

**CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES Y DIQUES EN LA PLANTA DE
BENEFICIO “SAN JUAN” DEL MUNICIPIO DE SUÁREZ CAUCA COMO
INSUMO DE POSIBLES ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL DE
LOS IMPACTOS GENERADOS POR MERCURIO**



CORPORACION UNIVERSITARIA
AUTONOMA
DEL CAUCA

ÁNGEL DAVID VALENZUELA CUELLAR

CARLOS ANDRÉS LUCUMI BALANTA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA

CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE

INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

2017

**CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES Y DIQUES EN LA PLANTA DE
BENEFICIO “SAN JUAN” DEL MUNICIPIO DE SUÁREZ CAUCA COMO
INSUMO DE POSIBLES ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL DE
LOS IMPACTOS GENERADOS POR MERCURIO**



**CORPORACION UNIVERSITARIA
AUTONOMA
DEL CAUCA**

ÁNGEL DAVID VALENZUELA CUELLAR

CARLOS ANDRÉS LUCUMI BALANTA

Trabajo de grado para optar el título de ingeniería ambiental y sanitaria

Director

INGENIERO AMBIENTAL

CARLOS MIGUEL TORRADO, MSc

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DE DESARROLLO SOSTENIBLE.
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, Mayo de 2017

DEDICATORIAS

Primeramente, le dedico este trabajo a Dios todo poderoso por ser mi guía espiritual que me conduce siempre hacia el camino del bien y el éxito. Y por darme la conformidad de tener a mis padres con vida y mucha salud solo él sabe lo importante que son ellos para mí. Al igual que todas esas personas que me apoyaron y confiaron en mí. Gracias papá Dios de darme la dicha de escribirles hoy esta dedicatoria, mis agradecimientos y tenerlos con salud y vida.

A mis Padres, Nancy Cuellar Muñoz y Losangel Valenzuela Claros por ser ellos dos mi árbol principal que me cobijó bajo su sombra dándome así la fuerza para seguir caminando y lograr alcanzar esta meta anhelada, que hoy gracias a Dios, conjuntamente con ellos lo he logrado. Dios los bendiga, les de salud y mucha vida para poder retribuirles un poco de lo que me han dado. Los amo para ustedes este logro y todos los que me faltan por alcanzar este es solo el comienzo de una vida llena de éxitos para ustedes. Gracias por su persistencia y confiar en mí. El que obtener superación hoy es el resultado de tener excelentes padres y eso son ustedes. Los amo mucho.

A mis hermanos Luisa Fernanda, Rogelio Andrés, William Sahir para que siempre tengan en cuenta que todo lo que nos propongamos en la vida lo podemos lograr si trabajamos fuerte y continuamente con rectitud, sigan adelante y para que mis éxitos de hoy sean los suyos mañana y siempre. Los amo muchas gracias por ser esos hermanos incondicionales.

A mis sobrinos Valeria y Samuel por ser lo más inocente, amoroso y bello que yo tengo por ellos quiero ser cada día mejor porque su candidez me llena de vida aunque poco los vea y no conozca de lo que estoy dedicándoles, sé que algún día lo conocerán y fundaran mis palabras hoy parte de sus éxitos en un mañana.

A mi bebe que sin importar que todavía no te conozca te amare con todo mi corazón, y es posible que un día por alguna casualidad de la vida conozcas de

estas palabras y quieras seguir mis pasos al menos pensarme como un ejemplo a seguir.

ÁNGEL DAVID VALENZUELA

Este trabajo se lo dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no caer ante los problemas que se presentan, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por confiar siempre en mí y estar presentes, acompañándome para poderme realizar. Quienes han sido y son mi motivación, inspiración y felicidad.

“Empieza por hacer lo necesario, luego haz lo posible y de pronto estarás logrando lo imposible”. (San Francisco de Asís)

CARLOS ANDRÉS LUCUMI BALANTA

AGRADECIMIENTOS

Son numerosas las personas a las que debo agradecer por ayudarme en el logro de mi carrera, es demasiado poco, el decir gracias, pero en el fondo de mi ser eternamente les estaré agradecido y siempre presto a tenderles una mano cuando así lo requieran. Sin embargo, resaltare solo algunas de estas personas sin las cuales no hubiese hecho realidad este sueño tan anhelado como es la culminación de mi carrera universitaria: Ante todo, a Dios todo poderoso por darme la vida para lograr esta meta aspirada después de tantos esfuerzos, caídas entre otras cosas, que he tenido durante mi formación profesional, solo tú sabes el sacrificio que he pasado y en mis días y noches de soledad me guiaste con su luz divina por el camino correcto para no desmayar. Por eso gracias mil gracias Dios.

A mis Padres, Nancy Cuellar Muñoz y Losangel Valenzuela Claros por su constante amor inexplicable para mi superación personal, sin ningún interés material han vivido mi lado cada sentimiento, que expresa mi corazón y sin importarles nuestras diferencias ni mis fallas me han apoyado y eso nunca lo olvidare, porque no todos tenemos la dicha de tener unos padres tan responsable como ustedes y por eso no me cansare nunca de expresarles hoy mañana y siempre pase lo que pase, que los amo con todo mi corazón.

Al Profesor Carlos Miguel Torrado, por ser fuente de motivación, y haber aceptado ser nuestro tutor de trabajo para ayudarnos y apoyarnos en los momentos que los necesitemos. Sin ningún interés material, solo queriendo nuestro mejoramiento profesional. Muchas gracias profe Dios te bendiga.

A mis Compañeros de clases y grupo por ofrecerme siempre esa mano amiga en los momentos más difícil de nuestra carrera, a pesar de nuestras diferencias, espero que siempre sean mis amigos los extrañare mucho les deseo lo mejor éxitos y Dios los cuide. A mi amigo Carlos Andrés Lucumi Balanta por ofrecerme siempre esa mano amiga en los momentos más difíciles de mi vida tanto personal como profesional, gracias y Dios lo bendiga.

ÁNGEL DAVID VALENZUELA CUELLAR

Agradezco a Dios todo poderoso por darme la vida, salud, por tenerme siempre de pie luchando por mis proyectos de vida y haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificios; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todo ellos dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

A mis padres por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida. En especial a mi padre que ha sido siempre el motor de esta lucha, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue, y que nada es fácil pero tampoco imposibles de hacer.

En especial a mi madre, por cada día hacerme ver la vida de forma diferente y confiar en mis decisiones.

A la Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca por haberme abierto las puertas y permitirme educarme en sus aulas, a los señores profesores que con su apoyo, su paciencia y sabiduría estuvieron presto para compartir sus conocimientos contribuyendo a mi formación profesional en especial al ingeniero Francisco Idrobo Idrobo, gracia por su dedicación, el apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto.

A mi asesor de tesis Carlos Miguel Torrado Cuellar, por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de este proyecto de grado, por su apoyo y consejos, impulsándome siempre a seguir adelante.

A mis compañeros de clases, con los que he compartido grandes momentos. En especial mi amigo Ángel David Valenzuela. Todos ellos Dios los bendiga.

CARLOS ANDRÉS LUCUMI BALANI

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PROBLEMA	3
1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	3
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	8
1.3.1. Objetivos generales	8
1.3.2. Objetivos específicos	8
2. CAPITULO II REFERENTES CONCEPTUALES	9
2.1.1 Localización y Cobertura del Municipio de Suárez.	9
2.1.2 Aspectos Físicos Bióticos	11
2.1.3 Aspectos Socioeconómicos	12
2.1.4 Aspectos Ambientales	13
2.2 ANTECEDENTES.....	14
2.3 BASES TEÓRICAS	16
2.3.1 Minería.....	16
2.3.2 Minería a pequeña escala.....	16
2.3.3 Minería subterránea.....	17
2.3.4 Mineralización.....	18
2.3.5 Etapas y actividades de la minera aurífera	18
2.3.6 Problemática de las plantas de beneficio del país.....	20
2.3.7 Manejo de materiales peligrosos.....	21
2.3.8 Propiedades físico químicas del mercurio	23

2.3.9 Fuentes de mercurio y vías de exposición	24
2.3.10 Toxicología del mercurio	25
2.3.11 Rutas de entrada y efectos en el organismo	25
2.3.12 Manejo de colas	27
2.3.13 Sedimentación	29
2.3.14 Control de sedimentos	30
2.4 BASES LEGALES.	31
2.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.	32
CAPITULO III: METODOLOGÍA	37
3.1 Evaluación de los efluentes y diques de colas en la unidad de producción Minera del Municipio de Suárez.	37
3.1.1 Socialización.....	37
3.1.2 Evaluación del proceso de beneficio.....	38
3.1.3 Evaluación de la calidad del agua en los diques de cola y efluente	38
3.2 Determinación de la presencia de mercurio en los diques de cola o efluente generado en la planta de beneficio San Juan.	42
3.2.1 Determinación de las posibles pérdidas de mercurio	42
3.3 Alternativas de manejo y mitigación de los impactos ocasionados por el entable minero.	44
3.3.1 Prueba de sedimentabilidad.....	44
3.3.2 Rediseño de diques	45
3.3.2 Buenas prácticas ambientales en el beneficio de oro.....	47
4. CAPITULO IV: RESULTADOS	48
4.1. EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES Y DIQUES DE COLAS DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN MINERA	48

4.1.1 Aforo de caudal.....	52
4.1.2 Evaluación de la calidad del agua en los diques de cola y efluente	53
4.1.3 Análisis de resultados	56
4.2 DETERMINACION DE LAS PÉRDIDAS DE MERCURIO	75
4.2.1 Balance de masa de mercurio.	75
4.3 ALTERNATIVAS DE PRETRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO PREVIO.....	79
4.3.1 Cálculos de la prueba de sedimentabilidad.....	79
4.3.2 Criterios de diseño	81
4.3.3 Cálculos de resultados y diseño del sedimentador convencional	81
4.4.4 Buenas prácticas ambientales	86
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1 CONCLUSIONES	91
5.2. RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS	96

LISTAS DE FIGURAS.

Pág.

Figura 1. Localización del Municipio de Suárez en el Departamento del Cauca (Colombia).	9
Figura 2. Mapa político del Municipio de Suárez Cauca – Corregimientos y Veredas.	10
Figura 3. Esquema del proceso de sedimentación de partículas en sedimentador convencional.	29
Figura 4. Diagrama general del Proceso de circuito abierto en los entables minero para el beneficio de oro.	34
Figura 5. Esquema general de molienda.	36
Figura 6. Esquema medición balance de masa.	43
Figura 7. Mediciones de diques de colas	50
Figura 8. Efectos de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua.	57
Figura 9. Relaciones entre la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.	64
Figura 10. Vista en planta y longitudinal del sedimentador convencional.	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Presentación del Mercurio en el Medio Ambiente.	23
Tabla 2. Marco Normativo.....	31
Tabla 3. Parámetros Físicoquímicos.....	40
Tabla 4. Valores de la viscosidad cinemática del agua con respecto a la temperatura.	46
Tabla 5. Clasificación del suelo según el diámetro de partícula.	46
Tabla 6. Definición puntos a intervenir.....	49
Tabla 7. Caracterización físicoquímica de efluentes y sedimentos.....	53
Tabla 8. Mediciones de oxígeno disuelto en agua residual con distintas características.	59
Tabla 9. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.....	60
Tabla 10. Valores máximo permisibles.	72
Tabla 11. Valores del balance de masa.	76
Tabla 12. Registros de aforos de caudales de aguas residuales producidas. ...	76

LISTAS DE IMÁGENES.

	Pág.
Imagen 1.Diques de colas del entable minero.	27
Imagen 2.Laguna de sedimentación final de la unidad Minera San Juan del Municipio de Suárez.	28
Imagen 3.Plazas de almacenamiento de lodos o rechazo minero.....	28
Imagen 4.Planta de trituración para el beneficio de Oro Municipio de Suárez.	32
Imagen 5. Infraestructura del entable Minero San Juan.....	35
Imagen 6. Socialización del proyecto ante la cooperativa de mineros Municipio de Suárez Cauca.	48
Imagen 7. Socialización del proyecto con entidades públicas y privadas.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Grafica 1. Variación de temperatura en dique (a) y en la descarga (b)	56
Grafica 2. Variación del oxígeno disuelto en dique (a) y descarga (b)	58
Grafica 3. Variación del potencial de hidrogeno en dique (a) y descarga (b) ...	61
Grafica 4. Variación de la conductividad eléctrica en dique (a) y descarga (b) .	62
Grafica 5. Variación de los Sólidos Suspendidos Totales en dique (a) y descarga (b)	65
Grafica 6. Variación de turbiedad en dique (a) y descarga (b)	65
Grafica 7. Variaciones de la Demanda Química de Oxígeno en dique (a) y descarga (b)	67
Grafica 8. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxigeno en dique (a) y descarga (b)	68
Grafica 9. Variaciones del Sulfatos en dique (a) y descarga (b)	69
Grafica 10. Variaciones del mercurio en dique (a) y descarga (b)	71
Grafica 11. Variación del mercurio en sedimentos en dique (a) y descarga (b) .	74

ANEXOS

	Pág.
Anexos 1. medición de parámetros para la unidad de producción minera San Juan.	96
Anexos 2. Aforos de caudales	101
Anexos 3. Registro Fotográfico.....	102
Anexos 4.Plano del entable minero San Juan del Municipio de Suarez Cauca	105
Anexos 5. Mapa de capacidad de uso Suarez Cauca.....	105
Anexos 6. Plancha de suelos del Municipio de Suárez Cauca.	107
Anexos 7.Parámetros Fisicoquímicos analizados en el laboratorio.....	108

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado con la finalidad de evaluar fisicoquímica los vertimientos y lodos generados por el beneficio de oro en la unidad de producción minera San Juan del municipio de Suárez Cauca. En dicha evaluación surgió la necesidad de determinar la concentración de mercurio presente en el agua residual generada en el proceso. Ya que posteriormente es vertida a cuerpos de aguas superficiales generando así impactos de contaminación que ponen en riesgo el patrimonio natural de la región.

Para dar cumplimiento a este proceso investigativo se realizaron 3 jornadas de muestreos para la evaluación de parámetros fisicoquímicos como: PH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbiedad, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, y otros parámetros relevantes como mercurio, plomo, Hierro, Cobre y sulfatos. Adicionalmente se realizó un aforo de caudales y análisis del proceso de beneficio de oro empleado a través de un balance de mercurio y cuantificación de las pérdidas del mercurio.

De acuerdo a la resolución 0631 del 2015 la cual establece los parámetros y valores máximo permisibles se logró establecer un punto de referencia sobre el nivel de contaminación, encontrando valores que exceden los límite máximos de presencia de mercurio con unas concentración que varían entre 0.97 y 7, 71 mg/L, por otra parte es importante mencionar los parámetros como los sólidos suspendidos totales, hierro, cobre superan los valores máximos admisible drásticamente. Los análisis del proceso de beneficio de oro realizados evidenciaron pérdidas de 29.42 g Hg simulado el funcionamiento de dos barriles.

De esta forma se sugirieron medidas de control y tratamiento para reducir las concentraciones por debajo de los límites permisibles, como conclusión frente al

problema de contaminación se rediseño los diques de colas acompañado de un uso controlado y racional del agua.

Palabras claves: Caracterización, mercurio, sedimentos, agua residual, contaminación, parámetros, balance, beneficio, oro, diques, amalgama.

ABSTRACT

The present work was carried out with the purpose of evaluating the physico-chemical spills and sludge generated by the gold profit in the San Juan mining unit of the municipality of Suárez Cauca. In this evaluation came the need to determine the concentration of mercury present in the wastewater generated in the process. Since later it is poured to bodies of superficial waters generating thus impacts of contamination that put at risk the natural patrimony of the region.

In order to comply with this investigative process, 3 days of sampling were carried out for the evaluation of physicochemical parameters such as pH, temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity, turbidity, total suspended solids, total dissolved solids, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, And other relevant parameters such as mercury, lead, iron, copper and sulfates. In addition, a flow capacity and an analysis of the gold beneficiation process were carried out through a mercury balance and quantification of the mercury losses.

According to Resolution 0631 of 2015, which establishes the maximum permissible parameters and values, it was possible to establish a reference point on the contamination level, finding values that exceed the maximum limits of presence of mercury with concentrations that vary between 0.97 and 7, 71 mg / L, on the other hand it is important to mention the parameters as the total suspended solids, iron, copper exceed the maximum values admissible drastically. The analyzes of the gold profit process evidenced losses of 29.42 g Hg simulated the operation of two barrels. In this way, control and treatment measures were suggested to reduce concentrations below the allowable limits, as a conclusion on the pollution problem was redesigned the tailings dams accompanied by a controlled and rational use of water.

Key words: Characterization, mercury, sediments, wastewater, pollution, parameters, balance, profit, gold, dikes, amalgam.

INTRODUCCIÓN

La explotación de los recursos naturales ha sido una de las actividades básicas para el desarrollo tecnológico e industrial de cualquier país, sin embargo, la extracción de estos recursos mineros implica alteraciones de tipo ambiental. En Colombia el crecimiento acelerado de la actividad minera en diversas regiones del país, aporta al ambiente grandes cantidades de mercurio provenientes del beneficio del oro, estas actividades son una fuente importante de contaminación y destrucción para nuestro entorno ambiental. Se han desarrollado metodologías para determinar la concentración de los metales pesados en suelos de áreas altamente contaminadas; estas metodologías incluyen especiaciones químicas y métodos cromatográficos que requieren laboratorios muy específicos con alta tecnología.[1]

Por otra parte, lo cierto es que los responsables de las industrias mineras, como los de tantas otras actividades humanas, no han sido conscientes hasta fechas relativas recientes de la necesidad de que las actividades sean ambiental, social y económicamente sostenibles. Para empezar es necesario que el impacto que genera la minería en el medio se reduzca drásticamente durante la operación extractiva y en especial tras la producción y beneficios del oro por medio de la amalgamación.[2] En virtud de alcanzar un desarrollo sustentable, sobretodo en la industria minera, uno de los impedimentos en alcanzar este desarrollo ha sido la falta de planeación de estrategias en las organizaciones, la cual ha dejado pasivos ambientales significativos sobre las zonas en las que se desarrollan estas actividades.

Colombia dentro de las expectativas de cumplimiento del Convenio de Minamata, para la eliminación de uso de mercurio en sus operaciones mineras, ha sancionado una Ley que le permite definir estrategias tendientes al cumplimiento de este convenio. Conforme los lineamientos de la Ley 1658 del 13 de julio de

2013, la prohibición del uso del metal comenzará a regir en 10 años para los proyectos industriales y en cinco para los mineros, para dar un plazo de adaptación tanto a las industrias como a los mineros.[3]

La presente investigación se realiza en el Municipio de Suárez al Norte del Departamento del Cauca, el cual es uno de los Municipio con mayor actividad minera relacionada con el oro; por otro lado la minería aurífera de Oro filón se encuentra asociada al mercurio (Hg), se usa para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra. El mercurio se adhiere al oro formando una amalgama que facilita su separación de la roca, arena u otro material. Luego se calienta la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro. La minería del oro artesanal y en pequeña escala es, por sí sola, la mayor fuente de liberación intencional de mercurio del mundo.[4] Por esta razón se ha presentado problemas de importancia en el medio ambiente ya que el mercurio es residuo peligroso de gran toxicidad, reflejando sus efectos en el suelo y fuentes hídricas. En este caso el río Cauca, por tal razón es fundamental conocer el comportamiento del mercurio y su utilización, para construir estrategias que permitan la disminución de los impactos generados en el ambiente producto de la actividad minera desarrollada en el Municipio de Suárez Cauca.

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

En la última década la minería de oro en el Municipio de Suárez, se ha caracterizado por ser la base fundamental del desarrollo económico de la región, la minería en este Municipio está dada principalmente por los yacimientos de oro de filón, sin embargo se encuentran algunas manifestaciones de oro de aluvión que son de importancia para la dinámica económica de los mismos. Las comunidades mineras formalmente establecidas realizan prácticas de una minería informal y artesanal.

Con el desarrollo de la industria minera y posteriormente con la llegada de población flotante a las zonas mineras del municipio de Suarez, especialmente de Antioquia, Nariño y Caldas, se adopta como propio el uso del mercurio como insumo para el beneficio y purificación del oro mediante un proceso llamado amalgamiento. Durante este proceso minero, se pierden cantidades de mercurio que posteriormente son vertidas al medio ambiente contribuyendo de tal forma a la contaminación ambiental, causando un grave impacto ambiental sobre el recurso hídrico. La contaminación por mercurio es el principal problema ambiental que ocasiona la minería artesanal. El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio en la actividad minera para amalgamar el oro lo cual ocasiona que grandes ambiente en forma líquida y vapores de mercurio.

La problemática ambiental no está directamente asociada con la minería artesanal, también hay una minería dilatada irregularmente en temas ilegales e informales en el Municipio, manipulando de manera inadecuadas el mercurio dentro las operaciones de la minería aurífera lo cual induce a la afectación de la salud de los mineros por la exposiciones a vapores tóxicos de mercurio , al quebranto de ecosistemas acuáticos, el aporte de materia suspendida a cuerpos

de agua, cambio de la calidad físico química del agua y la contaminación de la cuenca hídrica Zanjón grande por los vertimientos directos de los efluentes de la unidad de producción minera. Como base estas unidades de producción minera se construyen cerca de ríos o quebradas para aprovechar el recurso hídrico como iniciativa principal de sus distintas labores. Los diques de colas o piscina de sedimentación que actualmente se implementan en plantas de beneficio no presentan un óptimo funcionamiento de acuerdo al tiempo retención y sedimentación de partículas sólidas que se generan durante estos procesos productivos. Además para la extracción de 6 a 10 gr de oro se utilizan 3 kg de mercurio, y solo se recupera el 90% del mercurio utilizado, el 10 % se queda incorporado en los efluentes y sedimentos con concentraciones de mercurio desconocidas.[6] También se despliegan afectaciones en la salud, de la población que desarrolla diferentes actividades como la pesca para fines de comercialización esto debido al consumo de peces contaminados.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el Departamento del Cauca, la minería tradicional es una actividad económica que han desarrollado por siglos las comunidades negras e indígenas de la región. No obstante, en la década de los 80, por ejemplo, estas comunidades se vieron afectadas por la construcción y operación del embalse de la Salvajina, cuando las mejores tierras agrícolas y las mejores minas fueron “enterradas”, sin que hasta hoy el gobierno nacional haya cumplido el compromiso de reubicar a los mineros afectados.[7]

Principalmente la minería se ha convertido en una de las actividades más importantes de la economía del Municipio de Suárez, en los últimos años, ha experimentado un rápido crecimiento; por lo tanto, se convierte en una de las variables estratégicas más importantes a analizar en la economía. Sin embargo, cabe destacar que los efectos de la minería artesanal asociada al uso del mercurio(Hg) sobre la producción de oro se ven reflejados en el suelo y fuentes hídricas, uno de los importantes efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimenticia. Hasta cierto punto, todas las formas de mercurio son capaces de acumularse, pero el metilmercurio se absorbe y acumula más que otras formas.

La presencia de mercurio en el ambiente tiene implicaciones importantes por los efectos tóxicos que produce en los seres vivos, ya que es un metal pesado que se acumula en los tejidos blandos y provoca enfermedades irreversibles e incluso la muerte, por eso es importante su estudio, su monitoreo y su tratamiento de ser posible. Al estudiar la repercusión de la contaminación por mercurio, se ha visto la necesidad de estudiar las características ambientales en las que se lo puede encontrar, y por lo tanto es necesario saber las condiciones de aguas y sedimentos de los sitios de estudio con el fin de llevar a cabo un análisis general de la situación ambiental relacionada con la utilización de mercurio. Sin embargo, la contaminación de mercurio es muy difícil de detectar a través de un monitoreo

ambiental, ya que las técnicas específicas de análisis son extremadamente difíciles y costosas y sólo pueden ser manejadas por muy pocos laboratorios certificados en el país.

La contaminación con mercurio proveniente de la minería es un tema importante debido a que existe gran cantidad de gente que trabaja directamente con el mercurio y que puede llegar a intoxicarse seriamente con el mismo, pero además, la quema de este metal al aire libre, sin las precauciones necesarias, puede llevar a la transformación del mismo y a la afectación no solo de aquellos cercanos al proceso de obtención del oro sino una buena parte del área circundante. Y como la minería es un sector productivo importante en la generación de empleo y de ingresos económicos en las zonas mineras, es necesario tener en cuenta detalles como la salud de los involucrados en la obtención del oro.[7]

Un aspecto que ha limitado el desarrollo sectorial, es la falta de conocimiento sobre temáticas ambientales del pequeño minero, falta de recursos económicos para implementar procesos de producción más limpia en minería. Por medio de la investigación, se participará de forma activa en el desarrollo del proyecto, va orientando a la comunidad minera sobre las causas y efectos que produce el inadecuado manejo de mercurio. Las plantas de beneficios que se encuentran hoy en día en jurisdicción del Municipio de Suárez Cauca han implementado sistemas de depósitos y plazas de almacenamiento de los lodos como medidas de mitigación y control. Estos depósitos o dique de colas actualmente son construidos de forma provisional como un sistema de recuperación de arenas o lodos, generalmente se construyen barreras de costales de polipropileno.

En la minería a pequeña escala los procesos que se desarrollan en sus fases productivas generan impactos ambientales desde el inicio de operación hasta el beneficio del material rocoso mediante la amalgama con mercurio. Por medio de tambores amalgamadores de capacidades entre 40 – 50 kg es adicionado el material proveniente de las minas para el beneficio del oro. Teniendo en cuenta que para extraer un gramo de oro implica gastar hasta 1.000 litros de aguas. Por

ende es necesario cualificar y cuantificar los efluentes provenientes de la planta de beneficio para la determinación de los niveles de concentración de mercurio; con el fin de proponer e implementar alternativas de manejo, mitigación, remediación o restauración del área afectada.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos generales

Caracterizar los efluentes y sedimentos de los diques de colas en la planta de beneficio San Juan del Municipio de Suárez Cauca con el propósito de establecer alternativas para tratamiento.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar los efluentes y diques de colas o reservorios de arenas y lodos de rechazo en la unidad de producción Minera del Municipio de Suárez.

Determinar la presencia de mercurio en el afluyente o en el dique de cola, o el efluente generado en la planta de beneficio San Juan.

Proponer alternativas de manejo, mitigación, remediación o restauración, de las áreas que hayan sido o se encuentren afectadas por este tipo de insumos mineros.

2. CAPITULO II REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 ASPECTOS GENERALES

2.1.1 Localización y Cobertura del Municipio de Suárez.

El distrito minero aurífero de Suarez, se localiza en el borde oriental de la cordillera occidental y geográficamente corresponde a una franja paralela al cauce del rio cauca e involucra gran parte de la artesa de la represa de la Salvajina.

Las zonas más representativas de explotación de oro de filón son: la Toma, el Carmen, el Peñón, Gelima, la Montaña, el Desquite, Maravelez, Guayabillas, Tamboral, el Calvario, el Danubio, la Carolina y la Turbina. La extensión de la región minera inicialmente se podría calcular en menos de 120 km².

Figura 1. Localización del Municipio de Suárez en el Departamento del Cauca (Colombia).



Fuente: (SIGOT) Sistema De Información Geográfica Para la Planeación y el Ordenamiento Territorial; 2008.

Limita al norte y oriente con el municipio de Buenos Aires, al Suroriente y al Sur con el Municipio de Morales y al Occidente con López de Micay, con una extensión de 389,87 km², de los cuales 3,57km² corresponde a la parte Urbana.[8]

Figura 2. Mapa político del Municipio de Suárez Cauca – Corregimientos y Veredas.



Fuente: Sitio web alcaldía municipal de Suárez (2014)

2.1.2 Aspectos Físicos Bióticos

2.1.2.2 Clima: Por su ubicación geográfica la zona cuenta con un clima templado húmedo tropical, con estaciones verano- invierno muy bien definidas, el gradiente altitudinal se marca entre los 1.100 metros y los 2.050 metros aproximadamente, con temperatura media de 19° C y una precipitación media anual de 2.600 mm.

2.1.2.3 Hidrografía: El distrito minero de Suarez esta surcado de sur a norte por el río cauca en cuya cuenca se encuentra emplazado el embalse de la salvajina, hacia el sector noroccidental y desembocando en el río cauca se encuentra el río Ovejas, la cuenca de este río es muy importante por su recepción de vertimientos y desechos mineros, hacia el occidente de los drenajes corren al río Inguito, el cual finalmente drena al río cauca.

2.1.2.4 Cobertura vegetal: En su gran mayoría el área está cubierta por pastos naturales y en menor proporción por rastrojos, bosques y cultivos permanentes.

2.1.2.5 Suelos: De acuerdo con la condiciones topográficas y el material base, se presentan suelos de diferentes características, la mayoría de ellos relativamente pobres en nutrientes y de poco espesor, con serias restricciones de su uso.

2.1.3 Aspectos Socioeconómicos

2.1.3.1 Población: El municipio de Suarez cuenta con un total de 23.668 pobladores, de los cuales 8.296 se asientan en la cabecera municipal y 15.932 en la zona rural (censo Dane, 1993), en los corregimientos de la zona minera moran alrededor de 5.500 personas.

2.1.3.2 Actividades económicas: Se destaca las actividades agropecuarias, el comercio y la extracción aurífera; siendo esta la ultima un generador de recursos económicos que mueven cerca del 45% del empleo en la región minera. Como actividad económica de mayor escala se encuentra la generación de energía eléctrica; sin embargo, esta producción tiene muy poca redistribución económica y de empleo en la región.

2.1.3.3 Nivel institucional: En la zona se observa una débil presencia institucional de nivel central (ministerios e institutos descentralizados) con moderada participación de nivel regional (departamento del cauca y CRC), a esto se suma una amplia presencia de instituciones locales (municipios, cooperativa, asociaciones, organizaciones, ONG`s, juntas de acción comunal), muchas de las cuales en el momento están inactivas y otras muestran una débil participación con bajo a nulo poder de gestión.

2.1.3.4 Organización minera: La cooperativa de mineros de Suarez, agrupan a la mayor parte de los mineros, entables de la región y realiza la intermediación de insumos para minería (explosivos). Estas agrupaciones han liderado a través del tiempo la legalización minera de las diferentes áreas en la región; sin embargo y pese a los esfuerzos, hasta el momento es muy poco los que ha logrado en la consecución de títulos, lo que conduce a la existencia de minería informal y de hecho en la zona. Un agravante para la estabilidad regional es la posible otorgación de títulos a compañías multinacionales en zonas de minería ancestral, por lo cual las organizaciones base en conjunto con la administración municipal deberá liderar procesos de legalización minera comunitaria.

2.1.4 Aspectos Ambientales

La minería como motor generador del empleo y la economía regional, muestra serios reparos en el balance ambiental específicamente por la alta carga de sólidos aportada a los ríos Ovejas, Cauca e Inguito y la represa de La Salvajina, la contaminación visual producto de escombreras mal ubicadas y una nueva amenaza por el uso inadecuado de mercurio y cianuro.

Los impactos ambientales generados por la actividad minera de oro en el distrito minero de Suarez, son graves y acumulativos y muchos de ellos de carácter permanente, la causa principal de esos efectos se pueden resumir así:

- Procesos de deforestación
- Procesos de erosión
- Procesos de deterioro de suelo, de fuentes de aguas y cuencas en general.
- Procesos de inestabilidad (hundimientos, deslizamiento, remoción en masa)
- Vertimientos de sustancias tóxicas.

Los principales impactos derivados en la actividad minera de los metales preciosos en la región aurífera de Suarez y que causan efectos negativos en la zona son:

- Aporte de sedimentos.
- Introducción de metales pesados especialmente mercurio al sistema natural.

Lo anterior conduce a:

- Contaminación de las ciénagas y humedales.
- Acumulación de mercurio en peces y recursos hidrobiológicos.
- Acumulación de mercurio en las comunidades asentadas.[9]

2.2 ANTECEDENTES

En los países en vías de desarrollo el mercurio es aun utilizado para la extracción de oro a pesar de existir alternativas más seguras. Usualmente en la minería a pequeña escala y la minería artesanal se utilizan mercurio en formas incontroladas que traen daños para el ambiente. Los impactos ambientales ocasionados por la actividad minera han ido en aumento, en dichas condiciones se han realizado estudios de concentraciones de mercurio en agua y sustratos de lodos; tratando de ayudar a los mineros de países en vías de desarrollo a adoptar mejores prácticas en reducción del uso de mercurio.

En la universidad nacional autónoma de México realizaron varios estudios en la cuenca del rio Coatzacoalcos, en la costa del golfo de México, en el estado de Veracruz, y detectaron niveles de mercurio entre 3.0 y 63.0 $\mu\text{g/L}$ en aguas superficiales y de 0.062 a 57.94 $\mu\text{g/L}$ en sedimentos. También se encuentran niveles de mercurio entre 0.2 y 0.4 $\mu\text{g/L}$ en las aguas superficiales de las lagunas del Carmen, machona y mechoacán en Tabasco, en la laguna Atasta en Campeche y en las lagunas de Tampamachopo y en Veracruz.[10]

En España se determinaron niveles de mercurio en aguas potables y aguas residuales de distintos lugares de la provincia de granada (sureste de España). No se detectó mercurio en las muestras de agua potable, pero los valores detectados en el agua de riego oscilaron entre valores indetectables y 0,12 $\mu\text{g/l}$. sin embargo los niveles de mercurio en aguas residuales fueron ligeramente más elevados, entre 2,83 y 3,95 $\mu\text{g/l}$, lo que indica que es necesario vigilar y controlar de manera periódica dicho nivel de contaminación.[11]

En el año 2013 en Perú se realizó la evaluación de la concentración de metales pesados en agua y mercurio en Sedimentos del rio Nanay, se realizó el muestreo desde el caserío Libertad, hasta su desembocadura en el rio Amazonas. Según los resultados de análisis de agua el plomo y el mercurio se encuentran presentes

en concentraciones mayores que lo indicado por las normas nacionales. El plomo en promedio de 0,111 ppm y 0,053 ppm respectivamente el mercurio se encuentra en 0,008 ppm Del mismo modo la presencia de mercurio es alta en los sedimentos que acompañan a este río con 1,636 ppm y 3,03 ppm.[12]

En el año 2014, en Colombia se determinaron los niveles de mercurio total (Hg-t) en aire en zonas de minería aurífera del sur de Bolívar, en particular en el Distrito Minero de San Martín de Loba, en los municipios de San Martín de Loba y Barranco de Loba (Mina Santa Cruz), Colombia. El análisis in situ fue realizado por espectroscopia de absorción atómica, empleando un analizador portátil de mercurio RA 915+. En Mina Santa Cruz, uno de los asentamientos mineros más importante de Colombia, los niveles de Hg-t en aire variaron entre 163.7 ± 6.6 y $40\ 455 \pm 2154 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en la cabecera municipal de San Martín de Loba oscilaron entre 223.6 ± 20.8 y $27\ 140 \pm 212.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En aquellos sitios en los que hubo proceso de quema de amalgama al momento de las mediciones, las concentraciones de Hg alcanzaron valores de $40\ 455 \pm 2154 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos datos implican una exposición ocupacional severa al Hg para los operadores, y ambiental para los ciudadanos que habitan en poblaciones cercanas a las minas.[13]

Por lo general las aguas superficiales contienen bajos niveles de mercurio debido a que este es rápidamente consumido por microorganismos acuáticos, se ha encontrado que bajo ciertas circunstancias su concentración en el agua puede alcanzar valores alarmantes, superando incluso los $2,0 \mu\text{g}/\text{L}$. Valor estipulado en la legislación colombiana para aquellas fuentes hídricas destinadas para consumo humano y doméstico. En algunos municipios colombianos se han detectado concentraciones de mercurio en aguas superficiales por encima de los $3,0 \mu\text{g}/\text{L}$ y en otros lugares del mundo por encima de los $8,0 \mu\text{g}/\text{L}$. [14]

Sin embargo en el departamento del Cauca se han realizados pocos estudios en relación a la contaminación del aguas con mercurio, en el año 2007 la Corporación Autónoma Regional del Cauca realizo un diagnóstico ambiental del

aspecto minero en el municipio de Suárez, en los corregimiento de la Toma y Mindala.

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 Minería

La minería es una actividad económica diferente a las demás. Se hace uso inadecuado del término “producción minera”, ya que según el autor, en este caso se trata de una actividad donde los recursos que se extraen son recursos no renovables, cuya extracción se realiza por niveles progresivos. A medida que se agota el recurso avanzan las labores, aumentan tanto los costos económicos como ambientales, pues el material se encuentra cada vez en lugares menos accesibles. Lugares en los cuales para la remoción de los materiales es necesaria la implementación de grandes maquinarias generando una mayor remoción, producción de residuos (estéril) y así mismo un aumento de los efectos socio-ambientales.[15]

En sus primeras etapas de desarrollo, la minería fue una actividad puramente extractiva, pero con la Revolución Industrial se transformó en una actividad industrial integrada verticalmente, ahora conocida como industria minero-metalúrgica, en virtud de que para ser utilizados, los recursos minerales necesitan forzosamente de una transformación industrial. Asimismo, la minería hace un uso intensivo pero temporal del espacio, cuyas repercusiones se extienden a largo plazo.[16]

2.3.2 Minería a pequeña escala.

En término de minería en pequeña escala o pequeña minería, lo primero que hay que decir es que la legislación minera vigente en Colombia no hace ningún tipo de discriminación o estratificación entre las diferentes escalas de explotación minera,

por lo cual los mismos requisitos que deben cumplir las grandes concesiones mineras para obtener las correspondientes autorizaciones mineras y ambientales los debe cumplir el pequeño minero.

En Colombia, la única referencia que se hace al respecto la trae el Glosario Técnico Minero en él, que se estipula que se consideran explotaciones pequeñas las que “se realicen con herramientas e implementos simples de uso manual, accionados por la fuerza humana, y cuya cantidad extraída no sobrepase en ningún caso a las doscientas cincuenta (250) toneladas anuales de material” pero esta definición no tiene ninguna implicación jurídica. De acuerdo con lo anterior, la pequeña minería incluye la realización de la actividad de una manera rudimentaria lo que comporta que sea un tipo de minería artesanal la cual ha sido definida como el conjunto de actividades mineras que se desarrollan de manera rudimentaria, anti-técnica e instintiva, es decir, sin la utilización de las técnicas convencionales de exploración geológica, perforación, reservas probadas, o de estudios de ingeniería. Sin embargo cabe aclarar que la minería artesanal también puede llevarse a cabo a mediana y gran escala.[17]

2.3.3 Minería subterránea

Las minas subterráneas son aquellas a las que se accede a través de galerías o túneles, o pozos verticales. La minería subterránea se puede subdividir en minería de roca blanda y minería de roca dura. Se habla de roca “blanda” cuando no exige el empleo de explosivos en el proceso de extracción. La minería de roca dura utiliza los explosivos como método de extracción. En la mayoría de las minas de roca dura la extracción se realiza mediante perforación y voladura. Primero se realizan agujeros con perforadoras de aire comprimido o hidráulicas. A continuación se insertan barrenos en los agujeros y se hacen explotar, con lo que la roca se fractura y puede ser extraída. Después se emplean máquinas de carga especiales —muchas veces con motores diésel y neumáticos— para cargar la roca volada, acarrearla y más tarde se transporta a la planta de procesado, si es

mineral, o al vertedero, si es material de desecho. Para poder acceder al yacimiento de mineral hay que excavar una red de galerías de acceso, que se suele extender por la roca de desecho que rodea el yacimiento.[18]

2.3.4 Mineralización

Los depósitos auríferos de Suárez muestran como minerales de mena principalmente la calcopirita, pirita esfalerita, galena, pirrotita, hematita e ilmenita, básicamente y debido a la gran cantidad de sulfuros dentro de los filones el depósito en primer lugar podría clasificarse como un yacimiento post orogénico de alta sulfuración, entre la ganga el cuarzo es el mineral principal. [9]

2.3.5 Etapas y actividades de la minería aurífera

2.3.4.1 Prospección y exploración: Las actividades de exploración permiten planear adecuadamente la explotación con el fin de obtener una mayor eficiencia productiva y evitar el alto desperdicio del mineral por falta de conocimiento de las características del yacimiento. Prospección geológica tiene como objetivo la localización de anomalías debidas a depósitos minerales.

2.3.4.2 Explotación: En lo concerniente a la explotación, la diversidad de los ambientes geológicos donde se encuentran las reservas auríferas del país, hace que existan distintos sistemas de aprovechamiento del mineral y que los tipos de minería varían de acuerdo a factores tales como la profundidad, forma e inclinación de los depósitos, la distribución de leyes del mineral, las características geo mecánicas de las rocas encajante y del propio mineral , las condiciones físicas y culturales de la zona, la magnitud de la operación, y la maquinaria utilizada. En el caso de la minería aurífera se utilizan como sistemas de explotación el subterráneo en la minería de filón y a cielo abierto en las explotaciones aluviales.

La fase de explotación incluye las etapas de planeamiento y montaje, desarrollo, beneficio y transformación y cierre.

- a) Planeamiento y montaje: Comprende el conjunto de actividades que van desde la organización, diseño, establecimiento de infraestructura y equipos para adelantar la explotación del mineral. En el caso de la pequeña y mediana minería colombiana para el sistema aluvial y subterráneo esta etapa no se cumple en la gran mayoría de las regiones auríferas. Los métodos de arranque del mineral utilizados para este tipo de minería son generalmente artesanales. La perforación se realiza en forma manual con herramientas menores (pico, palas, barrenos) o mecanizada utilizando taladros mecánicos o neumáticos, excavadora hidráulica, como es el caso de los departamentos de Antioquia, Tolima y Santander.
- b) Beneficio y transformación de minerales: En el caso de los minerales metálicos, el objetivo de esta etapa es eliminar material de ganga, para aumentar el tenor o contenido metálico en forma de concentrados de más fácil manejo y mayor valor agregado. En el país el beneficio del mineral se realiza en las áreas inmediatas a la explotación o en las cabeceras municipales y consta de las siguientes operaciones unitarias:
 - c) Clasificación de tamaño: La separación de granos en fracciones por tamaños se realiza de forma visual y manual por la pequeña minería utilizando zarandas, mallas o angeos o mediante cribas, hidroclasificador o ciclones en la mediana minería.
 - d) Trituración: En esta operación se reduce el tamaño del material para adecuarlo a la molienda, se utilizan trituradoras de mandíbula y de quijada o manualmente con porra o almádana.
 - e) Molienda: Pretende que el mineral alcance un grado de liberación para ser recuperado gravimétricamente o por amalgamación. El proceso se realiza en molinos californianos o de pistones, de bolas, antioqueños, de barras o de arrastre.

- f) Concentración: Puede realizarse en minería de filón por métodos gravimétricos (mesa, batea, canalón, espiral, medios densos) por métodos físico-químicos (flotación, aglomeración, floculación), o magnético y electrostático. En la explotación aluvial de pequeña minería se realiza utilizando bateas, elevadores, monitores, canaleta o canalón, mesa de concentración; explotaciones medianas emplean trampa hidráulica o concentrador centrífugo, tipo Knelson.[19]
- g) Amalgamación: La amalgamación es un proceso de concentración basado en la adherencia preferencial del oro por el mercurio, en presencia de agua y aire. Si el proceso de amalgamación es aplicado a todo el mineral, se generan pérdidas de mercurio en los relaves hasta 70%, siendo la recuperación de oro de 50%. Los relaves de la amalgamación, con un contenido cercano al 70% de oro del mineral, son dejados en la planta donde se flota y recupera alrededor del de 90% del oro residual de los relaves.[20]

2.3.6 Problemática de las plantas de beneficio del país.

Las regiones donde se practica las actividades de beneficio del oro en el país, cuentan con procesos tradicionales los cuales están integrados por una serie de operaciones y procesos que definen como se extrae el mineral. Básicamente y como se mencionó anteriormente, las operaciones son: trituración y molienda del mineral explotado, concentración gravimétrica y separación del material valioso conocido como limpieza o lavado, filtración, cianuración y fundición, los cuales generan impactos negativos al ambiente por la utilización de mercurio en la amalgamación y cianuro para la recuperación.

De acuerdo a la formulación de una iniciativa de producción más limpia dirigido al sector de los metales preciosos en pequeña escala en Colombia, realizada por la Unidad de planeación minero energética, se clasificaron a las regiones de

Antioquia (Nordeste Antioqueño), Nariño, Santander, Chocó y Sur de Bolívar como provincias de minería a escala pequeña de los metales preciosos. En este diagnóstico, se evidenció que en todas las provincias los procesos y operaciones de beneficio de oro, comprenden las etapas básicas para la extracción, permitiendo unificar los procesos e identificar las ventajas y desventajas de cada uno, relacionados con la fase de producción y la generación de impactos ambientales. Se consideran las prácticas de beneficio de cada una de las provincias. De acuerdo a lo anterior, los procesos que comprenden las actividades de beneficio de oro, demandan consumos altos de energía, agua, sustancias tóxicas como el mercurio, además efectos nocivos para la salud de los trabajadores.[21]

2.3.7 Manejo de materiales peligrosos

En todas las operaciones mineras se usan como insumos metales pesados que sin un manejo adecuado ocasionan graves daños ambientales y la salud humana como lo son el uso de cianuro y de mercurio. Los PMA también deben incluir medidas para prevenir graves impactos que los derrames de cianuro, mercurio ocasionen en el ambiente.

- a) **Uso del cianuro:** El cianuro es potencialmente tóxico para los humanos y vida silvestre. Mayormente las operaciones de oro y cobre, que comprenden el uso de grandes cantidades de soluciones de cianuro, otro problema con el cianuro es que moviliza el mercurio en la forma de complejos de cianuro de mercurio (al igual que otros metales que pueden formar complejos con mercurio), y estas concentraciones pueden ser muy altas en los fluidos de proceso y en lagunas. [22]
- b) **Mercurio:** El mercurio es un metal que se encuentra en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas tabla 1. El mercurio metálico

es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante. Al calentarlo se transforma en un gas inodoro e incoloro. El mercurio se combina con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre u oxígeno para formar compuestos de mercurio inorgánicos o “sales,” las que son generalmente polvos o cristales blancos. El mercurio también se combina con carbono para formar compuestos de mercurio orgánicos. El más común, metilmercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua. Mientras mayor es la cantidad de mercurio en el medio ambiente, mayor es la cantidad de metilmercurio que estos organismos producen. El mercurio metálico se usa en la producción de gas de cloro y soda cáustica y también se usa en termómetros, tapaduras dentales y pilas. Las sales de mercurio se usan en cremas para aclarar la piel y en cremas y ungüentos antisépticos.[22]

Tabla 1. Presentación del Mercurio en el Medio Ambiente.

Nombre	Formula química
Mercurio Metálico	
Mercurio	Hg
Amalgamas de mercurio con oro, plata, cobre, y zinc	Au – Hg, Ag – Hg, Cu – Hg, Zn - Hg
Mercurio inorgánico	
Cloruro mercurioso	Cl ₂ Hg ₂
Cloruro mercúrico	Cl ₂ Hg
Sulfuro mercúrico (cinabrio)	SHg
Nitrato mercúrico	(NO ₃) ² Hg
Oxido mercúrico	HgO
Bromuro mercúrico	HgBr ₂
Mercurio orgánico	
Etilmercurio	C ₂ H ₅ Hg
Metilmercurio	CH ₃ Hg
Dimetilmercurio	(CH ₃) ² Hg
Cloruro de metilmercurio	CH ₃ Hg Cl
Metilmercurio	C ₅ H ₅ Hg

Fuente: CRC, Corporación Regional Autónoma del Cauca; 2007.

2.3.8 Propiedades físico químicas del mercurio

El mercurio es un metal brillante color plata, que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido: su temperatura de fusión es de $-38,9^{\circ}\text{C}$ y su Temperatura de ebullición es $357,3^{\circ}\text{C}$. Su peso específico es $13,6\text{ g /cm}^3$ (0°C). Mercurio metálico debido a su alta presión de vapor (163×10^{-3}), evapora fácilmente a temperatura ambiental: a 20°C su concentración en el aire puede

Alcanzar hasta $0,014 \text{ g/m}^3$, a 100°C hasta $2,4 \text{ g/m}^3$. Generalmente se habla de Vapor de mercurio cuando el mercurio elemental se encuentra presente en la Atmósfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida. Un gran número de metales, y mayormente oro y plata, forman aleaciones con El mercurio metálico, que se denominan amalgamas. Esta propiedad lo hace Atractivo para la recuperación de oro en la pequeña minería aurífera. La solubilidad del mercurio en agua depende fuertemente de la temperatura.[23]

2.3.9 Fuentes de mercurio y vías de exposición

El mercurio es un elemento metálico presente de manera natural en la corteza terrestre, y puede ser transportado en el ambiente por el aire y el agua. Se libera a la atmósfera en forma de vapor en fenómenos naturales como la actividad volcánica, los incendios forestales, el movimiento de masas de agua, la erosión de rocas y procesos biológicos. El mercurio elemental puede combinarse con otros elementos para formar compuestos inorgánicos de mercurio (como acetato mercúrico, cloruro mercúrico, cloruro mercurioso, nitrato mercúrico, óxido mercúrico o sulfuro mercúrico). En su ciclo ambiental, el mercurio se deposita en las masas de agua, donde microorganismos acuáticos lo biotransforman en metilmercurio. Otras especies orgánicas de mercurio son el etilmercurio y el fenilmercurio. Las fuentes antropógenas de mercurio contribuyen significativamente a las concentraciones ambientales de este y comprenden las operaciones de minería, los procesos industriales, la combustión de combustibles fósiles, la producción de cemento y la incineración de residuos sanitarios, químicos y municipales. Los actuales niveles de mercurio en la atmósfera son entre 3 y 6 veces superiores a los que se estima que había antes de la industrialización. Dado que el mercurio circula por todo el mundo a través del aire y el agua, incluso regiones que no lo emitan pueden tener importantes concentraciones ambientales de mercurio.[24]

2.3.10 Toxicología del mercurio

El mercurio es un metal pesado y su presencia en el cuerpo humano resulta tóxica a partir de ciertos niveles críticos que dependen fundamentalmente, de un conocimiento de las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta. Asimismo, depende del conocimiento de las variaciones en la exposición, absorción, metabolización y excreción en cualquier situación dada.

Por tanto, siempre que se hable de mercurio en relación a Salud Pública (población general) y Salud Laboral (trabajadores con exposición al mercurio), es necesario tener en cuenta:

- a) Nivel de fondo de la zona concreta en estudio (los depósitos de mercurio más importantes están localizados casi exclusivamente en el cinturón Mediterráneo, Himalaya y Pacífico). Junto a características geográficas, demográficas, geológicas, climáticas y socioeconómicas.
- b) El mercurio posee una gran variedad de estados físicos y químicos (elemental / inorgánico / orgánico). Con propiedades tóxicas intrínsecas a cada uno de ellos. Toxicológicamente hablando, el mercurio orgánico y fundamentalmente el metilmercurio poseen una toxicidad muchísimo más elevada que el mercurio elemental y los compuestos inorgánicos.
- c) Considerar una serie de factores que influyen decisivamente en la toxicidad del mercurio: estado fisicoquímico, vías de penetración en el organismo, metabolismo individual, tasas de excreción y efectos sinérgicos y/o antagónicos de otros agentes.[25]

2.3.11 Rutas de entrada y efectos en el organismo

2.3.10.1 Inhalación: La inhalación constituye la principal ruta de ingreso al organismo para mercurio elemental. Esto, debido a que se vaporiza a temperatura

ambiente y es absorbido por los pulmones para luego ser distribuido por la sangre. Aproximadamente el 1 % del metal absorbido se almacena en el cerebro de los mamíferos, en donde puede permanecer por mucho tiempo, mientras que el mercurio restante se distribuye en hígado y riñones en donde es secretado a través de la bilis y orina.

La inhalación de los vapores de mercurio está asociada con la toxicidad sistémica en humanos y animales. Debido a su alta difusibilidad y liposolubilidad, que facilita su distribución y movimiento a través del organismo, cerca del 80% del vapor de mercurio es absorbido por los pulmones y alcanza rápidamente la corriente sanguínea.

2.3.10.2 Ingestión: La peligrosidad de la ingesta de mercurio reviste en su ingreso al organismo como metilmercurio, a través de alimentos que lo contengan. El metilmercurio es uno de los metales más peligrosos para la salud. Diversos incidentes de exposición humana al metilmercurio han demostrado sus efectos neurotóxicos. Los efectos del metilmercurio varían, como se dijo anteriormente, según la dosis, la respuesta, y los síntomas asociados. Los grupos más vulnerables a la exposición del metilmercurio son los niños, el feto y la madre. El metilmercurio pasa a través de la barrera sanguínea, cerebro y alcanza el Sistema Nervioso Central.

Los síntomas clínicos de intoxicación por metilmercurio en niños y adultos incluyen: parestesia (extremidades y alrededores de la boca adormecidos), ataxia (dificultad al caminar), disartria (dificultades en hablar), disminución del campo visual, sordera, temblores, deficiencia intelectual y en algunos casos, paralización motora.[26]

2.3.12 Manejo de colas

La descarga residuales de los entables mineros en Suárez, usualmente fluyen por una serie de “tanques” o diques de sedimentación como la que se aprecia en la Imagen 1 donde se van depositando las arenas, hasta llegar a una laguna de sedimentación final tal como lo muestra Imagen 2 donde el agua es vertida sin ningún tratamiento al cuerpo receptor.

Imagen 1. Diques de colas del entable minero.



Fuente: Propia.

A medida que se van llenando de arenas los diques de sedimentación, éstas son vaciadas o dragadas con palas; las colas producto del proceso de beneficio de mineral son apiladas cerca de los molinos permaneciendo a la intemperie por mucho tiempo tal como lo muestra la Imagen 3, Hasta su posterior proceso como es la remolienda de la misma, con el propósito de recuperar partículas de oro que durante un periodo de producción no alcanzaron a ser recuperadas en su totalidad, o los entables tienen instalaciones para un proceso de cianuración de estas arenas.

Imagen 2.Laguna de sedimentación final de la unidad Minera San Juan del



Municipio de Suárez.

Fuente: Propia

Imagen 3.Plazas de almacenamiento de lodos o rechazo minero.



Fuente: Luz Castaño;2010

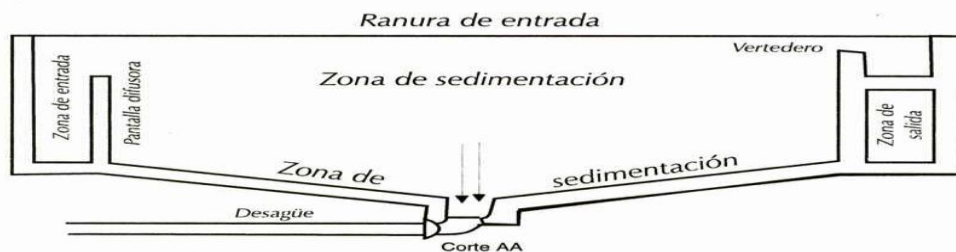
2.3.13 Sedimentación

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido re suspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior. La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. [27]

Figura 3. Esquema del proceso de sedimentación de partículas en sedimentador convencional.



Fig. 25. Planta de un sedimentador



Fuente: adaptado de Hernando Ruiz López, Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA (1999)

2.3.14 Control de sedimentos

El propósito del control de sedimentos es atrapar las partículas suspendidas como medio de reducción de la carga en los diques y aumentar la capacidad de almacenamiento a largo plazo, posteriormente evitar la alteración de la calidad fisicoquímica y la dinámica hidrológica de los cuerpos de aguas superficiales, en consecuencia de los aportes de sólidos suspendidos totales y disueltos. Por ende es necesaria la construcción de un sedimentador convencional que permita contrarrestar aquellas partículas muy finas segregadas en los efluentes mineros.

2.4 BASES LEGALES.

Tabla 2.Marco Normativo.

NORMA	DESCRIPCIÓN DE LA NORMA
Ley 685 del 2001	Tiene como objetivos de interés público fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país.
Ley 1658 del 2013	En a efectos de proteger y salvaguardar la salud humana y preservar los recursos naturales renovables y el ambiente, regláméntese en todo el territorio nacional el uso, importación, producción, comercialización, manejo, transporte, almacenamiento, disposición final y liberación al ambiente del mercurio en las actividades industriales, cualquiera que ellas sean.
Decreto 2133 del 2016.	Establece que la comercialización de mercurio sólo podrá realizarse por el importador autorizado a personas naturales o jurídicas que se encuentren relacionadas en el Registro Único Nacional de Importadores y Comercializadores.
Resolución 0631 del 2015	Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

2.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

La unidad de producción Minera (UPM) San Juan tiene un área aproximadamente de 50 m, se encuentra ubicada en la zona urbana del Municipio de Suárez (Imagen 4) a una distancia aproximada de 600 m del Parque principal sobre la vía que va al sur hacia la hidroeléctrica salvajina, el área de estudio presenta una topografía levemente ondulada con zonas libres de inundación y de fácil drenaje del agua lluvias, posee un tipo de suelo arcilloso el cual es un terreno pesado que no permite filtrar casi el agua, la planta se sitúa cerca de espacio de uso residencial, comercial y espacio recreativos a unas distancias que no superan los 60 m, y a una distancia del río Cauca entre los 100 m, la cual es la fuente receptora de los vertimientos descargados directamente en la quebrada Zanjón grande, la unidad de producción cuenta como medio de recuperación de los rechazos mineros cuatro diques, que mediante proceso físico estos rechazos o lodos se sedimentan para posteriormente ser pasado a una planta de cianuración.

Imagen 4. Planta de trituración para el beneficio de Oro Municipio de Suárez.

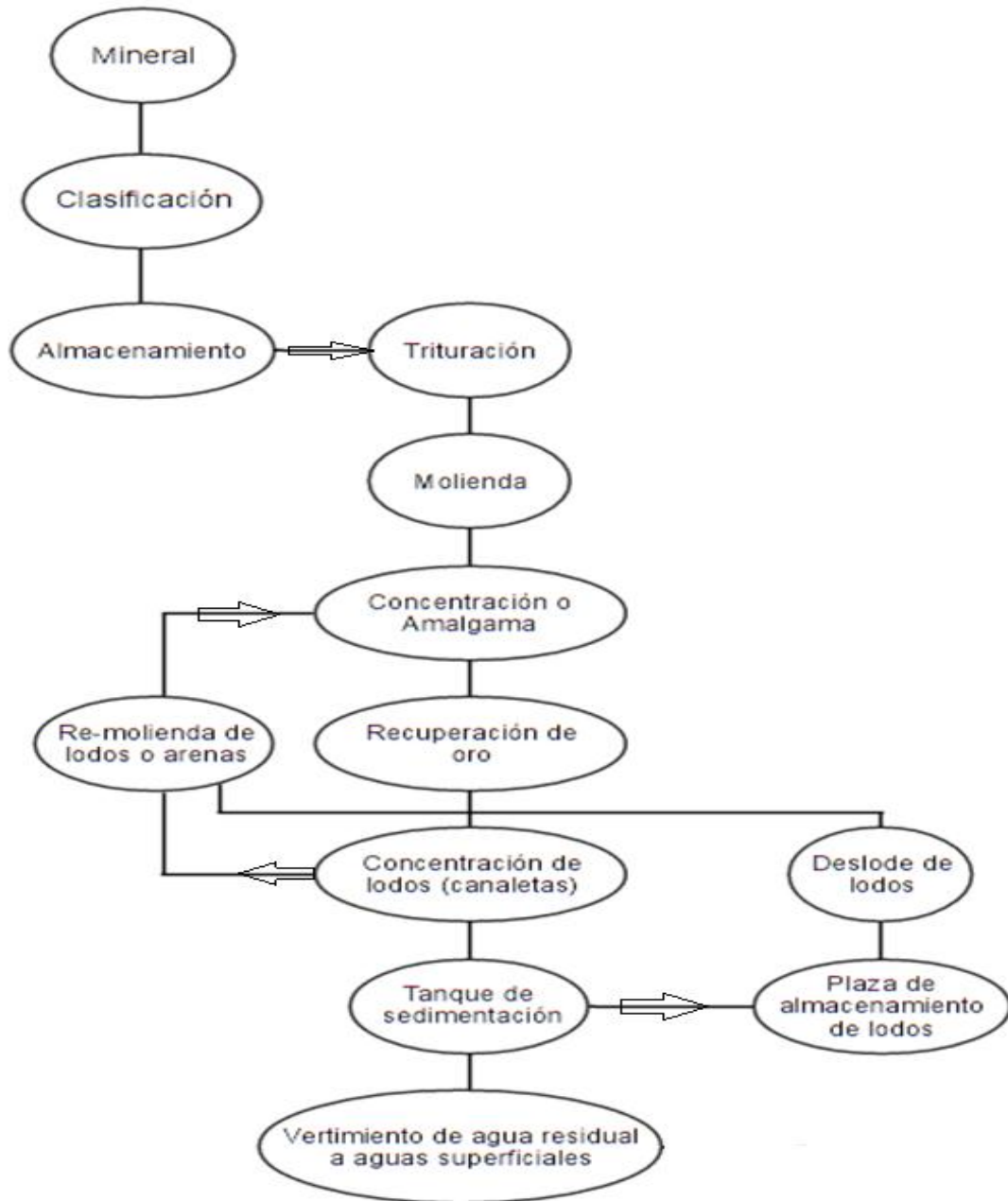


Fuente: (Google earth)

Todas estas características la convierten como una planta que ofrece grandes ventajas para el minero en cuanto a la adquisición de insumos mineros, fácil acceso para el descargue y cargue de materiales provenientes de las diferentes minas de la región. De acuerdo a la ley 1658 de junio del 2013 en el cual se hace Prohibición de nuevas plantas de beneficio de minerales preciosos y control de las existentes. Se prohíbe la ubicación de nuevas plantas de beneficio de oro que usen y quemem amalgama de mercurio, en zonas de uso residencial, comercial, institucional o recreativo.

Actualmente la planta cuenta con 22 barriles o tambores amalgamadores, también se encuentra en etapa de ampliación con el fin suplir con la gran demanda de materiales extraído de los diferentes minas de la región. La extracción de materiales es realizada mediante martillos neumáticos de 90 Lb que son impulsados por un compresor de aire, permitiendo que el minero tenga un mayor rendimiento y mayores cantidades de material. Posteriormente este material es dirigido hacia las plantas de trituración para el beneficio del oro mediante los procesos ilustrados en la figura 4.

Figura 4. Diagrama general del Proceso de circuito abierto en los entables minero para el beneficio de oro.



Fuente: Elaboración Propia

Usualmente, los depósitos de oro con partículas muy pequeñas necesitan de mercurio para una buena recuperación del mismo, en los circuitos abiertos. La

amalgamación se realiza en barriles o tambores como se muestran en la Imagen 5, como molienda del mineral rocoso, el mineral junto con el agua más mercurio y otros productos figura 5 adicionalmente como limón en estado de descomposición, detergentes que sirve como desengrasante, por lo tanto no permite que oro fino sea arrastrado por las corriente de agua, miel de purga y el cascarillo son comúnmente utilizados como limpiadores y reductores de las pérdidas de mercurio durante la molienda. En un espacio de 1 a 3 horas los barriles se abren para realizar el lavado (agua más mineral molido con mercurio) es vertida en un tanque acondicionador, el oro es atrapado por el mercurio en una pulpa acuosa para formar una sustancia altamente viscosa y de color blanco brillante, denominada amalgama. Para recuperación del oro atrapado en la amalgama de mercurio se emplea un trapo de tela fina, el cual se exprime fuertemente con el propósito de separar el oro del mercurio.

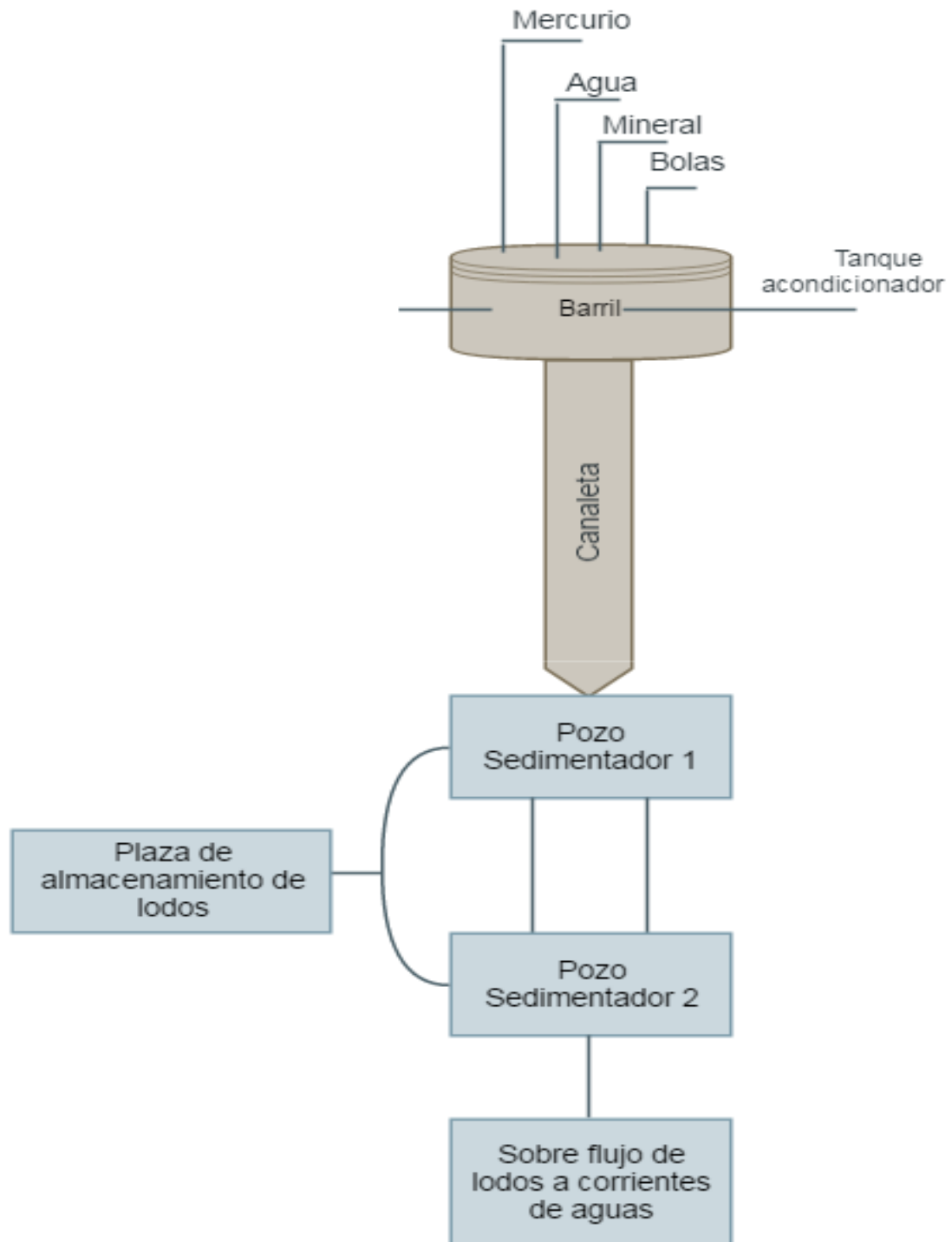
Adicional se realizan varias remoliendas de las arenas resultantes, este proceso de remolienda se hace no menor a 4 veces, el cual varía de acuerdo a las cantidades de oro obtenido en las primeras lavadas del mineral molino. Las arenas o lodos con finísimas fracciones de mercurio pasan a través de un canalón que llega directamente a los diques o tanque de sedimentación algunas de estas fracciones son recuperada en los diques de colas y otras son arrastradas por la corriente de agua residual a cuerpos de aguas superficiales.

Imagen 5. Infraestructura del entable Minero San Juan.



Fuente: Propia

Figura 5. Esquema general de molienda.



Fuente: Adaptado de López Africano, Pedro Ernesto: Corporación Autónoma Regional Del Cauca, 2007

CAPITULO III: METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación para la Caracterización de efluentes y diques en la planta de beneficio “San Juan” del Municipio de Suárez Cauca como insumo de posibles alternativas de mitigación y control de los impactos generados por mercurio, se enfocó en el esquema productivo para el beneficio de oro. En todas las etapas de la minería el beneficio y transformación de minerales es una de las etapas más crítica debido al uso de productos químicos como cianuro y mercurio. En cumplimiento de los objetivos planteados se realizó la metodología de la siguiente manera.

3.1 Evaluación de los efluentes y diques de colas en la unidad de producción Minera del Municipio de Suárez.

3.1.1 Socialización

Como actividades preliminares se llevó a cabo acercamientos con el titular de la unidad de producción minera (UPM) San Juan, la comunidad minera del Municipio de Suárez con el apoyo de la Cooperativa de Mineros, la Alcaldía Municipal, el instituto colombiano de geología y minería, buscando establecer como principal objetivo mediante un consentimiento informado la aprobación de permisos requeridos para el desarrollo de tareas de carácter investigativos. Una vez adelantados los procesos se realizó un diagnostico preliminar con la recopilación de información necesaria a través consulta y revisiones bibliográficas, entidades públicas y privadas.

3.1.2 Evaluación del proceso de beneficio

Una vez adelantada las actividades preliminares se realizaron visitas al entable de beneficio perteneciente al señor Isaac Lucumi, para previa caracterización de los efluentes y lodos productos del beneficio de materiales, para tal fin, tener una descripción cualitativa de que puede ocurrirse en los procesos del entable minero, se analizó el numero barriles que cuenta la planta, cuantas piscina de sedimentación, y posteriormente mediciones de los diques de colas para la generación de planos.

En estas visita de campo fue de vital importancia tener en cuenta los procesos y conocer los días, semanas, meses de funcionamiento del entable, también conocer las cantidades de mercurio agregadas por cada barril y cuanto en promedio se recupera del mismo después de ciertos proceso para el beneficio de oro, se analizó la distribución del agua residual dentro del sistema para posteriormente realizar aforos volumétricos para la medición del volumen de agua gastada; teniendo en cuenta la disposición de los residuos minero, se incluyó el posicionamiento satelital de los puntos de muestreos mediante un GPS garmin Etrex 10 navegador personal, tomando como referencia dos puntos de muestreo. Se defino un primer punto en el dique donde se mezcla toda el agua residual generada por los tambores amalgamadores, en este dique los sólidos generados empiezan a sedimentar. El Segundo punto corresponde al vertimiento directo del efluente al cauce hídrico de la quebrada zanjón grande después de pasar por una serie de tanques sedimentadores o diques.

3.1.3 Evaluación de la calidad del agua en los diques de cola y efluente

Para cumplir con el objetivo principal de la investigación se llevó a cabo tres jornadas de muestreo, tomado como criterio la productividad del entable, estableciendo los días de menor a mayor trituración de materiales para el beneficio del oro, por lo tanto cada jornada consistía en la toma de muestras compuestas, el muestreo se realizaba un número no menor a cinco veces en

intervalos de tiempos programados de una hora. Las muestras de agua, tanto sedimentos fueron tomadas en los puntos de muestreos seleccionados, el agua residual se recolecto por medio de una probeta volumétrica de 1000 ml, en un flujo contracorriente del efluente.

Por las características químicas que involucra el análisis de cada uno de los parámetros a medir, fue necesario tener cierto tipo de precauciones la hora de realizar el llenado de los envases de la muestra, fue fundamental evitar la formación de burbujas que actuarán como cámaras de aire y que pudieran provocar cualquier tipo de afectación en la medición del parámetro y causar repercusiones en el resultado final. Respectivamente se etiquetaron los recipientes con la información de cada punto de muestreo, las muestras fueron refrigeradas.

De acuerdo al procedimiento para el muestreo de aguas y sedimentos para determinación de metales del IDEAM, se tomaron muestras de sedimentos en los dos puntos mencionados con anterioridad, este procedimiento se realiza tomando de los diques una pequeña porción del lodo a una altura de 10 cm desde el fondo del dique, aproximadamente de 300 g. posteriormente se almacenan en una bolsa de polietileno previamente neutralizada (enjuagada) con agua destilada para la determinación del mercurio, se rotulan y son llevada a cadena de custodia con el fin de conservarla y posteriormente ser analizadas en el laboratorio.

Se realizó una caracterización físico-química de las aguas residuales de la unidad de producción minera donde se midieron los siguientes parámetros para los dos puntos de muestreos como se mencionan en la tabla 3

Tabla 3. Parámetros Físicoquímicos.

Parámetro	Unidad	Método	Tipo de muestreo
pH	Unidades de pH	pH-metro	Simple
Temperatura	° C	Mediante un enfoque multiparametrico específico (instrumento medidor Hanna)	
Conductividad eléctrica	uS/Cm		
Turbiedad	NTU		
Oxígeno disuelto	mg/L		
DBO ₅	mg O ₂ /L	SM; 5210 Test DBO ₅	Compuesta
SST	mg/L	SM 2540-D TSS a 103 – 105°C	
STD	mg/L	SM;2540-C TDS a 180°C	
SO ₄	mg/L	SM:4500- SO ₄ ²⁻ E Turbidimetro	
DQO	mg O ₂ /L	SM; 5220 C Titulométrico Reflujo cerrado	
Hierro (Fe)	mg/L	Absorción Atómica directo llama Acetileno-Aire	
Plomo (Pb)	mg/L	SM; 3113 B Espectrometría de Absorción atómica-electro térmico –horno.	
Cobre (Cu)	mg/L	Absorción Atómica directo llama Acetileno-Aire	
Cianuro disociable (CN ⁻)	mg CN/L	Fotométrico- 1,3 dimetilbarbifurico- piridina	
Mercurio (Hg)	mg/L	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frio	

La temperatura, potencial de hidrogeno, la conductividad eléctrica (CE), la turbiedad y el oxígeno disuelto se determinó in situ, según el instructivo de toma de muestra del IDEAM, que por sus características o inestabilidad, deben medirse inmediatamente o es recomendable su medición en campo[28]. Los demás parámetros fueron analizados por el laboratorio de investigación de la universidad tecnológica de Pereira de acuerdo a los requerimientos del proyecto y se encuentran presente en la norma de vertimiento de aguas industriales. Cabe mencionar que el Pb, Cu, Fe y cianuros disociables se midieron una vez para confirmar su presencia o ausencia y por costo no se realizó más veces, en cuanto a los sulfatos se midieron porque se presumía su presencia, el cual tiene una relación con el mercurio.

En conocimiento de la variación del caudal que fluye por el sistema del entable minero, los aforos se realizaron por medio de una probeta volumétrica de 1000 ml y un cronometro para la medición del tiempo. Se realizó de manera continua e inmediata a la producción de agua residual. Para evitar una margen de error, los aforos se hicieron no menor a tres veces por cada jornada de muestreo; posteriormente para el cálculo matemático se tuvo en cuenta la siguiente formula:

$$Q = \frac{V}{T} \quad (1)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Volumen medido en un tiempo determinado

T = Tiempo

Conociendo de primera mano el uso del mercurio empleado y su poca recuperación del mismo, se da origen a proponer un balance de mercurio para cuantificar las pérdidas y la evaluación del funcionamiento de los diques de colas.

3.2 Determinación de la presencia de mercurio en los diques de cola o efluente generado en la planta de beneficio San Juan.

3.2.1 Determinación de las posibles pérdidas de mercurio

Se realizó una evaluación del funcionamiento de los diques de colas en términos de la retención de mercurio través del cálculo del balance de mercurio bajo condiciones de caudal mínimo. A simple vista se logró apreciar el mal funcionamiento de los diques ya que no presentan estructuras impermeables para evitar filtraciones, debido a esto surge la necesidad de realizar un balance de masa con el fin de verificar el estado actual de los dique y el funcionamiento del mismo para una mejora, diseño y optimización de los diques de cola, A través de este procedimiento se midieron y se determinó la cantidad de mercurio en todos los componentes del sistema del entable minero, la siguiente ecuación define el balance de mercurio:

$$Hg_{Entrada} = Hg_{Recuperado} + Hg_{Lodo} + Hg_{Descargado} + Hg_{Perdida} \quad (2)$$

Donde:

$Hg_{Entrada}$: Cantidad de mercurio que entra al barril o cocos amalgamadores.

$Hg_{Recuperado}$: Cantidad de mercurio recuperado en el procesos de producción.

Hg_{Lodo} : Cantidad de mercurio que sedimenta en los lodos.

$Hg_{Descargado}$: Cantidad de mercurio que es descargado al río.

$Hg_{Perdida}$: Cantidad de mercurio que se pierde a través de distintos factores (infiltración y evaporación).

Para llevar a cabo el balance de masa de mercurio sobre una unidad de retención de solidos o diques de colas fue necesario vaciar dos de los primeros tanques sedimentadores con el fin de cuantificar la distribución de mercurio en cada parte del proceso de la primera unidad, se simularon condiciones de producción de dos

tambores entre capacidades de 40 – 50 Kg, bajo condiciones ideales de consumo de agua. Se registró la cantidad de mercurio añadido por cada tambor y la cantidad de roca dentro los tambores. Como se observa en la figura 6.

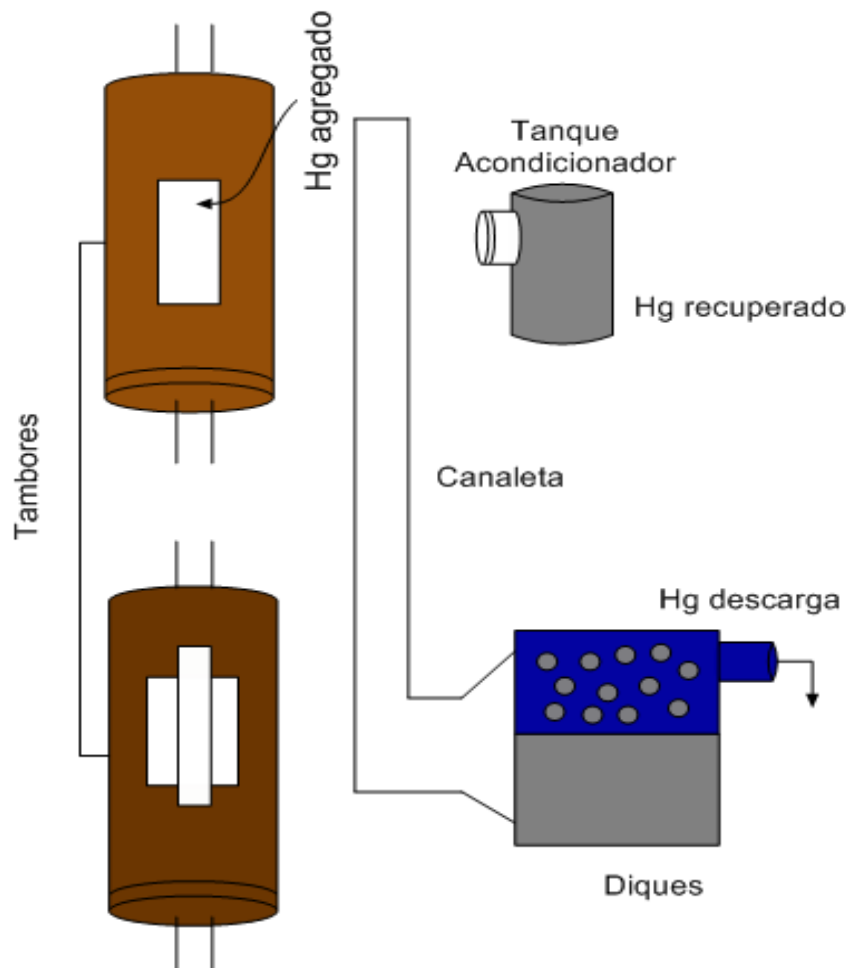


Figura 6. Esquema medición balance de masa.

Una vez iniciada la primera etapa de lavado del material triturado, se registraron los gramos de mercurio recuperados, se recogió una muestra compuesta de aguas residuales cada 20 minutos en la descarga a la segunda presa de vertedero tan pronto como el mercurio estuvo en contacto con las aguas residuales

producidas por los dos tambores. El caudal se midió también cada 20 minutos tan pronto como comenzó la descarga de aguas residuales a través de las canaletas.

Una vez que se terminaron los pasos de lavado, todo el suministro de agua se detuvo de nuevo. Ocho horas más tarde se recogió una muestra de lodo de la primera presa de cola. Usando el caudal, gramos de mercurio ponderado, concentración de mercurio en lodos y agua, se calculó la carga de mercurio.

3.3 Alternativas de manejo y mitigación de los impactos ocasionados por el entable minero.

3.3.1 Prueba de sedimentabilidad

Se realizó una prueba de sedimentabilidad de partículas por medio de un cono Imhoff de 1000 ml para simular el proceso de clarificación del agua residual, el experimento se desarrolla a temperatura ambiente para evitar movimientos del líquido. A medida que el proceso continúa se observa, la sedimentación de las partículas residuales se registra la altura de la capa de lodo formada a través del tiempo. Una vez se registren los datos de la capas formadas, se observa cómo va disminuyendo la velocidad hasta volverse lenta, lo cual se da inicio a un periodo conocido como el tiempo de retención para la sedimentación, en el momento que la sedimentación se vuelve constante en función del tiempo, el proceso se detiene alcanzando una máxima altura de la suspensión de sólidos adheridos en el agua en un tiempo determinado.

De acuerdo a lo encontrado durante las visitas técnica, en cuanto a las estructura de sedimentación construidas, se observó el mal estado y mal funcionamiento de los diques.

3.3.2 Rediseño de diques

Conociendo las características del agua residual y según lo encontrado en el balance de masa de mercurio se plantea el rediseño u optimización de las unidades de retención o diques de colas como medida de mitigación y control de impactos.

Por medio de la siguiente formula se toman los criterios básicos de diseño para sedimentadores convencionales.

$$V_s = \frac{981}{18} * \frac{\rho_s - 1}{\mu} * d^2 \quad \text{ley de Stokes} \quad (3)$$

Siendo:

V_s : Velocidad de sedimentación (cm/seg)

g : Aceleración de la gravedad

ρ_s : Densidad relativa de la arena limosa

P : Peso específico del fluido agua

D : Diámetro de la partícula (cm)

μ : Viscosidad cinemática del agua (cm² /seg)

En función de la temperatura de la tabla 4 se toma la viscosidad cinemática para la continuidad de los cálculos del diseño.

Tabla 4. Valores de la viscosidad cinemática del agua con respecto a la temperatura.

Viscosidad cinemática del agua			
Temperatura °C	Viscosidad cinemática cm ² /s	Temperatura °C	Viscosidad cinemática cm ² /s
0	0,01792	18	0,01059
2	0,01763	20	0,01007
4	0,01567	22	0,00960
6	0,01473	24	0,00917
8	0,01386	26	0,00876
10	0,01308	28	0,00839
12	0,01237	30	0,00804
14	0,01172	32	0,00772
15	0,01146	34	0,00741
16	0,01112	36	0,00713

Fuente: Adaptado de López Cualla, Ricardo Alfredo; Elemento de diseño de acueductos y alcantarillados. Pág.187. 1999

En función del tamaño de las partículas que conforman el suelo, este puede clasificarse granulométricamente de acuerdo a la (tabla 5)

Tabla 5. Clasificación del suelo según el diámetro de partícula.

Nombre del sedimento	Diámetro de la partícula (mm)
Arena muy gruesa	2 - 1
Arena gruesa	1 - 0,5
Arena mediana	0,5 - 0,25
Arena fina	0,25 - 0,125
Arena muy fina	0,125 – 0,0625
Limo	0,0625 – 0,0039
Arcilla	Menos de 0,0039

Fuente: Adaptado de Osorio, Santiago; apunte de geotécnica con énfasis en ladera.2010

Fórmula para el cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_s * d}{\mu} \quad (4)$$

En caso que el número de Reynolds no cumpla para la aplicación de la ley de Stokes ($Re < 0,5$), se realizará un reajuste al valor de V_s considerando la sedimentación de la partícula en régimen de transición, mediante el término del diámetro y el término de velocidad de sedimentación.[29]

Se determinó el área superficial de la unidad (A_s), que es el área superficial de la zona de sedimentación, de acuerdo a la relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_s} \quad (5)$$

Siendo:

V_s : Velocidad de sedimentación (m/seg)

Q : Caudal de diseño (m^3 /seg)

3.3.2 Buenas prácticas ambientales en el beneficio de oro

Se sugirieron buenas practicas con respecto a la extracción o beneficio de oro implicando lograr una optimización y mejoras de los procesos productivos en las actividades mineras, buscando establecer que todas las unidades de producción mineras o entables puedan adoptar un manual de buenas prácticas ambientales, la cual es la base fundamental para el mejoramiento de calidad de un entorno social; consiguiendo con sí mismo una disminución del consumo de agua, minimizar el efecto ambiental de vertidos con carga contaminante a fuentes de aguas superficiales, disminuir la generación de residuos o rechazos mineros y fomentar la gestión adecuada para facilitar su valorización, a su vez disminuir el uso y manejo de materiales peligrosos. Posteriormente sensibilizar a la comunidad sobre las afectaciones generadas a la salud y el medio ambiente.

4. CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES Y DIQUES DE COLAS DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN MINERA

Es importante mencionar que para el desarrollo del proyecto de investigación en el sector minero del municipio de Suárez, se realizaron reuniones previas con la cooperativa de minero como se muestra en la imagen 6, entidad encargada de los asuntos mineros del municipio, y otras entidades como la corporación autónoma regional del Cauca (CRC), Ingeominas y alcaldía municipal imagen 7, buscando establecer acciones de cooperación coordinada y conjunta de los diferentes actores para la construcción de una minería ambiental y socialmente responsable. Dado que la mayoría de las actividades mineras a pequeña y mediana escala que se realiza en jurisdicción del municipio, no están adscritas bajo un marco legal minero.

Imagen 6. Socialización del proyecto ante la cooperativa de mineros Municipio de Suárez Cauca.



Imagen 7. Socialización del proyecto con entidades públicas y privadas.



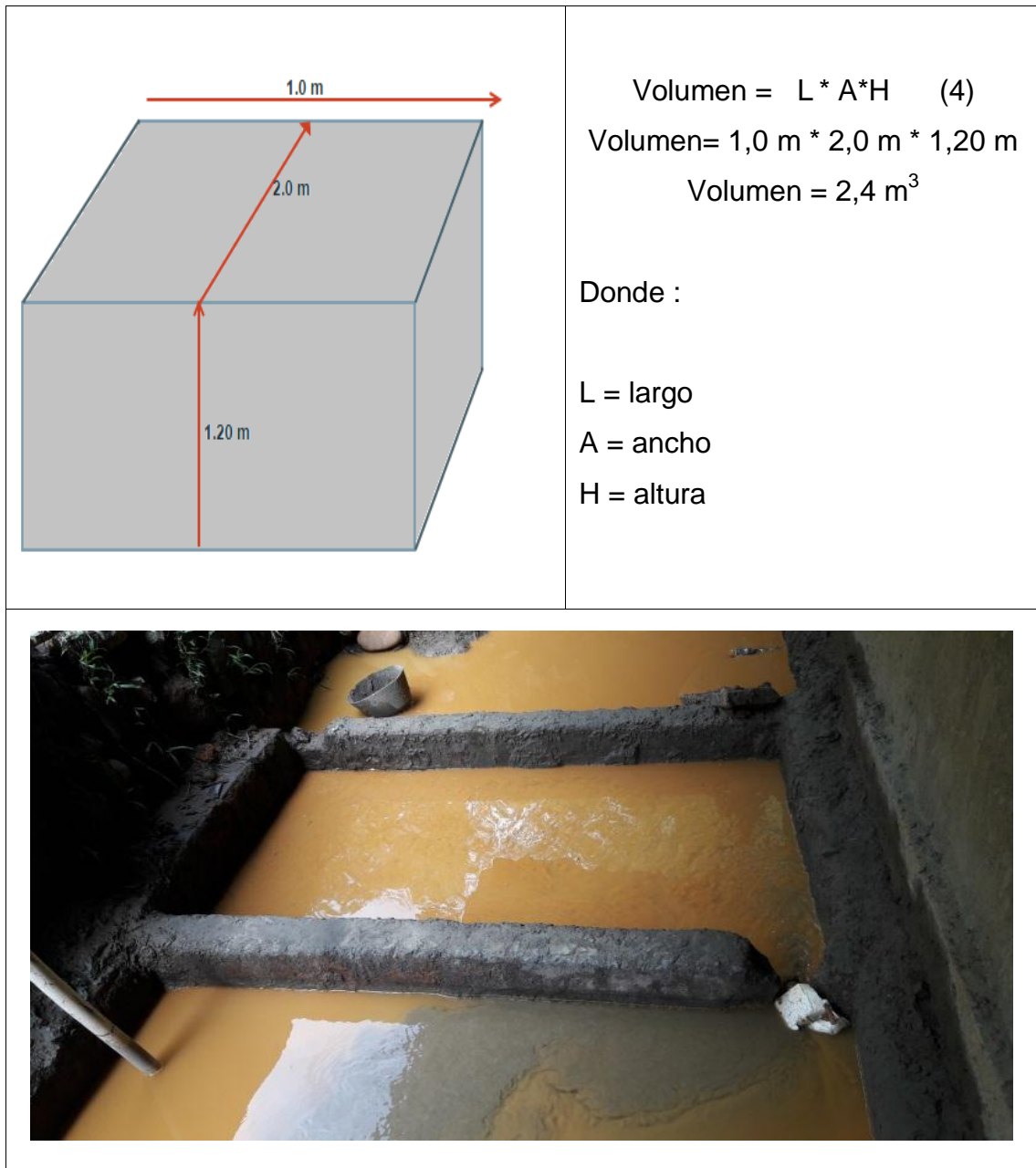
Tabla 6. Definición puntos a intervenir

Nº	Razón Social	Propietario	Ubicación	Situación legal	Coordenadas	
					Norte	Este
1	San Juan	Isaac Lucumi	Suarez Cauca	Ilegal	2°57'09"	76°41'54"
2	Dique				2°57'03"	76°41'56"
3	vertimiento				2°57'01"	76°41'60"

De acuerdo a la tabla 6 se plantea la información detallada de la ubicación del entable minero y sus respectivos puntos intervenidos durante la investigación, cabe mencionar que la planta se encuentra en estado ilegal, debido a que no cuenta con permiso de usos del suelo según el esquema de ordenamiento territorial y soportes legales por parte de la agencia nacional de minería, sin embargo la planta se encuentra en zonas del casco urbano donde hay actividades

comerciales, recreativas e institucionales. Por tanto en el artículo 9 de la resolución 1658 del 2013 prohíben nuevas plantas de beneficios de minerales y control de las existentes en las diferentes zona mencionada anteriormente.

Figura 7. Mediciones de diques de colas



La planta san juan aproximadamente cuenta con 22 cocos de bolas, los cuales son utilizados en el beneficio de oro por medio del mercurio, además el entable cuenta con tres piscinas de sedimentación para el depósito de los residuos empleados en el proceso, los cuales tienen una capacidad de almacenamiento similares, debido a que todas fueron construidas bajo las misma dimensiones, por tanto la capacidad total de almacenamiento de la planta es la sumatoria de todas las unidades de sedimentación.

$$\text{Volumen}_{\text{Total}} = \sum \text{volumen de las piscinas} \quad (5)$$

$$\text{Volumen}_{\text{Total}} = \sum 2.4 \text{ m}^3 + 2.4 \text{ m}^3 + 2.4 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen}_{\text{Total}} = 7.2 \text{ m}^3$$

Generalmente el entable funciona continuamente durante el año, considerando los días viernes y sábados como los días de mayor trituración de materiales y consumo de agua, es de suma importancia mencionar que por cada barril se utiliza entre 4 y 6 onzas de mercurio, sin embargo solo es recuperado entre el 60 y 90% de este impredecible metal. En las estadía se apreció a simple vista un mal manejo del mercurio en las instalaciones del entable y un mal funcionamiento de las piscinas de sedimentación, en cuanto la remoción de materia suspendida en el agua. Para un mejor análisis de cantidad de lodo y agua producida en el interior de los barriles se asumió el funcionamiento de los 22 tambores durante 24 horas de producción de la siguiente manera.

$$\text{Capacidad barril} = 40 \text{ Kg}$$

$$\text{Densidad lodo} = 1.15 \text{ kg/L}$$

$$M = 22 * 40 \text{ Kg} = 880 \text{ kg}$$

$$V = \frac{m}{d} \quad (6)$$

$$V = \frac{880 \text{ Kg}}{1.15 \text{ Kg/l}} = 765.28 \text{ l} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.765 \text{ m}^3$$

$$V = 0.765 \text{ m}^3 * 24 \text{ horas} = 18.36 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que la capacidad de albergue de las tres piscinas de sedimentación con un total de 7.2 m^3 y conociendo la cantidad de agua residual generada del interior de los 22 tambores durante las 24 horas, para un total de 18.36 m^3 , por tanto se concluye que debido a la importancia y representatividad del entable minero, con respecto a las actividades desarrolladas durante los procesos de beneficio, no se cuentan con tanques colectores eficientes para albergar la cantidad de materia residual generada en tiempo determinado, en muchos caso son aportada directamente al cuerpo de agua receptor debido que el mantenimiento no es realizado continuamente.

4.1.1 Aforo de caudal

Durante las tres jornadas de campo se realizaron aforos volumétricos para la determinación del caudal de acuerdo a la producción diaria realizada en el entable mediante la fórmula (1) mencionada con anterioridad.

Caudal en producción mínima

$$Q = \frac{36440 \text{ ml}}{27 \text{ s}} = 1349 \text{ ml/s}$$

$$Q = 1349 \frac{\text{ml}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 1.349 \text{ l/s}$$

Caudal en producción media

$$Q = \frac{26920 \text{ ml}}{18 \text{ s}} = 1495 \text{ ml/s}$$

$$Q = 1495 \frac{\text{ml}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 1.495 \text{ l/s}$$

Caudal en producción máxima

$$Q = \frac{45040 \text{ ml}}{27 \text{ s}} = 1668 \text{ ml/s}$$

$$Q = 1668 \frac{\text{ml}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 1.668 \text{ l/s}$$

Los aforos se llevaron a cabo en días diferente de acuerdo a la producción, se puede observar que en la producción máxima hay un mayor consumo de agua, lo cual indica que a medida que aumenta la producción se demanda un incremento en uso de agua para realizarse el beneficio del oro.

4.1.2 Evaluación de la calidad del agua en los diques de cola y efluente

La expresión P.Max, P.Med, P.Mín de la tabla 7, hace referencia a la producción máxima, media y mínima del entable minero.

La producción máxima hace referencia a que durante la semana, el material extraído en la diferentes bocaminas de la región, es trasladado hacía las unidades mineras con el fin de realizarse el procesamiento de las rocas, debido a lo anterior el número total de barriles o coco amalgamadores de los entables entran en funcionamiento, principalmente los días más representativos para la trituración de materiales son los días sábados y domingos, pues son estos días que el minero lleva el material para extraer el oro adherido en las rocas, y de tal forma poder realizar compras para la canasta familiar.

A diferencia de la producción máxima es importante mencionar que en la producción media, el entable minero no se encuentra con el número total de barriles en funcionamiento, sin embargo en esta etapa productiva se realiza un deslode de las arenas resultantes durante toda la semana, por otro lado también se realiza una remolienda de arenas con un numero de tambores no superior a siete.

La producción mínima hace referencia que durante el transcurso de la semana las instalaciones del entable, no se efectúa trituración de materiales ni deslode, esto

debido a que aún no se realiza desprendimiento de rocas de las diferente bocaminas, más sin embargo se puede dar el caso que el entable funcione en esta etapa productiva con un número de tambores amalgamadores no mayor a cuatro. Es importante mencionar que en esta etapa productiva se realizan el apilamiento de las arenas para posterior realizar sus procesos de remolienda.

Tabla 7. Caracterización fisicoquímica de efluentes y sedimentos

Parámetro	Unidad	Caracterización					
		Dique			Descarga		
		P.Max	P.Med	P.Mín	P.Max	P.Med	P.Mín
Caudal	L/s	1,67	1,50	1,35	1,67	1,50	1,35
pH	unidades pH	7,04	8,79	6,39	6,77	8,96	6,70
Temperatura	° C	26,6	24,5	24,6	25,8	24,7	24,3
Oxígeno Disuelto	mg/L	2,89	5,67	3,81	4,50	5,77	5,58
Conductividad Eléctrica	S/m	105,85	145,16	138. 23	106,38	131,58	120,58
Turbiedad	NTU	15328	3858	5838	7472	4990	3372
Solidos suspendidos totales	mg/L	18496	3318	12085	14015	3334	10625
Solidos disueltos totales	mg/L	185	172	135	188	177	121
DQO	mg O ₂ /L	303	181	145	232	201	133
DBO5	mg O ₂ /L	46	37	29	39	57	26
Sulfatos	mg/L	22	37	105	23	36	91
Cianuro libre y Disociable	mg/L	<0,002	0,008	0,004	<0,002	0,005	0,005

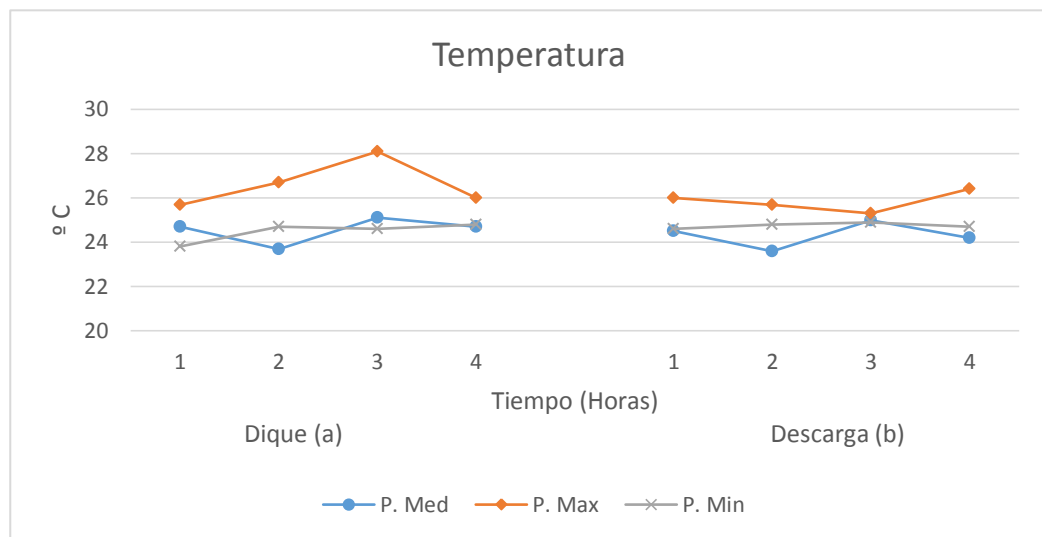
Parámetro	Unidad	Caracterización					
		Dique			Descarga		
		P.Max	P.Med	P.Mín	P.Max	P.Med	P.Mín
Mercurio	mg/L	2,00	7,71	2,56	2,19	0,97	2,38
Mercurio en Sedimentos	Mg/100 g lodo	N-A	62,58	2,46	N-A	9,19	1,36
Plomo	mg/L	N-A	0,0088	N-A	N-A	0,068	N-A
Hierro	mg/L	N-A	397,6	N-A	N-A	249,1	N-A
Cobre	mg/L	N-A	4,21	N-A	N-A	1,98	N-A

De acuerdo a los datos obtenidos de concentraciones, en la tabla 7 se observa que cada parámetro muestreado en las aguas residuales del entable minero San Juan supera los límites permisibles de descarga establecido por la resolución 0631 del 2015 (MADS) sobre cuerpos de aguas superficiales como se menciona en el artículo 10 de la presente resolución. Evidenciando una notable preocupación por los altos niveles de mercurio en el agua de la unidad de producción minera.

4.1.3 Análisis de resultados

4.1.3.1 Temperatura

La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, el promedio de estas temperaturas en el agua residual es 25.08° C realizado en el efluente de la unidad minera San Juan. El límite de temperatura para aguas residuales industriales mineras de acuerdo a la resolución 0631 del 2015 en su artículo 5 establece que el parámetro tiene un valor límite máximo permisible de 40.00° C, para todas las actividades industriales, comerciales o de servicios que realicen vertimiento puntuales a cuerpos de aguas superficiales. Es importante resaltar, que en entable diariamente no se inician labores a la misma hora, sin embargo se midieron por el mismo lapso de tiempo.



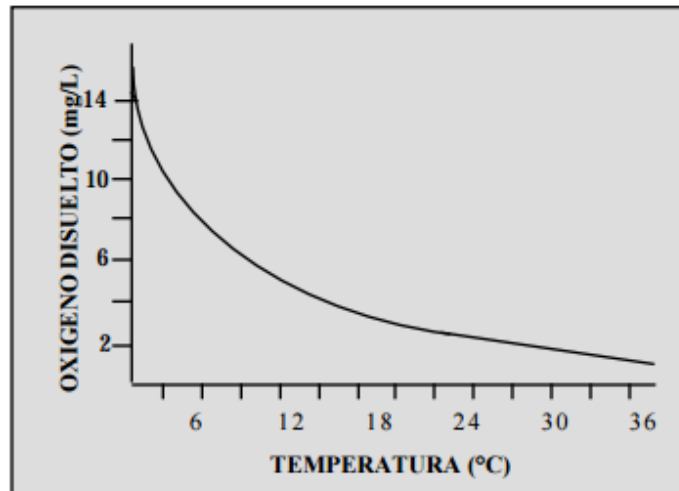
Gráfica 1. Variación de temperatura en dique (a) y en la descarga (b)

La expresión dique (a) y descarga (b) de la gráfica 1 hacen referencia a los dos puntos intervenido para toma de datos.

De acuerdo a los resultados de los análisis realizados en campo, en la gráfica 1 se observa las variaciones de la temperatura a través de las jornadas realizadas

durante la investigación, para dique (a) la temperatura oscila entre 24 y 28 ° C, del mismo modo en la descarga (b) sus valores oscila entre 24 y 26 ° C, es importante mencionar que las variaciones de la temperatura en estas aguas residuales provenientes de la industria minera se encuentran relacionadas directamente con etapa productiva del entable minero, por tanto se puede observar un aumento significativo en días de P.Max, esto debido a la generación puntual del agua residual producida en la molienda de cada tambor con una temperatura elevada. Evidentemente los cambios de temperatura generan alteraciones o efectos en los niveles de oxígeno, como consecuencias una disminución del oxígeno disuelto presentes en estas aguas tal como lo muestra en la figura 8, el oxígeno es menor a medida que aumenta la temperatura en el agua.

Figura 8. Efectos de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua.



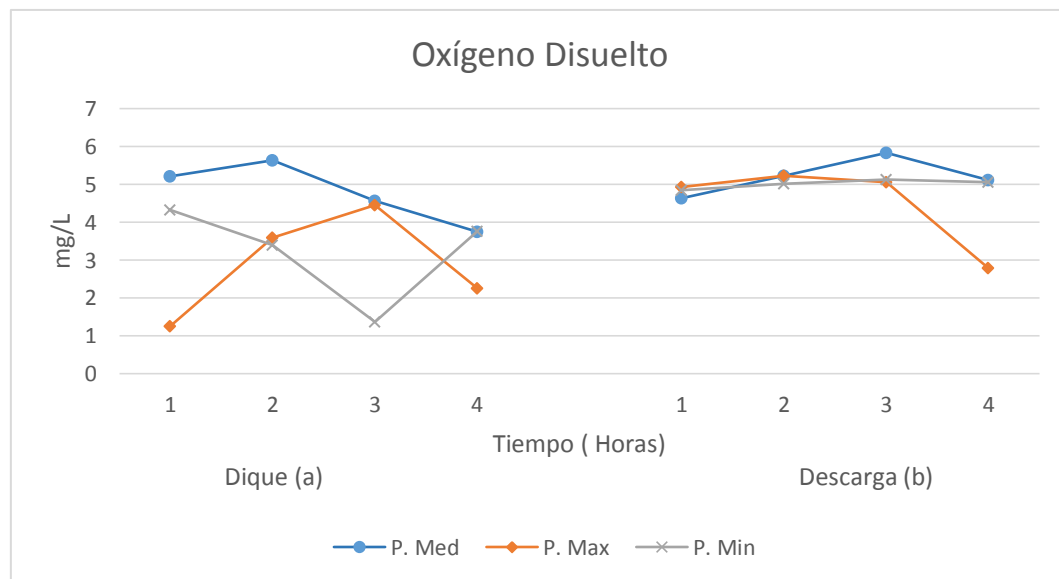
Fuente: Home y Goldman (1994).

La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados (ley del Q_{10}), aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los

organismos. Un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor.[30]

4.1.3.2 Oxígeno disuelto

Las concentraciones de OD en aguas naturales dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos en los cuerpos de agua. El análisis del OD es clave en el control de la contaminación en las aguas naturales y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas.[31], el oxígeno disuelto es un parámetro indicativo de la calidad de un agua. Este parámetro se determina “in situ” mediante electrodo de membrana (UNE-EN 25814:1994) o por yodometría fijando el oxígeno con sulfato de magnesio (UNE-EN 25813:1994), expresándolo como mg/L de oxígeno disuelto en la muestra de agua.[30]



Grafica 2. Variación del oxígeno disuelto en dique (a) y descarga (b)

Los análisis del oxígeno, mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en una solución acuosa, en la gráfica 2 se puede observar los cambios de concentraciones del oxígeno tanto en dique (a), como descarga (b), cabe mencionar que el crecimiento de residuos orgánicos es un factor que contribuye a

los cambios de los niveles de oxígeno disuelto debido al consumo del oxígeno en su procesos de descomposición. De acuerdo a la tabla 9 se establece que aguas con niveles de oxígeno por debajo de 5 mg/L pueden ser peligrosas para la vida acuática, causando desaparición de organismo.

Las concentraciones de OD de la gráfica 2, en dique (a) se registran valores que oscilan entre 1-6 mg/L y descarga (b) entre 3-6 mg/L, lo cual indica que después del tratamiento de los sedimentadores, tan solo se alcanza un nivel aceptable de saturación en el agua para ser descargada a un cuerpo natural. Presentando una pequeña mejora en el aumento la concentración de saturación, pero debido al corto tiempo de retención hidráulico o mal funcionamiento de los diques siguen habiendo muchos solidos que pueden estar generando que el nivel de oxígeno disuelto en la descarga no sea mayor. Otro factor importante que afecta la capacidad del agua para disolver el oxígeno es la temperatura como se ha mencionado con anterioridad, a medida que la temperatura aumenta los niveles de oxígeno disminuyen como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Mediciones de oxígeno disuelto en agua residual con distintas características.

Temperatura °C	10 ° C		20 °C		25 °C		30 °C		40 °C	
Alicuota	200 ml	100 ml	200 ml	100 ml	200 ml	100 ml	200 ml	100 ml	200 ml	100 ml
Promedio	7.93	7.88	6.29	6.24	5.71	5.72	5.70	5.63	4.38	4.25
DS _{n-1}	0.05	0.08	0.02	0.05	0.04	0.07	0.04	0.06	0.06	0.11
% CV	0.66	1.05	0.31	0.79	0.75	1.22	0.75	1.55	1.30	2.64
LC 95%	0.05	0.08	0.02	0.05	0.04	0.08	0.04	0.08	0.05	0.10
% Error	-3.1	-3.7	-4.1	-4.9	-3.9	-3.7	5.4	4.1	-3.3	-6.2
% Saturación	97.0	96.3	95.9	95.1	96.1	96.2	105.3	104.1	96.7	93.7
OD Saturación a 553 mm Hg	8.18		6.56		5.94		5.41		4.63	

Fuente: Adaptado de IDEAM; 2004.

Si se consume más oxígeno que el que se produce tabla 9, las condiciones del agua es menos apropiada para la vida de muchos organismos.[32]

Tabla 9. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.

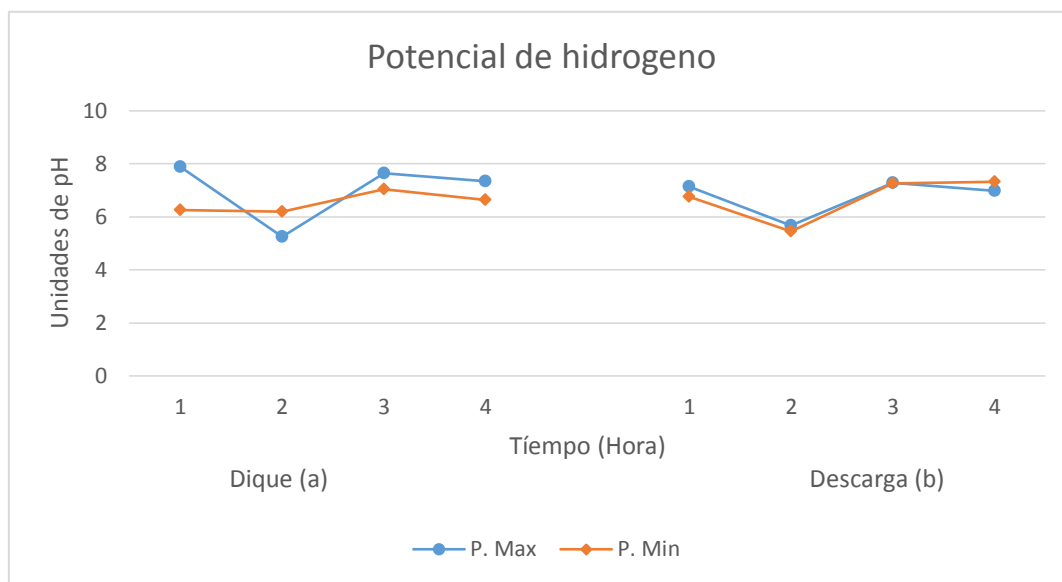
(OD) mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	(OD) adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintéticas.

Fuente: Adaptado de Red MAPSA; 2007.

4.1.3.3 Potencial de hidrogeno

Desde una aproximación simplificada, el pH puede definirse como una medida que expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14. La acidez aumenta cuando el pH disminuye. Una solución con un pH menor a 7 se dice que es ácida, mientras que si es mayor a 7 se clasifica como básica. Una solución con pH 7 será neutra.[33]

A continuación se muestran en la gráfica los resultados obtenidos para la determinación de pH.

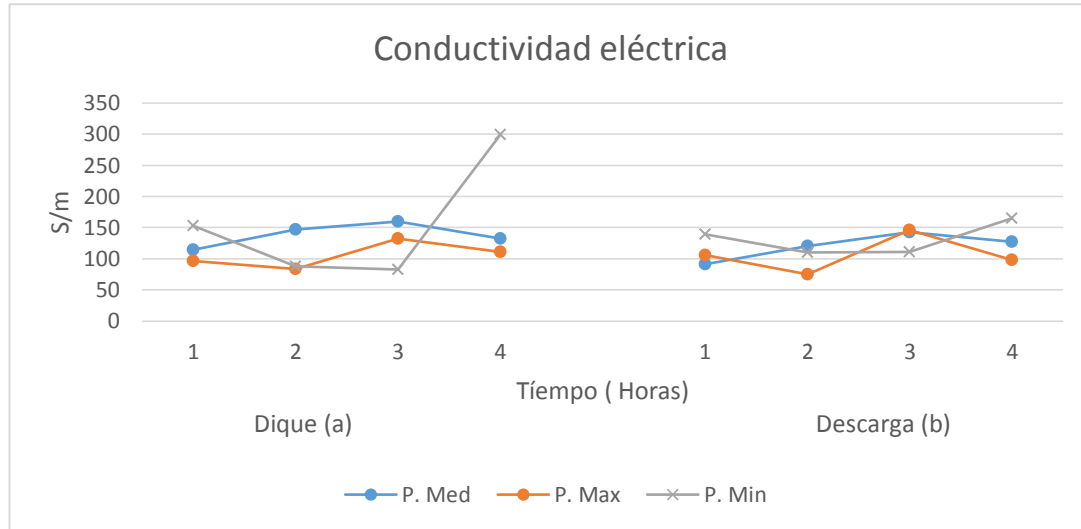


Grafica 3. Variación del potencial de hidrogeno en dique (a) y descarga (b)

Con respecto al pH, en la gráfica 3 se presentan los resultados y sus variaciones obtenidas en los dos puntos intervenidos, para el punto dique (a) se presentan valores de pH que oscilan entre 6.0 - 8.0, del mismo modo para el punto descarga (b). Lo que indica que los efluentes vertidos de la unidad de producción minera generan una leve acidez en la fuente receptora. Dichos resultados nos proyectan que en la toma de muestra los valores arrojados por el instrumento potenciometrico pHmetro se encuentran dentro de los parámetros y valores límites máximos permisibles de acuerdo a la Resolución N° 0631 del 17 de marzo del 2015. La cual establece unos valores máximo permisibles en termino de pH para aguas industriales entre 6.0 - 9.0. En la actividad minera.

4.1.3.4 Conductividad eléctrica

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala[34]. La grafica 4 muestran las variaciones de la conductividad eléctrica de los puntos intervenidos.



Grafica 4. Variación de la conductividad eléctrica en dique (a) y descarga (b)

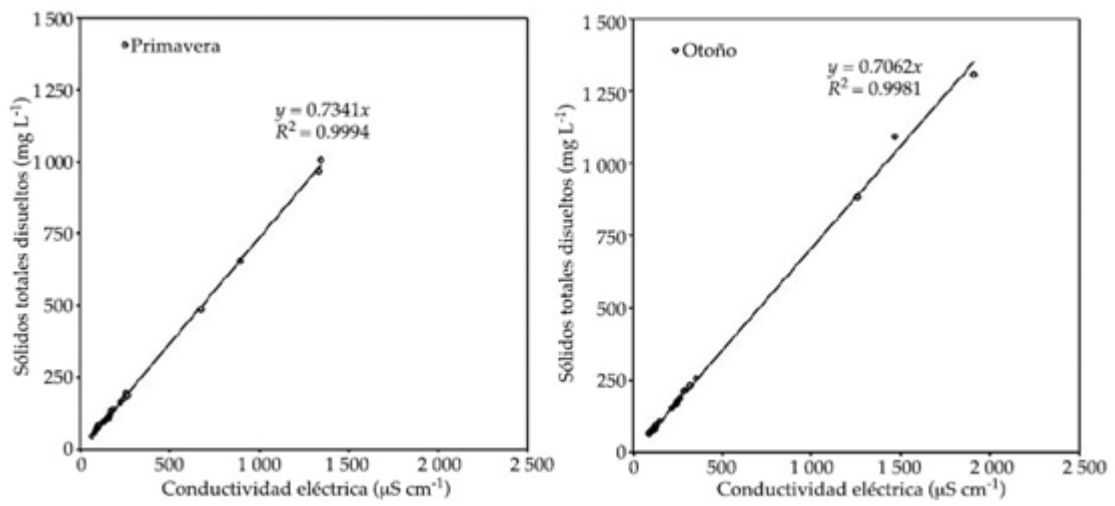
La conductividad eléctrica, se debe principalmente por la presencia de la materia disuelta de las sales minerales y iones de metales que quedan en el agua luego de la trituración de un mineral rico en pirita y la calcopirita, la cual tienen iones de hierro e iones de cobre, por lo tanto se indica que la presencia de metales pesados o iones de metales transportan la carga eléctrica de las aguas residuales industriales que tienen libre movilidad por toda la estructura y así llevar la carga eléctrica rápidamente a través de presencia de los metales pesados. Según la composición química de la pirita FeS_2 contiene el 46.4% de Fe y 53.6% de azufre. La pirita actúa como cátodo y es protegida mientras que la calcopirita actúa como

un ánodo y su oxidación se incrementa. Este par es de gran interés dado que usualmente son minerales que se encuentran juntos y en contacto entre sí. Además, cuando se incrementa la concentración de ion férrico en solución y cuando se incrementa la acidez, la densidad de corriente de corrosión se incrementa y el potencial mixto de la celda galvánica se vuelve más positivo, favoreciendo la oxidación de la calcopirita.[35]

De acuerdo a los resultados, se esperaba encontrar mayores niveles de conductividad eléctrica en el día de producción máxima, debido a la cantidad de material triturado, sin embargo los valores de la conductividad en producción media en el dique (a) y descarga (b) son mayores respecto a los días p.max y p.min, este fenómeno se puede asociarse a actividades adicionales a la molienda de materiales que puede realizarse en cualquier día de la semana, como por ejemplo; el deslode de los lodos sedimentados durante la semana contienen cargas acumuladas de iones ya mencionados.

Por otro lado, la conductividad eléctrica del agua depende de factores como la temperatura y los sólidos disueltos totales, a medida que la temperatura es elevada los niveles de la conductividad aumenta en un 2 -3 % por cada grado Celsius. En la figura 8 se observa la relación de SDT y conductividad.

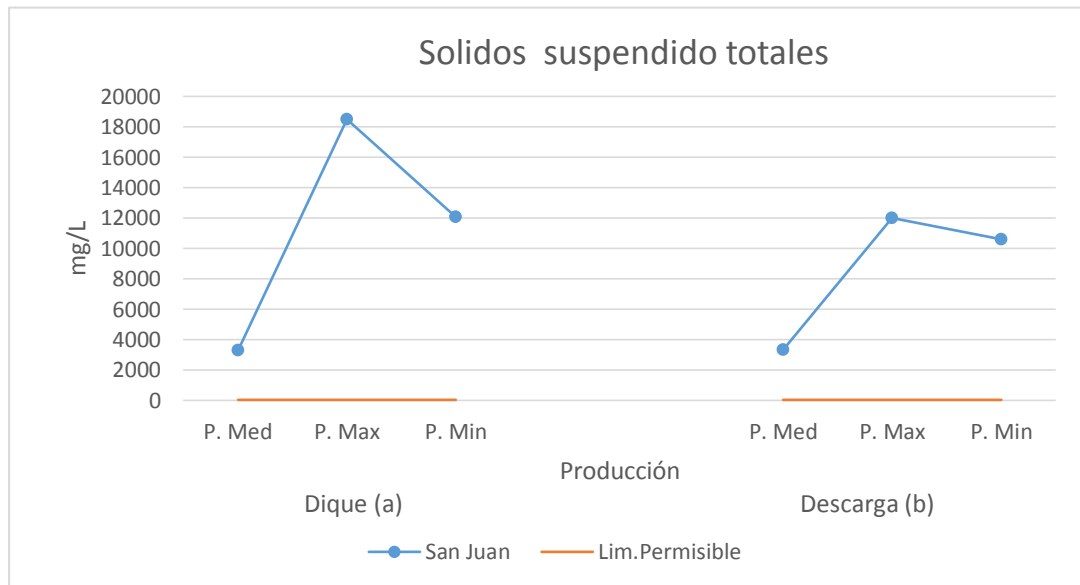
Figura 9. Relaciones entre la conductividad eléctrica y solido disueltos totales.



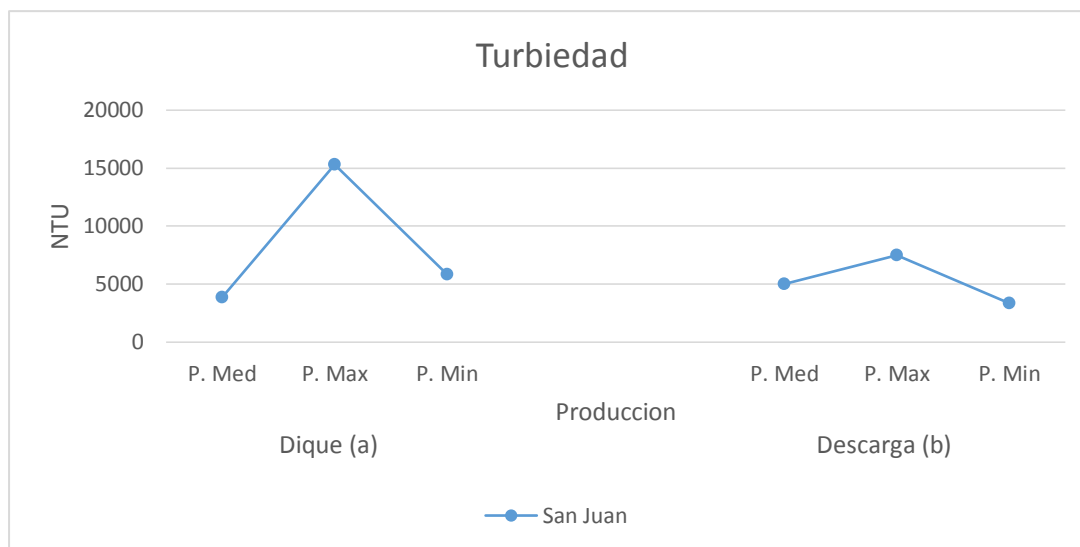
Fuente: Álvaro Can-Chulim; Universidad Autónoma de Nayarit, México. Scielo; 2014.

4.1.3.5 Sólidos suspendidos totales y Turbiedad

Respetivamente en las grafica 9 y 10 se representa los valores de resultados obtenidos durante la investigación corroborando los dos puntos de muestreo en la determinación de los sólidos suspendidos totales y la medición de la turbiedad



Grafica 5. Variación de los Sólidos Suspendidos Totales en dique y descarga



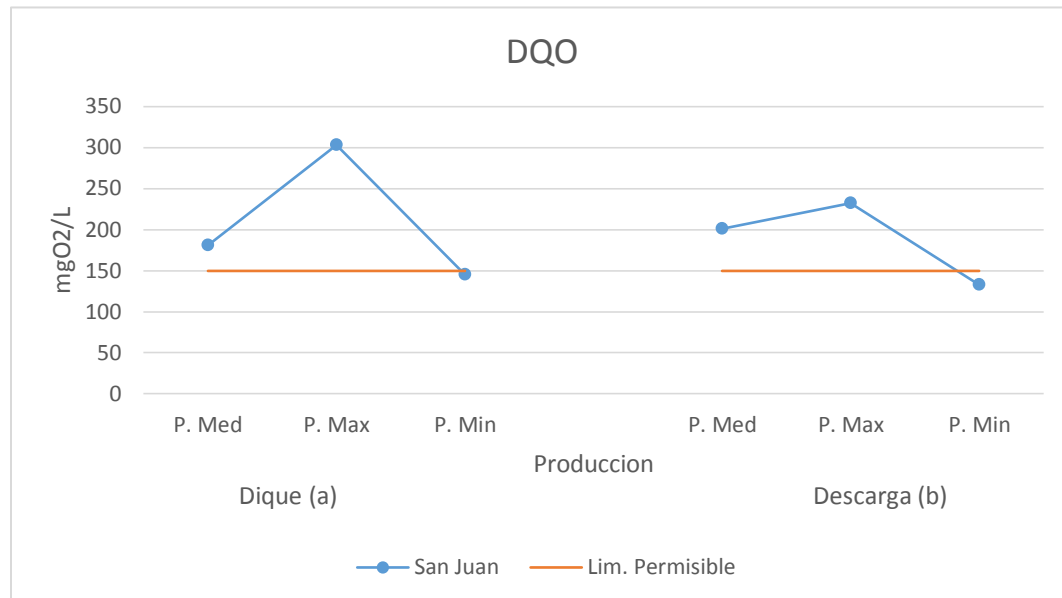
Grafica 6. Variación de turbiedad en dique (a) y descarga (b)

En la gráfica 5 se observa claramente que los valores de los sólidos suspendidos totales tomados diques (a), presenta valores mayores con respecto a las concentraciones obtenidas en la descarga (b), de acuerdo a la resolución 0631 del 2015 se establece que para la industria minera, el valor máximos permisibles de los Sólidos Suspendidos Totales en los vertimientos puntuales de aguas residuales de 50.00 mg/L.

Las aguas residuales provenientes de la industria minera generan gran cantidad de SST en sus etapas productivas en especial el beneficio de oro, debido a la trituración que se emplea con fin de convertir las rocas de las minas en material de menor tamaño que acaba en medio líquido aportando materia suspendida. Estos solidos que se encuentran suspendidos son material coloidal no se disuelve en agua, consisten en limos finos que son transportados por acciones de la corriente de agua hacia los tanques de sedimentación, tal como se muestra en la descarga (b) de la gráfica 5 se observa que hay remoción de los sólidos suspendidos totales desde el inicio de los tanques sedimentarios hasta el vertimiento al cuerpo de agua superficial continuo a la unidad minera.

Es importante recalcar que en la p.max existe una diferencia representativa en la generación de materia suspendida causando aportes negativos a la calidad del agua del cuerpo receptor, de tal manera afectando su aspecto visual y transparencia del agua como impedimento del paso de la luz por el aumento de la turbiedad. En la gráfica 6 se puede observar los valores de turbiedad registrados en los puntos de intervención.

4.1.3.6 Demanda química de Oxígeno



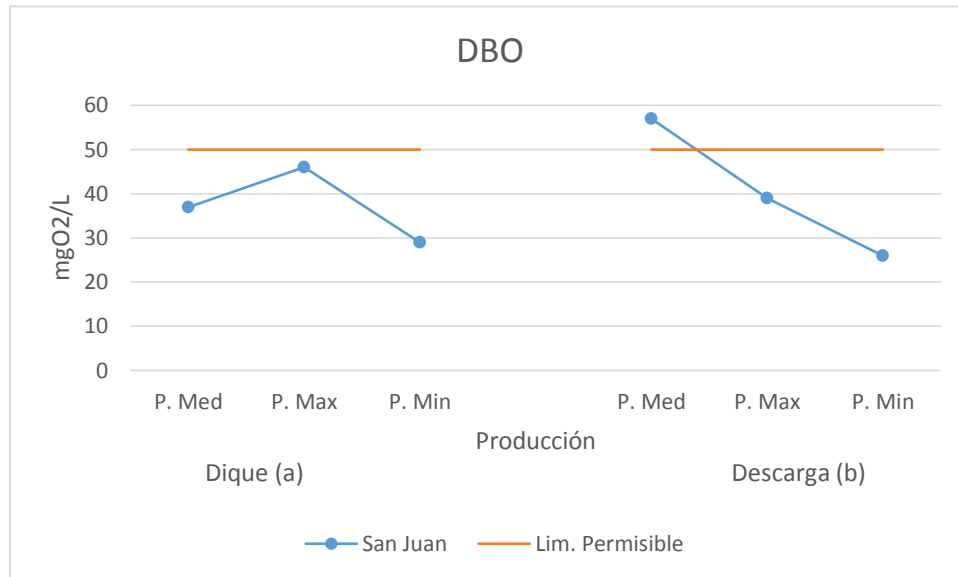
Gráfica 7. Variaciones de la Demanda Química de Oxígeno en dique (a) y descarga (b)

La resolución 0631 del 2015 aclara que los valores obtenidos de la demanda química de oxígeno sobrepasan los límites máximos permitidos para vertimiento puntuales, se establece un valor máximo de 150 mg/L de DQO. Los valores como se muestran en la gráfica 7, se encuentran por encima del valor permitido. Sin embargo se pudo establecer que los tres resultados para cada punto son cercanos, lo cual indica que no hay diferencias significativas en la distribuciones de las contracciones de cada uno de los muestreos, la demanda química de oxígeno se establece como cantidad de oxígeno que es consumido por las sustancias contaminantes que están en ese agua durante un cierto tiempo, ya sean sustancias contaminantes orgánicas o inorgánicas.

4.1.3.7 Demanda bioquímica de Oxígeno

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los

microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C.[36]



Grafica 8. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en dique (a) y descarga (b)

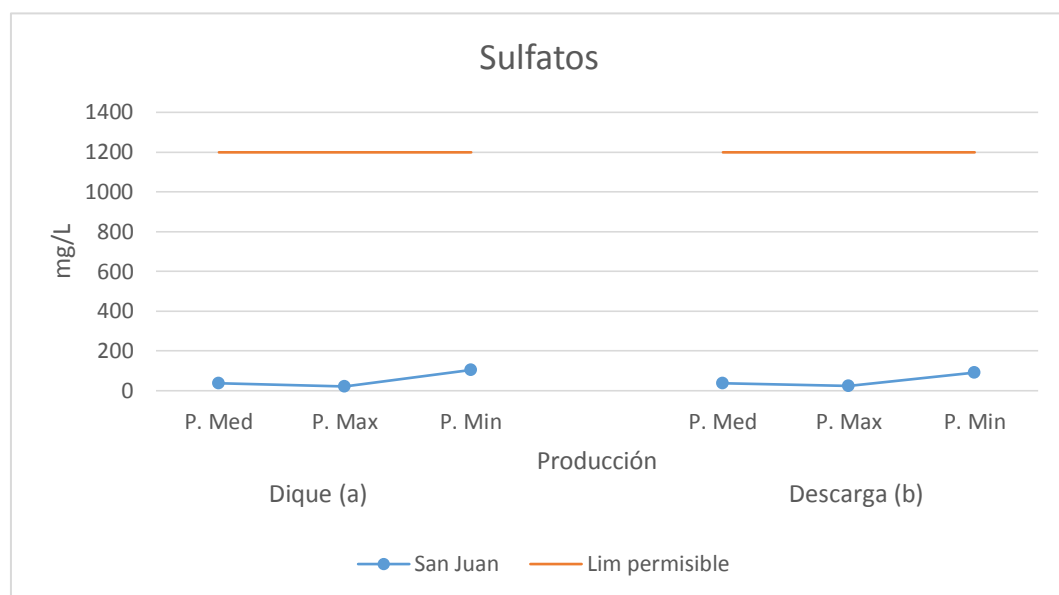
La concentraciones de DBO₅ puede ser aportada en este caso por material orgánico disuelto en el agua que se usa o la materia orgánica que se encuentra en medio del mineral a procesar. En la gráfica 8 se observa que en el punto de la descarga (b) sobre pasa el límite permisible en la p.med, sin embargo en estos casos no se justifica pensar en tratamiento para reducir estas concentraciones en el efluente, de acuerdo a la normativa de la legislación de Colombia en el vertimiento puntual de las aguas residuales de la actividad minera se estable valor límite de la DBO₅ de 50 mgO₂/L.

Índice de biodegradabilidad o relación DBO/DQO fundamental para la depuración de las aguas residuales por medio de microorganismos, al tratarse de un índice tan bajo de 0.178 en dique y 0.215 descarga, no es recomendable un tratamiento

biológico sino químico y físico ya que la relación es muy baja y el agua residual generada es mayormente inorgánica.

4.1.3.8 Sulfatos

El sulfato SO_4^{2-} se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y puede estar presente en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos miligramos por litro hasta algunos gramos por litro. Algunos drenajes de minería pueden contribuir con grandes cantidades de sulfatos a través de la oxidación de pirritas.[37]



Grafica 9. Variaciones del Sulfatos en dique (a) y descarga (b)

Particularmente la presencia de sulfatos en las aguas residuales de la industria minera, son debidas a la alta mineralización de rocas, puede darse el caso haya presencia de azufre libre los cuales dan lugar a los sulfatos, debido que los minerales del municipio de Suarez son ricos en contenidos de pirita y calcopirita.

En la gráfica 9 se observa que los valores de concentración del sulfato en dique (a) y la descarga (b), no sobrepasan el límite máximo permisible establecido en la resolución 0631 del 2015 de 1.200 mg/L. sin embargo cabe mencionar la importancia sanitaria del sulfato debido al efecto que puede causar a la salud. También es importante su medición en el agua residual para medir rutas de

reacciones del mercurio en medio acuoso, ya que los sulfuros pueden reaccionar con los metales como el mercurio. Y el sulfuro se produce por la reducción del sulfato. La reducción de sulfatos vía bacteriana es el principal mecanismo que produce sulfuros, en condiciones sedimentarias. Existe también la posibilidad de que a elevadas temperaturas el sulfato pueda ser químicamente reducido a H₂S.

Inicialmente la materia orgánica utiliza, en su oxidación, el oxígeno disuelto en el agua y, posteriormente, cuando el oxígeno se agota, toma el oxígeno de otros agentes oxidantes. La oxidación total de los componentes orgánicos da como resultado la formación de CO₂, según la siguiente reacción que esquematiza el proceso de reducción de sulfato:

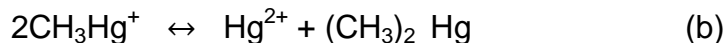


Donde CH₂O representa la fuente de materia orgánica. La correcta estequiometría de la reacción dependerá de la naturaleza de la materia orgánica involucrada.[38]

4.4.8.1 Formación de sulfuros de mercurio:

Su formación en el agua está sujeta a altas concentraciones de sulfuros y ausencia de oxígeno. El HgS tienen solubilidad baja en el agua y es difícilmente metilado. Es formado tan pronto como el mercurio divalente y los iones sulfuro se presentan simultáneamente. El ion sulfuro sobre el cual se forma el HgS puede ser sulfuros como FeS y CaS; y si está presente un exceso de iones sulfuro libre se formará el complejo ionizado HgS²⁻.

EL HgS también puede ser formado de monometilmercurio en presencia de iones sulfuro, donde el equilibrio es:

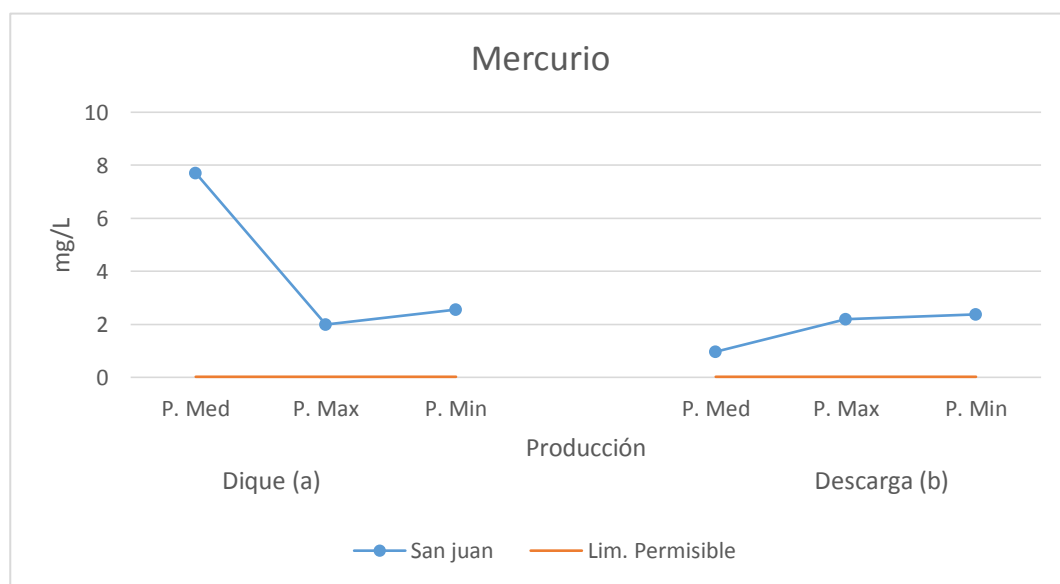


El equilibrio en la reacción (b) puede moverse a la derecha si el Hg²⁺ es removido por la formación de HgS en la reacción (c). Como el Dimetilmercurio es volátil y muy poco soluble en el agua también será removido de la fase acuosa después de

la formación.[39] una vez formados los sulfuros de mercurio estos son precipitados de forma de gas.

4.1.3.9 Mercurio

Las concentraciones de mercurio bajo condiciones de producción media, máxima y mínima se presentan en la gráfica 10:



Gráfica 10. Variaciones del mercurio en dique (a) y descarga (b)

El mercurio, como ya se dijo antes, aparece en la naturaleza en diferentes estados de oxidación y en compuestos orgánicos e inorgánicos. Pueden aparecer en la fase gaseosa en (Hg elemental, Dimetilmercurio), como líquido (Hg elemental), en los suelos mineralizados y sedimentos anaeróbicos el mercurio aparece como cinabrio. En las aguas residuales del entable San Juan proveniente del beneficio de oro, el mercurio se encuentra en rangos que varían desde 0.97 mg/L hasta 7.71 mg/L. basado en la resolución 0631 del 2015 las concentraciones de mercurio reportadas sobre pasan los límites máximos permisibles establecido (0.02 mg/L) en los vertimientos a cuerpos de agua superficial.

Lo anterior indica que el riesgo ambiental y para la salud de los mineros y población en general es extremadamente alto, las vías de exposición pueden ser a través de los alimentos los cuales son fuente principal transportadora de mercurio a la comunidad que no están expuestas por motivos laborales, por estas razón es importante dar paso a un estudio dirigido a la contaminación de mercurio generada en el entable minero, sus perdida y sus posibles vías de contaminación por medio del balance de masa de mercurio que se presenta más adelante.

Existe una gran variedad de metales pesado en las aguas residuales de las industrias mineras como plomo, cobre y hierro, pero el más conocido y abundante es el hierro, una vez presente en el agua forman una amplia variedad de complejos de iones de metales y materia orgánica. La presencia de estos metales y sus concentraciones en el agua del entable minero es vital para considerar cualquier tipo de tratamiento para la remoción de mercurio y otros metales presentes.

Al considerar estas concentraciones de metales pesados se considera que los trabajadores y comunidad cercana se encuentran expuestos a muchos factores de contaminación que pueden repercutir sobre la salud y causar afectación en el medio ambiente. Cabe destacar que los valores máximos permitido en la resolución para los anteriores parámetros se presentan en la tabla 10.

Tabla 10.Valores máximo permisibles.

Parámetro	Unidades	Valor límite máximo permisible
Cobre (Cu)	mg/L	1.00
Plomo (Pb)	mg/L	0.20
Hierro (Fe)	mg/L	2.00

Debido a los datos reportados de hierro para dique (a) de 397.6 mg/L y para descarga (b) de 249.1 mg/L. Es importante investigar como el hierro el cual es el metal más abundante puede entrar en competencia con el mercurio a la hora de plantear un tratamiento para su remoción.

4.1.3.10 Cianuro libre y Disociable

El cianuro libre es la suma de todos los iones de cianuros y cianuro metálicos lábiles determinados de acuerdo con la norma ISO-14403. En la tabla 7 se observan las concentraciones reportadas de cianuro libre y disociable en aguas residuales de la instalación de amalgamiento del entable minero San Juan, estas concentraciones pueden presentarse debido a la mala manipulación de reactivos, el uso de herramienta contaminadas y por medio de infiltración del agua residual con contenidos de cianuros que posteriormente por escorrentías pueden tener contactos con los dique de colas, es importante mencionar que en la industria minera se emplea grandes cantidades de cianuro con el fin de recuperar todas las partículas de oro no recuperadas mediante un proceso de amalgamiento.

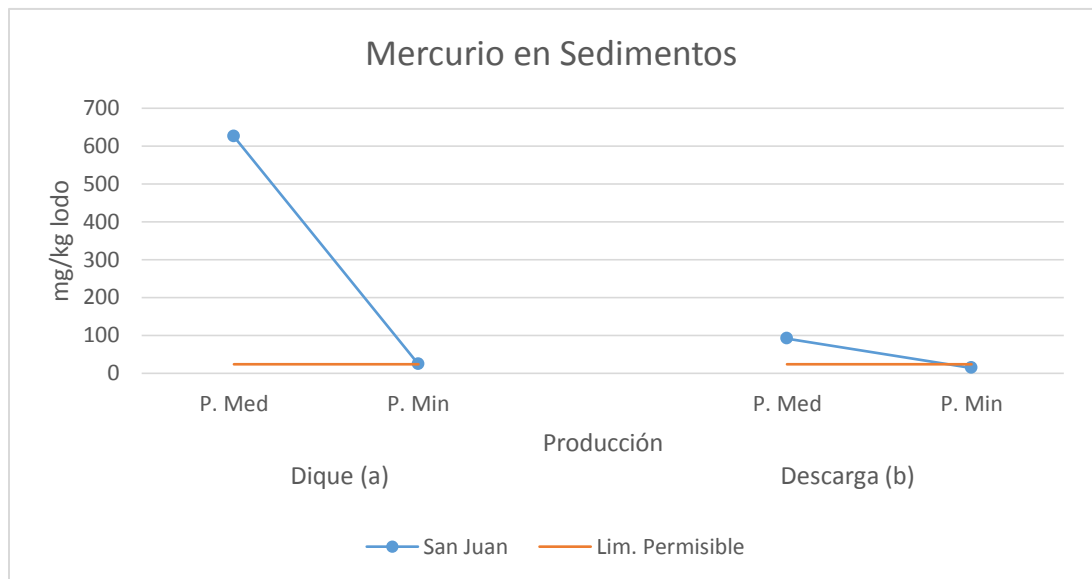
La resolución 0631 del 2015 establece limite máximos permisible de cianuro en agua residuales en minería de 1.00 mg/L, de acuerdo a lo anterior se puede decir que los niveles de concentración reportadas no sobrepasan los límites permisible, sin embargo es importante su monitoreo debido a que es un elemento que en muy bajas proporciones puede tener efectos negativos en la vida acuática y ser fatal para la salud humana, su toxicidad depende directamente de su concentración, y otros factores como la temperatura y pH, es volátil a pH neutro o alcalinos. Por otro lado, la medición del cianuro se considera una vez, para confirmar su presencia o ausencia.

4.1.3.11 Mercurio en sedimentos

En cumplimiento de los objetivos los niveles de mercurio en sedimentos encontrados señalan que los efluentes de la unidad de producción minera, con

altas concentraciones de lodos generados producto del beneficio de oro, se puede decir que estos son fuente principal de acumulación de iones de metales pesados, aportando a si concentraciones significativas de mercurio a la fuente receptora por medio del transporte de los sedimento no sedimentados en la unidad de retención.

Teniendo en cuenta que en la actualidad de Colombia no existe normatividad que establezca valores máximos permisible para la valoración de sedimentos generados durante procesos industriales mineros, se hace necesario el Decreto Supremo N° 002 del 2013-Minam, por el cual se reglamenta y se aprueban los valores admisibles de mercurio en sedimentos de actividades industriales con un valor máximo de 24 mg/kg.



Grafica 11. Variación del mercurio en sedimentos en dique (a) y descarga (b)

Los valores reportados de mercurio en sedimentos en la gráfica 11, se puede observar la variación de la concentración en los puntos dique (a) y la descarga (b), en el día de P.med se obtuvieron valores que varían desde 91 mg/kg hasta 650 mg/kg de lodo. De acuerdo al Decreto Supremo No 002 del 2013- Minam las concentraciones de mercurio en sedimento superan significativamente los valores

máximos permitidos, es importante mencionar que estas concentraciones varían de acuerdo a la etapa productiva del entable minero.

4.2 DETERMINACION DE LAS PÉRDIDAS DE MERCURIO

4.2.1 Balance de masa de mercurio.

El balance de masa se realiza con el fin de estimar la cantidad de mercurio presentes en agua y lodos luego del proceso de amalgamación y recuperación de mercurio debido a la etapa productiva, bajo condiciones controladas de mineral, gasto de mercurio y agua

Para la realización del modelo del balance de masa primero se realizó un lavado en toda el área de estudio con el propósito de determinar los niveles de mercurio que se pierden durante el proceso de molienda de minerales. En cumplimiento al balance de masa se tomaron muestras de aguas y sedimentos bajo condiciones del caudal mínimo durante la producción del agua residual para la determinación de las posibles pérdidas.

Las muestras fueron enviadas y analizadas por el laboratorio de la universidad tecnológica de Pereira. Reportando niveles de concentración de mercurio presente en agua y sedimento, como se muestra tabla 11, la determinación del contenido total de mercurio en agua se realizó mediante la técnica de absorción atómica-vapor frío con el fin de lograr la disolución del metal. Con reporte de datos en agua de 5.85 mg Hg/L y un valor en sedimento de 2.01 g Hg/ Kg de lodo. En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos, con lo que es posible establecer las pérdidas de mercurio en el proceso de beneficio de oro en entable San Juan.

Tabla 11. Valores del balance de masa.

Descripción	Valores
Mercurio de ingreso	311.845 g
Mercurio recuperado	226.796 g
Mercurio segregado en lodos	2.01 g Hg / kg
Mercurio en descarga de agua residual al cuerpo receptor	5.85 mg Hg /L
Material ingresado	80 Kg
Tambores en funcionamiento	2
Gasto de agua	0.67 l/s

Tabla 12.Registros de aforos de caudales de aguas residuales producidas.

Intervalo de tiempo para medición de caudales (min)	Tiempo (seg) Aforo	Volumen (ml)
5	3	1500
10	3	1640
15	3	2540
20	3	2710
25	3	1830
30	3	1590
35	3	2180
40	3	2100
Caudal promedio		Caudal= 0.67 l/s

Para hallar la cantidad de mercurio en el lodo, se tuvo en cuenta el volumen del lodo y su densidad de acuerdo al cálculo matemático

$$\text{Volumen}_{\text{lodo}} = \text{ancho} * \text{largo} * \text{altura} \quad (7)$$

$$\text{Volumen}_{\text{lodo}} = 1.0 \text{ m} * 1.0 \text{ m} * 0.08 \text{ m} = 0.02 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 20 \text{ L}$$

Densidad_{Lodo} = 1.15 kg/ L debido a que el volumen de sólidos en medio acuoso se encuentra muy diluido en la mezcla total.

$$m = d * v \quad (8)$$

$$m_{Lodo} = 1,15 \frac{Kg}{L} * 20L = 23Kg$$

$$m_{Hg} = 2.01 \frac{g Hg}{Kg lodo} * 23 Kg$$

$$m_{Hg} = 46.23 g Hg$$

Para estimar la cantidad de mercurio que llega al cuerpo receptor a través del agua residual, se tiene en cuenta el volumen de agua gastado.

$$Volumen_{agua} = 1608 L$$

$$m_{Hg\text{en agua}} = 5.85 \frac{mg}{l} * \frac{1 g}{1000 mg} * 1608 l = 9.4 g Hg$$

A partir de la fórmula 9 se determina cuantitativamente las pérdidas de mercurio en el sistema de la unidad de producción minera San Juan con el propósito de conocer los valores y funcionamiento de la unidad de retención de lodos después de previo lavado de materiales.

Entonces

$$Hg_{Entrada} = Hg_{Recuperado} + Hg_{Lodo} + Hg_{Descargado} + Hg_{Perdida} \quad (9)$$

$$Hg_{Perdida} = Hg_{Entrada} - Hg_{Recuperado} - Hg_{Lodo} - Hg_{Descargado}$$

$$Hg_{Perdida} = 311.845 g Hg - 226.796 g Hg - 46.23 g Hg - 9.4 g Hg$$

$$Hg_{Perdida} = 29.42 g Hg$$

Se tuvieron en cuenta factores que pueden incidir en los resultado como la acumulación del mercurio en el interior de los tambores o cocos amalgamadores, otro aspecto considerable es la porosidad de las canaletas que conducen el agua residual hacia las unidades de retención, las cuales inciden en el acumulamiento

de niveles de mercurio. Es importante mencionar que las pérdidas de mercurio presentes en los lodos son drásticamente altas, que por acción de una corriente de aguas son arrastradas a los diques de colas y posteriormente a cuerpos de aguas superficiales.

Por estas razones, se considera que los procesos que se llevan a cabo en la unidad minera generan pérdidas significativas a causa del mal uso y poca recuperación del metal durante el lavado de materiales, también se considera el funcionamiento de los dique de cola como no óptimo para de retención y remoción de materia suspendida y el mercurio.

El mercurio es un elemento residual de difícil biodegradabilidad debido a sus propiedades fisicoquímicas y capacidad de biocumularse en medios acuáticos, es importante considerar tratamientos para las aguas residuales del entable minero debido a los aportes de concentración elevadas de mercurio a cuerpos de aguas superficiales. A través del proceso del balance se sustenta que existen perdidas por volatilización de las cuales se ven expuestos el personal laboral y comunidad en general, no se ha verificado la veracidad de las pérdidas evaporadas por su alto costo de medición, por tanto no existen datos exactos de estas pérdidas.

Por otro lado, se considera que durante la retención de material suspendido en las aguas residuales del entable minero, se estén generando pérdidas de mercurio a través del fondo de las unidades de retención, esto se debe a que la loza de estos diques es suelo compactado, se presume que estas pérdidas pueden ser movilizadas a capas del suelo más profundas.

Sin embargo puede darse el caso que las pérdidas totales del balance tengan un error despreciable, ya que por casualidad, los resultados están sujetos bajo las condiciones del ambiente del área de trabajo, también pueden estar asociadas a residuos presentes en los canales conductores de agua residual o en los mismos barriles donde se realiza el proceso de molienda. Realizado el cálculo matemático se obtuvieron pérdidas de 29.42 g Hg, equivalente a una onza de mercurio. Sin

embargo se asume que las pérdidas están comprendidas por los argumentos mencionados con anterioridad, donde se desconocen los medios de pérdidas.

4.3 ALTERNATIVAS DE PRETRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO PREVIO.

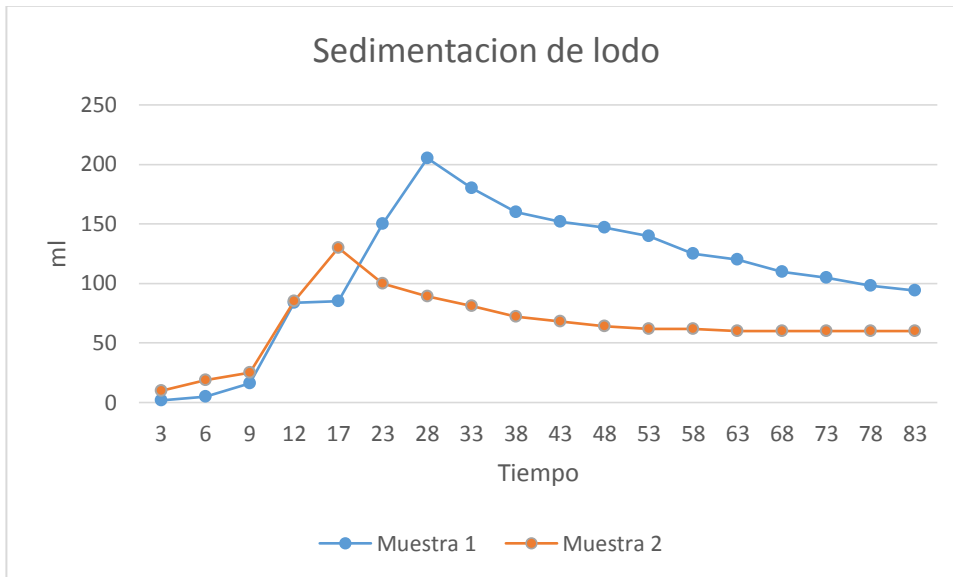
4.3.1 Cálculos de la prueba de sedimentabilidad.

La sedimentación es una operación de separación de fases fluido-sólido, en las que las partículas sólidas se separan del fluido debido a que por su mayor densidad, tienden a sedimentar debido a la gravedad.

Tabla 13. Datos generales de la prueba de sedimentabilidad.

Muestra 1 ml	Tiempo min	Muestra 2 ml
2	3	10
5	3	19
16	3	25
84	3	85
85	5	130
150	5	100
205	5	89
180	5	81
160	5	72
152	5	68
147	5	64
140	5	62
125	5	62
120	5	60
110	5	60
105	5	60
98	5	60
94	5	60
Tiempo total = 01: 24:00 min		

La expresión muestra 1, 2 hace referencia a las muestras de aguas residual tomada en los diques de colas, la muestra 1 corresponde al agua generada al pre lavado de materiales y la muestra 2 es el agua del primer lavado. En la Tabla 13 se presentan los resultados analizados en la prueba de sedimentabilidad.



Grafica 12. Perfiles de la interfase del ensayo de sedimentabilidad

De acuerdo a la gráfica 12 se puede observar el comportamiento del lodo en las dos muestras de aguas analizadas, es importante mencionar que por cada muestra se tomaron un litro de agua residual generada durante previo lavado de materiales, considerando que los sólidos de la muestra 2 sedimentan con una velocidad relativamente rápida debido a que las partículas son más densas, que la muestra 1, sin embargo los perfiles de la gráfica indican que se requiere de un tiempo corto para obtener una fase líquida clara, sin sólidos en suspensión, la altura máxima de sedimentación para la muestra 1 se alcanzó aproximadamente en dos horas, mientras que la muestra 2 estabilizó transcurrida una hora y ocho minutos.

Por otro lado los tiempos se determinaron de acuerdo a la velocidad de sedimentación tomando como tiempo inicial tres minutos y posteriormente se realizó el análisis cada cinco minutos hasta alcanzar la tasa de sedimentación.

4.3.2 Criterios de diseño

De acuerdo al RAS – 2000, título f se toman los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización y tratamiento de aguas residuales.

- ✓ El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- ✓ El número de unidades mínimas en paralelo es de cuatros (4) para efectos de mantenimiento.
- ✓ El periodo de operación es de 24 horas por día.
- ✓ El tiempo de retención será entre 2 - 6 horas.
- ✓ La carga superficial será entre los valores de 2 - 10 m³ /m² /día.
- ✓ La profundidad del sedimentador está entre 1,5 – 2,5 m.
- ✓ La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) está entre los valores de 3 - 6.
- ✓ El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
- ✓ La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- ✓ La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- ✓ Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.

4.3.3 Cálculos de resultados y diseño del sedimentador convencional

Para el diseño del sedimentador se tuvo en cuenta el caudal establecido en el balance de masa, el cual responde a las condiciones ideales de consumo de agua, contrarias a las encontradas durante las tres jornadas realizada en el entable.

Se tiene como datos:

Caudal Máximo: $0.67 \frac{L}{s}$

Densidad relativa limo = 1.8

Diámetro de la partícula: 0,001 cm

Temperatura del agua: 25 °C

Entonces de la tablas 4. Viscosidad cinemática (μ) = $0.00896 \text{ cm}^2/\text{s}$

Mediante la fórmula (3) de la ley de Stokes se determina la velocidad de sedimentación (V_s) de la siguiente manera:

$$V_s = \frac{981}{18} * \frac{\rho_s - 1}{\mu} * d^2 \quad (3)$$

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 \text{ Cm/s}^2 * \frac{1,8 - 1}{0,00896 \text{ Cm}^2/\text{s}} * (0,001 \text{ cm})^2$$

$$V_s = 0,0049 \text{ Cm/s}$$

$$V_s = 0,0049 \frac{\text{Cm}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 0.000049 \text{ m/s}$$

Caudal de diseño

$$Q = 670 \frac{\text{ml}}{\text{S}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ ml}} = 0.000670 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se determina el área superficial de la unidad (A_s).

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

$$A_s = \frac{0,000670 \text{ m}^3/\text{Sg}}{0,000049 \text{ m/Sg}} = 13.77 \text{ m}^2$$

Se asume un ancho del sedimentador y se determina la longitud de la zona de sedimentación.

$$B = 2.3 \text{ m Asumido}$$

$$L_2 = \frac{A_s}{B} = \frac{13.77}{2.3} = 5.98 \text{ m}$$

Se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora.

$$L_1 = 1.0 \text{ m Asumido}$$

Entonces se tiene como longitud de la unidad:

$$L = L_1 + L_2$$

$$L = 1.0 \text{ m} + 5.98 \text{ m} = 6.98 \text{ m}$$

Se verifica si cumple la relación de L/B de los criterios de diseño:

$$\frac{L}{B} = \frac{6.98 \text{ m}}{2.3 \text{ m}} = 3.03 \text{ m}$$

La relación largo ancho cumple el criterio de diseño.

Se asume la profundidad de 2.0 m y se verifica la relación L/H de los criterios de diseño

$$\frac{L}{H} = \frac{6.98 \text{ m}}{2.0 \text{ m}} = 3.49 \text{ m}$$

Se determina la velocidad horizontal V_H.

$$V_H = \frac{100 \times Q}{B \times H}$$

$$V_H = \frac{100 \times 0,000670 \text{ m}^3/\text{s}}{2,3 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}} = 0.014 \text{ m/s}$$

Con un vertedero de salida de longitud de cresta igual al ancho de la unidad se tiene como altura de agua sobre el vertedero.

$$H_2 = \left[\frac{Q}{1,84 * B} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H_2 = \left[\frac{0,000670 \text{ m}^3/\text{s}}{1,84 \times 2,3 \text{ m}} \right]^{\frac{2}{3}} = 0.0029 \text{ m}^2$$

Para el diseño de la pantalla difusora:

Se asume una velocidad de paso entre los orificios

$$V_0 = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se determina el área total de los orificios:

$$A_0 = \frac{Q}{V_0} = \frac{0.000670 \text{ m}^3/\text{s}}{0.1 \text{ m/s}} = 0.2 \text{ m}^2$$

Se adopta un diámetro de orificio:

$$d_o = 0,075 \text{ m}$$

Entonces se determina el área de cada orificio:

$$a_o = 0,0044 \text{ m}^2$$

Se determina el número de orificios:

$$n = \frac{A_0}{a_o} = \frac{0.2 \text{ m}^2}{0.0044 \text{ m}^2} = 45$$

Se determina la porción de altura de la pantalla difusora con orificios:

$$h = H - \frac{2}{5} \times H$$

$$h = 2.0 \text{ m} - \frac{2}{5} \times 2.0 \text{ m} = 1.2 \text{ m}$$

Se asume un número de filas de orificios

$$n_f = 5$$

Entonces se tiene el número de columnas

$$n_c = 9$$

Se determina el espaciamiento entre filas:

$$a_1 = \frac{h}{n_f} = \frac{1,2 \text{ m}}{5} = 0.24 \text{ m}$$

Se determina el espaciamiento entre columnas:

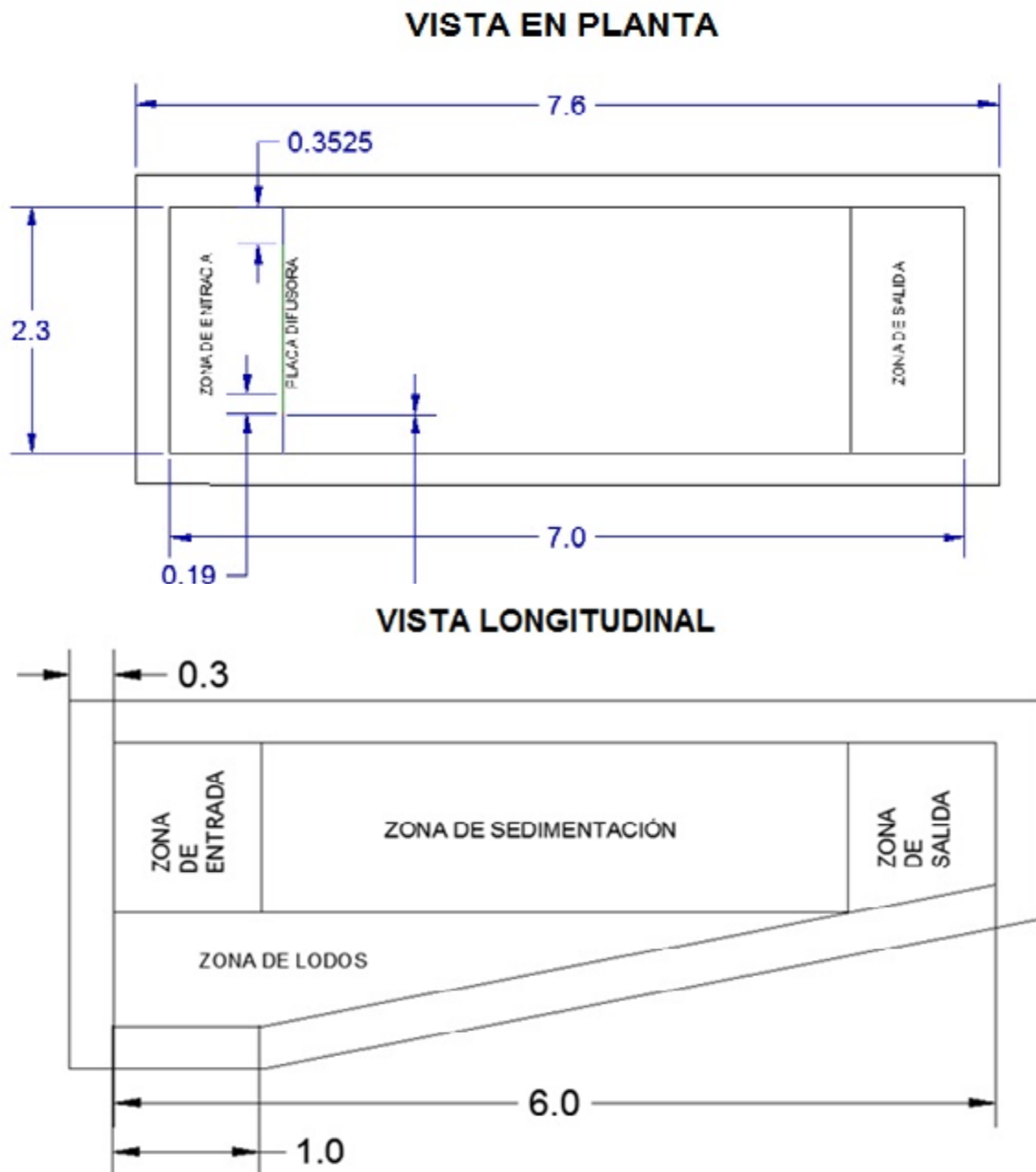
$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2}$$

$$a_2 = \frac{2.3 \text{ m} - 0.24 \text{ m} (9 - 1)}{2}$$

$$a_2 = 0,19 \text{ m}$$

Esta unidad se podrá dividir en cuatro partes o zonas, en cada una de estas zonas se lleva a cabo una función:

Figura 10.vista en planta y longitudinal del sedimentador convencional.



- a) Zona de entrada: Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- b) Zona de sedimentación: Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.
- c) Zona de salida: Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.
- d) Zona de recolección de lodos: Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.[40]

4.4.4 Buenas prácticas ambientales

No es difícil imaginar las graves consecuencias medioambientales y socioeconómicas generadas a causas de la minería a pequeña y mediana escala, el presente documento se justifica como una iniciativa de puente de comunicación entre el estado y mineros para que en conjunto adopten acciones necesarias para reducir los impactos generado a causa del sector minero, buscando establecer el desarrollo de una minería limpia y sustentable en el territorio a nivel regional y nacional, por medio de la implementación y uso de buenas prácticas ambientales mineras se alcanzara el uso racional de los recursos naturales e insumos con altos niveles de toxicidad.

El municipio de Suárez ha padecido los estragos de la minería legal e ilegal, generando una serie de pasivos ambientales en la región. De acuerdo al documento se pretende sensibilizar a toda la comunidad minera sobre las afectaciones generadas al medio ambiente, debido al uso inadecuado y descontrolado de productos químicos en actividad minera. La implantación de

buenas prácticas ambientales deber ser asumida por la comunidad minera en general. Como base se plantean algunas variables a considerar.

4.4.4.1 Uso eficiente y ahorro del agua

La minería utiliza el agua principalmente para el procesamiento de minerales, actualmente el consumo de agua en la industria minera aumenta de manera acelerada debido a la representatividad del sector en las economías locales. Además, no se tiene conciencia de la necesidad de garantizar la máxima sostenibilidad del agua en la industria, por otro lado el agua que utilizan provienen de fuentes superficiales las cuales se requiere proteger al máximo. El ahorro de agua debe ser considerado como una premisa fundamental, especialmente en este sector las compañías mineras deben entender realmente el impacto sobre los recursos hídricos y como protegiéndolos podríamos retornar positivamente en desarrollo sustentable y racional.

- a) Es importante que las unidades de producción minera instalen sistemas y dispositivos de regulación de caudal, debido a que es un sector que demanda altos consumos de agua en el procesamiento de minerales.
- b) Es fundamental que durante las horas de inactividad de los entables mineros, permanezcan cerradas las llaves para tal forma no malgastar agua.
- c) Asesorarse que los accesorios y tuberías de conducción del fluido no presenten posibles escapes.
- d) Implementar sistemas recolectores de agua residuales para el reutilizar nuevamente en los procesos.

4.4.4.2 Uso de sustancias toxicas

En función del tipo de sustancias toxicas empleadas en la industria minera para el beneficio de oro, lo cual provocan contaminación en todas sus fases; desde la obtención hasta que se convierten en residuos, si nos acostumbramos a reducir el uso de mercurio en las actividades minera contribuiremos a disminuir la degradación de medios acuáticos, afectaciones en la salud y posteriormente las contaminación del agua.

- a) Reducir el uso de mercurio en los procesos de beneficio de oro
- b) Usar únicamente la cantidad necesaria
- c) Durante el lavado de materiales el personal debe poseer su dotación de seguridad para la manipulación de sustancias toxicas, evitando así el contacto o la inhalación que puede causar afectaciones a la salud.
- d) Evitar la quema de amalgamas que contengan niveles de mercurio en espacio libre.

4.4.4.3 Manejo de arenas

En la actividad minera debido a la mineralización de rocas, se generan grandes cantidades de arenas producto del beneficio de oro, actualmente las unidades mineras no presentan albergues suficientes para el almacenamiento de subproductos generados, generando así el aporte de carga suspendida a cuerpos de aguas

- a) Realizarse un previo mantenimiento a los albergue con el fin de recuperar todas las arenas resultantes de acuerdo a la producción minera.
- b) Almacenar en espacios ideales y alejados de fuentes de aguas superficiales para evitar aporte de arena por escorrentía.

4.4.4.4 Gestión de los residuos generados

La minería constituye un caso especial en lo que a generación de residuos, los residuos generados por este tipo de acciones están constituidos por la generación de residuos del suelo vegetal y residuos de flotación resultantes del tratamiento de minerales, es fundamental el tratamiento o gestión de estos residuos debido a los impactos que estos provocan en el medio ambiente.

- a) En los procesos que generan lodos residuales, constituido por una suspensión acuosa de la mena triturada y tratada es recomendable tener un pretratamiento físico para la remoción y separación de solido-fluido separando los sólidos del fluido por acción de la gravedad.
- b) Evitar las descargas directas de residuos de flotación a cuerpos de aguas residuales.
- c) Tener sitios adecuado para el depósito de materiales estéril extraído de los socavones, los cuales alteran el aspecto visual del territorio.
- d) Separar en recipientes etiquetados cada tipo de residuo generado en las instalaciones, por ejemplo, separando los diferentes tipos de papel, plástico y materiales que hayan contenido mercurio u otros metales.

4.4.4.5 Salud ocupacional

Independientemente los trabajos de la activada minera para su realización el minero requiere levantar o manipular objetos (maquinas, herramientas y equipos) en los cuales deben exceder su capacidad de fuerza principalmente en los brazos y otras partes del cuerpo, considerada como una de las actividades de mucho forzamientos, de tal modo se recomienda algunas variables con el fin de prevenir lesiones.

- a) Evite realizar giros de tronco cuando manipula una carga pesada.
- b) Siempre levante la carga de frente y no de lado.

- c) Verifique que el camino por donde va a transportar el objeto esté libre de obstáculos.
- d) Conseguir que nuestro lugar de trabajo periódicamente sea un entorno saludable, conservar niveles de humedad.
- e) Evitar permanecer en una sola posición durante largo tiempo, esto previene la fatiga muscular.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se evidencio que los efluentes de la unidad de producción minera está a portando altas concentraciones de mercurio en aguas, tanto en sedimento a fuente de agua superficial.

De acuerdo a las condiciones culturales del pequeño y mediano minero, el uso mercurio aunque peligroso representa una técnica eficiente de recuperación de oro, por ser un proceso rápido y económico. Sin embargo la peligrosidad de este no proviene de la actividad misma, si no de la baja tecnificación y control del proceso.

Se observa que la zona se encuentra altamente contaminada y se hace necesario tomar medidas rápidas al respecto aún más teniendo en cuenta que los síntomas toxicológicos y enfermedades tardan mucho tiempo en aparecer.

Los reservorios de arena o diques de colas empleados no presentan altas remociones de contaminantes que posteriormente causan alteraciones a los cuerpos de aguas superficiales, generando unos pasivos ambientales cada vez mayores.

La minería afecta a las comunidades que habitan en zonas aledañas en aspectos estructurales, sistema económico, y entorno territorial, generando la migración de población hacia las áreas de explotación, conllevando la demanda de bienes y servicios, buscando empleo, conflictos, cambios en el comportamiento, forma de vida, patrones y costumbres y demás factores socio-culturales.

En el área estudiada, ya existe afectación al recurso hidrológico, evidenciado en los cambios marcados que tienen que ver con la degradación del lecho, sedimentación e inestabilidad, así como la presencia del Mercurio, que ya han alterado la fauna y calidad del agua.

5.2. RECOMENDACIONES

Prestar atención especial a las pequeñas y medianas empresas mineras con asistencia tecnológica y financiera para el desarrollo de una minera sustentable y amigable con el medio ambiente.

Se debe proponer tratamientos de aguas residuales de bajo costo con el fin de brindar al pequeño y mediano minero oportunidades de garantizar el cumplimiento de la norma y trabajar de forma legal.

Promover la educación ambiental e informar a la comunidad minera sobre los posibles riesgos ocupacionales en el uso y manejo de amalgama de mercurio en las actividades mineras.

Mejorar y optimizar los depósitos para el tratamiento y control de los rechazos mineros con el fin de reducir el aporte de carga suspendida a los cuerpos de aguas superficiales cercanos.

Adoptar medidas de seguimiento y control que permitan la vigilancia necesaria para una aplicación adecuada en los procesos del beneficio y transformación de materiales como medidas de producción más limpia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] machado Luis Gregorio, Henao Natalia Andrea, o. j. Hernán, y Marín Fabián Darío, «problemática ambiental ocasionada por el mercurio proveniente de la minería aurífera tradicional, en el corregimiento de providencia, Antioquia.», universidad de Antioquia, Antioquia, 2010.
- [2] I. Javier, higuera pablo, y o. Roberto, minería ambiental: una introducción a los impactos y sus remediación. 2011.
- [3] «estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera de oro». [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/319993084/cadena-mercurio-tomo-iii>. [Accedido: 25-ene-2017].
- [4] cano Santiago, «contaminación con mercurio por la actividad minera | español cano | biomédica», inst. Nac. Salud, vol. 32, sep. 2012.
- [5] Pantoja timarán, Fredy PhD, «tecnologías apropiadas para disminuir la contaminación ocasionada por mercurio en la minería del oro», 2001.
- [6] valencia venté José Alfredo, «afectación minera en el norte del cauca». 2012.
- [7] Luis Carrión cabrera, «tesis de contaminación por mercurio», 11:59:00 utc.
- [8] alcaldía municipal Suárez, «nuestro municipio, información general», 2015. [En línea]. Disponible en: http://suarez-cauca.gov.co/informacion_general.shtml. [Accedido: 26-ene-2017].
- [9] africano López pedro Ernesto, «evaluación minero - ambiental del distrito minero de Suárez». 2007.
- [10] m. yarto, a. gavilán, y j. castro, «la contaminación por mercurio en México», gac. Ecológica, vol. 72, 2004.
- [11] cabrera vique c, r. l. md, y Javier f, «mercury in from south-eastern spain: possible sources of pollution».
- [12] v. s. Solís y m. a. Astudillo, «contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo nanay», Cienc. Amaz. Iquitos, vol. 3, n.º 1, pp. 24-32, jun. 2013.
- [13] j. olivero-verbel, f. Young-castro, y k. caballero-gallardo, «contaminación por mercurio en aire del distrito minero de san Martín de loba en el departamento de bolívar, Colombia», Rev. Int. Contam. ambient., vol. 30, 2014.
- [14] f. a. d. Arriaga, «mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano», Rev. Salud pública, vol. 16, n.º 6, pp. 947-957, jul. 2015.
- [15] C. Díaz y l. del pilar, «minería de oro artesanal y a pequeña escala en timbiquí-cauca una aproximación histórica a sus efectos socio ambientales desde la perspectiva de los actores locales», 2011.
- [16] Saavedra silva, Elvira Eva y Sánchez Salazar, maría teresa, «minería y espacio en el distrito minero Pachuca–real del monte en el siglo xix», 2008, p. 65.
- [17] Guiza Leonardo, «la pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña», Univ. Rosario Bogotá 2012, p. 9, 2013.

- [18] Salvatore g y barbera s, «control de sedimentos en pequeña minería aurífera en hoja de lata, municipio Sifontes, estado bolívar», ucv - bibl. Dr virgil winkler - fac. ing., p. 151 p; 28 cm, 2005.
- [19] ministerio del medio ambiente y dirección general ambiental sectorial, «diagnóstico y proyecciones de la gestión minero ambiental para las regiones auríferas de Colombia». 2002.
- [20] I. valderrama1, j. chamorro1, d. olguín2, j. rivera3, y, j. oyarce3, «amalgamación de concentrado de oro obtenido en concentrador knelson», Rev. Fac. ing., n.º PP., 2012.
- [21] s. l. c. González, «tecnología más limpia en el beneficio de oro sin mercurio.pdf», ingeniera de producción biotecnológica, 2014.
- [22] «agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (Atsdr).» Servicio de salud pública., 1999.
- [23] Monteagudo Montenegro, Fabricio Arturo, «evaluación de la contaminación por mercurio en población de mineros artesanales de oro de la comunidad de santa filomena – Ayacucho – Perú. Durante el periodo agosto 2000 – setiembre 2001», universidad nacional mayor de san marco, lima Perú, 2002.
- [24] Poulin j, gibb h., «mercurio | evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local | salud sin daño», organ. Mund. Salud ginebra, p. 16, 2008.
- [25] cano Santiago, «toxicología del mercurio. Actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental». .
- [26] comisión nacional del medio ambiente, «plan nacional de gestión de riesgos del mercurio». 2008.
- [27] yactayo Víctor Maldonado, «sedimentación». .
- [28] a. gestion-calidad.com, «la norma iso/IEC 17025», gestion-calidad.com, 08-sep-2016. .
- [29] organización panamericana de la salud, «guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores». 2005.
- [30] Aznar Jiménez Antonio, «determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas.», instituto tecnológico de química y materiales. Universidad Carlos iii.
- [31] Gaitán maría Stella, «determinación de oxígeno disuelto por el método yodo métrico modificación de azida». 2004.
- [32] goyenola Guillermo, «guía para la utilización de las valijas viajeras.», red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos red mapsa, 2007.
- [33] Guillermo goyenola, «guía para la utilización de las valijas viajeras - determinación del pH». 2007.
- [34] Sanabria Suarez Doris, «conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas». Subdirección de hidrología grupo-laboratorio de calidad ambiental, 2006.
- [35] Velasco saragoni teresita Sofía, «estudio electroquímico de la lixiviación de pirita», 2009.

- [36] navarro, María Olga, «demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría». Subdirección de hidrología - grupo laboratorio de calidad ambiental, 2007.
- [37] Bojaca María del pilar, «sulfatos en agua por el método nefelométrico». Subdirección de hidrología – grupo laboratorio de calidad ambiental, 2007.
- [38] «leccionhq18.pdf». .
- [39] Jiménez Gómez, María angélica, «interacción del mercurio con los componentes del agua residual», universidad nacional de Colombia, Manizales, 2005.
- [40] Hernando Ruiz López, «operación y mantenimiento de plantas de potabilización de agua», 1999. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html. [Accedido: 06-mar-2017].

ANEXOS

ANEXOS 1. MEDICIÓN DE PARÁMETROS PARA LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN MINERA SAN JUAN.

Producción Mínima

TEMPERATURA °C

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	° C	Promedio	Unidad	° C	Promedio	Unidad
	24,7	24,5		24,5	24,3	
	23,7					
	25,1					
	24,7					
				23,6		
				25		
				24,2		

PH

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	PH	Promedio	Unidad	PH	Promedio	Unidad
	6,26	6,5	Unidades de pH	6,77	6,7	Unidades de pH
	6,20					
	7,05					
	6,64					
				5,46		
				7,24		
				7,33		

Conductividad Eléctrica (CE)

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	CE	Promedio	Unidad	CE	Promedio	Unidad
	114,1	139,7	ppm	91,1	145,6	ppm
	146,6					
	166					
	132,2					
				120,7		
				143		
				127,5		

Oxígeno Disuelto (OD)

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	OD	Promedio	Unidad	OD	Promedio	Unidad
	4,32	3,81	mg/L	6,14	5,57	mg/L
	5,80			5,22		
	1,36			5,83		
	3,76			5,11		

Turbiedad

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	Turbiedad	Promedio	Unidad	Turbiedad	Promedio	Unidad
	5838	5838	NTU	3372	3372	NTU

Producción Media.

TEMPERATURA °C

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	T°	Promedio	Unidad	T°	Promedio	Unidad
	23,8	24,6		24,6	24,7	
	24,7			24,8		
	24,6			24,9		
	24,8			24,7		
	25			24,6		

pH

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	PH	Promedio	Unidad	PH	Promedio	Unidad
	8,79	8,79	Unidades de pH	8,96	8,96	Unidades de pH

Conductividad Eléctrica (CE)

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	CE	Promedio	Unidad	CE	Promedio	Unidad
	152,6	145,2	ppm	138,9	131,7	ppm
	87,7					
	82,4					
	299					
	104,1					
	133,8					

Oxígeno Disuelto (OD)

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	OD	Promedio	Unidad	OD	Promedio	Unidad
	5,21	5,67	mg/L	4,85	5,77	mg/L
	6,65					
	6,59					
	3,74					
	6,16					
	6,32					

Turbiedad

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	Turbiedad	Promedio	Unidad	Turbiedad	Promedio	Unidad
	3853	3853	NTU	4990	4990	NTU

Producción Máximo.

TEMPERATURA °C

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	T°	Promedio	Unidad	T°	Promedio	Unidad
	25,7	26,6		26	25,9	
	26,7			25,7		
	28,1			25,3		
	26			26,4		

pH

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	PH	Promedio	Unidad	PH	Promedio	Unidad
	7,89	7,035	Unidades de pH	7,14	6,77	Unidades de pH
	5,26			5,68		
	7,64			7,29		
	7,35			6,99		

Conductividad Eléctrica (CE)

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	CE	Promedio	Unidad	CE	Promedio	Unidad
	96,4	105,85	ppm	105,7	106,37	ppm
	83,5			75,3		
	132,6			146,1		
	110,9			98,4		

Oxígeno Disuelto (OD)

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	OD	Promedio	Unidad	OD	Promedio	Unidad
	1,25	2,89	mg/L	4,93	4,50	mg/L
	3,59			5,22		
	4,45			5,05		
	2,26			2,79		

Turbiedad

	DIQUE			DESCARGA		
parámetro	Turbiedad	Promedio	Unidad	Turbiedad	Promedio	Unidad
	15328	15328	NTU	7472	7472	NTU

Anexos 2. AFOROS DE CAUDALES

Caudal mínimo.

	AFORO 1	AFORO 2	AFORO 3
	2220	4460	4000
	3380	4670	3680
	5290	4810	3930
Promedio	10890	13940	11610
ml/s	1209 ml/s	1548 ml/s	1290 ml/s

Caudal medio.

	AFORO 1	AFORO 2
	2670	5300
	2900	6070
	2840	7140
Promedio	8410 ml	18510 ml
ml/s	934 ml/s	2056 ml/s

Caudal máximo.

	AFORO 1	AFORO 2	AFORO 3
	4800	5050	5760
	5100	3340	6580
	5550	2310	6550
Promedio	15450 ml	10700 ml	18890 ml
ml/s	1716 ml/s	1188 ml/s	2098 ml/ s

Anexos 3. Registro Fotográfico

Imagen 1. Mediciones de la canaleta.



Imagen 2. Mediciones de diques



Imagen 3. Vertimiento del agua residual



Imagen 4. Toma de muestras en el vertimiento.



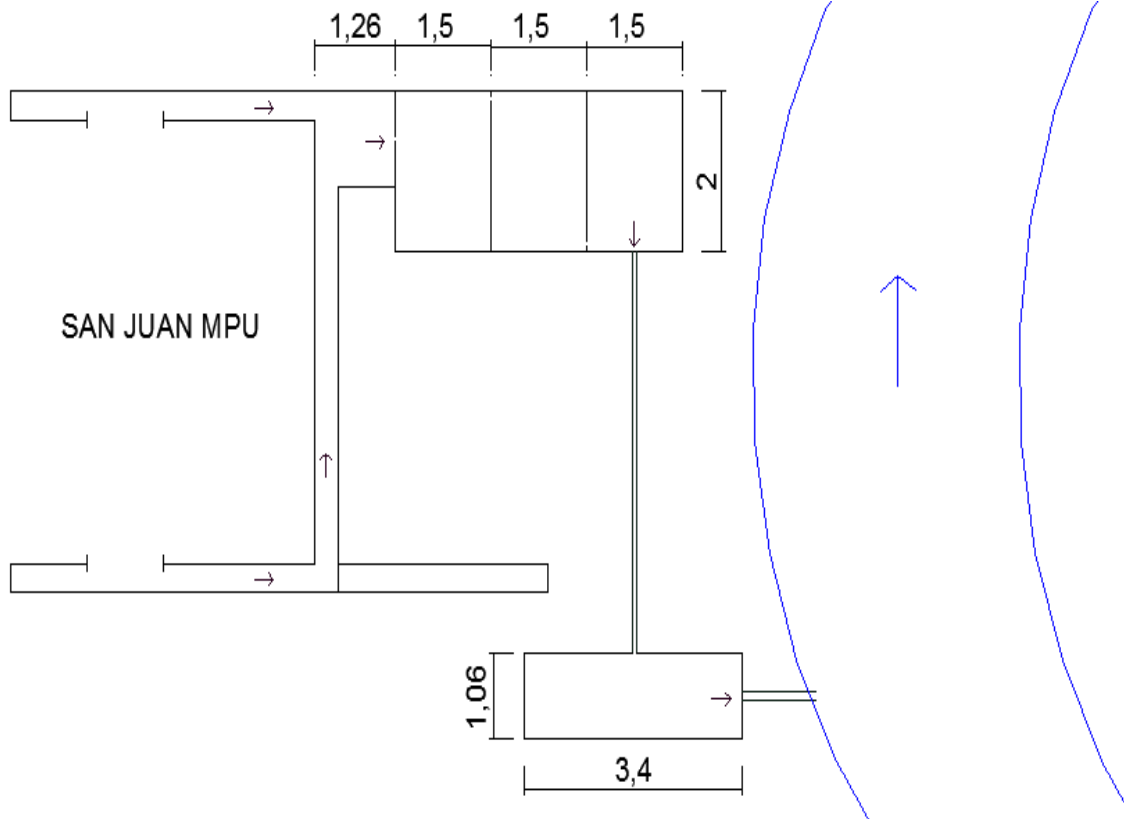
Imagen 5. Medición de parámetros in situ.



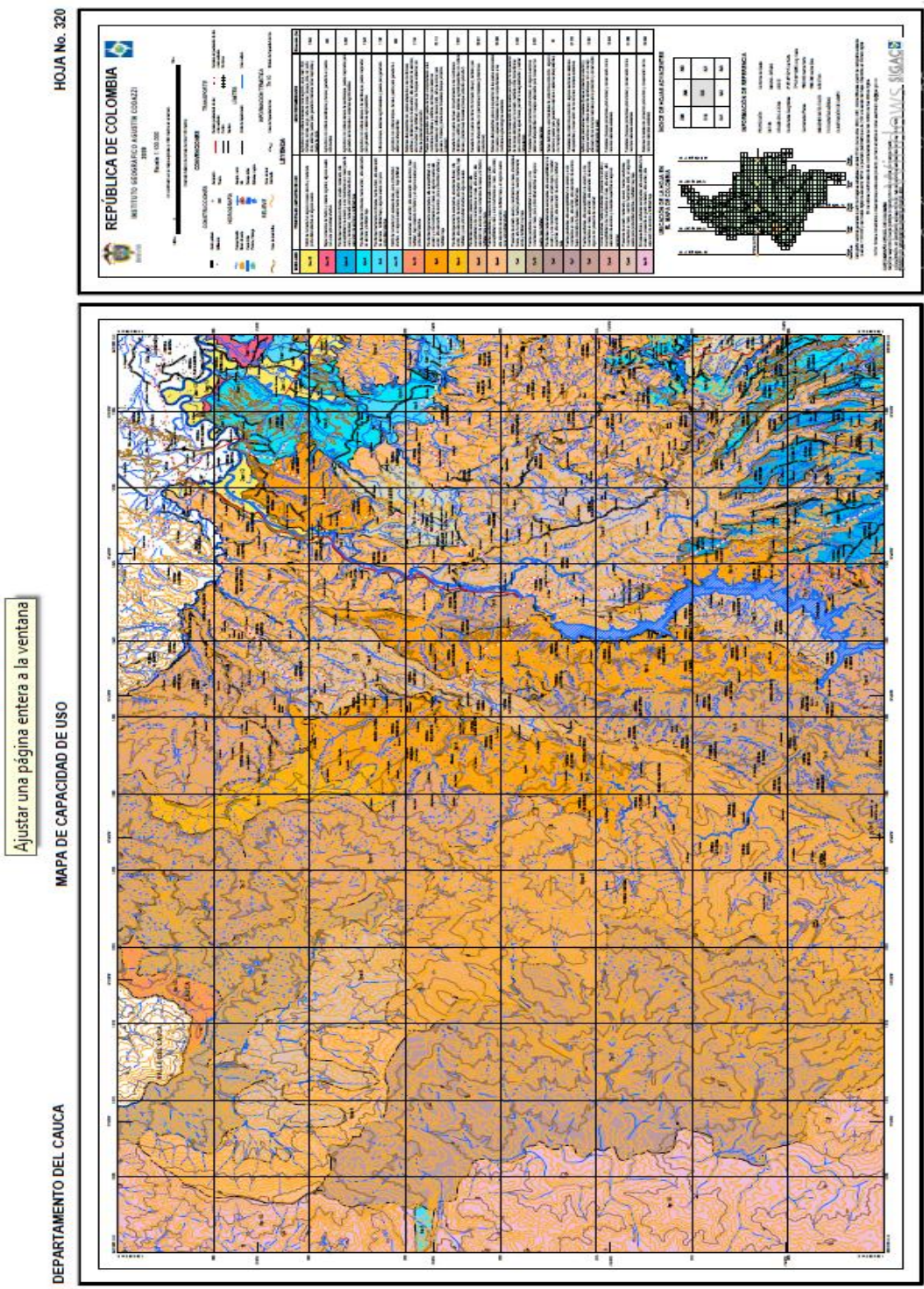
Imagen 6. Lavado de las instalaciones para realizar balance de masa



Anexos 4.Plano del entable minero San Juan del Municipio de Suarez Cauca



Anexos 5. Mapa de capacidad de uso Suarez Cauca.



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (IGAC); 2017

Anexos 7. Parámetros Físicoquímicos analizados en el laboratorio.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN

INFORME DE RESULTADOS

Código:	PS-IACT-06
Versión:	4
Fecha:	2015-02-06
Página:	1 de 3

INFORME DE RESULTADOS No. 1377/16

Laboratorio: **Análisis de Aguas y Alimentos**

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas
Día	Mes	Año		
19	12	2016	1049/16	3
DATOS DE LA EMPRESA				
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA		Nit o C.C.:	891.501.766-6
Solicitante:	Carlos Miquel Torrado		Cargo:	Docente Investigador
Dirección:	Calle 5 No 3-85		Teléfono/Fax:	(2) 282 13 000
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca		Correo electrónico:	Adriana.sanchez.v@uni-autonoma.edu.co
Lugar de Toma de muestras:	---		Fecha de Toma de muestras:	---
Muestras tomadas por:	---		Fecha de Recepción de las Muestras:	2016-10-20
<p>_____ BETTY PINZÓN Auxiliar Administrativo Elaboró</p>			<p>_____ OLGA INÉS VALLEJO V. Responsable Técnico Matricula PQI-0172 Revisó</p>	
<p>_____ CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matricula PQI-0177 Aprobó</p>				

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
 Teléfonos: Telefax: (57) (8) 321 5760 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co

Activar W



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION

Código	2015-02-08
Versión	4
Fecha	2015-02-08
Página	2 de 3

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No.	1377/16
---------------------------	---------

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
San Juan (1.1 – 1.4)	Agua Residual	N.A	2016-10-20	927-5	Muestras entregadas por Carlos Andrés Lucumi en el laboratorio y recibidas por Betty Pinzón
San Juan (2.1 – 2.4)				927-6	Las siguientes muestras se componen así: 927-5: Mezcla 927-1 y 927-2 927-6: Mezcla 927-3 y 927-4

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					927-5	Ø expa	927-6	Ø expa	XXX-XX	Ø expa
2016-11-28	Mercurio	SM: 3114 – C Generador de Hidruros Continuo, Absorción Atómica	---	mg Hg/L	7,71	---	0,97	---	---	---

Ø expa = Incertidumbre Expandida

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co

Activar W



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSIÓN

Código:	254-IA-706
Versión:	4
Fecha:	2015-03-06
Página:	1 de 5

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No.	1298/16
---------------------------	---------

Laboratorio: **Análisis de Aguas y Alimentos**

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas				
Día	Mes	Año	1049/16	5				
30	11	2016						
DATOS DE LA EMPRESA								
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA			Nit o C.C.:	891.501.766-8			
Solicitante:	Carlos Miguel Torrado			Cargo:	Docente Investigador			
Dirección:	Calle 5 No 3-85			Teléfono/Fax:	(2) 282 13 000			
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca			Correo electrónico:	Adriana.sanchez.v@uniautonomia.edu.co			
Lugar de Toma de muestras:	---			Fecha de Toma de muestras:	---			
Muestras tomadas por:	---			Fecha de Recepción de las Muestras:	2016-10-20			
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> <p>_____ BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró</p> </td> <td style="width: 50%; border: none;"> <p>_____ OLGA INÉS VALLEJO V. Responsable Técnico Matrícula PQI-0172 Revisó</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border: none;"> <p>_____ CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matrícula PQI-0177 Aprobó</p> </td> </tr> </table>					<p>_____ BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró</p>	<p>_____ OLGA INÉS VALLEJO V. Responsable Técnico Matrícula PQI-0172 Revisó</p>	<p>_____ CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matrícula PQI-0177 Aprobó</p>	
<p>_____ BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró</p>	<p>_____ OLGA INÉS VALLEJO V. Responsable Técnico Matrícula PQI-0172 Revisó</p>							
<p>_____ CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matrícula PQI-0177 Aprobó</p>								

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co

Activar W



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION

Código	25-LAB-008
Versión	4
Fecha	2015-02-08
Página	2 de 5

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 1298/16

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
San Juan (1,1)	Agua Residual	N.A	2016-10-20	927-1	Muestras entregadas por Carlos Andrés Lucumi en el laboratorio y recibidas por Betty Pinzón Las siguientes muestras se componen así: 927-5: Mezcla 927-1 y 927-2 927-6: Mezcla 927-3 y 927-4
San Juan (1,4)				927-2	
San Juan (2,1)				927-3	
San Juan (2,4)				927-4	
San Juan (1,1 – 1,4)				927-5	
San Juan (2,1 – 2,4)				927-6	

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					927-1	Ü expa	927-2	Ü expa	927-3	Ü expa
2016-10-20	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ / L	169	---	181	---	167	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	7	---	37	---	9	---

Ü expa = Incertidumbre Expandida

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co.

Activar W



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION

Código	104-AB-106
Versión	4
Fecha	2015-03-06
Página	3 de 5

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 1298/18

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					927-4	U expa	XXX-XX	U expa	XXX-XX	U expa
2016-10-20	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ / L	201	---	---	---	---	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	57	---	---	---	---	---

U expa = Incertidumbre Expandida

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					927-5	U expa	927-6	U expa	XXX-XX	U expa
2016-10-28	Sulfatos	SM: 4500-SO ₄ ²⁻ -E Turbidimétrico	---	mg SO ₄ ²⁻ / L	37	± 0,8	36	± 0,8	---	---
	Sólidos suspendidos totales	SM: 2540 - D Sólidos Suspendidos Totales a 1049 - 105°C	---	mg / L	3318	---	3334	---	---	---
	Sólidos disueltos totales	SM: 2540 - C Sólidos Disueltos Totales a 180°C	---	mg / L	172	---	177	---	---	---
2016-10-20	Cianuro Libre y Disociable	Fotométrico-1,3 dimetilbarbitúrico-piridina	---	mg CN ⁻ /L	0,008	---	0,005	---	---	---
2016-10-20	Turbiedad	SM: 2130 B. Nefelométrico	---	NTU	3853	---	4900	---	---	---

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co

Activar W
Ir a Configuración



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN

INFORME DE RESULTADOS

Código	25-LAB-108
Versión	4
Fecha	2015-02-08
Página	4 de 5

INFORME DE RESULTADOS No.	1298/16
---------------------------	---------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					927-5	U expa	927-6	U expa	XXX-XX	U expa
2016-11-25	Plomo	SM: 3113 B Espectrometría de Absorción Atómica Electrotérmico-Horno	---	mg Pb / L	0,0088	---	0,068	---	---	---
2016-11-18	Hierro Total	SM: 3111 B Directo llama Acetileno Aire	---	mg Fe/L	397,6	---	249,1	---	---	---
2016-11-21	Cobre		---	mg Cu/L	4,21	---	1,98	---	---	---

^{U expa} = Incertidumbre Expandida

OBSERVACIONES:

- El laboratorio NO EMITE OPINIONES NI DECLARACIONES con el cumplimiento o no cumplimiento de los requisitos y/o especificaciones
- Los análisis se realizaron basados en procedimientos que se encuentran en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Edición 22 ND de 2012 y de las Normas técnicas Colombianas.
- El Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos-UTP está autorizado por el Ministerio de la Protección Social para realizar análisis Organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos al agua potable, mediante la Resolución # 1615 de Mayo 15 de 2015.
- El Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos-UTP, tiene Acreditación ONAC vigente a la fecha, con código de Acreditación 10-LAB-029, bajo la Norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 en los siguientes análisis:
Aguas Potables o Para Consumo, Aguas Tratadas, Aguas Envasadas y Aguas Crudas: Alcalinidad Total, pH, Dureza Total, Aluminio, Hierro Total, Fluoruros, Conductividad, Nitritos, Nitratos, Turbiedad, Zinc, Magnesio, Calcio, Níquel, Manganeseo, Cobre Total, Cloruros, Dureza Cálctica, Sulfatos.
Bebidas Alcohólicas (ron – aguardiente): Hierro y Cobre.
Agua de Piscina: pH, Dureza Total, Aluminio
- Los resultados contenidos en el presente reporte se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de las muestras analizadas.

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co.

Activar Wi
Ir a Configura



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN

Código	204-LAB-F06
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	1 de 5

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 1486/16

Laboratorio: Análisis de Aguas y Alimentos

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas	
Día	Mes	Año			
30	01	2017	1271/16	3	
DATOS DE LA EMPRESA					
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA			Nit o C.C.:	891.501.766-6
Solicitante:	Carlos Miquel Torrado			Cargo:	Docente Investigador
Dirección:	Calle 5 No 3-85			Teléfono/Fax:	(2) 282 13 000
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca			Correo electrónico:	Adriana.sanchez.v@uni-autonoma.edu.co
Lugar de Toma de muestras:	---			Fecha de Toma de muestras:	---
Muestras tomadas por:	---			Fecha de Recepción de las Muestras:	2016-12-12
BETTY PINZÓN Auxiliar Administrativo Elaboró			OLGA INÉS VALLEJO VARGAS Responsable Técnico Matricula PQI-0172 Revisó		
CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matricula PQI-0177 Aprobó					

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
 Teléfonos: Telefax: (57) (8) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co

Activar



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSION

INFORME DE RESULTADOS

Código	254-AA-106
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	2 de 3

INFORME DE RESULTADOS No. 1486/16

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Diques	Agua Residual	N.A	2016-12-12	1219-1	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado (Transamenia 276036) y recepcionadas por Betty Pinzón.
Descarga				1219-2	

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					1219-1	U expa	1219-2	U expa	XXX-XX	U expa
2016-12-12	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ / L	303	---	232	---	---	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	46	---	39	---	---	---
2016-12-21	Sulfatos	SM: 4500-SO ₄ ²⁻ E Turbidimétrico	---	mg SO ₄ ²⁻ / L	22	---	23	---	---	---
2016-12-14	Sólidos Suspensos Totales	SM: 2540 - D Sólidos Suspensos Totales a 103 - 105°C	---	mg / L	18496	---	14015	---	---	---
	Sólidos Disueltos Totales	SM: 2540 - C Sólidos Disueltos Totales a 180°C	---	mg / L	185	---	188	---	---	---
2016-12-12	Cianuro Libre y Disociable	Fotométrico- 1,3 dimetilbarbiturico-piridina	---	mg CN/ L	< 0,002	---	< 0,002	---	---	---

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaquas@utp.edu.co

Activar Wi



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSIÓN

Código	73-LAB-706
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	3 de 3

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 1486/18

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					1219-1	U expa	1219-2	U expa	XXX-XX	U expa
2017-01-27	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	----	mg Hg / L	2,00	---	2,19	---	---	---

^UU expa = Incertidumbre Expn

OBSERVACIONES:

- El laboratorio **NO EMITE OPINIONES NI DECLARACIONES** con el cumplimiento o no cumplimiento de los requisitos y/o especificaciones
- Los análisis se realizaron basados en procedimientos que se encuentran en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Edición 22 ND de 2012 y de las Normas técnicas Colombianas.
- El Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos-UTP está autorizado por el Ministerio de la Protección Social para realizar análisis Organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos al agua potable, mediante la Resolución # 1615 de Mayo 15 de 2015.
- El Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos-UTP, tiene Acreditación ONAC vigente a la fecha, con código de Acreditación 10-LAB-029, bajo la Norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 en los siguientes análisis:
Aguas Potables o Para Consumo, Aguas Tratadas, Aguas Envasadas y Aguas Crudas: Alcalinidad Total, pH, Dureza Total, Aluminio, Hierro Total, Fluoruros, Conductividad, Nitritos, Nitratos, Turbiedad, Zinc, Magnesio, Calcio, Níquel, Manganeseo, Cobre Total, Cloruros, Dureza Cálctica, Sulfatos.
Bebidas Alcohólicas (ron – aguardiente): Hierro y Cobre.
Agua de Piscina: pH, Dureza Total, Aluminio
- Los resultados contenidos en el presente reporte se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de las muestras analizadas.
- Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos, bajo sus condiciones ambientales.
- Este resultado hace referencia única y exclusivamente a las muestras analizadas.
- Los ensayos microbiológicos son realizados por la Microbióloga (o): EDITH YANETH DURAN M.
- Este reporte expresa fielmente el resultado de los análisis realizados. No podrá ser reproducido totalmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio. **No se realizan cambios del Informe de Resultados después de su emisión.**

-----Fin del Reporte-----

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (8) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co

Activar¹