrollo-tecnologico/item/134-bolivia-contaminacion-por-mercurio-y-mineria-ilegal-en-la-ruta-del-oro>. [Accessed: 20-Oct-2019].
- [54] “mercurio-1,” *laodontologianatural*, 2013. [Online]. Available:

<https://laodontologianatural.com/entrevista-a-daniel-nelson-de-feo-narao-mercurio-1/>. [Accessed: 29-Oct-2019].

- [55] J. Á. Perlaza, “La ONU lanza un programa para eliminar el mercurio de la minería tradicional de oro,” *OROINFORMACIÓN*, 2019. [Online]. Available: <https://oroinformacion.com/la-onu-lanza-un-programa-para-eliminar-el-mercurio-de-la-mineria-tradicional-del-oro/>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [56] “28 usos del bórax en el hogar que debes conocer,” *ecoideas*, 2019. [Online]. Available: <https://ecocosas.com/eco-ideas/usos-del-borax/>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [57] “Uso domestico del borax.”
- [58] D. N. de Planeción, “SISBÉN-COLOMBIA,” vol. 28, no. 10. pp. 1–39, 2012.
- [59] A. garcia Serrra, “La minería, un nuevo filón para la economía,” *El País*, Jul-2010.
- [60] E. Ágora, “Entrgan mulas de carga en municipios chiapanecos,” *El Agora*, 2016. [Online]. Available: 29/10/2019. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [61] G. Earth, “Entables Suarez Cauca.” 2019.
- [62] C. Luz and D. Maza, “Evaluación de Impactos Ambientales,” pp. 579–607, 2007.
- [63] “Ácido sulfúrico y agua,” 2009. [Online]. Available: <https://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/quimica/respuestas/2063077/acido-sulfurico-y-agua>. [Accessed: 25-Oct-2019].
- [64] “Hipoclorito de sodio.” [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Hipoclorito_de_sodio#targetText=El hipoclorito de sodio \(cuya,un oxidante fuerte y económico](https://es.wikipedia.org/wiki/Hipoclorito_de_sodio#targetText=El hipoclorito de sodio (cuya,un oxidante fuerte y económico). [Accessed: 25-Oct-2019].
- [65] “Molino de bolas,” *TRIASO*. [Online]. Available: <https://www.triaso.com.mx/trituradora-molino.html#>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [66] “Mercurio.” [Online]. Available: <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol333.htm>. [Accessed: 25-Oct-2019].
- [67] “TRIOXIDO DE ASIFRE (SO₃).” [Online]. Available: http://www.proteccioncivil.es/riesgos/quimicos/fichas-toxicologicas/toxico/-/asset_publisher/O3eU8FspXzkM/content/trioxido-de-azufre-so-3/pop_up?_101_INSTANCE_O3eU8FspXzkM_viewMode=print&_101_INSTANCE_O3eU8FspXzkM_languageId=gl_ES. [Accessed: 25-Oct-2019].

- [68] “Ácido clorhídrico.” [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Ácido_clorhídrico. [Accessed: 25-Oct-2019].
- [69] P. Mercurio and E. Y. Procesos, “Mercurio. elemento y procesos asociados.”
- [70] W. L. McCabe, J. C. Smith, and P. Harriott, *Operaciones Unitarias de Ingeniería Química*. 1991.
- [71] GeusTUBE, *Extracción del oro con BÓRAX para mineros a pequeña escala*.
- [72] M. Alessandro, “EL CUARZO,” *rocasym minerales*, 2017. [Online]. Available: <https://www.rocasym minerales.net/el-cuarzo/>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [73] CienciDeSofa, *Extrayendo SILICIO de unas rocas*. 2018.
- [74] “bórax-Borax.” [Online]. Available: <https://es.qwertyu.wiki/wiki/Borax>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [75] “BORO,” *quimicaweb*. [Online]. Available: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/boro.htm>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [76] U. de Malaga, “Pirrotina,” 2019. [Online]. Available: <http://www.uciencia.uma.es/Coleccion-cientifico-tecnica/Mineralogia/Galeria/Pirrotina>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [77] J. Bórras, “Química Inorgánica,” 2006.
- [78] “Calcita,” *uned*. [Online]. Available: <https://www2.uned.es/cristamine/fichas/calcita/calcita.htm>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [79] N. Composite and L. Liners, “Calcium Borate Binders - A summary of experiments by Mark Tyrer and Essie Ganjian.”
- [80] P. Rico, A. Rodrigo-Navarro, and M. Salmerón-Sánchez, “Borax-Loaded PLLA for Promotion of Myogenic Differentiation,” *Tissue Eng. - Part A*, vol. 21, no. 21–22, pp. 2662–2672, 2015.
- [81] P. Jan, “CHELATING COMPOSITIONS AND DETERGENT COMPOSITIONS PERTAINING TO SAME,” vol. 12, no. 19, pp. 2–4, 1943.
- [82] M. Moret, “Ganga,” *eumed*. [Online]. Available: <http://eumed.net/cursecon/dic/dent/g/gac.htm>. [Accessed: 29-Oct-2019].

ANEXOS

Anexo 1 Formato de caracterización general

Formato de caracterización para UPM					
Información de ubicación					
Departamento		Municipio		Vereda	
Coordenada	Este (x)		Altitud (msnm)		
	Norte (y)				
Información general de la upm					
Nombre de la UPM		Área total de la planta		Área del entable	
Estado de la UPM		Vía de acceso		Distancia a la cabecera	

Anexo 2 formato caracterización física

CARACTERIZACIÓN FÍSICA					
Materiales					
Número de líneas de producción		Número de barriles		Dimensiones promedias (largo - diámetro) en cm	
RPM promedio		Capacidad mínima por barril		Capacidad máxima por barril	
Promedio de cuerpos molidores por barril		Diámetro mínimo de los cuerpos molidores (pulgadas)		Diámetro máximo de los cuerpos molidores (pulgadas)	
Número de motores		Caballos de fuerza (hp)		RPM	
Trifásico o monofásico		Voltaje (v)		Amperaje	
Número de tanques para el almacenamiento de agua		Capacidad de tanques m^3		Número Número de mangueras de agua	
Diámetro de manguera (pulgadas)		Caudal promedio en l/s		Tipo de trituración	
Capacidad de producción por molienda (kg)		Agua requerida por molienda promedio (l)			
Herramientas					

Palas		Poncheras		Porras	
Bateas		Dinamómetro		Elutriador	
Gramera		Soplete de gas natural		Crisol	
Insumos					
Mercurio por barril		Bórax		Miel de purga	
Tipo de fundición		Limón		Acido	
Hipoclorito de sodio		Trapo para filtrar mercurio		Cuerda	
Caracterización de elementos de protección personal (EPP)					
Botas de seguridad		Uso de casco de seguridad		Vestimenta adecuada	
Guantes		Mascarilla para gases		Gafas de seguridad	
Tapa oídos		Overol para fundición		Gafas de fundición	

Anexo 3 formato de caracterización socio-económica

CARACTERIZACIÓN SOCIO ECONÓMICA
--

Aspectos generales

Número de trabajadores promedio		Número de trabajadores hombres		Número de trabajadoras mujeres	
Información de vivienda					
La UPM cuenta con vivienda		Tipo de vivienda		Material predominante de las paredes	
Material predominante del suelo		Número de cuartos de la vivienda		Número de personas que comparten la vivienda	
Información servicios públicos					
Energía eléctrica		Acueducto		Agua potable	
Alcantarillado		Recolección de basuras		Gas natural	
Información básica del hogar					
Qué tipo de conexión posee el sanitario		El sanitario se encuentra dentro o fuera de la vivienda		De donde se tiene el agua para la preparación de alimentos	
El agua para beber se le realiza algún tipo de tratamiento		Cual		La vivienda tiene cocina	
Qué tipo de combustible usan para cocinar		Cuenta con algún servicio adicional		Cual	
Educación e ingresos promedio en la UPM					
En promedio la mayoría de las personas saben leer y escribir		Actualmente estudian		Nivel educativo promedio	
Cotiza a fondo de pensiones		Cuántas semanas llevan trabajando		Posee subsidios del estado	
Otros ingresos		Cual(es)			

Anexo 4 Evidencia fotográfica

