

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA ESPECIE *Heliconia psittacorum* EN LA
REMOCIÓN DE MERCURIO PROVENIENTE DE LOS EFLUENTES MINEROS
EN UN ENTABLE DE SUÁREZ CAUCA.



PAULA DANIELA CORAL CEBALLOS

LENNY LORENA GÓMEZ ANGULO

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

2017

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA ESPECIE *Heliconia psittacorum* EN LA
REMOCIÓN DE MERCURIO PROVENIENTE DE LOS EFLUENTES MINEROS
EN UN ENTABLE DE SUÁREZ CAUCA.



PAULA DANIELA CORAL CEBALLOS

LENNY LORENA GÓMEZ ANGULO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria

DIRECTOR

Biólogo

ARNOL ARIAS HOYOS

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados de trabajo de grado Evaluación de la eficiencia de la especie *Heliconia Psittacorum* en la remoción de mercurio proveniente de los efluentes mineros en un entable de Suarez Cauca, realizado por Paula Daniela Coral Ceballos y Lenny Lorena Gómez Angulo, una vez revisado el informe final y aprobada la sustentación del mismo, autorizan para que se realicen los tramites concernientes para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria.

Firma del director

Jurado 1

Jurado 2

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado primeramente a Dios, por la vida y por estar en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por darme serenidad en los momentos de adversidad y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, por darme la vida, por su amor y comprensión, por creer en mí; en especial a mi madre por su apoyo incondicional incluso en los momentos tormentosos, porque gracias a ti soy la persona que soy.

A mis abuelos por su cariño y apoyo siempre, este triunfo también se lo debo a ustedes y es para ustedes. A mis hermanos, por estar conmigo y apoyarme siempre, los amo, y demás familiares que me ayudaron a culminar mi carrera profesional.

PAULA DANIELA CORAL.

El presente trabajo, se lo dedico principalmente a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, a mis padres, Diego y Aleida, por regalarme la oportunidad de engrandecer mis conocimientos y crecer profesionalmente, por apoyarme y alimentar siempre el deseo de superación, a mi hermana Yisell por ser mi ejemplo a seguir, porque voy tras sus pasos, para alcanzar sus logros y a mi hermano Mauricio por sus continuas demostraciones de cariño que fueron parte de mi inspiración.

LENNY LORENA GOMEZ

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, por guiarme de la mejor manera en cada uno de los pasos por permitirme tener en el transcurrir de la vida experiencias y aprendizajes.

Le doy gracias a mis padres Alba y Eduar por la educación que me han brindado y los valores que me han inculcado formando la mujer que soy, por su motivación y comprensión en todo momento muchos de mis logros se los debo a ustedes, por acompañarme en los momentos críticos y de alegría en este camino para la culminación de mi carrera profesional los amo mucho.

A mis abuelitos Servio y Etilia por ser parte importante de mi vida y ayudar en mi proceso de formación, por su apoyo, su generosidad, por la confianza que depositaron en mí puedo decir ¡ya soy Ingeniera! A mis hermanos Viviana y Sebastian que son mi pilar y demás familiares que siempre me apoyaron y creyeron en mí.

Al cuerpo de docentes que me brindaron sus conocimientos y el apoyo a lo largo de la carrera por su amistad y comprensión.

A nuestro director Arnol Arias por brindarme su conocimiento y experiencia en este arduo trabajo, por su apoyo, comprensión, por impulsarme para no desfallecer en el transcurso de este camino

A mis compañeros, por compartir los buenos y malos momentos, en especial a Lenny por su amistad, paciencia y compañía en el proceso, y a mi novio Carlos por su amor y apoyo incondicional valió la pena luchar juntos por una meta, si bien a de terminar esta etapa me queda la satisfacción de haber compartido con personas tan valiosas

A todos aquellos que hicieron posible cumplir esta meta.

PAULA DANIELA CORAL.

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy.

A mis padres, por haber forjado la base de mis conocimientos y mis valores, por su apoyo incondicional, su comprensión, su confianza, su amor y por siempre impulsarme a seguir adelante y no desfallecer, a mis hermanos, por brindarme siempre sus sentimientos puros, sinceros y leales, y ser fuente de inspiración y a mis demás familiares que siempre han estado presentes.

A la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca por abrirnos sus puertas, al cuerpo de docentes, por compartir sus conocimientos día a día en el aula de clase, los cuales fueron fundamentales en el desarrollo de este proyecto y al cuerpo administrativo por prestarnos sus servicios siempre que fue necesario.

A mis compañeros por haber sido parte de esta experiencia, por brindarme su amistad y su colaboración, en especial a Paula, por estar conmigo de principio a fin en este sendero, porque mutuamente nos apoyamos en los momentos de flaquezas y porque juntas luchamos por alcanzar este objetivo, porque más que una compañera fue una amiga.

A nuestro director Arnol, por su paciencia, por su apoyo y por sus valiosos aportes, para enriquecer nuestro trabajo.

Al dueño y al encargado del estable minero Las Palmas, porque comprensiva y amablemente, nos prestaron el espacio para llevar a cabo este proyecto.

Y en general, a todos aquellos que hicieron posible la ejecución y feliz término de este trabajo, mis más sinceros agradamientos.

LENNY LORENA GÓMEZ

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1	3
1.2. JUSTIFICACIÓN	6
1.3. OBJETIVOS.	8
1.3.1. Objetivo general	8
1.3.2. Objetivos específicos. ---	8
CAPITULO 2: MARCO CONCEPTUAL Y REFERENCIAS CONCEPTUALES. ...	9
2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. BASES TEÓRICAS. MARCO REFERENCIAL	12
2.2.1. Zona de estudio.	12
2.2.2 Minería aurífera.....	14
2.2.3. Descripción general del proceso minero en la minería aurífera de filón.	16
2.2.4. Aguas residuales.....	18
2.2.5. Tratamiento de aguas residuales	19
2.2.6. Metales pesados	19
2.2.7 Mercurio	20
2.2.8. Fitorremediación	21
2.2.8.1. Humedales artificiales.....	22
2.2.9. <i>Heliconia psittacorum</i>	23
2.2.9.1 Taxonomía.....	24
2.2.9.2. Descripción botánica.....	24
2.2.9.3. Influencia de las condiciones ambientales sobre el crecimiento y la floración.	25
2.3. BASES LEGALES.	26
CAPITULO 3: METODOLOGÍA.	27
FASE 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	27
FASE 2. TRABAJO DE CAMPO	27



<i>FASE 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</i>	<i>40</i>
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
<i>4.1. PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DEL ENTABLE MINERO LAS PALMAS.....</i>	<i>41</i>
<i>4.2. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS EN FUNCIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....</i>	<i>43</i>
<i>4.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MERCURIO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....</i>	<i>59</i>
<i>4.4 CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS.....</i>	<i>62</i>
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
<i>5.1. CONCLUSIONES.....</i>	<i>63</i>
<i>5.2. RECOMENDACIONES.</i>	<i>65</i>

LISTA DE TABLAS

Tabla.1 Normatividad general minero ambiental.....	26
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos	29
Tabla 3. Caracterización del agua residual proveniente del entable minero en el punto 1 y el punto 2.	41
Tabla 4. Caracterización físico química del agua residual proveniente del entable después de atravesar los humedales artificiales de flujo subsuperficial, plantados con <i>Heliconia psittacorum</i>	43
Tabla 5. Eficiencia de remoción de los sistemas.	59
Tabla 6. Medición del crecimiento de las plántulas de <i>Heliconia psittacorum</i> plantadas en los humedales artificiales de flujo subsuperficial.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa político de Suarez Cauca.....	12
Figura 2. Diagrama del proceso minero aurífero de filón.	16
Figura 3. Dimensiones humedal	32
Figura 4. Montaje del diseño de los humedales con sus respectivas abreviaciones.	35

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Niveles de pH a la entrada y salida del humedal en 4 muestreos.	44
Grafica 2 Niveles de temperatura del agua a la entrada y salida del humedal.	46
Grafica 3 Valores conductividad eléctrica en el agua entrada y salida del humedal.	47
Grafica 4 Valores solidos totales disueltos en el agua entrada y salida del humedal.	48
Grafica 5 Valores turbiedad del agua a la entrada y salida del humedal.	49
Grafica 6 Porcentaje de saturación de oxígeno entrada y salida del humedal.	50
Grafica 7 Valores demanda biológica de oxígeno en agua entrada y salida del humedal.	52
Grafica 8 Valores demanda química de oxígeno en agua entrada y salida del humedal.	53
Grafica 9 Valores de acidez en agua a la entrada y salida del humedal.....	55
Grafica 10 Valores de alcalinidad a la entrada y salida del humedal.	56
Grafica 11 Valores de mercurio a la entrada y salida del humedal.	57
Grafica 12 Porcentaje de remoción de mercurio en cada sistema.....	59

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Entable minero Las Palmas.	14
Imagen 2. <i>Heliconia psittacorum</i>	24
Imagen 3. Puntos de muestreo para la caracterización del agua residual industrial.	28
Imagen 4. Ubicación de las peceras, con la respectiva capa de grava gruesa.	34
Imagen 5. Punto 1, donde se presenta el vertimiento puntual de las aguas residuales provenientes de la actividad minera.	35
Imagen 6. Montaje real de los humedales ubicados en el entable con su respectivo tanque de dispensador.	37
Imagen 7. Recolección de las muestras en recipientes plásticos de 1000 mL de capacidad: a) En el efluente de los humedales artificiales. b) En el afluente (tanque de almacenamiento).	38
Imagen 8. Medición de parámetros in situ, con la ayuda de equipos potenciometricos.....	39
Imagen 9. Apariencia del agua obtenida de los humedales, una vez transcurrido el tiempo de retención hidráulico respectivo.	39

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cálculos concernientes al diseño del humedal.....	74
Anexo B. Resultados prueba análisis de varianza.	75
Anexo C. INFORME DE RESULTADOS 2: muestreo 1, en el afluente y efluente de los humedales.....	81
Anexo D. INFORME DE RESULTADOS 3: muestreo 2, en el afluente y efluente de los humedales.....	87
Anexo E. INFORME DE RESULTADOS 4: muestreo 3, en el afluente y efluente de los humedales.....	93
Anexo F. INFORME DE RESULTADOS 5: muestreo 4, en el afluente y efluente de los humedales.....	99

RESUMEN

En el presente trabajo se plasma la aplicación de la fitorremediación en remoción de mercurio mediante el uso de la especie *Heliconia psittacorum* como alternativa de bajo costo, mantenimiento y operación para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la actividad minera, en una planta de beneficio de oro en el municipio de Suarez, Cauca. Los humedales artificiales por su dinámica, fijan físicamente los contaminantes en la superficie de contacto (raíces, piedra, suelos entre otros) y posteriormente a través de procesos biológicos y químicos los transforman en nutrientes para las macrófitas que se dinamizan en ellos (Mogollón, 2013).

El montaje fue ubicado cerca al vertimiento directo del entable minero en condiciones naturales y constaba de tres humedales artificiales de flujo subsuperficial a escala laboratorio y un tanque de almacenamiento que los alimentaba con agua residual proveniente del entable minero, uno de los sistemas estaba conformado por lecho de soporte, el cual estaba conformado de arena fina y grava, los otros dos sistemas contenían el mismo lecho de soporte y doce plantas de la especie *Heliconia psittacorum* (6 en cada uno), se evaluó el tiempo de retención hidráulico (TRH) de 2 días, basado en la literatura y 4 días obtenido por cálculos matemáticos, para después monitorear algunos parámetros físico químicos como: pH, DQO y concentración de mercurio, entre otros, a la entrada y salida de cada sistema para cuantificar el porcentaje de remoción y evaluar el grado de eficiencia

Este estudio permitió concluir que la fitorremediación puede ser una buena alternativa para la remoción de contaminantes de las aguas residuales mineras, ya que en promedio para un TRH de 2 y 4 días se encuentra una remoción entre 65% y 99.9%, determinando una alta eficiencia para cada humedal y en mayor grado

en el TRH de 4 días, cabe destacar la importancia del lecho de soporte ya que su remoción es alta como complemento para el funcionamiento del sistema.

Palabras claves: humedal artificial, mercurio, minería, fitorremediación, *Heliconia psittacorum*.

ABSTRACT

In this paper the application of phytoremediation in removal of mercury through the use of the species *Heliconia psittacorum* as an alternative to low-cost, maintenance and operation for the treatment of waste water from mining activity, in a beneficiation plant of gold in the municipality of Suarez, Cauca. Artificial wetlands by its dynamic, set physically contaminants on the surface of contact (roots, stone floors and others) and later through biological and chemical processes to transform them into nutrients for the Macrophytes that stimulate them (Mogollon, 2013).

Assembly was located close to the direct dumping of the mining engage in natural conditions and consisted of three artificial wetlands of surface flow to scale laboratory and a storage tank which fed them with residual water from the mine file, one of the systems was formed by Riverbed support, which consisted of fine sand and gravel, the other two systems contain the same support bed and twelve plants of species *Heliconia psittacorum* (6 in each one), are assessed (HRT) hydraulic retention time of 2 days, based on the literature and obtained by mathematical calculations 4 days, after some physical parameters monitoring chemicals as: pH, DQO and mercury, among others, at the entrance and exit of each system to quantify the percentage of removal and assessing the degree of efficiency.

This study concluded that phytoremediation may be a good alternative for the removal of contaminants from mining waste water, now on average for a TRH of 2 to 4 days as for the bed of support is a removal of the 65% and 99.9%, determining a high efficiency for each wetland and to a greater degree in the HRT of 4 days fits, highlighting the importance of the support bed since its removal rate is high as a complement to the for system operation.

Key words: Mercury, mining, artificial wetland, phytoremediation, *Heliconia Psittacorum*.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales (AR), empezaron a existir desde que al hombre se le ocurrió que el agua sería un excelente medio para limpiar y llevar lejos los detritos humanos y otros desperdicios generados en su actividad cotidiana (Orozco, 2005).

Dichas aguas se clasifican de acuerdo al uso que se le haya dado, éstas pueden contener materia orgánica, nutrientes, compuestos tóxicos o metales pesados, entre otras cosas, que finalmente ya sea por infiltración o vertimiento directo, llegan a los cuerpos de agua y ocasionan graves problemas ambientales al ecosistema, afectando la flora y la fauna, y limitando el posible uso de este recurso.

Con base a esto, surge la necesidad de realizar un tratamiento previo al vertimiento de las AR, este, dirigido a reducir la concentración de los elementos contaminantes que afecten los parámetros de calidad para el uso definido del agua.

En la minería aurífera, se utilizan grandes cantidades de agua en sus diferentes procesos, que finalmente, concluyen en aguas residuales industriales con altas cargas de ciertos compuestos contaminantes y metales pesados, estos últimos, presentan elevadas tendencias a bioacumularse y biomagnificarse en su paso por los eslabones de la cadena trófica (Paisio, González, Talano, & Agostini 2012), además de ser altamente tóxicos y ocasionar problemas en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los seres vivos. Una alternativa económica y de bajo costo energético para descontaminar este tipo de aguas son los humedales artificiales, mediante la tecnología de biorremediación.

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración que consisten en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado, donde ocurren diferentes interacciones físicas, químicas y

biológicas, los contaminantes son eliminados mediante procesos de sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas, volatilización, y filtración (Delgadillo, Camacho, Pérez & Andrade, 2010).

El municipio de Suarez Cauca, se caracteriza por la minería aurífera que ahí se realiza, siendo esta una de las principales actividades económicas (Alcaldía de Suárez – Cauca, s.f.), para la realización del proyecto se seleccionó un entable minero de la zona, para involucrar procesos de fitoremediación, mediante la implementación de humedales artificiales a escala de laboratorio, utilizando la especie *Heliconia psittacorum*, que posee la capacidad de acumular metales pesados (Madera, Peña & Solarte, 2014) y se adapta con facilidad a las condiciones ambientales (Jerez, 2007), con el fin de determinar el porcentaje de eliminación de mercurio y además identificar TRH más adecuado para su funcionamiento.

CAPITULO 1

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

A nivel nacional la pequeña minería existe desde antes de la época de la conquista, y se ha mantenido hasta la fecha; la organización internacional del trabajo (OIT) estimó que en el año de 1999 la minería en pequeña escala empleaba en América Latina de 1.4 a 1.6 millones de personas. Sin embargo, se considera que esta cifra puede ser mayor, dado el incremento en el valor de algunos minerales como el oro y el carbón, que a su vez ha llevado a un aumento en la explotación de los mismos, (Guiza 2013).

El municipio de Suarez, Cauca, tiene sus orígenes en el año 1880, desde el momento que algunas comunidades, deciden desplazarse hacia este lugar, teniendo como concepción, que fuentes como el rio Cauca, poseía grandes riquezas auríferas; en la actualidad la agricultura y la minería, constituyen las principales actividades económicas de la región, representando el 52% y 27% de los ingresos respectivamente (Alcaldía de Suárez – Cauca, s.f.).

Suarez se considera como un área con liberación importante de mercurio (Ministerio de minas y energía, 2014), en cuyo caso, proveniente de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala que se desarrolla en los entables o plantas de beneficio, si bien esta actividad no se encuentra definida a nivel internacional, en la Sinopsis Nacional de la MAPE (Minería Artesanal y en Pequeña escala) se define como “aquella minería que la ejercen personas en la informalidad, que poseen muy baja capacidad de gestión y cuentan con tecnología precaria” (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2012), esta acción, desde sus inicios, ha incluido en sus procesos el uso de mercurio, por ser considerado un método económico, confiable y portátil para concentrar y extraer el oro del mineral (Hilson, 2002), debido a su facilidad para atrapar el valioso metal, que gracias a su

densidad logra romper la tensión superficial del Hg (Ministerio de minas y energía, 2014).

Algunas plantas de beneficio de oro utilizan la concentración gravimétrica como única actividad, otras combinan la amalgamación y la cianuración, y otras se basan en la recuperación gravimétrica y la cianuración, por lo tanto, se puede decir que estas tres técnicas acompañan el beneficio del oro, las cuales convergen en el uso de agua, generando así efluentes que contienen Hg, y posteriormente son vertidos a los cuerpos de agua cercanos (Corporación Autónoma Regional del Cauca, 2007).

La presencia de metales pesados en el recurso hídrico, ha sido participe de innumerables acciones de impacto al ecosistema y a la salud pública en general, teniendo en cuenta que el mercurio está catalogado como un agente altamente toxico, ya que se ha demostrado que en bajas concentraciones puede desarrollar alteraciones en las funciones del sistema nervioso con consecuencias neurofisiológicas, además se ha encontrado que el 40% del mercurio contenido en peces se bioacumula en forma de metilmercurio, quedando disponible hasta llegar al hombre por medio de la cadena trófica (Mancera & Álvarez, 2006) poniendo en riesgo la salud de los pobladores.

Se han investigado algunos métodos para la remoción de dichos metales, tales como: la precipitación, el intercambio iónico, osmosis inversa y adsorción, los cuales son efectivos, pero pueden presentar costos en términos energéticos y/o consumo de productos (Reyes, Cerino & Suárez, 2006), la bioadsorción y biosorción, presentan ventajas en términos económicos, eficiencia, regeneración de los biosorbentes y posibilidad de recuperación de los metales, sin embargo, aún se encuentran en etapa de investigación (Tejada, Villabona & Garcés, 2015), y el método bioquímico de fitorremediación, ofrece una alternativa sustentable y de bajo costo (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez & Acevedo, 2011); este último, mediante la planta *Heliconia psittacorum* podría proporcionar excelentes

resultados, siendo esta una especie neotropical, que posee la capacidad de acumular metales pesados (Madera et al., 2014) evidencia tolerancia a diferentes condiciones ambientales y además ha demostrado efectos positivos en la biorremediación tal y como lo ha confirmado con aguas residuales (Peña, Madera, Sánchez, Jesús & Medina, 2013) y lixiviados provenientes de un relleno sanitario (Madera et al., 2014).

¿Tendrá la especie *Heliconia psittacorum* la capacidad de remover significativamente el mercurio presente en los efluentes provenientes del beneficio de oro en Suarez Cauca?

1.2. JUSTIFICACIÓN.

El oro se extrae con mayor frecuencia a pequeña escala debido a su tendencia a generar riqueza rápidamente (Hilson, 2002), a partir de la minería artesanal del oro, el mercurio se libera al medio ambiente, mientras se mezcla con mineral finamente triturado, al exprimir la amalgama de mercurio en un pedazo de tela y en la quema de la amalgama de oro y mercurio.

El mercurio liberado durante estas etapas en los procesos de recuperación de oro representa más del 50% del Hg liberado al medio ambiente, alrededor de 1.000 toneladas de mercurio entran al medio ambiente cada año como resultado de la extracción aurífera artesanal y de pequeña escala (Odumo et al., 2014).

El municipio de Suarez, Cauca, alberga 4669 habitantes en la cabecera y 14454 en la zona rural (Alcaldía de Suárez – Cauca, s.f.), presenta uno de los mayores desarrollos en el sector minero del departamento, posee un gran potencial de recursos, permitiendo así que se exploten diversos minerales del subsuelo como el oro, carbón, arenas y arcillas (Corporación Regional del Cauca, s. f.b), dicha población podría verse afectada por la presencia de mercurio proveniente de los entables mineros, tanto aquellos que manipulan directamente el Hg y queman la amalgama, así como también las personas que viven cerca de las zonas de explotación, quienes también están expuestos a Hg inorgánico a través de la inhalación de gases y al Hg orgánico a través del consumo de alimentos, la exposición a ambas formas de Hg se ha relacionado con neurotoxicidad y otros efectos adversos para la salud (Niane et al., 2015).

Teniendo en cuenta lo establecido por la ley 1658 del 2013 (Ley 1658, 2013) mediante la cual se establece disposiciones para el uso, y se fijan requisitos e incentivos para la reducción y eliminación del mercurio, se ve la necesidad de investigar una alternativa de solución para la reducción de mercurio en efluentes provenientes de la actividad minera, evitando así que llegue a los cuerpos receptores (ríos y quebradas del municipio), disminuyendo los riesgos para la

salud de la población y los efectos desfavorables en los ecosistemas, la alternativa utiliza procesos biológicos de fitorremediación en un humedal artificial a escala de laboratorio empleando la planta de especie *Heliconia psittacorum*, lo cual beneficia a los mineros, permitiendo una producción más limpia en la explotación del oro, ya que las concentraciones de mercurio residual disminuyen, dando cumplimiento a la ley y generando beneficios para quienes implementen esta alternativa.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo general.

Determinar la eficiencia de remoción de mercurio con la especie *Heliconia psittacorum* en efluentes de diques de cola provenientes de la minería en una planta de beneficio del municipio de Suarez Cauca.

1.3.2. Objetivos específicos.

Determinar el porcentaje de remoción del mercurio en el humedal artificial a escala de laboratorio utilizando *Heliconia psittacorum*.

Evaluar el tiempo de retención más adecuado para la remoción de mercurio presente.

CAPITULO 2: MARCO CONCEPTUAL Y REFERENCIAS CONCEPTUALES.

2.1. ANTECEDENTES

El mercurio (Hg) es un metal pesado altamente tóxico, que amenaza a la salud humana y al medioambiente, se encuentra en la naturaleza en formas inorgánicas y orgánicas, siendo todas tóxicas, especialmente la última debido a su alta liposolubilidad que facilita su biomagnificación en la cadena trófica (Paisio et al. 2012), se ha demostrado que el MeHg se mantiene estable en los sedimentos de ecosistemas acuáticos durante décadas (Suchanek et al., 2008), además se han encontrado concentraciones considerables de acumulación del metal en particular, en especies detritívoras de peces como *Tripurtheus magdalen*; las comunidades cercanas a los sitios de explotación de oro, se ven expuestas y presentan concentraciones de mercurio, tal y como se confirma en el estudio realizado en el norte de Colombia, en el cual las personas analizadas se agruparon por ocupación, en mineros, pescadores y otros (personas dedicadas a otro tipo de actividad), en los resultados se obtuvieron concentraciones entre 0,11 y 29,2 mg/g de mercurio en el cabello, las medias más altas correspondieron al grupo de pescadores, también existen registros de concentraciones de mercurio en el cabello, en el estudio elaborado en la región de la Orinoquia, en el cual se tuvieron en cuenta dos grupos de estudio, los cuales correspondían a mineros y familiares de mineros, los valores encontrados en cabello tuvieron un rango amplio que varía entre 2,8 y 89,2 µg/g, en ambos estudios fueron los mineros quienes presentaron la concentración más alta (Álvarez & Mancera, 2006), en la región amazónica de Brasil también se ha realizado una evaluación de riesgo para la salud humana, asociada con la inhalación de vapor de mercurio y la ingestión de pescado contaminado con metilmercurio, así como la determinación de Hg en la orina, la sangre y el cabello de las poblaciones humanas (alrededor 325 mineros y 321 no mineros) de dos zonas de extracción de oro, los resultados arrojaron niveles altos de Hg (que se encuentra no sólo en los mineros, sino también en los no mineros

que viven cerca de las zonas mineras), existiendo la probabilidad de estar relacionado con un peligro potencial para la salud (Castilhos et al., 2015).

Uno de los métodos para realizar un tratamiento mediante fitorremediación, son los humedales artificiales de flujo sub-superficial y superficial, que constituyen la principal aplicación tecnológica para la matriz agua, basada en un tipo de plantas, cuyas características principales son la hiperacumulación de sustancias tóxicas y transformación de dichos compuestos gracias a sus propiedades biológicas. En este proceso, las plantas son seleccionadas principalmente por su potencial fisiológico de enzimas presentes para tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por sus tasas de crecimiento, por la profundidad de sus raíces y su habilidad para bioacumular y/o degradar contaminantes (Peña et al., 2013); el rendimiento del tratamiento se evalúa generalmente por medio de cálculos de balance de masa (Goulet, Leclair, & Pick, 2001). Existen plantas hiperacumuladoras a las cuales se les mide la capacidad fitorremediadora a partir de sus tasas de crecimiento y de acumulación, para obtener un valor de extracción.

Se han realizado estudios para evaluar el peligro que generan las plantas, al haber transferido metales de un suelo contaminado con Ni, Zn, Mn y Pb, en caso de entrar en la cadena alimenticia, y finalmente sugieren que el consumo de partes comestibles de las plantas que crecen en suelos de rellenos sanitarios son casi libre de riesgo para todos los metales estudiados, excepto Ni en ciertas plantas (Ibne et al., 2016). En algunos casos se ha utilizado la *Heliconia psittacorum*, para la fitorremediación de aguas residuales, donde se obtuvieron porcentajes de remoción hasta del 95% de metales pesados Cd, Pb, Hg, Cr (Peña, et al., 2013), y lixiviados provenientes de rellenos sanitarios, la *Heliconia* mostró una mejor distribución de los metales en su tejidos, en el tratamiento (Madera et al., 2014), también (Si et al., 2011), utilizaron humedales artificiales en el agua de riego de cultivos, donde efectivamente hubo reducción del nivel de metales pasados en el agua de riego; respecto al tratamiento de los drenajes ácidos provenientes de la minería se ha utilizado la especie *Phragmites australis* y algas tomadas de las

unidades sedimentadores de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Pereira, donde se pudo inferir que el acondicionamiento de los sistemas es primordial para que estos tengan un funcionamiento prolongado (Galván, Cubillos, & Paredes, 2014), estudios similares han utilizado diferentes plantas para la eliminación de otros compuestos, así como (Olmos, Alarcón, & Martín, 2012) investigaron el desempeño de *Eleocharis macrostachya* en prototipos de humedales construidos, así como la retención de masa de arsénico de la planta, los resultados revelaron que el 78% del flujo de entrada de As total se mantuvo en el lecho de tierra, casi el 2% se absorbe en las raíces de las plantas, el 11% se barrió como flujo de salida y el destino del 9% restante se desconoce, por lo tanto se concluye que los humedales plantados podrían ser una adecuada opción para el tratamiento del agua contaminada; Arivoli, Mohanraj & Seenivasan (2015) demostraron la viabilidad de humedales construidos para el tratamiento de los metales pesados de efluentes de la industria de pulpa y papel mediante el uso de humedales construidos de flujo vertical plantados de *Ty-pha angustifolia*, *Erianthus arundinaceus*, y *Phragmites australis*.

En Colombia, la normatividad regula la presencia del Hg en recursos hídricos, mediante la resolución 2115 (Junio 22 de 2007), que establece el valor máximo para niveles de Hg es de 0,001 mg/L para agua potable y la ley 1658 (Julio 15 de 2013) establece las disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones.

2.2. BASES TEÓRICAS. MARCO REFERENCIAL.

2.2.1. Zona de estudio.

El municipio de Suárez se encuentra ubicado al noroccidente del departamento del Cauca, entre las coordenadas 1°026.000 E. 802.000 N a 1°048.000 E, 832.000 N (2°57' 15" N, 76°41'37" O), limita al norte y oriente con el municipio de Buenos Aires, al suroccidente y al sur con el municipio de Morales y al occidente con López de Micay, se encuentra a 1.050 msnm, con una temperatura media de 27 °C, posee una extensión de 389,87 Km², de los cuales 3,57 Km² corresponden a la parte urbana. (Alcaldía de Suárez – Cauca, s.f.)

Figura 1. Mapa político de Suárez Cauca.



Fuente: (Alcaldía de Suárez – Cauca, s.f.). Adaptado por: Autor

El clima en Suarez es tropical húmedo, influenciado en forma local por la cordillera de los Andes, el Océano Pacífico y la humedad proveniente del sur y el sureste, las estaciones están definidas por la época de lluvia, que presenta una distribución bimodal con dos periodos de alta pluviosidad intercalados con dos periodos de baja pluviosidad durante todo el año, los valores más altos de precipitación se presenta en la zonas más altas, alcanzando su valor máximo de 827 mm de lámina de agua, y la humedad relativa varía a lo largo del año entre 73% en verano y 80 % en invierno siendo esta directamente proporcional a la precipitación (Corporación Autónoma Regional del Cauca, s.f.a).

El recurso hídrico se distribuye a los hogares mediante acueductos rudimentarios, en la zona minera se capta el agua de las quebradas colindantes para generar el movimiento de los molinos y para el lavado en los procesos que lo requieran (CRC, s.f.a).

La calidad del agua se ve afectada desde el momento en que se utiliza en los procesos de minería relacionados con la explotación (sulfuros, sulfatos, carbonatos y sales), trituración, molienda y concentración gravimétrica (turbidez), y cianuración, provocando en el agua elevación de pH, turbiedad, solidos suspendidos, nitratos, fosfatos, metales como el cobre y Hg (CRC, s.f.a).

El área de estudio corresponde al entable minero Las Palmas del señor Saulo Ambuila, este se encuentra ubicado a 7,6 Kilómetros de la cabecera municipal de Suarez, Cauca, en la vereda Tamboral, y a 400 m de las orillas del embalse La Salvajina aproximadamente, en las coordenadas $2^{\circ} 55' 22'' N$ $76^{\circ} 43' 17'' O$.

Las Palmas (Imagen 1) es un entable compuesto de 30 cocos, en el que regularmente se utilizan 2 kilos de Hg y se recuperan 1875 gramos aproximadamente; de lunes a viernes se labora 12-14 horas (6 am - 8pm) y los fines de semana 24 horas, con un promedio de 2 a 3 lavados por día y recuperación del mineral precioso de 70 gramos por día.

Imagen 1. Entable minero Las Palmas.



Fuente: autor.

2.2.2 Minería aurífera.

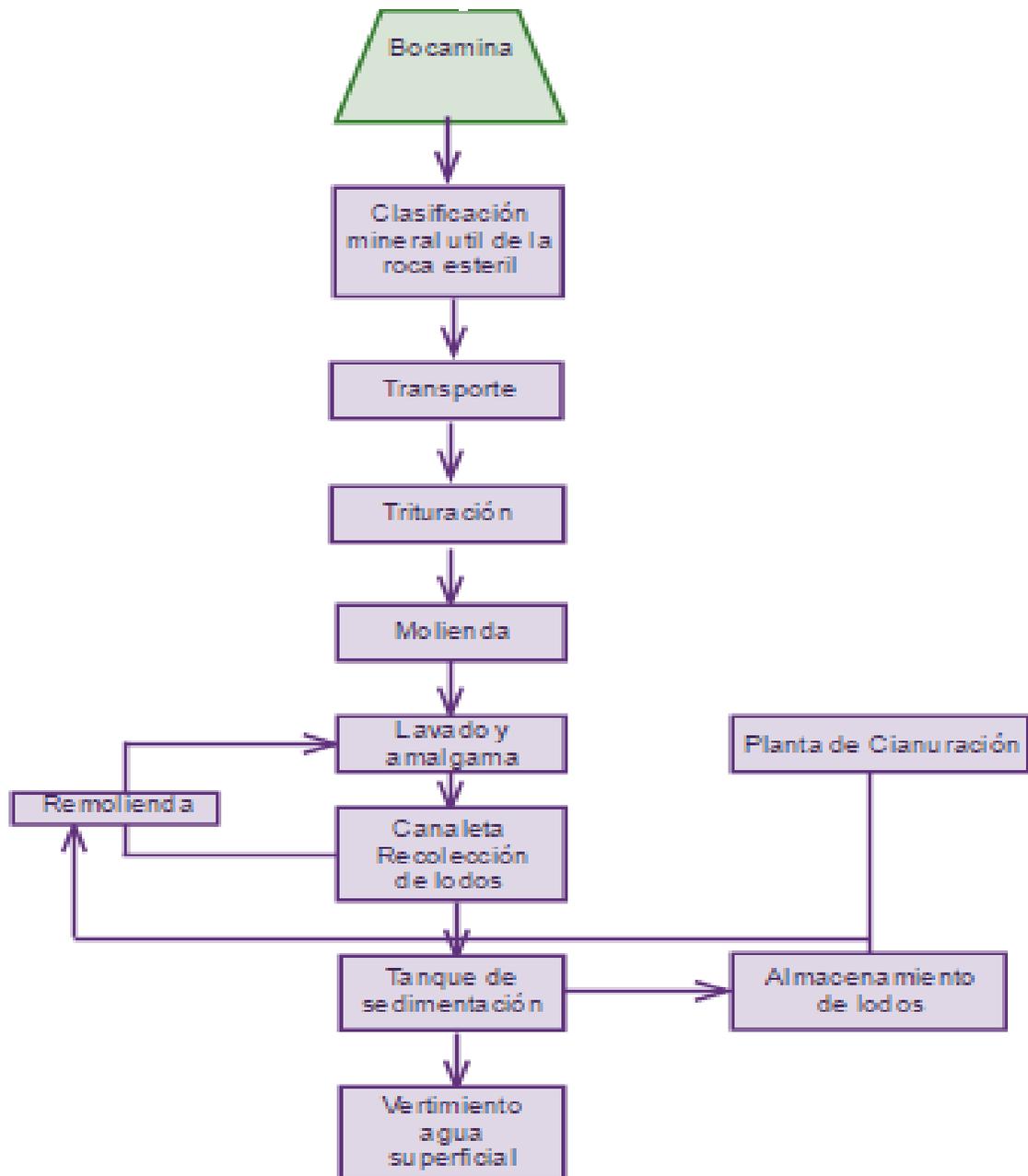
La actividad minera en Colombia siempre ha existido, antes de la colonización los indígenas explotaron y manipularon el oro y otros metales para elaborar ornamentos, alhajas y artefactos de uso doméstico, las diferentes figuras construidas hicieron parte de los cultos y fueron símbolo de poder; se presentó el uso intensivo y destructor de la mano de obra indígena y la introducción de la mano de obra esclava; entre 1640 y 1680 se desato la movilidad en las subregiones mineras, la procedencia de las explotaciones de aluvi6n la relación colonial sobre las de veta debido a que el oro era comercializado a España (Campuzano s.f.); las técnicas utilizadas para la realización de la actividad minera era de experiencia aborigen que con el transcurrir del tiempo se vieron mejoradas respecto a la profundidad de los socavones, volumen de trabajo, iluminación, trituración y separación del oro; entre los años 1680 y 1800 se habla de Popayán como sociedad esclavista y el concepto de cuadrilla estable lo que hizo necesario el comercio de esclavos y la reproducción natural.

Colombia se constituyó como gran productor de oro hasta convertirse en la principal fuente de ingreso del virreinato; pero a mediados del siglo XIX ya que se encontraron grandes depósitos auríferos en otros países cuando se comienza a ser principal exportador de quina, banano, café, cueros, telas, y otras. En 1917 recupera importancia debido a que las grandes compañías inglesas abandonan territorios rusos debido al triunfo de la revolución Rusa (Ruiz, 2012).

Actualmente la minería en Colombia no solo se basa en la extracción de oro sino otros metales pesados e hidrocarburos que permiten el crecimiento económico del país.

2.2.3. Descripción general del proceso minero en la minería aurífera de filón.

Figura 2. Diagrama del proceso minero aurífero de filón.



Fuente: autor.

En la minería aurífera la extracción de metales preciosos es una actividad económica de gran importancia, la cual consta de tres fases principales; la

exploración, explotación y cierre de montaje. Por sus características geológicas en el Municipio de Suárez, se encuentran dos tipos de manifestaciones de oro, el nativo y el electrum el cual contiene plata en un porcentaje mayor al 25% (Lopez, s.f.), encontrando yacimientos de filón ya que el oro se encuentra asociado a fracturas que atraviesan la pirita, la extracción del material se realiza empleando maquinaria tal como compresores de aire y el uso de insumos explosivos para la fragmentación de las rocas, instaurando los llamados socavones; sin embargo en algunas ocasiones la extracción es realizada manualmente mediante el uso de herramientas menores como pala y pica para realizar el desprendimiento de la veta, el material extraído es clasificado con el fin de separar el mineral de la roca estéril, una vez clasificado el mineral es empacado y transportado a las diferentes instalaciones o entables mineros con el propósito de obtener partículas de oro adheridas en las rocas.

Para llevar a cabo el beneficio de oro en los entables mineros el material mineralizado es sometido a una trituración usando una machacadora de piedras con el fin de disminuir su proporción permitiendo que el proceso de molienda se realice en un menor tiempo, el material ya triturado es adicionado a unos tambores o barriles amalgamadores de capacidad entre 40 a 50 kg los cuales contienen bolas de acero con diferentes diámetros que permiten moler el material ingresado. Transcurrido un tiempo de una hora se adicionan otros elementos como miel de purga, limón en descomposición y como insumo principal el mercurio para formar la amalgama, el proceso se realiza en un lapso de tiempo entre tres a cuatro horas. Posteriormente se realiza el lavado del mineral molido comprendido por (mineral, agua y mercurio) empleando canecas para su transporte hasta un tanque acondicionador al cual se le inyecta agua a presión para enfriar y sedimentar la amalgama así mismo una separación de las arenas por acción del agua.

Estas arenas son recolectadas en las canaletas para realizar un proceso de molienda nuevamente a las arenas resultantes, llamado remolienda dicho proceso se realiza mínimo tres veces y en algunos casos se efectúa hasta seis veces, esto

depende de las trazas de oro presente en las arenas. Una vez obtenida la amalgama se le realiza un proceso manual empleando un trapo de tela fina con el propósito de separar el mercurio del oro, esta tela es exprimida fuertemente hasta lograr la separación.

En los procesos de beneficio y transformación de materiales de las unidades mineras, se generan grandes cantidades de agua residual que posteriormente son conducidas por medio de canaletas hasta llegar a los diques de colas o unidades de retención de sólidos suspendidos, una vez sedimentadas las partículas suspendidas se realiza el mantenimiento de las mismas, el cual consiste en retirar las arenas de rechazos en unas pilas de almacenamiento hasta su posterior proceso, en este caso la cianuración la cual permite recuperar las partículas de oro más finas que en su totalidad no han sido recuperadas en el proceso de amalgamiento.

Generalmente todas las aguas residuales que se generan de la actividad minera son vertidas en lagos, ríos, sin ningún tratamiento previo, causando contaminación en dichos cuerpos de agua.

2.2.4. Aguas residuales.

Cuando el agua se utiliza para una actividad determinada, se modifican sus propiedades fisicoquímicas y se genera agua residual; el vertimiento de esta a los cuerpos de agua produce contaminación por los elementos o compuestos, orgánicos o inorgánicos, que disueltos, dispersos o suspendidos, alcanzan una concentración que excede la tolerancia de los mismos, la fuente contaminante puede tener origen doméstico, industrial, agrícola y a veces, origen natural. La capacidad auto purificadora de las masas de agua, se ha visto afectada, ya que las cargas contaminantes exceden dicha capacidad, ocasionando un deterioro progresivo de las mismas (Orozco, 2005).

La contaminación de las aguas elimina una buena parte de la vegetación y fauna acuática, y también ocasiona desequilibrios generalizados a todo el ecosistema terrestre que de estas masas de agua depende. El exceso de materia orgánica y nutrientes en el agua (nitrógeno y fósforo) conduce a la eutrofización. Los metales pesados y otros compuestos tóxicos producen envenenamientos y bioacumulación (Estrada, 2010).

Las actividades industriales asociadas a la extracción de minerales metálicos, generan efluentes de lavado de mineral, etc., que contienen frecuentemente altas concentraciones de metales pesados que pueden llegar a ser incorporados a los suelos y a las aguas mediante reacciones de oxidación y meteorización. El riesgo ambiental derivado de la contaminación por metales pesados se relaciona directamente con la concentración, especiación y biodisponibilidad específica de cada metal que determinan su reactividad, movilidad y su capacidad de ser absorbidos por las plantas y animales del entorno (Diez, 2008).

2.2.5. Tratamiento de aguas residuales.

Los tratamientos para descontaminar las aguas residuales, suelen requerir ensayos previos del laboratorio o planta piloto; existen dos líneas fundamentales para la depuración, la fisicoquímica que tiene un coste de reactivos elevados y la biológica, que se subdivide en aeróbicas, las cuales son grandes consumidoras de energía, y anaeróbicas, que además de reducir el consumo energético, pueden ser productoras de energía, pero necesitan inversiones elevadas y solo actúan de forma estable sobre algunos sustratos orgánicos naturales (Rigola, 1990).

2.2.6. Metales pesados

Cuando se habla de metal pesado, se hace referencia a aquellos metales de la tabla periódica cuyo peso específico es superior a 5 g/cm³ o que tienen un

número atómico por encima de 20, excluyendo generalmente a los metales alcalinos y elementos alcalinotérreos, clasificados como contaminantes ambientales (Diez, 2008).

Entre los metales pesados hay elementos esenciales y no esenciales para los seres vivos, estos, ya sean esenciales o no, pueden llegar a ser tóxicos cuando su aporte es excesivo y afectar negativamente al crecimiento y reproducción de los organismos, pudiéndoles causar incluso la muerte. La presencia de metales pesados en los suelos inhibe la actividad enzimática microbiana y reduce la diversidad de las poblaciones de flora y fauna. Los metales pesados, pueden llegar al hombre a través del suelo (inhalación e ingestión de polvo), alimentos, agua, aire o piel (Diez, 2008).

2.2.7 Mercurio

El mercurio entra al medio natural por diferentes actividades antropogénicas, generalmente industriales y agropecuarias, en la actividad minera es usado como elemento importante para la obtención del oro debido a sus capacidades amalgamadoras; generalmente los metales pesados, pueden existir en aguas naturales en forma de iones libres, unidos a carbonatos solubles, sulfuros, hidróxidos, cloruros o sulfatos, y como complejos solubles con ligandos orgánicos en el caso del mercurio, se puede encontrar en diversas formas físicoquímicas como metal, ión metálico o ión organometálico. Las características específicas de cada especie, como las interacciones de las mismas con el medio que las rodea, determina el transporte, las transformaciones químicas, así como también, los posibles mecanismos de eliminación, sedimentación, volatilización del mercurio una vez introducido en el sistema acuático. En los medios aeróbicos, el mercurio se encuentra en forma iónica libre Hg^{+2} , formando compuestos orgánicos o inorgánicos como $HgOH^-$, $HgCl^+$, $HgCl_2(ac)$, $HgCl_3^-$, $HgCl_4^{-2}$. Por otra parte, el ión Hg^{+2} tiene una elevada tendencia a adsorberse sobre partículas sólidas. Además

del ión Hg^{+2} , el mercurio puede encontrarse en forma mercuriosa Hg_2^{+2} o metálica Hg. En realidad, en el medio acuático existen determinadas bacterias capaces de reducir el ión Hg^{+2} a Hg^0 , el cual escapa a la atmósfera o bien sedimenta una vez absorbido, sobre partículas sólidas (Rengifo, Reyes & Prado, 2013).

2.2.8. Fitorremediación

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas, esta utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes. Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin, algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras (Delgadillo et al. 2011).

Los microorganismos que habitan en la rizósfera juegan un papel importante en la degradación de la materia orgánica. Los metabolitos generados de esta degradación son absorbidos por las plantas junto con nitrógeno, fósforo y otros minerales (Delgadillo et al. 2011).

Las fases del proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan metales pesados son las siguientes:

Fase I. Implica el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células, debido a la presencia de grupos carboxilo, que interaccionan con las positivas de los metales pesados, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular, ya sea por vía apoplástica o simplástica (Delgadillo et al. 2011).

Fase II. Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos (ácidos cítrico, oxálico y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas (Delgadillo et al. 2011).

Fase III. Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando metal queda retenido en la vacuola (Delgadillo et al. 2011).

2.2.8.1. Humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente (Delgadillo, Camacho, Pérez & Andrade, 2010).

Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Delgadillo et al., 2010). El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día, el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos (Delgadillo et al., 2010).

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la

superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Delgadillo et al., 2010).

La fito-depuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean estos naturales o artificiales. El término macrofitas, dado su uso en el lenguaje científico, abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista. Constituyen “fito-sistemas”, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis; al realizar la planta sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas (Delgadillo et al., 2010).

2.2.9. *Heliconia psittacorum*

Las heliconias tienen diferentes usos en la actualidad, uno de los principales es la ornamentación en viviendas y parques por sus características estéticas, además de ser cultivadas para fines de exportación. Estas se constituyen, junto a las alpinias, lirio antorcha, anturios, entre otros, un grupo de flores tropicales nativas de América, dicha especie presenta condiciones agronómicas interesantes, como su alta resistencia a las características climáticas del país y al ataque de plagas y enfermedades, así como su amplia rusticidad; además, su fácil propagación, largos períodos de floración y carácter permanente (Jerez, 2007). Además de las características mencionadas anteriormente se ha demostrado que dicha planta es acumuladora de metales pesados, haciéndola ideal para los fines propuestos en este estudio

Existen entre 225 a 250 especies en el mundo. En Colombia se pueden encontrar un gran número de especies aproximadamente 93 aunque estas no son muy conocidas. Las heliconias son el único género en la familia de las heliconiaceas que es miembro de un gran orden botánico llamado Zingiberales, posee varias características que hacen de este un orden de fácil reconocimiento; entre sus

características más representativas se observan las hojas largas y grandes inflorescencias de vistosos colores (Jerez, 2007).

Imagen 2. *Heliconia psittacorum*



Fuente: autor.

2.2.9.1 Taxonomía

La mayoría de los taxónomos reconocen ocho familias en el orden de los Zingiberales, a saber: Musacea (bananos y plátanos), Sterlitziaceae (aves del paraíso), Lowiaceae, Heliconiaceae (heliconias), Zingiberaceae (gingers), Costaceae (costus), Cannaceae (cannas y chirillas) y Marantaceae (calateas) (Jerez, 2007).

La mayor parte de las especies son nativas de zonas húmedas de altitud media (500 a 1000 m) de las regiones intertropicales del continente americano y las islas del Caribe, aunque existen algunas especies originarias de las islas del Pacífico (Jerez, 2007).

2.2.9.2. Descripción botánica

Las heliconias son plantas monocotiledóneas, herbáceas, perennes, con rizoma simpodialmente ramificado (emite brotes o vástagos) y un pseudotallo aéreo,

erecto, formado por un eje recubierto por las bases de hojas alternas que se solapan (posición dística). Constituyen un género de plantas de grandes dimensiones, su verdadero tallo está constituido por un vigoroso rizoma provisto de yemas vegetativas y abundantes, largas y fuertes raíces fibrosas, el hábito de crecimiento, según la forma y disposición de las hojas, puede ser musoide (hojas orientadas verticalmente con largos pecíolos), zingiberoide (hojas en la mayoría de los casos séciles y dispuestas en posición horizontal con pecíolos cortos) o cannoide (hojas oblicuas con pecíolos medios o cortos) (Jerez, 2007).

La inflorescencia de 35 a 50 cm de longitud, es una cima terminal helicoide erecta (encima de las hojas o entre ellas) o péndula. Está formada por un pedúnculo y estructuras modificadas en forma de hoja, llamadas brácteas cincinales, distribuidas a lo largo de un raquis rígido o flexible, en forma dística o espiral con ángulo de inserción variable. Dentro de cada bráctea hay un número variable de flores hermafroditas dispuestas de forma alterna a lo largo de un eje, cada una de ellas protegida por una bráctea floral (Jerez, 2007).

2.2.9.3. Influencia de las condiciones ambientales sobre el crecimiento y la floración.

El origen natural incide en las exigencias ecológicas de las heliconias, tales como áreas con altas temperaturas y abundante precipitación de los países tropicales, pero pueden cultivarse en cualquier lugar, cuya temperatura media sea de unos 20°C y que exista una alta humedad edáfica. El clima ideal para el cultivo de estas especies debe variar entre una mínima de 18 oC y una máxima de 34 oC, además de abundante precipitación uniformemente distribuida a lo largo del año (Jerez, 2007).

2.3. BASES LEGALES.

Para el Estado colombiano es claro que fomentar la formalización de la actividad minera es propender por la protección del medio ambiente y desarrollo de la comunidad; por tanto para el presente investigación se considera cierta normatividad minero ambiental la cual busca fomentar estrategias para controlar los impactos generados en el sector minero.

Tabla.1 Normatividad general minero ambiental.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 685 15 de agosto del 2001	Por el cual se expide el código de minas y otras disposiciones
Ley 1658 de 15 de julio del 2013	Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país. se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones.
Resolución 2115 de junio del 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Resolución 0631 17 de marzo del 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

CAPITULO 3: METODOLOGÍA.

Para el desarrollo del diseño y puesta en marcha del sistema de fitorremediación a escala laboratorio con humedales artificiales de flujo sub-superficial plantado con la especie *Heliconia psittacorum*, para la evaluación de su eficiencia en remoción de mercurio presente en aguas residuales generadas en la unidad de explotación minera del Municipio de Suarez Cauca se realizaron las siguientes actividades:

FASE 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se investigó la información secundaria acerca de humedales artificiales, características de las plantas con capacidad fitorremediadora, la especie *Heliconia psittacorum*, su eficiencia en la absorción de metales pesados y sus condiciones de adaptabilidad al medio, además se identificaron los procesos de minería y las condiciones de la zona a trabajar; para complementar esta fase, se obtuvo información primaria empleando entrevistas para determinar la producción de la planta de beneficio, el manejo del mercurio, la cantidad utilizada en el proceso y el espacio disponible para la implementación del humedal, con la finalidad de determinar la unidad de producción minera indicada para el desarrollo del trabajo. Sin embargo durante la ejecución del trabajo de grado se accede a libros, páginas web, bases de datos como: Springerlink, ESBCO, Jstor, Scielo, Redalyc, Dialnet, y demás medios de información con el fin de afianzar los conocimientos sobre el tema.

FASE 2. TRABAJO DE CAMPO

Socialización

Se realizó un recorrido en la zona rural del municipio de Suárez con la finalidad de seleccionar el lugar de estudio, hecho esto, se procedió a tramitar el permiso

pertinente, el cual se hizo de manera verbal, mediante argumentos, acerca de la importancia e interés del estudio, dirigidos al propietario titular y los encargados del entable minero Las Palmas (Imagen 1), con el fin de obtener su aprobación del ingreso al entable.

Caracterización del agua residual

Se tomaron como referencia dos puntos tentativos para la caracterización del agua residual, con el propósito de determinar la presencia o ausencia de mercurio y definir la ubicación de los humedales artificiales. Se definió un primer punto (Imagen 3), donde las aguas residuales producidas fluyen por medio de canalones que desembocan en un tanque sedimentador, el segundo punto (Imagen 3), corresponde al vertimiento puntual después de pasar por una serie de tanques sedimentadores.

En cumplimiento de los objetivos, se realizaron cinco jornadas de muestreo de forma intermitente, cada jornada constaba de la recolección de muestras de agua residual producto del beneficio de oro de manera simple, para la medición de los parámetros físico químicos.

Imagen 3. Puntos de muestreo para la caracterización del agua residual industrial.



Fuente: autor

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Método o equipo	Tipo de Muestreo
Potencial de Hidrogeno	Unidades de pH	Sonda Multiparamétrica YSI Pro Plus	Simple
Conductividad eléctrica	μS/cm	Sonda Multiparamétrica YSI Pro Plus	Simple
Oxígeno disuelto	mg/L	Sonda Multiparamétrica YSI Pro Plus	Simple
Solidos suspendidos totales	mg/L	Conos de Imhoff	Simple
Temperatura	° C	Sonda Multiparamétrica YSI Pro Plus	Simple
Solidos disueltos totales	mg/L	Sonda Multiparamétrica YSI Pro Plus	Simple
Humedad relativa	%	Termohigrometro Digital CM-DT172	Simple
Color	Pt-Co	Colorímetro Portátil HACH DR/890	Simple
Turbiedad	NTU	Turbidímetro Portátil HACH 2100Q	Simple
DBO ₅	mgO ₂ /L	SM: 5210 Test DBO5	Simple
DQO	mgO ₂ /L	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	Simple
Mercurio	mg/L	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica	Simple

Para la obtención de las muestras del agua residual en los puntos de muestreo y su posterior análisis, se tuvieron en cuenta algunas recomendaciones, se adaptó y se obedeció el protocolo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) a través del instructivo de toma de muestras de aguas residuales, donde se especifican los procedimientos para la recolección, conservación y almacenamiento de las muestras. Las muestras fueron tomadas de forma simple, en recipientes plásticos con capacidad de 1000 mL; una vez finalizado el procedimiento, estas fueron enviadas al Laboratorio de Análisis y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) para el análisis de: DBO, DQO y Mercurio.

Con ayuda de equipos potenciométricos, se realizaron mediciones en campo de los siguientes parámetros: temperatura, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, oxígeno disuelto, de forma simple para representar con exactitud la características del agua en tiempo y espacio, ya que el instructivo para toma de muestras establece que es recomendable la medición inmediata por la inestabilidad que estos demandan, por tanto los parámetros medidos en el laboratorio, se seleccionaron de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

Se determinó el caudal en el vertimiento empleando el método volumétrico realizando aforos manuales, utilizando una probeta volumétrica de 1000 mL y un cronómetro para la medición del tiempo, este procedimiento se repitió 3 veces, finalmente se promediaron los datos para obtener un valor más preciso, una vez promediados los datos se utiliza la siguiente ecuación 1 para el respectivo cálculo matemático.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Ecuación 1

Dónde:

Q: Caudal (m³/s)

V: Volumen de agua medido (mL)

T: Tiempo (s)

Diseño del humedal

Conociendo las características del agua residual del entable minero y las variables del caudal, se realiza los cálculos hidráulicos concernientes para el diseño del humedal, tomando como referencia la guía para el diseño y construcción de humedales construidos con flujos superficiales (1993), el cual tiene una dependencia directa del caudal y la concentración del contaminante a remover, para este caso mercurio.

Se toma como base el nivel de concentración obtenido en la caracterización del agua residual del vertimiento después de un proceso de sedimentación del punto dos (Imagen 5) con un valor equivalente a 0.8 mgHg/L, y como concentración final el nivel establecido por la resolución No. 0631 de vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales.

Los cálculos se realizaron utilizando formulas hidráulicas de flujo pistón y con una relación largo ancho de 3:1 con la ecuación 2.

$$A_s = LW = Q \left[\ln \left(\frac{C_0}{C_e} \right) \right] + K_t dn \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

A_s = Área superficial

L= Largo del humedal

W= Ancho del humedal

Q= Caudal

C_0 = Concentración de mercurio inicial

C_e = Concentración de mercurio final

K_t = Constante de temperatura de las aguas residuales

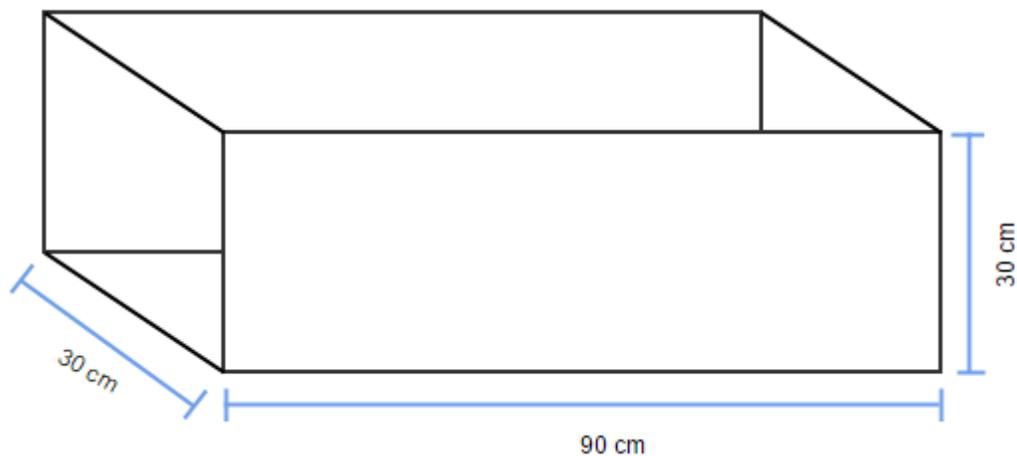
d = profundidad promedio

n = Porosidad de la estructura del filtro

La porosidad del lecho de soporte se toma estableciendo un valor medio de los dos materiales grava fina y arena que se encuentran en un rango de 25% a 50%, se toma 35%.

Se determina que las dimensiones del humedal artificial corresponden a 30 cm de ancho y 90 cm de largo.

Figura 3. Dimensiones humedal



Fuente: autor.

El tiempo de retención hidráulico se calculó con la ecuación 3.

$$TRH = \frac{LWd}{Q}$$

Ecuación 3

$$TRH = \frac{0.3m \times 0.9m \times 0.3m}{0.022m^3/dia}$$

$$TRH = 3.68dia \cong 4dias$$

Acondicionamiento de las plántulas

Las especies vegetales se escogieron teniendo en cuenta las condiciones climáticas y la adaptabilidad al medio, en cuyo caso, la especie *Heliconia psittacorum* sobrevive a temperaturas que varíen entre una mínima de 18 °C y una máxima de 34 °C (Jerez, 2007), humedad edáfica alta y elevada luminosidad; las plántulas se sembraron en su etapa de floración en el lecho del humedal, estas se expusieron a agua natural durante 5 días, con el fin de evitar el estrés hídrico y térmico, se observó su conducta y posteriormente se adicionó agua residual proveniente de la actividad minera, observando nuevamente su comportamiento durante los siguientes 15 días, en los cuales se hicieron cambios de agua cada 5 días.

Implementación del humedal

De acuerdo al diseño del humedal obtenido tras los cálculos específicos, se construyen 3 peceras en vidrio, de dimensiones 90 cm de largo, 30 cm de ancho y 30 cm de altura, se perforan dos orificios de ½ pulgada en cada una, el primero en la cámara de entrada, a una altura de 8 cm, en el cual se inserta un tubo de PVC de ½ pulgada previamente cubierto al final con un tapón de ½ pulgada y perforado aleatoriamente, con una longitud de 80 cm que distribuye el agua residual uniformemente en las peceras y el segundo en la cámara de salida a una altura de 2 cm para insertar una llave de paso que permita la salida del agua. A cada una de las peceras se coloca un lecho de soporte compuesto por grava fina y arena fina

con un grosor de 8 cm y 5 cm respectivamente, en dos de las cuales se plantan las especies de *Heliconia psittacorum* (pecera 1 y pecera 2), 6 plántulas por pecera, debido a su crecimiento a lo ancho el cual se encuentra en un rango de 12 a 15 cm, y una solamente conteniendo el lecho soporte (pecera 3), las cuales se exponen al agua residual durante TRH determinado por fórmula matemática correspondiente a 4 días (pecera 2 y pecera 3) y revisión bibliográfica el cual es de 2 días (pecera 1).

Dichas peceras, son ubicadas en un terreno previamente acondicionado, con una pendiente aproximada del 1%, cerca al sedimentador que contiene el agua residual de la actividad minera (Imagen 4), con el fin de recolectar el agua en el punto dos, por presentar mayor accesibilidad (Imagen 5); se dispone de un tanque de 50 litros para almacenar el agua y distribuirla a las 3 peceras por medio de una tubería de ½ pulgada, por edio de dos llaves de paso se regula y se controla el fluido, permitiendo el ingreso controlado del agua residual al sistema.

Imagen 4. Ubicación de las peceras, con la respectiva capa de grava gruesa.



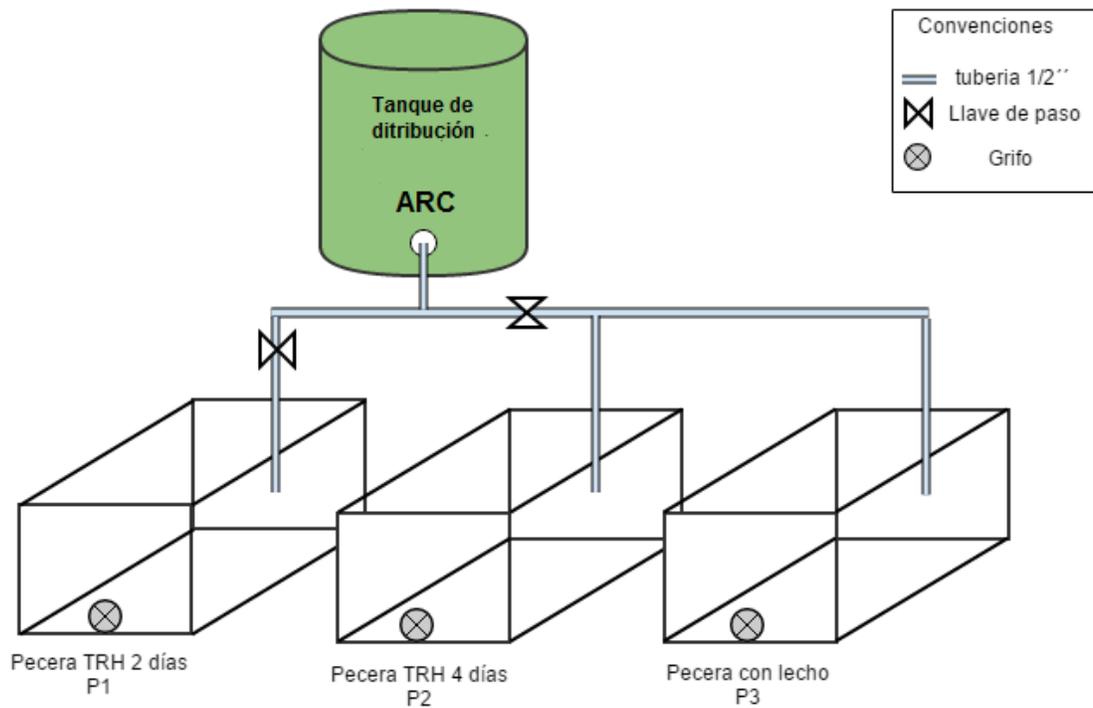
Fuente: autor.

Imagen 5. Punto 1, donde se presenta el vertimiento puntual de las aguas residuales provenientes de la actividad minera.



Fuente: autor

Figura 4. Montaje del diseño de los humedales con sus respectivas abreviaciones.



Fuente: autor.

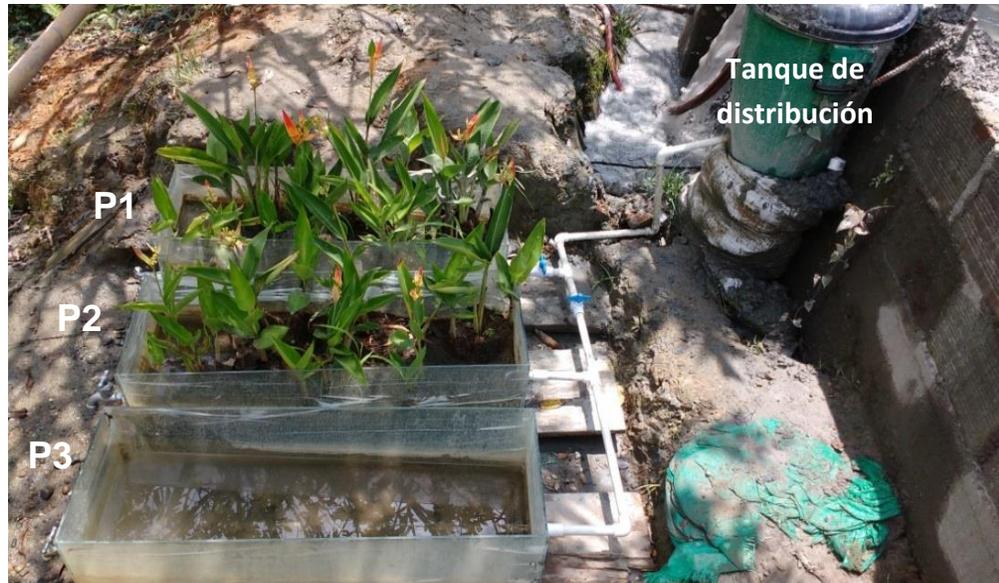
De acuerdo al anterior diseño, el tanque de almacenamiento y distribución del agua residual a las instalaciones del humedal, es considerado como el primer punto de llegada de las aguas provenientes del entable minero, el cual tiene un flujo estacionario y no continuo para su llenado y distribución a los tres sistemas. Por lo tanto las concentraciones de mercurio analizadas en este punto no presentan variaciones debido a la uniformidad del fluido.

Operación y mantenimiento

La evaluación del funcionamiento del humedal consistió en el seguimiento de la operación de este durante 56 días, con un tiempo de adaptación de 20 días en los cuales se alimentaron durante 5 días con aguas naturales y los 15 días restantes con aguas provenientes de la planta de beneficio de oro, los muestreos se programaron cada 4 días de acuerdo al tiempo de retención máximo, en algunas ocasiones fueron necesarias cortas pausas debido a la accesibilidad a los análisis de laboratorio. La investigación se desarrolló teniendo en cuenta las condiciones generales de operación, el mantenimiento del sistema y las diferentes etapas de experimentación.

Los humedales se ubicaron en un área expuesta a temperatura ambiente, luz natural, humedad relativa y vientos, aislada con una cerca elaborada en guadua para impedir el ingreso de animales y personal, que pudiesen alterar o modificar el funcionamiento del humedal (imagen 6).

Imagen 6. Montaje real de los humedales ubicados en el entable con su respectivo tanque de dispensador.



Fuente: autor.

Al término de cada muestreo, se realizaba la limpieza apropiada al sistema, la cual consistía en el enjuague del tanque de almacenamiento y cada pecera, permitiendo la limpieza del lecho filtrante, la tubería y llaves de paso, se realizaba con agua natural circulando por todo el sistema y cumpliendo la función de arrastre de partículas que pudiesen alterar las condiciones experimentales, dicha acción se duplicaba por pecera, sumado a esto, se realizaba la poda de malezas, la revisión y limpieza de las tuberías, y retiro del material sobrenadante .

Toma de muestras y análisis paramétrico

Al completar el TRH, se tomaron 3 muestras de cada una de las peceras (Imagen 9), se nombró como P1 la pecera con plantación y TRH de dos días, P2 la pecera con plantación y tiempo de retención de 4 días, y P3 la pecera sin plantación, y del tanque de suministro nombrado como agua residual cruda (ARC), en recipientes de plástico de 1000 mL (imagen 7), adaptando y obedeciendo el protocolo para

toma de muestras de aguas residuales del IDEAM y las exigencias del laboratorio, el muestreo se realizó a la entrada y salida del humedal, estas fueron enviadas bajo cadena de frío al Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira, para que se analizaran los parámetros que no era posible medir con los equipos potenciométricos, mencionados anteriormente, ver Tabla 2, sumados a estos, alcalinidad y acidez, mediante el método SM: 2320 B Titulométrico, además se caracterizó el agua nuevamente; este procedimiento se realizó 4 veces, durante el tiempo de funcionamiento de los humedales.

Imagen 7. Recolección de las muestras en recipientes plásticos de 1000 mL de capacidad: a) En el efluente de los humedales artificiales. b) En el afluente (tanque de almacenamiento).



Fuente: autor.

Imagen 8. Medición de parámetros in situ, con la ayuda de equipos potenciometricos.



Fuente: autor.

Imagen 9. Apariencia del agua obtenida de los humedales, una vez transcurrido el tiempo de retención hidráulico respectivo.



Fuente: autor.

FASE 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Finalizado el proceso se procedió a analizar el crecimiento de las plantas, los parámetros fisicoquímicos durante el funcionamiento de los humedales para compararlos con la legislación colombiana vigente referente a vertimientos (Resolución 0621 de 2015).

Para la obtención aproximada del porcentaje de remoción de la especie *Heliconia psittacorum*, se aplicó la ecuación 4, donde se tomó como carga contaminante inicial, la concentración de mercurio presente en el afluente (tanque de distribución), para determinar la carga contaminante final, se realizó una diferencia entre los valores del efluente de la pecera que contenía lecho de soporte (P3), y los efluentes de las peceras con lecho de soporte y vegetación (P1 y P2), tomando en cuenta el valor restante para realizar el cálculo matemático en cada una de ellas, con el fin de cuantificar únicamente el mercurio que se presume está siendo retenido por la planta. Cabe aclarar que este procedimiento no se realizó con la pecera que contenía únicamente lecho de soporte (P3).

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

S_0 : Carga contaminante de entrada

S: carga contaminante de salida

Debido al poco número de datos obtenidos en los resultados, se utilizó el software Microsoft Excel en la determinación de una estadística descriptiva, y sus respectivos gráficos; para la concentración de mercurio se realiza un análisis de varianza.

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DEL ENTABLE MINERO LAS PALMAS.

Previo al diseño definitivo de los humedales artificiales de flujo subsuperficial plantados con *Heliconia psittacorum*, se realizó una caracterización inicial del agua residual proveniente del entable minero Las Palmas, en el efluente y afluente del sedimentador implementado en la planta de beneficio, referidos como punto 1 y 2 correspondientemente (Imagen 3), en la cual se obtuvieron los resultados tabulados en la Tabla 3.

Tabla 3. Caracterización del agua residual proveniente del entable minero Las Palmas en el punto 1 y el punto 2.

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL MINERA			
PARÁMETRO	UNIDAD	PUNTO 1	PUNTO 2
pH	Unidades de pH	8.23	N/A
Color	Unidades Pt-Co	550	550
Temperatura	°C	22.2	22.2
Turbiedad	NTU	175.5	>1000
Conductividad	μS/cm	206.8	378
Oxígeno disuelto	mg/L	12.0	6.9
Solidos totales disueltos	mg/L	193.65	259.35
Solidos sedimentables	mL/L	0.6	0.4
DBO	mg/L	8	32
DQO	mg/L	160	196
Mercurio	mg/L	0.0037	0.0015

En la tabla anterior se puede observar que el mercurio y los sólidos sedimentables, son mayores en el punto 1 con respecto al punto 2, lo que indica que el sedimentador está cumpliendo con la función de eliminar las partículas de mayor diámetro, otros aumentan en el punto 2, por ejemplo la turbiedad, posiblemente por fenómenos de resuspensión de partículas y/o exceso de sedimentos; la DBO y la DQO, también aumentan y el oxígeno disuelto disminuye, lo que indica presencia de materia orgánica degradable química y microbiológicamente, que al degradarse está generando sólidos disueltos, que a su vez aumentan la conductividad, el color y la temperatura no varían en los puntos.

El pH en el punto 1, presentó un valor de 8.23, lo que indica que las aguas residuales son alcalinas, esto puede deberse a algunos compuestos químicos utilizados ocasionalmente, generando aumento de pH en el agua, en el punto 2 no se registran valores, a causa de fallas técnicas del equipo utilizado.

4.2. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS EN FUNCIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

Tabla 4. Caracterización físico química del agua residual proveniente del entable después de atravesar los humedales artificiales de flujo subsuperficial, plantados con *Heliconia psittacorum*.

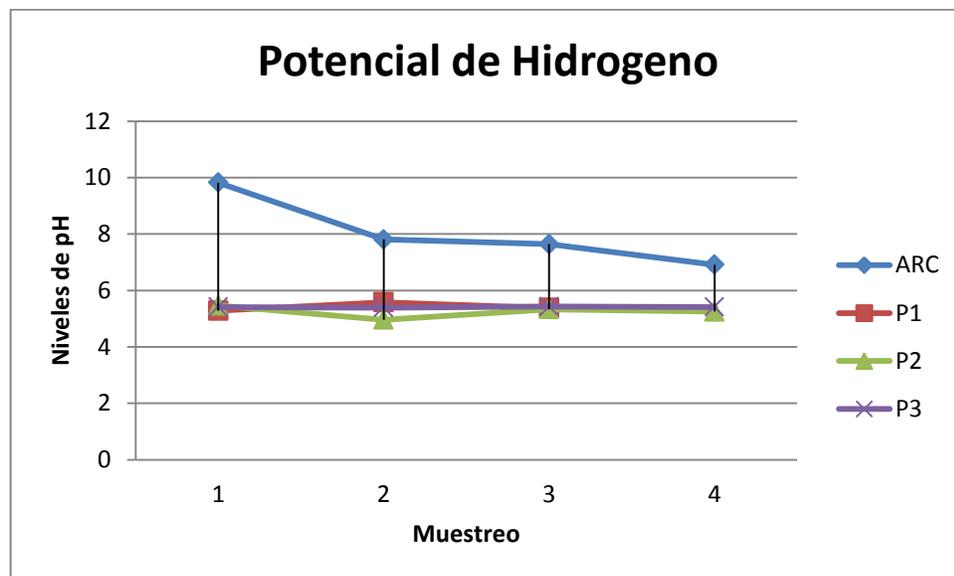
TOMA DE MUESTRAS																
	MUESTREO 1				MUESTREO 2				MUESTREO 3				MUESTREO 4			
Parametro	ARC	P1	P2	P3	ARC	P1	P2	P3	ARC	P1	P2	P3	ARC	P1	P2	P3
pH	9,82	5,28	5,46	5,41	7,81	5,58	4,96	5,39	7,64	5,38	5,33	5,43	6,91	5,413	5,25	5,41
T °C	21,4	22,9	21,5	23,1	22,1	24	22,9	24,9	22,5	20,2	20,5	20,2	22,5	21,5	21,45	22,6
OD mg/L	5,7	1,7	1,9	2,8	2,9	6,8	8,9	8,3	7,8	5,3	4,1	5,5	1,52	1,85	2,1	5,4
OD %	64	20	22	32	33	82	105	100	89	70	55	65	20	25,8	23	72
CE µs/cm	230,7	424,1	432,3	392,1	213,4	519	576	319,5	284,7	403,9	492,7	391,7	276	466	926	639
TDS mg/L	160,55	286,65	300,95	263,9	146,9	344,5	390	247,65	210,6	289,25	350,35	280,8	290	654	936	625
Turbiedad NTU	2284	3,75	4,686	150,1	1117,3	4,85	2,64	53,1	2049	8,803	3,34	22,7	764,3	11,94	7,79	11,13
DBO mgO2/L	17	7	6	3	40	66	62	2	32	2	21	25	29	3	2	5
mgO2/L	107	60	58	18	83	9	12	5	58	69	110	55	165	47	48	28
Acidez mg CaCO3/L	8	54	40	5	5	31	35	3	13,4	32	55	5	5	20,9	40,1	4
Alcalinidad mgCaCO3/L	329	211	215	131	203	197	245	133	103	162	256	145	235	225	239	84
Mercurio mgHg/L	0,067	0,002	0,002	0,003	0,006	0,003	0,002	0,0009	0,086	0,0009	0,0008	0,001	1,36	0,002	0,002	0,0033

Las expresiones de la tabla 4 ARC (Agua residual cruda) hace referencia al agua de entrada al humedal, P1 y P2 peceras que contienen plantas, lecho de soporte y un tiempo de retención hidráulico de 2 y 4 días respectivamente. P3 es la pecera que únicamente contiene lecho de soporte, en la tabla se encuentran los niveles de concentración de los parámetros físico químicos en 4 muestreos realizados a la entrada y salida del humedal determinando consigo la eficiencia del humedal.

Para presentar y discutir los resultados de la eficiencia de remoción de los sistemas con plantación de *Heliconia psittacorum* y sin ella, cada parámetro se mencionará y analizará de manera independiente.

POTENCIAL DE HIDROGENO pH

Grafica 1. Niveles de pH por muestreo a la entrada y salida de los humedales artificiales de flujo subsuperficial...



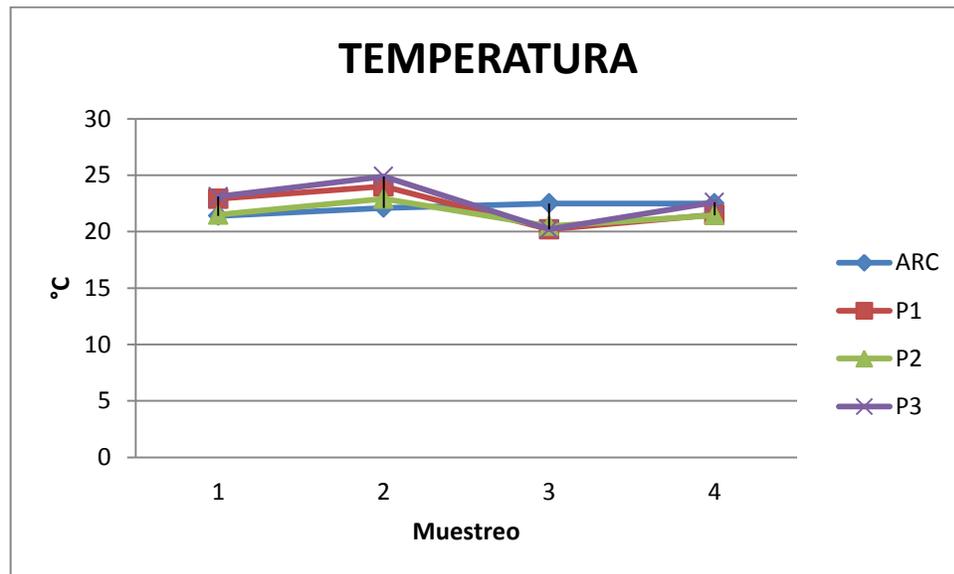
El pH al ingreso del sistema (ARC) tiene una tendencia a la neutralidad con valores de 7,81-6,91 en los 3 últimos muestreos, siendo un valor normal para aguas superficiales por que se encuentran en un intervalo de 6,0 - 8,5 u. de pH

(Marín, 2013) que son las utilizadas en el proceso minero, pero en el primer muestreo, el pH es alcalino, por la posible aplicación de Cal que se hace de manera ocasional de ser necesario en el proceso, lo que indica que de acuerdo a la actividad que se realice en el entable minero, el pH del efluente puede variar; el comportamiento del pH en los humedales con y sin plantación, fue similar entre sí, reflejando baja influencia del tiempo de TRH en este parámetro.

En cada uno de los muestreos, se obtuvo una reducción máxima de 4.86 unidades, la legislación colombiana vigente, estipula que el valor del pH debe encontrarse en un intervalo de 6-9, pero en el efluente de los humedales artificiales, los valores se encuentran entre 1 y 2 unidades por debajo del límite mínimo establecido, esto se puede deber a los posibles procesos de descomposición de materia orgánica que a su vez liberan ácidos (Sánchez, Herzig, Peters, Márquez, y Zambrano, 2007) y/o la reacción de oxidación de la pirita que produce Fe^{2+} , SO_4^{2-} H^+ , provocando un incremento en el total de sólidos disueltos y un aumento de la acidez, que irá asociado a una disminución del pH (López, Aduvire, & Baretino, 2002).

TEMPERATURA

Grafica 2. Niveles de temperatura del agua por muestreo a la entrada y salida de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.



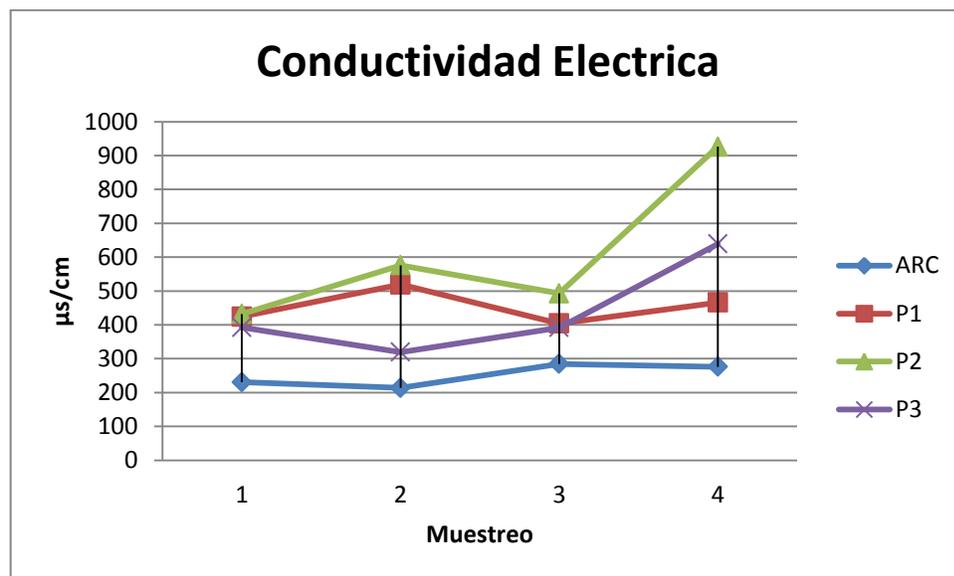
La temperatura del agua no representa una diferencia significativa entre el afluente y el efluente de cada humedal, como se observa en la gráfica en los muestreos 1 y 2 la temperatura del efluente aumenta aproximadamente dos grados en las peceras que contienen plantas, P3 no muestra una diferencia significativa; el muestreo 3 y 4 se observa una diferencia de dos grados también pero no en aumento sino en disminución; esto se debe posiblemente a la temperatura ambiente del lugar teniendo en cuenta que estas se conservan en condiciones naturales y que la toma de muestras no se realizó siempre a la misma hora; al observar el comportamiento de la temperatura en las tres peceras se determina que P3 generalmente tiene una temperatura mayor con respecto a P1 y P2 esto se debe a que la radiación solar es directa en el agua ya que no contiene plantas que obstruyan el paso de la luz solar, la capa superior será más fría que la inferior.

La temperatura afecta directamente muchos de los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo a los nutrientes que se encuentran en el agua, en

especial, afecta la solubilidad de muchos elementos y principalmente el oxígeno disuelto (Sánchez et al., 2007), el rango en que se encuentra la temperatura del efluente, fluctúa en un valor mínimo de 20.2 °C y máximo de 24.9 °C, este aumento de 3°, puede provocar mayor actividad microbologica y por tanto mayor consumo de oxígeno disuelto; el rango en el que se encuentra la temperatura es un [P1] valor satisfactorio, ya que cumple con la normatividad vigente, la cual establece que el vertimiento puntual producto de la actividad minera no debe ser superior a los 40 °C.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

Grafica 3. Valores de conductividad eléctrica en el agua por muestreo a la entrada y salida de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.



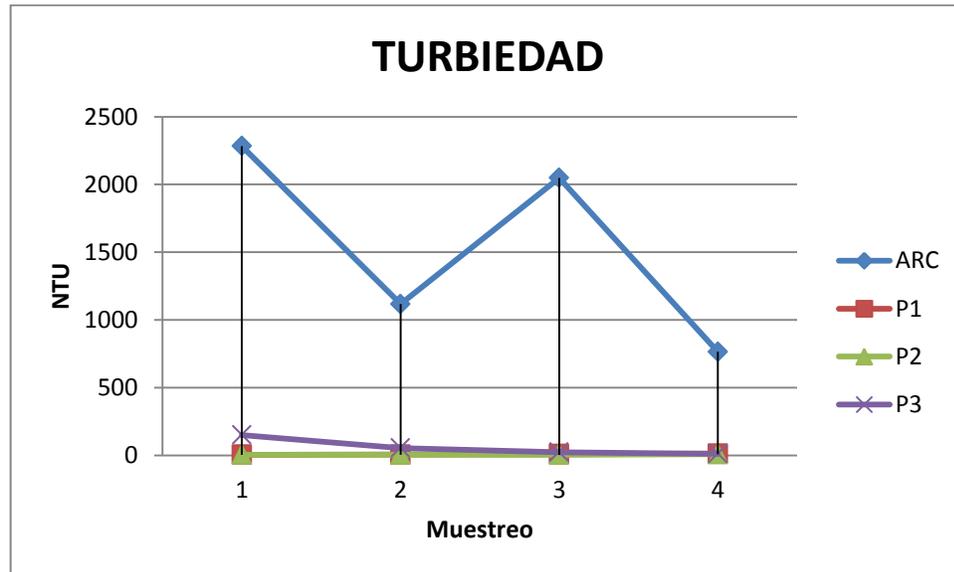
Grafica 4. Valores solidos totales disueltos en el agua entrada y salida del humedal.



La magnitud de TDS es la suma de los cationes, aniones y sílice disueltos en el agua y la conductividad eléctrica es la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica, existe una relación directamente proporcional entre estos dos parámetros (Sánchez et al., 2007); en la gráfica 4 y 5 se puede observar un aumento de los valores en el efluente de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, con respecto a los valores de ingreso, esto puede indicar que posiblemente en el interior de los mismos, haya ocurrido una reacción de oxidación de la pirita, provocando un incremento en el total de sólidos disueltos (López et al., 2002) y a su vez, aumentando la conductividad. P1 y P2 presentaron mayor conductividad y TDS que P3, a mayor TRH mayor oxidación de pirita y por consiguiente mayor TDS y conductividad.

TURBIEDAD

Grafica 5. Valores turbiedad del agua por muestreo a la entrada y salida de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.



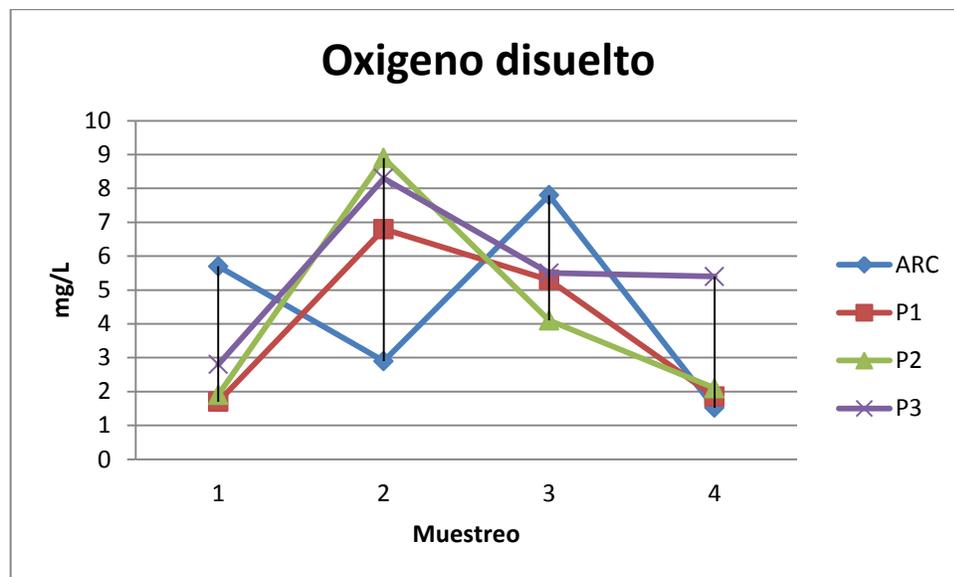
La turbiedad en el ARC se debe en gran parte a los sólidos en suspensión, provenientes del material que es procesado (roca triturada) en la actividad minera lo cual genera partículas insolubles, el agua residual, inicialmente ingresa al sistema con un valor máximo de 2268 NTU, y finaliza con valores mínimos de 3,75, 2,64 y 11,13 NTU en la pecera 1, 2 y 3 correspondientemente, en los diferentes muestreos; P3 al no poseer plantación presentó menor remoción, esto puede deberse a que no logra retener las partículas de menor tamaño (sustancias coloidales) a pesar de tener un lecho filtrante, mientras que los sistemas con plantas, además de la biomasa, cuentan con un sistema radicular que permite la sustracción de partículas de menor tamaño (Hernández, Ramos, Castillo, Orduña, 2015), además es posible que el lecho se haya compactado progresivamente, conforme pasaba el tiempo, ya que al avanzar los muestreos fue aumentando la remoción del parámetro en cuestión.

Exceptuando el muestreo 1, los valores de P2 (TRH 4 días) estuvieron por debajo de los de P1 (TRH 2 días): en el primer y segundo muestreo en P1 y P2 se

obtienen valores por debajo de 5 NTU, en el tercero solo P2 está por debajo y en el cuarto todos se encuentran por encima de 5, esto puede deberse a la resuspensión de partículas que ya habían sido removidas en el lecho.

OXIGENO DISUELTO

Grafica 6. Oxígeno disuelto en el agua por muestreo a la entrada y salida de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.



En la gráfica anterior se puede observar un aumento significativo de los valores de oxígeno disuelto en el muestreo 2 en cada una de las peceras con respecto al muestreo 1, totalmente distinto al comportamiento del ARC, es posible que los humedales no se hubieran estabilizado hasta el momento, el posterior descenso de los valores, puede indicar que la adaptación se ha completado en su totalidad, donde es posible que se haya generado una biopelícula en el lecho de soporte y un crecimiento de microorganismos aerobios y anaerobios que se adhieren a los rizomas de las plantas, además del aporte inicial de materia orgánica durante este periodo la cual empieza a ser oxidada por los microorganismos (Rodríguez, Gómez, Garavito, & López, 2010); en el tercer muestreo se obtienen valores entre

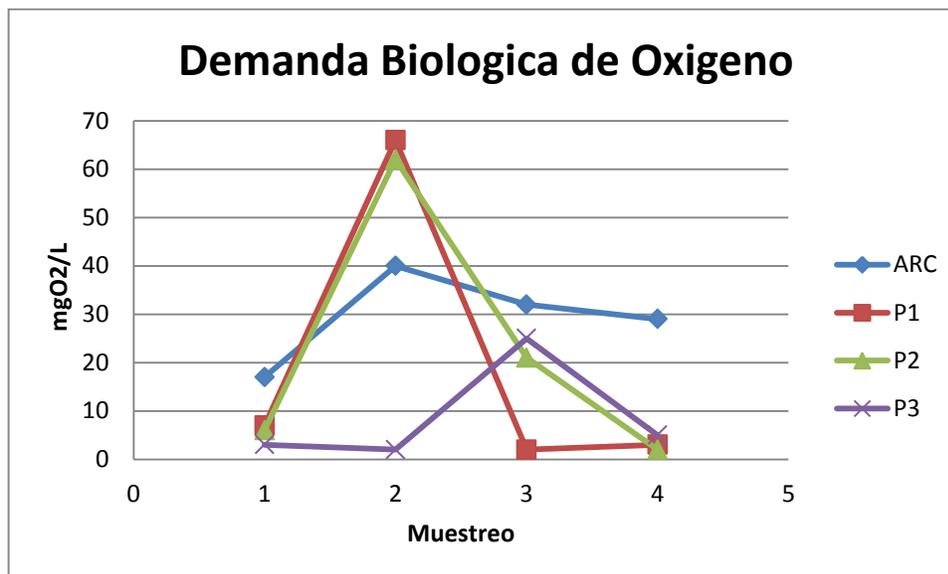
4,1 y 5,1 en los humedales intervalo cercano a 5 mg/L, el cual permite que sucedan diferentes procesos microbianos aeróbicos y por tanto remoción de materia orgánica biodegradable, y en el muestreo 4, tanto en el ARC como en la pecera 1 está por debajo de 2 mg/L y la pecera 2 presenta valores cercanos a 2 mg/L, donde los microorganismos aerobios sufren de mortalidad, afectando la reducción de materia orgánica (Sánchez et al., 2007), la pecera tres no tiene plantaciones, presento valores de 5,5 y 5,2 en el muestreo 3 y 4 respectivamente.

En el muestreo 4, se evidencia mayor consumo de oxígeno disuelto en las peceras con plantación, que en la que no posee plantas, esto, posiblemente a la mayor superficie de adherencia que provee la vegetación.

El oxígeno disuelto del ARC (el afluente del sistema) presentó un comportamiento inconstante, no se establece interrelación con el oxígeno disuelto en las peceras que presentaron comportamientos similares entre sí, en el segundo muestreo se puede observar picos altos en las peceras con valores de 6.8, 8.9 y 8.3 mg/L a pesar de que al ingreso fue muy bajo en el segundo muestreo, lo que indica que hubo un gran aporte de oxígeno por parte de las plantas.

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO₅)

Grafica 7. Valores demanda biológica de oxígeno en agua por muestreo a la entrada y salida de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.



Los valores de la DBO se encuentran por debajo de los límites permisibles que establece la resolución 631 de 2015, tanto en el efluente del entable minero como en el efluente de los humedales en 3 de 4 muestreos, en el muestreo número 2, los valores incrementan a 40 mg/L en el efluente del entable minero y hasta 66 mg/L en uno de los humedales, superando por 16 mg O₂/L los valores permisibles, al término de los muestreos, los valores se encuentran muy por debajo de los permisibles, además al estar por debajo de 6, se clasifica como agua de buena calidad.

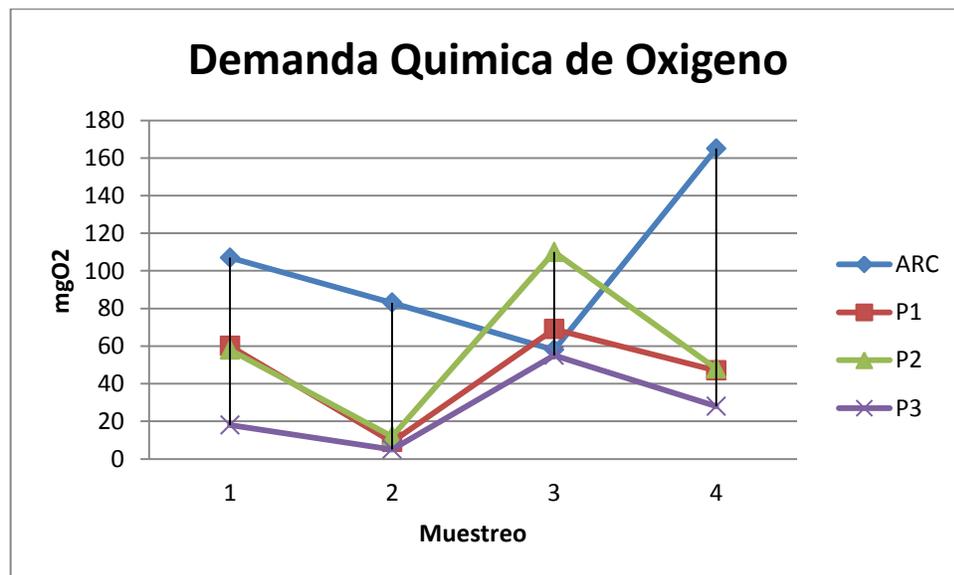
Según Sánchez et al., (2007), un valor de DBO mayor de 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L indica agua aceptable, y valor de DBO mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L, indica agua contaminada, los valores del efluente del entable minero se encuentran entre estos intervalos, debido a la materia orgánica proveniente de algunos aditivos naturales utilizados en los cocos, en el muestreo 1, se obtienen valores atípicamente mayores que la DQO razón por la cual se presumen errores

procedimentales en el momento de la toma de la muestra o en el análisis de laboratorio. Aunque los valores de DBO en el último muestreo son muy bajos, nunca llegaron a 0 porque el sistema produce una DBO interna que regularmente es >5 mg/L (EPA, 1993)

P1 (TRH 2 días) y P2 (TRH 4 días), presentaron comportamientos similares hasta el muestreo 3, donde P2 presentó un valor menor 19 mg de O₂/L de DBO en relación a P1, y finalmente en el cuarto muestreo supera por 1 mg O₂/L a P2.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Grafica 8. Valores de demanda química de oxígeno en agua por muestreo a la entrada y salida de los humedales artificiales.



Los valores de DQO a lo largo del funcionamiento del sistema, en el ARC (afluente del sistema), en la mayoría de los muestreos, estuvieron por debajo de los permisibles establecidos en la resolución 631 de 2015, equivalente a 150 mg/L, excepto en el muestreo 4, donde superó por 14 mg/L lo permisible, cabe destacar que en el efluente de los humedales, los valores se encontraron siempre por

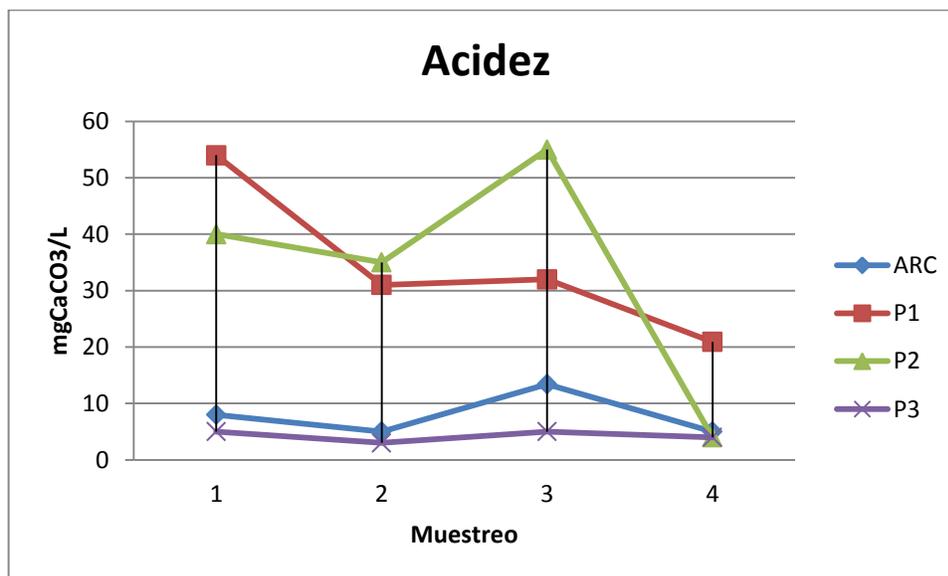
debajo del límite permitido, verificando así la eficiencia en la eliminación de los compuestos degradables químicamente.

La DQO es una medida aproximada del contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable de una muestra de agua, en el muestreo uno se obtienen reducciones de DQO de hasta 49 mg O₂/L en los humedales con vegetación y 89 en el humedal sin vegetación, en el muestreo 2, las reducciones son de 76 y 78 mg O₂/L respectivamente, en el muestreo 3 se observa un aumento en los niveles de DQO, lo cual se ve reflejado en el oxígeno disuelto que aumenta notablemente, es posible que los humedales se hayan estabilizado y por tanto crecido microorganismos que empezaron a consumir oxígeno para degradar la materia orgánica, en el siguiente muestreo hay un notable descenso en la tres peceras, donde se obtienen reducciones de hasta 137 mg O₂/L en los humedales con respecto al ARC representando una alta eliminación de materia orgánica.

P1 (TRH 2 días) y P2 (TRH 4 días) presentan semejanzas en su comportamiento en la mayoría de los muestreos, con diferencias máximas de 3 mg O₂/L excepto en el tercero, donde P2 supera a P1 por 39 mg O₂/L,

ACIDEZ

Grafica 9. Valores de acidez en agua por muestreo a la entrada y salida de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.



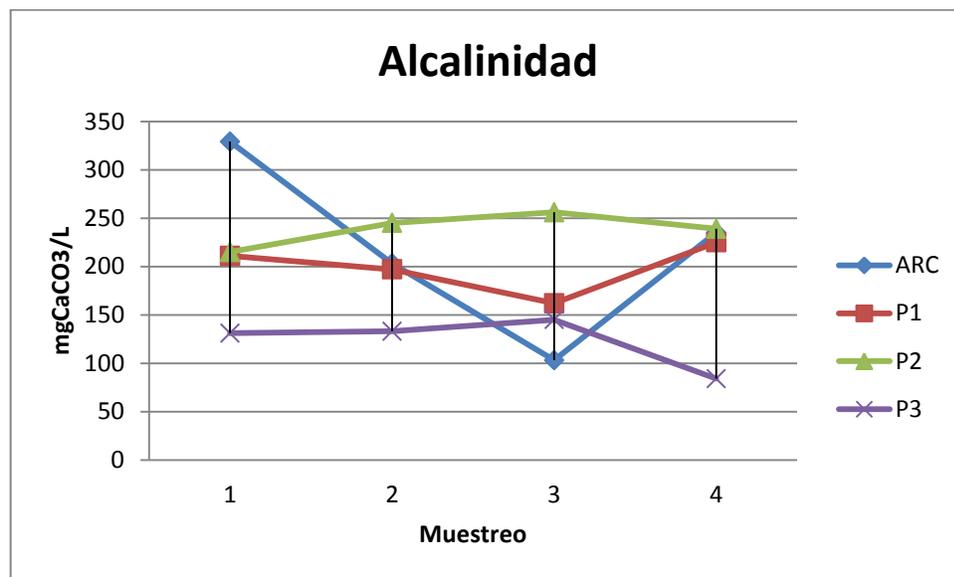
En la gráfica 9 se puede observar la variación de la acidez del agua residual de los puntos monitoreados, los valores registrados en los puntos P1, P2, P3 hacen referencia a la muestra de aguas tomadas después de atravesar las secciones del humedal artificial, por tanto se aprecia que en P1 y P2 los valores de la acidez aumentan significativamente con respecto a los datos monitoreados de la muestra en ARC, esto se puede deber a que se encuentran asociadas generalmente a posibles procesos de descomposición de materia orgánica que a su vez liberan ácidos (Sánchez et al., 2007) y/o la reacción de oxidación de la pirita que produce Fe^{2+} , SO_4^{2-} e H^+ , aumentando la acidez, que irá asociado a una disminución del pH (López et al., 2002).

Los valores acidez al ingreso de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, disminuyen en el efluente de P3 (sin plantación) y aumentan en P1 y P2 (con plantación), se cree que en estos últimos, hubo mayor crecimiento microbiano, debido a la superficie de adherencia que proveen las plantas en sus rizomas, y por

tanto mayor descomposición de materia orgánica, además pueden haber caído hojas de *Heliconia psittacorum* en el lecho de soporte aumentando la materia orgánica y por tanto la acidez.

ALCALINIDAD

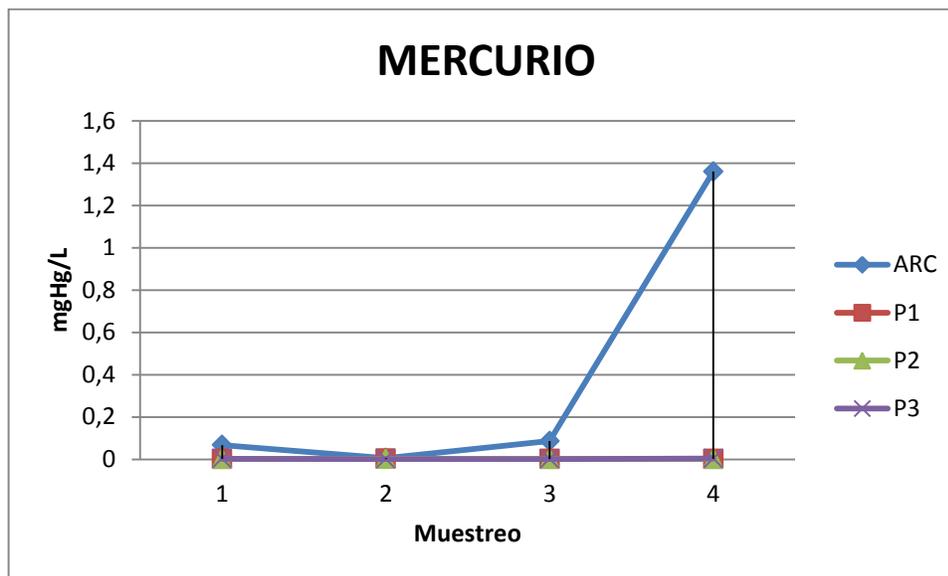
Grafica 10 Valores de alcalinidad a la entrada y salida del humedal.



El valor al ingreso de los humedales (ARC) en el primer muestreo es alto, este se puede atribuir al uso ocasional de cal de acuerdo a la necesidad en el proceso de minería, en P3 la alcalinidad disminuye visiblemente en la mayoría de los muestreos hasta alcanzar valores de alcalinidad media, P2 y P1 presentan también alcalinidad alta, esto debido posiblemente a la respiración de los microorganismos ya que al reaccionar el CO₂ generado con el agua produce carbonatos (CO₃); los microorganismos son los encargados de eliminar la materia orgánica presente que producen (Marín, 2013), donde se puede evidenciar mayor crecimiento de estos en las peceras con vegetación.

MERCURIO Hg

Grafica 11. Valores de mercurio por muestreo en el agua a la entrada y salida de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.



El mercurio como metal toxico es necesario para la actividad minera ya que forma soluciones amalgamadoras con otros metales entre ellos el oro, se observa que las concentraciones de este metal generadas por la planta de beneficio se encuentran entre 0,006 mg/L y 1,86mg/L indicando que no cumple con la ley de vertimientos de Colombia, ya que su valor máximo permisible es de 0,002 mg/L para un vertimiento de agua residual de actividad minera. Cabe resaltar, que el diseño del humedal se realizó acorde a dicha ley, para que la concentración de salida sea la del valor permisible, valor que se cumple en el efluente de los humedales artificiales de flujo subsuperficial e inclusive se encuentra por debajo en la mayoría de los muestreos en las peceras con plantación (P1 y P2). Según los resultados obtenidos se percibe su cumplimiento en las concentraciones de salida en algunas con un valor menor determinando a lo esperado en el diseño una eficiencia del sistema alta con una variación entre 0,0008 mg/L hasta la mayor concentración de 0,003 mg/L esta variación es debido a que los días de muestreos son diferentes y la producción en el entable minero Las Palmas no es

igual, además cuando el tanque sedimentador se colmata se le realiza una limpieza en la cual los lodos acumulados son llevados a una zona de almacenamiento.

En el muestreo 2 en relación a los demás, se obtuvo una concentración de mercurio baja, registrando 0,006 mgHg/L, esto debido al mantenimiento de las unidades de contención realizado días previos al muestreo, lo cual aumento la eficiencia del tanque sedimentador y permitió una mayor sedimentación del mercurio residual debido a su densidad; sin embargo algunas partículas de mercurio que se encuentran en capas de lodos no sedimentados son arrastradas por el flujo de agua continuo generado en el entable.

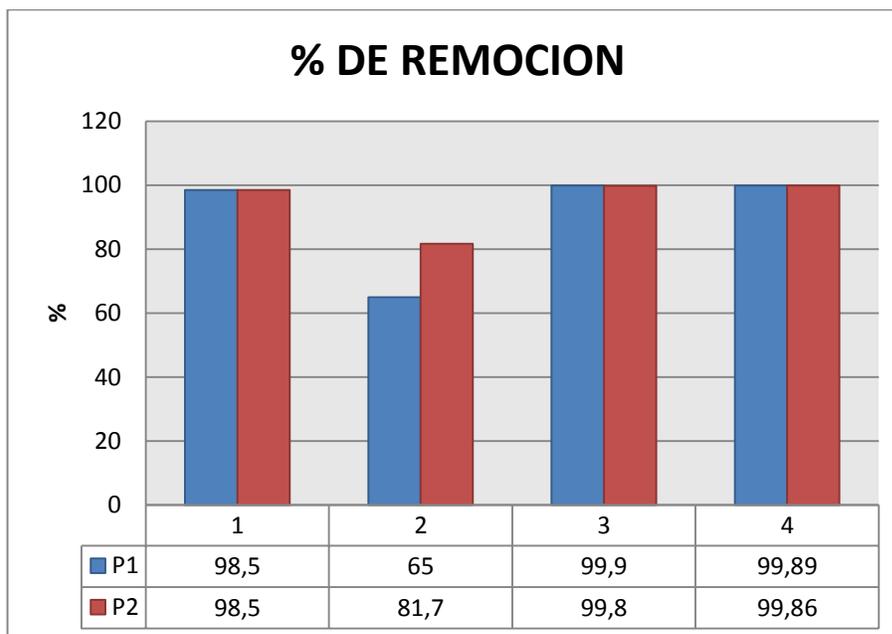
4.3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MERCURIO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

La eficiencia de remoción se calculó con la Ecuación 4, la cual consiste en un cálculo matemático entre las cargas de mercurio presentes en el afluente y el efluente de los humedales artificiales de flujo subsuperficial.

Tabla5. Eficiencia de remoción de los sistemas.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN	
PECERA	% REMOCIÓN
P1	98,5
	65
	99,9
	99,89
P2	98,5
	81,7
	99,8
	99,86

Grafica 12. Porcentaje de remoción de mercurio en cada sistema



De acuerdo a los resultados de la gráfica 12, se observa las variaciones del porcentaje de remoción de mercurio por el humedal artificial de flujo subsuperficial plantados con *Heliconia psittacorum*, durante las jornadas de muestreos realizadas, los cuales varían entre 65% y 99.9%, similares a valores presentados en estudios previos, según Peña et al, (2013) se analizó la bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación en este caso *Heliconia psittacorum* reportando un valor del 95% de remoción, por otro lado, Madera et al, (2014) comprueba la capacidad acumuladora de metales pesados de dicha especie por medio de la fitorremediación de lixiviado proveniente de rellenos sanitarios.

En la gráfica anterior, se puede observar que P1 presenta un porcentaje de remoción de mercurio que varía entre 65 % y 99.9 %, del mismo modo P2 presenta una variación entre 81.7 % y 99.86 %, de acuerdo a los resultados obtenidos y estudios realizados, se presume que la planta *Heliconia psittacorum* remueve altos niveles del metal pesado, permitiendo así una disminución de los

iones de mercurio presentes en el agua residual minera proveniente del beneficio de materiales.

De acuerdo al análisis de varianza, en el cual se utilizó un porcentaje de confiabilidad de 95% y un alfa de 0.05 se obtiene como resultado una hipótesis nula, debido a que la probabilidad obtenida es mayor al alfa, esto indica que los valores de los tratamientos no presentan una diferencia estadísticamente significativa, lo cual no permite demostrar la influencia de la planta en la remoción de mercurio, aunque es necesario realizar un mayor número de muestreos para poder corroborar la remoción del metal pesado en el humedal.

Se considera que el TRH más adecuado para la remoción de mercurio en el humedal, P2 con TRH de 4 días, representa un porcentaje de remoción mayor a P1 con un TRH de 2 días, lo que significa que a mayor TRH, mayor absorción de nutrientes y por ende, remoción del metal pesado, indicando que a mayor tiempo de exposición, mayor remoción de mercurio.

Cabe resaltar que para la determinación de los porcentajes de remoción se consideraron niveles de mercurio presentes en el agua residual de la entrada al sistema los cuales varían entre 0.006 mgHg/L y 1.36 mgHg/L. Obteniendo una concentración menor en el segundo muestreo esto debido a que se presume que la remoción de mercurio disminuye cuando la concentración de ingreso del mismo es menor.

4.4 CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS

Durante el periodo de la investigación, se monitoreo el crecimiento de las plantas, este consistió en mediciones desde los rizomas hasta el pétalo más alto de las mismas, desde el momento en que fueron sembradas y en cada uno de los muestreos. Con el fin de verificar el crecimiento que cada plántula obtuvo.

Tabla 6. Medición del crecimiento de las plántulas de *Heliconia psittacorum* plantadas en los humedales artificiales de flujo subsuperficial.

SEGUIMIENTO CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS						
	INICIO	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio crecimiento
Planta 1	54 cm	56,7 cm	58 cm	59,2 cm	60,93 cm	6,93 cm
Planta 2	55 cm	63 cm	65,8 cm	66 cm	68,2 cm	13,2 cm
Planta 3	72,2 cm	74 cm	74,2 cm	75,4 cm	76,6 cm	4,4 cm
Planta 4	46,5 cm	48,5 cm	48,9 cm	49,9 cm	51 cm	4,5 cm
Planta 5	64,5 cm	69,2 cm	71 cm	71,3 cm	73,4 cm	8,9 cm
Planta 6	59,1 cm	59,6 cm	61,1 cm	62 cm	62,9 cm	3,8 cm
Planta 7	66,2 cm	66,8 cm	69 cm	69,8 cm	71 cm	4,8 cm
Planta 8	54,3 cm	55,1 cm	55,6 cm	56 cm	56,6 cm	2,3 cm
Planta 9	79,5 cm	80,5 cm	81,3 cm	82 cm	82,8 cm	3,3 cm
Planta 10	51,9 cm	52 cm	54,4 cm	54,7 cm	55,6 cm	3,7 cm
Planta 11	52,5 cm	54 cm	54,9 cm	55,2 cm	56,2 cm	3,7 cm
Planta 12	58,7 cm	59,8 cm	60,2 cm	61,3 cm	62,1 cm	3,4 cm

Las plantas presentaron respuestas positivas a lo largo de la investigación, ya que crecieron constantemente entre 0.5 y 1 cm por muestreo, además conservaron la mayoría de sus hojas e inflorescencias, se percibe en los promedios de crecimiento que las plantas a la entrada del humedal crecen más altas lo que puede concluir que al ingreso del humedal existe mayor cantidad de nutrientes con respecto a las plantas que se encuentran a la salida; también se observó el crecimiento de brotes nuevos estableciendo que las plantas se adaptan fácilmente al agua residual minera, y se puede decir que tienen un crecimiento normal, no existen alteraciones notorias en su desarrollo, tales como marchitamiento, clorosis, malformaciones en las hojas e inflorescencias .

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación, se considera que aparentemente la especie *Heliconia psittacorum* remueve entre el 65 % y 99.9% de mercurio proveniente del entable minero Las Palmas. Aclarando que no se puede afirmar que es la planta quien realmente realiza la remoción, debido al poco número de muestras.

De acuerdo al análisis de varianza de mercurio se establece que la planta no presenta remoción de mercurio.

Bajo las diferentes concentraciones de mercurio, aplicadas a los humedales artificiales de flujo subsuperficial, el TRH más efectivo, fue el de 4 días, siendo el que obtuvo los mayores porcentajes de remoción, demostrando así, la influencia del tiempo en dicho tratamiento.

Los valores de los parámetros DBO, DQO, temperatura y concentración de Mercurio, en el efluente de los humedales artificiales de flujo subsuperficial con y sin plantación, se encuentran por debajo de los límites permisibles establecidos en la normatividad colombiana vigente, por lo cual se establece la eficacia los mismos para aguas residuales industriales, excepto por el pH, el cual se presenta valores fuera del rango, por lo cual es necesario un reajuste para que este cumpla con la normatividad.

Los individuos de *Heliconia psittacorum* plantados en los humedales artificiales de flujo subsuperficial, reaccionaron bien en cuanto a las condiciones ambientales, el sustrato y a la exposición al agua residual proveniente del entable minero Las Palmas, sin presentar muerte, y baja pérdida de hojas e inflorescencias, y además, continuar con su crecimiento natural, por lo tanto, se puede decir que la

aplicabilidad para tratamiento biológico mediante humedales artificiales aumenta si se utiliza bajo las mismas condiciones.

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial con y sin plantación presentaron comportamientos similares en parámetros como: pH, temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, DQO y concentración de mercurio; los que tenían plantación se asemejaron en: conductividad eléctrica y DBO; la alcalinidad y la acidez fue diferentes en los tres humedales.

Al utilizar el agua directamente del efluente del entable minero Las Palmas (Agua residual cruda), para distribuir a los humedales artificiales de flujo subsuperficial (P1, P2 y P3), no se garantiza que la concentración de mercurio y otros parámetros sea distribuida de manera uniforme, ya que pueden existir pérdidas por accesorios, longitud de la tubería, velocidad entre otros.

La implementación de humedales artificiales con *Heliconia psittacorum* son viables para la depuración de aguas residuales producto de la industria minera, teniendo costos bajos en cuanto a instalación, consumo de energía, suministro, operación y mantenimiento, además de no requerir un control permanente.

5.2. RECOMENDACIONES.

Se debe mejorar el diseño, de tal manera que se aumente el número de muestras y se implemente un humedal que no sea regado por el ARC para poder comparar el crecimiento de las plantas.

Realizar los muestreos de manera continua, para evitar cambios indeseados en los humedales artificiales que alteren los resultados del estudio.

Analizar a fondo el agua residual procedente del entable minero Las Palmas, para tener un mejor conocimiento de sus componentes y así mismo facilitar el análisis de los resultados.

Se recomienda realizar un estudio para determinar el tiempo de retención de la planta, estableciendo con mayor precisión la eficiencia de la especie *Heliconia psittacorum* como también su disposición final ya que es clasificado como residuo peligroso por su contenido de mercurio, no sin antes determinar en qué parte de la planta se concentra el mercurio.

Se recomienda la implementación de humedales artificiales como tratamiento biológico de las aguas residuales de la industria minera para mitigar y evitar los impactos generados por dichos residuos.

Hacer uso racional de agua en los procesos del beneficio de oro.

Implementar estrategias educativas sobre la toxicidad del mercurio en la salud humana y medios acuáticos.

Prestar más atención por parte de las entidades públicas a pequeños y medianos mineros consiguiendo con esto, el desarrollo de una minería limpia y sustentable.

Se recomienda realizar talleres a la comunidad minera, para que conozcan y desarrollen, sistemas de tratamientos de aguas resídales producto del beneficio de

oro, ya que en las áreas urbanas y rurales del municipio de Suarez las aguas residuales son evacuadas directamente a cuerpos de agua superficiales.

BIBLIOGRAFÍA.

- Álvarez, R. & Mancera, N. J., (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v11n1/v11n1a01.pdf>.
- Arivoli, A., Mohanraj, R. & Seenivasan, R. (2015). Application of vertical flow constructed wetland in treatment of heavy metals from pulp and paper industry wastewater. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 13336–13343. Doi: 10.1007/s11356-015-4594-4.
- Campuzano R, (s.f.) Bibliografía de la historia minera colombiana: balance y perspectivas. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/23355/1/20227-68139-1-PB.pdf>.
- Castilhos, Z., Rodrigues-Filho, S., Cesar, R., Rodrigues, A. P., Villas-Bôas, R., De Jesus, I., Lima, M., Faial, K., Miranda, A., Brabo, E., Beinhoff, C. & Santos. (2015). Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 11255–11264. Doi: 10.1007/s11356-015-4340-y.
- Corporación Autónoma Regional del Cauca. (2007). Estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera de oro. Recuperado de: <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/MINERIA%20BUENOS%20AIRES/EVALUACION%20Minero%20ambiental%20BUENOS%20AIRES.pdf>.
- Corporación Regional del Cauca. (s.f.)a. *Aspecto minero en el municipio de Suarez, área de influencia corregimientos de Mindala y La Toma.*

Recuperado de
<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/MINERIA%20SUAREZ/DIAGNOSTICO%20%20MINERO.pdf>.

Corporación Regional del Cauca. (s.f.)b. *Diagnóstico ambiental en el municipio de Suarez, área de influencia corregimiento Mindala y la Toma*. Recuperado de <http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/MINERIA%20SUAREZ/DIAGNOSTICO%20AMBIENTAL.pdf>

Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R. & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. subtrop. Agroecosyt*, 14(2). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S187004622011000200002&script=sci_arttext.

Delgadillo-López, A. E., & González-Ramírez, C. A. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597–612.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Recuperado de http://cebem.org/cmsfiles/publicaciones/dep_aguas_residuales.pdf

Diez, J. (2008) Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización (tesis doctoral). Universidad Santiago de Compostela, España.

Estrada, I. (2010). Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. (Trabajo tecnológico). Universidad tecnológica de Pereira, Colombia.

Galván, J. L., Cubillos, J. A., & Paredes, D. (s. f.). Evaluación de sistemas de humedales construidos para la disminución de la concentración de metales

pesados generados por drenajes ácidos de minería. Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua. Recuperado de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/sistemas-de-humedales/files/assets/basic-html/page20.html.

Goulet, R. R., Leclair, E. N. & Pick, F. R. (2001). The Evaluation of Metal Retention by a Constructed Wetland Using the Pulmonate Gastropod *Helisoma trivolvis* (Say). *Arch. Environ. Contam. Toxicol*, 40, 303–310. Doi: 10.1007/s002440010176.

Güiza, L. (2013). La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña. *Dyna*, 181, 109–117.

Hernández, D., Ramos, N., Castillo, J. & Orduña, J. (2015). Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo sub-superficial utilizando *Stipa ichu* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Ingenium*, 9(25), 47–59.

Hilson., G. (2002). The Environmental Impact of Small-Scale Gold Mining in Ghana: Identifying Problems and Possible Solutions. *The Geographical Journal*, 168(1), 57-72. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/3451222>.

Ibne, A. K., Rase, M., Hassan, M., Ahmed, F., Tanvir, M. & Moniruzzaman, M. (2016). Bioaccumulation of Trace Metals in Selected Plants within Amin Bazar Landfill Site, Dhaka, Bangladesh. *Environ. Process*, 3, 179 – 194. Doi: 10.1007/s40710-016-0123-9.

Información general. (s.f.). Suarez, Colombia.: Alcaldía de Suárez – Cauca. Recuperado de http://suarez-cauca.gov.co/informacion_general.shtml.

Jerez, E. (2007) El cultivo de las Heliconias. *Cultivos Tropicales*, 28 (1), 29-35.

Ley 1658 2013. Diario Oficial de Colombia No. 48.852, Santafé de Bogotá, Colombia, 15 de julio de 2013.

Ley 685 de 2001. Diario Oficial de Colombia, Santafé de Bogotá, 15 de agosto de 1993.

Ley 99 de 1993. Diario Oficial de Colombia, Santafé de Bogotá, 22 de diciembre de 1993.

López, E., Aduvire, O., & Baretino, D. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: Estado actual y perspectivas de futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 113(1), 3–21.

Lopez. P. (s.f.) Evaluacion minero- ambiental del distrito de Suarez. Recuperado de:
<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/MINERIA%20SUAREZ/>

Madera, C. A., Peña, E. J. & Solarte, J. A. (2014). Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2). Recuperado de:
<http://revistaingenieria.univalle.edu.co:8000/index.php/incompe/rt/printerFriendly/659/476>.

Mancera, N. J. & Álvarez, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v11n1/v11n1a01.pdf>.

- Marín Galvin, R. (2003), *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamiento y control de calidad de aguas*, Madrid España, Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2012). SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf.
- Ministerio de minas y energía. (2014). Estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera de oro. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/cadena_de_mercurio/Cadena_Mercurio_Tomo_II.pdf.
- Mogollón, M. (2013) *Caracterización fisicoquímica de los humedales artificiales universidad de Pamplona Norte de Santander* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7028/2/116621.pdf>
- Niane, B., Guédron, S., Moritz, R., Cosio, C., Ngom, P. M., Deverajan, N., Pfeifer, R. H., & Poté, J. (2015). Human exposure to mercury in artisanal small-scale gold mining areas of Kedougou region, Senegal, as a function of occupational activity and fish consumption. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 7101–7111. Doi: 10.1007/s11356-014-3913-5.
- Odumo, B. O., Carbonell, G., Angeyo, H. K., Patel, J. P., Torrijos, M. & Rodríguez, J. A. (2014). Impact of gold mining associated with mercury contamination in soil, biota sediments and tailings in Kenya. *Environ Sci Pollut Res*, 21, 12426–12435. Doi: 10.1007/s11356-014-3190-3.
- Olmos, M. A., Alarcón, M. T. & Martín, I. R. (2012). Performance of *Eleocharis macrostachya* and its importance for arsenic retention in constructed

wetlands. *Environ Sci Pollut Res*, 19, 763–771. Doi: 10.1007/s11356-011-0598-x.

Orozco, Á. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=t5w5EZf1VhMC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Paisio, C. E., González, P. S., Talano, M. A. & Agostini, E. (2012). *Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances*. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 3(2), 119-146. Recuperado de: <http://www.ambientalex.info/revistas/vol3n23.pdf>.

Peña, E. J., Madera, C.A., Sánchez, J. M., y Medina, J. (2013). Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconia psittacorum* (Heliconiaceae). *Acad. Colomb. Cien.*, 37(145), 469-481. Recuperado de: http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_37/145/469-481.pdf.

Rengifo, D. L., Reyes, W. & Prado, L. (2013) Presencia de mercurio en el río Napo. *Revista del encuentro científico internacional*. 9(2). 71-76.

Resolución 2115. Diario oficial de Colombia No. 46.679, Santafé de Bogotá, Colombia, 4 de julio de 2007.

Resolución 0631 de 2015. Diario oficial de Colombia. Santafé de Bogotá, 4 de julio de 2007.

Reyes, E. D., Cerino, F.J. & Suarez, M. A. (2006). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. *Ingenierías*, 9(31), 59-64. Recuperado de: file:///C:/Users/HP/Downloads/31_remocion.pdf.

Rigola, Lapeña M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y aguas residuales*. 1era Edición. Editorial Marcombo. Colombia. Págs. 155.

Rodríguez-Miranda, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando

lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 1(1), 59–68.

Ruiz V. (2012) La minería de oro en Colombia. Valle del Cauca. Recuperado de: <http://www.mineriasostenible.com.co/2012/05/estado-del-arte-mineria-de-oro.html>.

Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., y Zambrano, L. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Recuperado de: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/533.pdf>

Si, W., Yang, F., Lv, Y., Wang, Y. & Zhang, Y. (2011). The function of constructed wetland in reducing the risk of heavy metals on human health. *Environ Monit evaluar*, 181, 531-537. Doi: 10.1007/s10661-010-1847)-z.

Suchanek, T. H., Richerson, P. J, Zierenberg, R. A., Eagles-Smith, C. A., Slotton, D. G., Harner, E. J., Osleger, D. A., Anderson, D. W., Cech, J. J., Jr., Schladow, S. G., Colwell, A. E., Mount, J. F., King, P. S., Adam, D. P., & McElroy, K. J. (2008). The Legacy of Mercury Cycling from Mining Sources in an Aquatic Ecosystem: From Ore to Organism. *Ecological Applications*, 18(8), A12-A28. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/27645927>.

Tejada,C., Villabona, A., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n34/v18n34a10.pdf>.

U.S. EPA. (1993). Subsurface Flow Constructed Wetland For Wastewater Treatment. EPA 832-R-93-008, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

ANEXOS.

Anexo A. Cálculos concernientes al diseño del humedal.

$$A_s = L W = Q \left[\ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \right] + K_t dn$$

$$A_s = LW = 0.022 m^3 / dia \left[\ln \left(\frac{0.8 mg/L}{0.002 mg/L} \right) \right] + 1.24 \times 0.3m \times 0.35$$

$$A_s = LW = 0.262 m^2$$

$$\frac{L}{W} = \frac{3}{1}$$

$$L = 3W$$

$$3W \times W = 0.262 m^2$$

$$\sqrt{W^2} = \sqrt{\frac{0.262 m^2}{3}}$$

$$W = 0.295 m \cong 0.30 m$$

$$L = 3 \times 0.30 m$$

$$L = 0.90 m$$

Anexo B. Resultados prueba análisis de varianza.

ANÁLISIS DE VARIANZA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,4283311	3	0,142777	1,3336492	0,309459005	3,4902948
Dentro de los grupos	1,2846889	12	0,1070574			
Total	1,7130199	15			<0,05	

Anexo C. INFORME DE RESULTADOS 1: Caracterización inicial del agua.



ACREDITADO
ONAC
ORGANISMO NACIONAL
DE ASESORIA Y CONTROL
ISO/IEC 17025:2005
10-LAB-029

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION**

INFORME DE RESULTADOS



Universidad Tecnológica
de Pereira

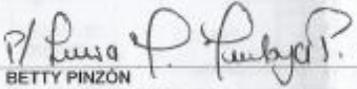
Código	123/LAB/RS
Versión	4
Fecha	2015-02-00
Página	1 de 5

INFORME DE RESULTADOS No.	1324/16
----------------------------------	---------

Laboratorio:	Análisis de Aguas y Alimentos
---------------------	-------------------------------

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas
Día	Mes	Año		
05	12	2016	856/16	5

DATOS DE LA EMPRESA			
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA	Nit o C.C.:	891.501.766-6
Solicitante:	Adriana L. Sánchez Vergara	Cargo:	Docente
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

<p style="text-align: center;"></p> <p>BETTY PINZÓN Auxiliar Administrativo. Elaboró</p>	<p style="text-align: center;"></p> <p>OLGA INÉS VALLEJO V. Responsable Técnico Matrícula PQI-0172 Revisó</p>
--	---



CARLOS HUMBERTO MONTOYA N
Director de Laboratorio
Matrícula 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) (6) 321 5750 / 313 7437 / **e-mail:** labaguas@utp.edu.co.

NIT 891.480.035 - 9 / Código Postal: 660003 / Correo Electrónico: 15716@3137437 / Fax: 321 5750 / Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos - Pereira - Risaralda - Colombia / Sitio Web: www.utp.edu.co
Reconocida como Institución de Alto Nivel por el Ministerio de Educación Nacional 2013 - 2021

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No.	1324/16
---------------------------	---------

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (5):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Quebrada Tamboral Tierna (Punto 1)	Agua Cruda	N.A	2016-10-20	926-1	Muestras entregadas por Carlos Andrés L. y recibidas en el laboratorio por Betty Pinzón
Quebrada Tamboral Tierna (Punto 2)				926-2	
Quebrada Turbina				926-3	
Quebrada Tamboral				926-4	
Quebrada Tamboral 1	Sedimentos			926-5	
Quebrada Tamboral 2				926-7	
San Juan dique				926-8	
San Juan descarga				926-9	

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					926-1	Ū expa	926-2	Ū expa	926-3	Ū expa
2016-10-20	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	160	---	196	---	27	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	8	---	32	---	< 2,0	---

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



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSION

Código: 225-LAA-FOM
 Versión: 4
 Fecha: 2015-02-06
 Página: 3 de 5



INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No. 1324/16

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					926-1	Ū expa	926-2	Ū expa	926-3	Ū expa
2016-10-27	Sulfatos	SM: 4500-SO ₄ ²⁻ E Turbidimétrico	---	mg SO ₄ ²⁻ / L	14	±0,5	61	±1,5	18	±0,5
2016-12-02	Mercurio	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / L	0,0037	---	0,0015	---	<0,0008	---

Ū expa = Incertidumbre Expandida

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					926-4	Ū expa	XXX-XX	Ū expa	XXX-XX	Ū expa
2016-10-20	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	51	---	---	---	---	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	3	---	---	---	---	---
2016-10-27	Sulfatos	SM: 4500-SO ₄ ²⁻ E Turbidimétrico	---	mg SO ₄ ²⁻ / L	45	±0,9	---	---	---	---
2016-12-02	Mercurio	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / L	<0,0008	---	---	---	---	---

Ū 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

MIL 891 480 035 - 9 / (Código Postal: 660003) / Correo Electrónico: 1571613137300 / Fax: 321 5206 / Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos - Pereira - Risaralda - Colombia / www.utp.edu.co
 Registrada como Institución de Alto Calificación e Institución de Educación Superior 2013 - 2021

INFORME DE RESULTADOS

INFORME DE RESULTADOS No.	1324/16
---------------------------	---------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					926-5	Ú expa	926-6	Ú expa	926-7	Ú expa
2016-12-02	Mercurio	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / 100 g	1,215	---	0,241	---	62,58	---

Ú expa = Incertidumbre Expandida

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					926-8	Ú expa	XXX-XX	Ú expa	XXX-XX	Ú expa
2016-12-02	Mercurio	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / 100 g	9,192	---	---	---	---	---

Ú 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-277, bajo la Norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 en los siguientes análisis:

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

NIT 897.480.035-9 / Código Postal 660003 / Correo electrónico: 660003@utp.edu.co / Teléfono: 321 3206 / Dirección: Cra. 27 No. 10-02 Los Álamos - Pereira - Risaralda - Colombia / www.utp.edu.co
Acreditado como Instituto de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional 2011 - 2021



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSION

INFORME DE RESULTADOS

Código	033-LAA-F06
Versión	4
Fecha	2015-02-06
Página	5 de 5



INFORME DE RESULTADOS No.	1324/16
---------------------------	---------

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, Manganeso, 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 6 Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / **e-mail:** labaguas@utp.edu.co

Anexo C. INFORME DE RESULTADOS 2: muestreo 1, en el afluente y efluente de los humedales.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	173-LAB-006
Versión	5
Fecha	2017-03-17
Página	1 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	178/17
---------------------------	--------

Laboratorio:	Análisis de Aguas y Alimentos
--------------	-------------------------------

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas	
Año	Mes	Día			
2017	03	09	1271/16	6	
DATOS DE LA EMPRESA					
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA			Nit o C.C.:	891.501.766-6
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:	carlos.torrado.c@uniautonom.edu.co
Lugar de Toma de muestras:	---			Fecha de Toma de muestras:	---
Muestras tomadas por:	---			Fecha de Recepción de las Muestras:	2016-01-26
<hr/> BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró			<hr/> ARIEL FELIPE ARCILA Z. Responsable Técnico Matrícula PQJ-0180 Revisó		
<hr/> CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matrícula PQJ-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) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@uto.edu.co.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	1731-IA-006
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	2 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	178/17
---------------------------	--------

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Punto De muestreo: PL003 Hora: 10:00 am Fecha: Enero 25/17	Agua Residual	N.A	2017-01-26	059-1	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y recepcionadas por Betty Pinzón.
Punto De muestreo: PL004 Fecha: Enero 25/17				059-2	
Punto De muestreo: PL005 Hora: 11:00 am Fecha: Enero 25/17				059-3	
Punto De muestreo: PL0022 Hora: 10:00 am Fecha: Enero 25/17				059-4	
Punto De muestreo: PL0041 Hora: 10:30 am Fecha: Enero 25/17				059-5	
Punto De muestreo: PL0011 Hora: 10:00 am Fecha: Enero 25/17				059-6	
Punto De muestreo: PL0021 Hora: 10:00 am Fecha: Enero 25/17				059-7	
Punto De muestreo: PL0031 Hora: 10:00 am Fecha: Enero 25/17				059-8	
Punto De muestreo: PL0042 Hora: 10:00 am Fecha: Enero 25/17				059-9	
Punto De muestreo: PL0051 Hora: 11:30 am Fecha: Enero 25/17				059-10	

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.

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
 Y EXTENSION**

INFORME DE RESULTADOS

Código	123-LAB-006
Versión	5
Fecha	2017-01-17
Página	3 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	178/17
---------------------------	--------

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Punto De muestreo:PL002 Hora: 09:15 am Fecha: Enero 25/17	Agua Residual	N.A	2017-01-26	059-11	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y recepcionadas por Betty Pinzón.
Punto De muestreo:PL004 Hora: 09:50 am Fecha: Enero 25/17				059-12	
Punto De muestreo:PL0012 Hora: 10:00 am Fecha: Enero 25/17				059-13	
Punto De muestreo:PL0032 Hora: 10:00 am Fecha: Enero 25/17				059-14	
Punto De muestreo:PL0052 Hora: 11:30 am Fecha: Enero 25/17				059-15	

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					059-1	Ü expa	059-2	Ü expa	059-3	Ü expa
2017-01-26	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	18	---	60	---	83	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	3	---	7	---	40	---

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	173-LAB-206
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	4 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	178/17
---------------------------	--------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					059-4	Ū expa	059-5	Ū expa	XXX XX	Ū expa
2017-01-26	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	58	---	107	---	---	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	6	---	17	---	---	---

Ū expa = Incertidumbre Expandida

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					059-6	Ū expa	059-7	Ū expa	059-8	Ū expa
2017-01-26	Alcalinidad Total	SM: 2320 B. Titulométrico	---	mg CaCO ₃ /L	211	---	215	---	131	---
	Acidez Total		---	mg CaCO ₃ /L	54	---	40	---	5,0	---

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	178-LAB-006
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	5 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.

178/17

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					059-9	Ū expa	059-10	Ū expa	XXX XX	Ū expa
2017-01-26	Alcalinidad Total	SM: 2320 B. Titulométrico	---	mg CaCO ₃ /L	329	---	203	---	---	---
	Acidez Total		---	mg CaCO ₃ /L	8	---	5	---	---	---

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					059-11	Ū expa	059-12	Ū expa	059-13	Ū expa
2017-02-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / L	0,002	---	0,067	---	0,002	---

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					059-14	Ū expa	059-15	Ū expa	XXX XX	Ū expa
2017-02-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / L	0,003	---	0,006	---	---	---

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSIÓN
INFORME DE RESULTADOS

Código	173-LAB-206
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	6 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	178/17
---------------------------	--------

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 st. 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.
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 un profesional en el área.
- 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) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co.

Anexo D. INFORME DE RESULTADOS 3: muestreo 2, en el afluente y efluente de los humedales.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	123-LAB-006
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	1 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	179/17
---------------------------	--------

Laboratorio:	Análisis de Aguas y Alimentos
--------------	-------------------------------

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas	
Año	Mes	Día			
2017	03	09	1271/16	6	
DATOS DE LA EMPRESA					
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA			Nit o C.C.:	891.501.766-6
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:	carlos.torrado.c@uniautonom.edu.co
Lugar de Toma de muestras:	---			Fecha de Toma de muestras:	---
Muestras tomadas por:	---			Fecha de Recepción de las Muestras:	2017-01-30
<hr/> BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró			<hr/> ARIEL FELIPE ARCILA Z. Responsable Técnico Matrícula PQJ-0180 Revisó		
<hr/> CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matrícula PQJ-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) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código:	173-LAB-F06
Versión:	5
Fecha:	2017-02-17
Página:	2 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	179/17
---------------------------	--------

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Punto De muestreo: PL0236 Hora: 11:15 am Lugar : La Tamboral Fecha: Enero 29/17 To 22 °C Responsable : Paula Coral – Leidy Gómez	Agua Residual	N.A	2017-01-30	072-1	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y recepcionadas por Betty Pinzón.
Punto De muestreo: PL022B Hora: 11:05 am Lugar : Tamboral Fecha: Enero 29/17 To 22 °C Responsable : Paula Coral – Leidy Gómez				072-2	
Punto De muestreo: PL021B Hora: 11:15 am Lugar : Tamboral Fecha: Enero 29/17 To 22 °C Responsable : Paula Coral – Leidy Gómez				072-3	
Punto De muestreo: PL023A Hora: 11:45 am T° 22°C Fecha: Enero 29/17 To 22 °C Responsable : Paula Coral – Leidy Gómez				072-4	
Punto De muestreo: PL021A Sitio: Tamboral Hora: 11:50 am T° 22°C Fecha: Enero 29/17 Responsable : Paula Coral – Leidy Gómez				072-5	

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.

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Punto De muestreo:PL022A Hora: 11:55 am Departamento y municipio: Cauca Suarez T° 22°C Fecha: Enero 29/17	Agua Residual	N.A	2017-01-26	072-6	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y receptorizadas por Betty Pinzón.
Punto De muestreo:PL023C Hora: 11:30 am Tamboral Departamento y municipio: Cauca Suarez T° 22°C Responsable : Paula Coral – Leidy Gómez				072-7	
Punto De muestreo:PL0021C Hora: 11:30 Departamento y municipio: Cauca Suarez T° 22°C Departamento : Cauca Suarez Responsable : Paula Coral – Leidy Gómez				072-8	
Punto De muestreo:PL0022C Hora: 11:35am Fecha: Enero 29/17 T° 22°C Responsable : Paula Coral – Leidy Gómez				072-9	

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
 Y EXTENSION**

INFORME DE RESULTADOS

Código:	173-LAB-006
Versión:	5
Fecha:	2017-02-17
Página:	4 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	179/17
----------------------------------	---------------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					072-1	Ü expa	072-2	Ü expa	072-3	Ü expa
2017-01-30	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	5	---	62	---	66	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	<2,0	---	12	---	9	---

Ü expa = Incertidumbre Expandida

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					072-4	Ü expa	072-5	Ü expa	072-6	Ü expa
2017-02-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / L	0,0009	---	0,003	---	0,002	---

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaraldá-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



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	10-LAB-029
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	5 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	179/17
---------------------------	--------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					072-7	Ü expa	072-8	Ü expa	072-9	Ü expa
2017-01-30	Alcalinidad Total	SM: 2320 B. Titulométrico	---	mg CaCO ₃ /L	133	---	197	---	245	---
	Acidez Total		---	mg CaCO ₃ /L	3,0	---	31	---	35	---

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 st. 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.
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.

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	170-100-006
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	6 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	179/17
---------------------------	--------

- Los ensayos microbiológicos son realizados por un profesional en el área.
- 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) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co.

Anexo E. INFORME DE RESULTADOS 4: muestreo 3, en el afluente y efluente de los humedales.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	173-LAB-006
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	1 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	180/17
---------------------------	--------

Laboratorio:	Análisis de Aguas y Alimentos
--------------	-------------------------------

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas		
Año	Mes	Día				
2017	03	09	1271/16	6		
DATOS DE LA EMPRESA						
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA			Nit o C.C.: 891.501.766-6		
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: carlos.torrado.c@uniautonom.edu.co		
Lugar de Toma de muestras:	---			Fecha de Toma de muestras: ---		
Muestras tomadas por:	---			Fecha de Recepción de las Muestras: 2017-02-03		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> <p>_____ BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró</p> </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> <p>_____ ARIEL FELIPE ARCILA Z. Responsable Técnico Matrícula PQJ-0180 Revisó</p> </td> </tr> </table>					<p>_____ BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró</p>	<p>_____ ARIEL FELIPE ARCILA Z. Responsable Técnico Matrícula PQJ-0180 Revisó</p>
<p>_____ BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró</p>	<p>_____ ARIEL FELIPE ARCILA Z. Responsable Técnico Matrícula PQJ-0180 Revisó</p>					
<p>_____ CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matrícula PQJ-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 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co.



ISO/IEC 17025:2005
10-LAB-029

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSIÓN
INFORME DE RESULTADOS

Código	123-LAB-029
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	2 de 6

INFORME DE RESULTADOS No. 180/17

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Punto De muestreo: PL031A Tamboral 22°C Hora: 08:00 am Fecha: Febrero 02/17	Agua Residual	N.A	2017-02-03	097-1	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y recepcionadas por Betty Pinzón.
Punto De muestreo: PL032A Tamboral 22°C Hora: 08:20 am Fecha: Febrero 02/17				097-2	
Punto De muestreo: PL033A Tamboral 22°C Hora: 08:35 am Fecha: Febrero 02/17				097-3	
Punto De muestreo: PL034A Tamboral 22°C Hora: 08:50 am Fecha: Febrero 02/17				097-4	
Punto De muestreo: PL031b Tamboral 22°C Hora: 08:05 am Fecha: Febrero 02/17				097-5	
Punto De muestreo: PL032b Tamboral 22°C Hora: 08:25 am Fecha: Febrero 02/17				097-6	
Punto De muestreo: PL033b Tamboral 22°C Hora: 08:40 am Fecha: Febrero 02/17				097-7	

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	1773 AA-006
Versión	5
Fecha	2007-02-17
Página	3 de 6

INFORME DE RESULTADOS No. 180/17

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
Punto De muestreo: PL031c Tamboral 22°C Hora: 08:15 am Fecha: Febrero 02/17	Agua Residual	N.A	2017-02-03	097-8	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y recepcionadas por Betty Pinzón.
097-9					
097-10					
Punto De muestreo: PL032c Tamboral 22°C Hora: 08:30 am Fecha: Febrero 02/17					
Punto De muestreo: PL033c Tamboral 22°C Hora: 08:45 am Fecha: Febrero 02/17					

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					097-1	Ü expa	097-2	Ü expa	097-3	Ü expa
2017-02-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / L	0,0009	---	<0,0008	---	0,001	---

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



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	122-LAB-029
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	4 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	180/17
---------------------------	--------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					097-4	Ü expa	XXX XX	Ü expa	XXX XX	Ü expa
2017-02-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / L	0,086	---	---	---	---	---

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					097-5	Ü expa	097-6	Ü expa	097-7	Ü expa
2017-02-03	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	69	---	110	---	55	---
	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	<2,0	---	21	---	25	---

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	10-LAB-029
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	5 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	180/17
---------------------------	--------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					097-8	Ü expa	097-9	Ü expa	097-10	Ü expa
2017-02-03	Alcalinidad Total	SM: 2320 B. Titulométrico	---	mg CaCO ₃ /L	162	--	256	---	145	---
	Acidez Total		---	mg CaCO ₃ /L	32	--	55	---	5	---

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 st. 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.
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 Cálcica, 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 un profesional en el área.

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	10-LAB-006
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	6 de 6

INFORME DE RESULTADOS No.	180/17
---------------------------	--------

- 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.

Anexo F. INFORME DE RESULTADOS 5: muestreo 4, en el afluente y efluente de los humedales.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	173-1AA-ENE
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	1 de 8

INFORME DE RESULTADOS No.	297/17
---------------------------	--------

Laboratorio:	Análisis de Aguas y Alimentos
--------------	-------------------------------

Fecha Edición			COTIZACIÓN No.	No. de Páginas	
Año	Mes	Día			
2017	04	05	233/17	8	
DATOS DE LA EMPRESA					
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA			Nit o C.C.:	891.501.766-6
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:	carlos.torrado.c@uniautonomia.edu.co
Lugar de Toma de muestras:	---			Fecha de Toma de muestras:	---
Muestras tomadas por:	---			Fecha de Recepción de las Muestras:	2017-03-02
<p>_____ BETTY PINZON Auxiliar Administrativo Elaboró</p> <p>_____ ARIEL FELIPE ARCILA Z. Responsable Técnico Matrícula PQJ-0180 Revisó</p> <p>_____ CARLOS HUMBERTO MONTOYA N Director de Laboratorio Matrícula PQJ-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@uto.edu.co.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	123-IAA-FIK
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	2 de 8

INFORME DE RESULTADOS No.	297/17
---------------------------	--------

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA (S):					
DESCRIPCIÓN	TIPO	FECHA Y HORA DE TOMA	FECHA DE RECEPCIÓN	CÓDIGO INTERNO	OBSERVACIONES
PL041C Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral- Lenny Gómez	Agua Residual	N.A	2017-03-02	196-1	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y recibidas por Betty Pinzón.
PL042C Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral- Lenny Gómez				196-2	
PL043C Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral- Lenny Gómez				196-3	
PL044C Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral – Lenny Gómez				196-4	

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	103-IAA-FIR
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	3 de 8

INFORME DE RESULTADOS No.	297/17
---------------------------	--------

PLO41B Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral - Lenny Gómez	Agua Residual	N.A	2017-03-02	196-5	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y recibidas por Betty Pinzón.
PLO42B Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral - Lenny Gómez				196-6	
PLO43B Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral - Lenny Gómez				196-7	
PLO44B Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral - Lenny Gómez				196-8	
PLO41A Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral - Lenny Gómez				196-9	

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	103-LAB-FIN
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	4 de 8

INFORME DE RESULTADOS No.	297/17
---------------------------	--------

PL042A Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral - Lenny Gómez	Agua Residual	N.A	2017-03-02	196-10	Muestras enviadas al laboratorio por correo certificado y recibidas por Betty Pinzón.
PL043A Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral - Lenny Gómez				196-11	
PL044A Tamboral Tipo de muestra: Puntual Marzo 01-2017 Cauca – Suarez Responsable: Paula Coral - Lenny Gómez				196-12	

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	10-LAB-029
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	5 de 8

INFORME DE RESULTADOS No.	297/17
---------------------------	--------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					196-1	Ü expa	196-2	Ü expa	196-3	Ü expa
2017-03-02	Acidez Total	SM: 2320 B. Titulométrico	---	mg CaCO ₃ /L	20,9	---	40,1	---	4,0	---
2016-03-02	Alcalinidad Total		---	mg CaCO ₃ /L	225	---	239	---	84	---

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					196-4	Ü expa	XXX XX	Ü expa	XXX XX	Ü expa
2017-03-02	Acidez Total	SM: 2320 B. Titulométrico	---	mg CaCO ₃ /L	5,0	---	---	---	---	---
2016-03-02	Alcalinidad Total		---	mg CaCO ₃ /L	235	---	---	---	---	---

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					196-5	Ü expa	196-6	Ü expa	196-7	Ü expa
2017-03-02	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	3	---	2	---	5	---
	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ /L	47	---	48	---	28	---

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	173-LAB-F06
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	6 de 8

INFORME DE RESULTADOS No.	297/17
---------------------------	--------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					196-8	Ü expa	XXX XX	Ü expa	XXX XX	Ü expa
2017-03-02	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	---	mg O ₂ /L	29	---	---	---	---	---
2016-03-02	DQO	SM: 5220 C Tímulométrico Reflujo Cerrado	---	mg O ₂ / L	165	---	---	---	---	---

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					196-9	Ü expa	196-10	Ü expa	196-11	Ü expa
2017-03-14	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	---	mg Hg / L	0,0019	---	0,0019	---	0,0033	---

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



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	123-1AA-ENE
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	7 de 8

INFORME DE RESULTADOS No.	297/17
---------------------------	--------

RESULTADOS										
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO UTILIZADO:	RANGO PERMITIDO:	UNIDADES	CÓDIGO INTERNO					
					196-12	Ü expa	XXX XX	Ü expa	XXX XX	Ü expa
2017-03-14	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	----	mg Hg / L	1,36	---	---	---	---	---

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 st. 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.
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 Cálcica, 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 un profesional en el área.

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.



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN
Y EXTENSION
INFORME DE RESULTADOS

Código	170-1AA-EM
Versión	5
Fecha	2017-02-17
Página	8 de 8

INFORME DE RESULTADOS No.	297/17
---------------------------	--------

- 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-Risaraldia-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.