

UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Diseño y construcción de un prototipo escala piloto de humedal construido, para el tratamiento de agua residual del proceso de cianuración de la mina La Cascada.

INGENIERIA AMBIENTAL X SEMESTRE

MODALIDAD: ASISTENTE DE INVESTIGACION

JUAN SEBASTIAN GARCIA LOPEZ

(0T820101013)

20/11/2015

1. CAPITULO INTRODUCTORIO:

1.1 Resumen

1.2 Abstract

1.3 Planteamiento del problema

2. CAPITULO

2.1 Objetivos

2.2 Justificación

2.3 Marco teórico

2.4 Metodología

2.5 Análisis y resultados

3.0 Conclusiones

3.1 Bibliografía y referencias

1.1 RESUMEN:

En este proyecto se desea evaluar el estado y calidad del agua del proceso minero que se lidera en el lugar de marmato, identificando de esta forma los impactos ambientales por parte de la actividad minera presente en esta zona. El factor más relevante en el estudio es el recurso hídrico, sobre el cual se genera el mayor impacto ambiental en la zona; para lo cual se propondrá una solución a partir de procesos de biorremediación.

Se construirán prototipos de tecnologías de tratamiento biológico, los cuales serán alimentados con agua residual de la zona de estudio, esto con el fin de evaluar la remoción de metales pesados de la actividad aurífera. Se propone la construcción a escala piloto de:

- i) Sistema de biodiscos seguido por humedal construido
- ii) humedal construido con aireación forzada.

1.2 Abstract:

This project involves an assess the environmental condition of the Quebrada Manizales, thereby identifying environmental impacts from mining activity present in the area. The most important factor in the study is the water resource, which will generate greater environmental impact in the area; for which a solution from bioremediation processes is proposed.

Prototype technologies built biological treatment , which will be fed with wastewater from the study area , this in order to evaluate the removal of gold from cyanide activity. Construction is proposed to pilot scale :

- i) System biodiscs followed by constructed wetland
- ii) constructed wetland with forced aeration

1.3 Planteamiento del problema:

El problema sobre el cual se centra el proyecto de investigación, está basado en los impactos ambientales que se generan en el agua a causa de la extracción minera que se lidera en marmato. En este sentido, esta zona ha presentado una gran cantidad de problemáticas generadas tanto por la contaminación como por la inestabilidad que presentan los suelos, debido a la implementación de sustancias químicas para la extracción del oro, como son, el cianuro, viruta de zinc, cal, ácido nítrico, y demás compuestos químicos que perjudican el agua y los seres vivos que dependen de esta para vivir.

Debido a esta problemática, se requiere buscar diferentes soluciones que permitan el mejoramiento de las condiciones del agua, sin afectar la fauna, la flora, las personas, y los procedimientos industriales mineros que se llevan a cabo en este lugar.

Sin embargo, el problema, no solo radica en las aguas residuales provenientes de marmato, sino que por el contrario es un problema que embarga a todo el país, ya que las grandes y pequeñas industrias mineras, se preocupan más por producir la materia prima, y no por preservar el medio ambiente. Por tales motivos, las entidades encargadas de proteger el medio ambiente, buscan distintas soluciones para mitigar los problemas que actualmente están afectando el desarrollo natural de los recursos del planeta.

Esta falta de conciencia de las industrias tanto mineras, como de otros sectores productivos, han generado diversas dificultades tanto a nivel económico, político, social y ambiental. Debido a esto, es importante identificar y crear nuevas tecnologías al igual que herramientas que faciliten el trabajo y no afecten de manera significativa la naturaleza, sino que por el contrario contribuyan al desarrollo adecuado de la misma, para así poder potencializar los recursos naturales que nos brinda el planeta sin verse afectada la comunidad que en él vive.

2 Capitulo:

2.1 Objetivos:

OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar y construir un prototipo a escala piloto de humedal, para el tratamiento de agua residual del proceso de minería que se lidera en el lugar de marmato caldas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Determinar el tiempo de retención necesario para el logro de un adecuado nivel de remoción de los contaminantes.
- Definir el diseño del prototipo escala piloto del humedal construido, para el tratamiento del agua residual del proceso de minería que se lidera en marmato; Construir el prototipo del humedal.

2.2 JUSTIFICACION:

El principal beneficio que se lograría al llevar a cabo el estudio planteado, es de plantear un sistema de humedal artificial para el tratamiento de agua residual proveniente del proceso de minería que se realiza en marmato, con el fin de presentar un equilibrio y beneficio en lo ambiental, económico, social y técnico de la zona de estudio seleccionada.

INTERESANTE: El proyecto de los humedales propuesto es interesante ya que afronta una problemática que está afectando actualmente nuestra sociedad, tanto a nivel económico como ambiental. Es un proyecto que puede traer grandes beneficios para la población Caldense, en cuanto al mejoramiento de la calidad del

agua, conservación de fauna y flora de la zona, como también mejoramiento de la salud de las personas que demandan de este recurso a diario.

NOVEDOSO: El proyecto es novedoso debido a que es un proceso que no se encuentra implementado en la zona a intervenir. Este es un trabajo que utiliza recursos naturales como lo son la Fito-remediación el cual es un proceso o alternativa que se puede implementar para la eliminación de contaminantes y metales pesados, los cuales son empleados en la extracción del oro en la zona de marmato y por ende están generando degradación de los efluentes presentes allí.

UTIL: Este proyecto es útil ya que puede ser una alternativa que contribuye a descontaminar las fuentes hídricas no solo de marmato sino de otros lugares que presenten afectaciones a sus recursos hídricos en el país, conllevando así el aprovechamiento de este recurso para que pueda ser consumido por los usuarios en sus diferentes actividades y se prevengan de diversos olores y vectores ofensivos que puedan afectar la sociedad y la vida natural que se genera en estas composiciones de redes hídricas, las cuales son esenciales para la generación tanto de vida animal como de sostenibilidad de la vida humana de acuerdo a las cadenas tróficas que se presentan en estas fuentes y los sectores aledaños a estas.

2.3 Marco teórico:

Beneficio del oro utilizando cianuro

El proceso de extracción de metales preciosos como el oro comprende (Rincón, 2004, p. 34; García, 2003, p. 04):

- Trituración: reducción del tamaño del mineral, mediante trituración con un martillo.
- Molienda: su fin es lograr el tamaño granulométrico adecuado, se utiliza molino de bolas y barriles amalgamadores.
- Concentración: separación del oro de las arenas.

La molienda es un proceso en húmedo, y en algunos procesos se añade el cianuro en el molino con el fin de iniciar de manera temprana la liberación del oro. Como resultado se obtiene un lodo que es llevado a tanques de concentración (García, 2003, p. 04). La concentración puede ser por

amalgamación o por cianuración. En el caso de la minería que se lleva a cabo en el lugar de marmato, la concentración se realiza por cianuración.

En la cianuración se adiciona una solución de cianuro de sodio (NaCN), para separar el oro de las arenas. La cianuración se realiza en tanques que contienen la solución de cianuro, puede ser cianuro de sodio, en el rango de 100 a 500 ppm o más. La cianuración comprende las siguientes etapas (cf. Rincón, 2004, p. 34; García, 2003, p. 04):

El cianuro se usa en aproximadamente el 90% de las minas de oro, en cantidades altas, y su potencial tóxico es alto. En las minas de oro, el cianuro ha sido el agente de lixiviación preferido a nivel mundial, desde 1987. El cianuro se ha vuelto el principal reactivo para extracción de oro, y es fundamental para la viabilidad del proceso de extracción. Los procesos de extracción de oro usan soluciones diluidas de cianuro de sodio, en el rango de 100-500 ppm. El cianuro de sodio es altamente soluble en agua, y disuelve el oro en condiciones ligeramente oxidantes (cf. Akcil, 2003, p. 501). El cianuro tiene una alta afinidad por el oro, de tal forma que lo extrae de manera preferencial (García, 2003, p. 02).

A pesar de la alta afinidad del cianuro por el oro, el cianuro también forma complejos con otros metales presentes en la minería, tales como cobre, hierro y zinc. La formación de complejos de cianuro con hierro y cobre implica el consumo de una parte del cianuro que podría utilizarse para disolver oro. Una presencia alta de cobre implica mayores costos y menores eficiencias de remoción, ya que se requiere mayor cantidad de cianuro. En este caso, es muy probable que el agua residual resultante tenga mayores niveles de cianuro (García, 2003, p. 02)

Tipos del agua residual. Hay dos tipologías para el agua residual resultantes del proceso de extracción del oro: i) el agua residual de mina, es decir, el agua residual resultante de la fragmentación del material rico en oro; y ii) agua de decantación, es decir, agua residual proveniente de los embalses de relaves, es un agua residual que ya ha tenido un proceso de atenuación natural, pero que puede ser insuficiente (Akcil, 2003).

Contaminación debida a la concentración con cianuro

A continuación se discute las formas de contaminación de las aguas por efecto de la actividad de extracción de oro utilizando cianuración.

Desechos del proceso minero con contenido de cianuro. Los puntos o desechos donde se generan aguas residuales con contenido de cianuro son (Botz, 2001, p. 01):

- Lodos provenientes de operaciones de fragmentación de mineral.
- soluciones provenientes de operaciones de lixiviación por pilas.
- soluciones de infiltración proveniente de operaciones Merrill-Crowe, en el cual se recupera el oro que ha pasado por el proceso de cianuración, mediante precipitación, utilizando zinc (García, 2003, p. 04).
- soluciones sobrenadante proveniente del embalse de relaves; es un agua residual que ya ha tenido un proceso de atenuación natural, pero que puede ser insuficiente.
- Infiltraciones captadas en los embalses de relaves.

En Colombia es común que una vez realizada la cianuración, las arenas resultantes se depositan en botaderos al aire libre, donde son lavadas por la lluvia, y llegan a fuentes hídricas y suelos no contaminados.

Tras el proceso de extracción de oro utilizando cianuro, el agua residual resultante contiene: cianuro acuoso, complejos metal cianurados, cianatos, tiocianatos, y otras especies químicas que han sido disueltas a partir de la mina. Los compuestos relacionados con el cianuro, presentes en las soluciones de cianuración y efluentes del proceso mineral, incluyen: i) cianuro libre HCN y CN⁻; ii) sales alcalinas (NaCN, KCN, Ca(CN)₂), iii) complejos cianurados de metal, 'strongacid disociable -SAD' y 'weakacid disociable -WAD' que se forman con Au, Hg, Zn, Cd, Ag, Cu, Ni y Fe (García, 2003, p. 06).

Los metales que se encuentran más comúnmente en efluentes de extracción de minerales son: Cu, Zn, Ni, y Fe. La concentración de cada uno de estos depende de: las características y composición de la mina; las operaciones del proceso minero (García, 2003, p. 02).

El cianuro tiene capacidad de formar complejos con varios iones metálicos, incluyendo iones de metales pesados, por ejemplo el hierro y cobre. Los metales como hierro, cobre, níquel y zinc, se encuentran de manera natural en la mina, pero en el proceso minero de cianuración sucede que el cianuro solubiliza estos metales, con la consecuente formación de complejos cianurados de metal.

El agua residual generada por el proceso de cianuración contiene:

- minerales sulfurados de hierro, cobre, zinc, arsénico, plata, oro, cobre y antimonio
- Ácido sulfúrico resultante de la mezcla de óxidos de azufre con agua
- Zinc, cal cianuro, lo cual implica iones de sodio, amonio, calcio, sulfato, bicarbonato, cloro, y complejos del ion cianuro con metales como hierro y cobre.
- Sólidos suspendidos y sólidos disueltos, DQO.

Impactos generados por el proceso de explotación sobre las fuentes hídricas

En Colombia, los procesos de explotación de la pequeña minería de metales preciosos generan impactos críticos sobre las fuentes de agua subterráneas y superficiales.

Los principales impactos son (tomado de Rincón, 2004, p. 44):

- Alteración del agua subterránea debido a la sobre explotación de acuíferos
- Alteración y desvío de fuentes hídricas
- Contaminación por residuos de la mina
- Contaminación de las aguas subterráneas, debido que se sobrepasa el nivel freático en las excavaciones
- Contaminación de fuentes de agua potable con aguas residuales de la minería
- Alteración de ecosistemas acuáticos.
- Muerte de la flora y la fauna relacionada con las fuentes de agua donde son vertidas las aguas residuales.

Una parte de los impactos está relacionada con el hecho de que el cianuro, el mercurio y el arsénico son sustancias con una toxicidad alta para los seres vivos, e incluso en concentraciones muy bajas generan efectos graves (Rincón, 2004, p. 49).

El cianuro es un compuesto muy tóxico y muy reactivo, que en condiciones húmedas y acidas da lugar al gas cianuro de hidrógeno (HCN), el cual es letal (Saarela, 2004, p. 01).

El tiocianato tiene una alta toxicidad y los productos de su degradación, como el amoníaco y el carbonato, son tóxicos en concentraciones superiores a ciertos niveles. Muchas sustancias oxidantes, como cloro, ozono, oxígeno y peróxido de hidrógeno, transforman el cianuro en cianato. (García, 2003, p. 07).

Los elementos primarios utilizados en el proceso de explotación minero, tales como cianuro, mercurio, viruta de zinc, cal, ácido nítrico utilizado para la separación de la plata y el oro, sufren reacción química, generando ácido sulfúrico, sulfuros de metales como plomo y zinc, ácido cianhídrico, los cuales son altamente tóxicos para la fauna, flora y para el ser humano (cf. Rincón, 2004, p. 81).

Descripción general de métodos para el tratamiento del cianuro

Aunque el cianuro puede ser degradado y recuperado por varios procesos, todavía su tratamiento es estudiado y discutido, debido a su potencial de toxicidad y de impacto ambiental.

Hay dos clasificaciones o terminologías muy usadas con respecto al tratamiento de cianuros (cf. Botz, 2001):

- i) Procesos basados en destrucción: se utilizan reacciones químicas o biológicas, con el fin de transformar el cianuro hacia otro compuesto menos tóxico.

ii) Procesos basados en recuperación: el cianuro es removido de la solución o lodo, por algún método, y luego es reutilizado en el proceso metalúrgico.

La selección de un adecuado proceso de tratamiento del cianuro para una aplicación específica involucra muchos factores, pero por lo general, se puede llegar a definir un pequeño número de posibles procesos cuando se tiene la caracterización fisicoquímica del agua residual a tratar y la definición del nivel de tratamiento deseado.

De manera previa a la construcción y diseño del sistema a escala real, se debe realizar pruebas a escala laboratorio o piloto, con el fin de confirmar que nivel de tratamiento se puede alcanzar, y evaluar el consumo de insumos químicos (Botz, 2001, p 02).

Convencionalmente se han usado métodos químicos o físico-químicos para la remoción del cianuro, pero tienen la desventaja de que son costosos y presentan un consumo de energía relativamente alto (Gessner, 2005, p. 457).

A los procesos físico-químicos para la degradación del cianuro se les llama procesos de destrucción del cianuro, y se basan en la conversión del cianuro hacia un compuesto menos tóxico, mediante una reacción de oxidación. Hay varios procesos de destrucción de cianuro, que ya han sido bastante estudiados, y han demostrado la reducción de los niveles de cianuro, de metales, y de compuestos relacionados con el cianuro como amoníaco, nitrato y tiocianato.

Estos procesos son (cf. Botz, 2001, p. 02; Akcil, 2003, p 502):

- INCO SO₂/aire,
- Peróxido de hidrógeno catalizado con cobre,
- Ácido de Caro,
- Clorinación por punto de equilibrio alcalino,
- Precipitación de complejos de hierro-cianuro
- pulimento por carbón activado

Los procesos físicos y químicos son efectivos para degradar el cianuro y los compuestos relacionados. Sin embargo, su costo es relativamente alto y su operación es compleja. La alta implementación de insumos químicos implica costos relativamente altos y alta generación de lodos.

Otros métodos comúnmente usados, que no son de destrucción, son: atenuación natural, recuperación del cianuro, y tratamiento biológico.

Atenuación natural del cianuro

El tratamiento de agua residual con contenido de cianuro mediante estanques o embalses de relaves involucra reacciones de atenuación natural, que dan lugar a la disminución de la concentración de cianuro.

Estas reacciones de atenuación se deben principalmente a volatilización natural del cianuro de hidrógeno.

La atenuación natural del cianuro ocurre con todas las soluciones de cianuro expuestas a la acción de la atmósfera. (Botz, 2001, p. 08).

Tratamiento biológico del cianuro

Una alternativa a los procesos físicos y químicos convencionales para el tratamiento del agua residual con contenido de cianuro, es el tratamiento biológico, que ya ha sido estudiado, demostrando buena remoción y ha sido implementado en varios procesos de minería (cf. Akcil, 2003).

El uso de tratamiento biológico es relativamente poco común en la industria de la minería, y su uso para tratamiento de cianuro en la industria de extracción de oro es relativamente nuevo, aunque en la literatura se encuentran varias referencias a partir de los 1950s (Akcil, 2003). Los procesos de tratamiento biológico han tenido éxito en la industria de la minería debido a los buenos resultados de la planta instalada en los 1980's en Homestake, en Lead, USA. En esta planta, se usa un tratamiento biológico aerobio de biomasa adherida, para remover cianuro, tiocianato, amoníaco y metales, del agua residual proveniente del embalse de relaves (Botz, 2001, p. 06). El tratamiento biológico del cianuro ya ha sido desarrollado para algunos casos específicos de plantas de extracción de oro en América del Norte. Varias de las plantas de extracción de oro y plata han sido acomodadas o ajustadas con unidades de tratamiento biológico a escala real. Las modificaciones para dicha re-acomodación han sido pequeñas, y el ahorro económico neto obtenido ha sido significativo (Akcil, 2003, p. 501, 506).

Lo que hace posible el tratamiento del cianuro por sistemas naturales de tratamiento es la existencia de microorganismos aerobios y anaeróbicos que pueden degradar el cianuro. Además, algunas plantas como los sauces pueden ingerir cianuro y degradarlo por vía metabólica. De hecho, hay muy buenas posibilidades de lograr efectividad de remoción o reducción de cianuro presente en agua residual, utilizando sistemas naturales de tratamiento que proporcionen un buen contacto entre el agua contaminada, las plantas y los microorganismos. Los humedales construidos son una buena posibilidad en este sentido (Gessner, 2005, p. 458).

En el tratamiento biológico del cianuro, las bacterias transforman el cianuro libre y el cianuro presente en complejos con metal, hacia bicarbonato y amoníaco, a la vez que los metales libres sufren remoción por adsorción en la biopelícula (Akcil, 2003; Dash, 2009, p. 06).

Cuando hay un material de soporte, los microorganismos forman una biopelícula sobre el material de soporte, y dicha biopelícula es la

responsable de la degradación del cianuro hacia compuestos menos tóxicos (Saarela, 2004, p. 04).

El orden de facilidad de degradación de los complejos metal cianurados sigue el orden de estabilidad química, teniendo en cuenta que el cianuro libre es el más fácil de biodegradar, mientras que el cianuro de hierro es el más difícil de biodegradar. (Akcil, 2003, p 504; Dash, 2009, p. 06).

Hay una gran variedad de procesos de tratamiento biológico aerobio, de crecimiento adherido y crecimiento suspendido, para remoción de cianuro y tiocianato, algunos de las cuales son: bio-discos; lecho empacada; filtro biológico; reactores sucesivos/secuenciales por lotes; lagunas facultativas; y sistemas de lodos activados (cf. Dash, 2009, p. 06)

Ventajas del tratamiento biológico del agua residual con contenido de cianuro:

En la industria de la minería se tienen preocupaciones ambientales que incluyen muy especialmente la descarga de aguas residuales que contienen cianuro (Akcil, 2003).

Los procesos convencionales de oxidación para degradación del cianuro, son factibles pero tienen las siguientes desventajas: son muy costosos; pueden generar problemas ambientales; requieren equipos especiales y mantenimiento especial.

Varios de estos procesos convierten el cianuro presente hacia una forma menos peligrosa que es el CNO-. A pesar de la buena voluntad de las compañías mineras de invertir gran cantidad de dinero en el tratamiento y descomposición de los compuestos cianurados, puede ocurrir que el CNO-, sub-producto de la oxidación del cianuro, genere amoniaco, que es un compuesto con potencial tóxico (Akcil, 2003; Dash, 2009, p. 03, 04).

Los métodos de tratamiento biológico tienen un mayor costo capital relacionado con instalación y construcción, en gran parte debido a mayor requerimiento de área. Sin embargo, el costo de operación es significativamente menor, teniendo en cuenta que la necesidad de reactivos y de energía es menor, y la generación de lodos también es menor. (Akcil, 2003; Dash, 2009, p. 06).

Los procesos biológicos han sido ya probados a escala real en varios países, para el tratamiento de agua residual de la minería, mediante unidades de proceso que han tenido un adecuado diseño ingenieril y un profundo estudio.

Además, se tienen avances significativos en el uso de plantas para tratamiento de compuestos relacionados con cianuro por fitorremediación, y hay evidencia de la biodegradación de tiocianato y complejos metal cianurados por parte de los microorganismos (Akcil, 2003; Dash, 2009, p. 06).

La utilización de procesos biológicos resulta más favorable económicamente, cuando hay requerimientos ambientales fuertes, incluyendo el requerimiento de efluentes con niveles muy bajos de contaminación. Sin embargo, puede ocurrir que el objetivo de tratamiento sea simplemente cumplir unos estándares mínimos de calidad del agua. En este caso, lo más probable es que el proceso convencional sea más favorable desde el punto de vista económico (Akcil, 2003).

Los procesos biológicos que han sido aplicados comercialmente son:

- 'Destrucción' del cianuro en proceso (in-situ, en el proceso minero)
- 'Destrucción' in situ del cianuro resultante de las pilas de lixiviación agotadas.
- Remoción de metales y sulfatos utilizando reducción de sulfatos en proceso (en el proceso minero)
- Uso parcial de procesos pasivos como humedales, para el pulimento de la remoción de metales.

Las ventajas del proceso biológico de tratamiento de cianuro se pueden resumir de la siguiente forma (cf. Dash, 2009, p. 04):

- La biomasa puede ser activada mediante aireación
- Puede tratar el cianuro sin generar productos tóxicos adicionales y sin generar otras aguas residuales adicionales
- No requiere equipos costosos para adición de químicos o para control
- Su operación es bastante sencilla.
- Presenta una gran resistencia con respecto a cambios bruscos en la cantidad o composición del agua residual bajo tratamiento.

Puede remover: cianuro libre (CN⁻), tiocianato, complejos metal cianurados WAD, y complejos metal cianurados WAD (cf. Dash, 2009, p. 04).

Y las desventajas pueden resumirse (cf. Dash, 2009, p. 04):

- la tecnología no está bien definida
- para su formulación y construcción requiere combinación de conocimientos de ingeniería de procesos, biología y metalurgia
- generalmente es muy específica con respecto a características del sitio y del agua residual, y requiere evaluación y estudio específicos.
- No tiene la capacidad de tratar altas concentraciones de cianuro.

Sobre los humedales para remoción de cianuro:

Los sedimentos de los humedales, son usualmente anóxicos y funcionan como sumideros de metales y ciertos nutrientes (Marin, 2007, p. 24). Es necesario que los efluentes tengan una suficiente carga orgánica, con respecto a los requerimientos de carbono de los organismos asociados a las plantas. De hecho, se menciona que la baja carga orgánica de los efluentes mineros es una limitación para su tratamiento biológico (cf. Marin, 2007).

Para la remoción de cianuro, la selección entre humedales superficiales de flujo libre (FWS) y humedales de flujo subsuperficial, debe tener en cuenta (Gessner, 2005, p. 459):

- Que los FWS tienen menor costo de materiales de construcción, pero la desventaja es que tiene menos contacto entre sustrato y agua y requiere mayor área superficial.
- Que el FWS presenta una mayor interface de exposición entre el agua y la atmósfera.

Esta última característica permite la foto-disociación de cianuro de hierro hacia formas de cianuro libre, con la subsiguiente metabolización o volatilización del cianuro libre. Otros mecanismos de remoción del cianuro son: bioventilación, absorción por la planta, asimilación por la planta, y degradación por la planta biodegradación (Gessner, 2005, p. 459).

Se recomienda añadir al humedal algún sistema de aireación y cascadas de aireación-oxidación, por las razones que se exponen a continuación. El cianuro libre tiene un bajo punto de ebullición, de modo que se puede volatilizar fácilmente mediante disminución del pH del agua residual y aireación. Para lograr su volatilización en el humedal, se recomienda añadir algún sistema de aireación y cascadas de aireación-oxidación (García, 2003, p. 01).

Planteamiento y diseño de sistemas pasivos para el tratamiento del agua residual con contenido de cianuro.

Para evaluar la efectividad y la posibilidad de aplicación de un tratamiento biológico dado, se recomienda realizar primero un estudio a escala laboratorio y luego un estudio con prototipo escala piloto con flujo continuo. El estudio de la degradación microbiana a escala laboratorio permite evaluar la factibilidad del tratamiento biológico, y también permite obtener información para el diseño del prototipo escala piloto. Para el estudio escala laboratorio generalmente se usan reactores estáticos de 4 litros. Para el caso que se quiere evaluar la posibilidad de tratamiento con aireación, la operación de estos reactores comprende: i) llenado del reactor con el agua residual sin tratar, e inicio del período de aireación de 24h, con agitación mediante aire comprimido filtrado, el cual es inyectado mediante un difusor; ii) detención de la agitación de tal forma con el fin de facilitar la sedimentación de componentes del agua y el crecimiento de microorganismos en el lodo, iii) extracción de todo el sobrenadante, dejando el lodo en el fondo del reactor; iv) toma de muestras a partir del sobrenadante, y caracterización fisicoquímica de las muestras, incluyendo medición de cianuro, tiocianato, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, pH, temperatura, alcalinidad, fosfato, amoníaco, nitrato, y también se pueden considerar otros componentes, v) vertimiento de la nueva muestra de agua residual no tratada, e v) iniciación de aireación y repetición del ciclo. A partir de la primera etapa, en la cual está el agua

residual y hay aireación, los microorganismos comienzan a adaptarse y crecer. Al realizar este ciclo de forma repetida, se presenta poco a poco el crecimiento de los microorganismos en el lodo del fondo del reactor. Se debe añadir ácido fosfórico y otros nutrientes según se requiera para las necesidades de los microorganismos. Cuando comience la degradación del cianuro y del tiocianato, se pueden utilizar períodos de aireación menores, con el fin de determinar y analizar la cinética de reacción (Akcil, 2003, p. 510).

Posibles formas de degradación del cianuro en humedales

Los principales mecanismos de degradación del cianuro, para el caso que se utilizan humedales construidos, son nueve (García, 2003, p. 07):

- Complexación.
- Precipitación de complejos de cianuro.
- Adsorción.
- Oxidación a cianato.
- Volatilización.
- Biodegradación.
- Formación de tiocianato.
- Hidrólisis o saponificación del HCN.
- Degradación fotolítica.
- Remoción de cobre.

Tratamiento de aguas residuales mediante métodos pasivos

En (Henaó, 2013), se evaluó la remoción de cianuro del agua residual generada por una planta minera, por parte de tres macrófitas acuáticas. La planta minera en cuestión realiza extracción de oro utilizando cianuración, su nombre es La Coqueta y está ubicada en Manizales (Caldas). Se utilizaron humedales construidos tipo flotante, que funcionan por lotes, están ubicados en la Universidad de Caldas, y en ellos se depositó el agua residual proveniente de la mina, y las plantas para el tratamiento. La caracterización fisicoquímica incluyó conductividad, pH, y porcentaje de saturación de oxígeno. Se observó remoción de cianuro de hasta 86% al final del tratamiento.

En (Galván, Cubillos, Paredes, 2014) se evalúa el desempeño de humedales construidos para la reducción de metales pesados, en drenaje ácido de minería (acid mine drainage -AMD). Se determina la configuración óptima de los humedales, para reducir la concentración de metales pesados de AMD. Se comparan las eficiencias de remoción de zinc y plomo, ante la variación de: i) las configuraciones de los humedales construidos, y ii) la concentración de zinc y plomo.

Se utiliza agua residual sintética para los experimentos. Se realizó la caracterización fisicoquímica a tres distintos efluentes de agua residual de minas de oro. En las tres caracterizaciones se tiene un pH menor a 3. Con

base en dicha caracterización se formularon y desarrollaron tres tipos de agua residual sintética, de modo que se tienen tres tipos de agua residual a tratar en los experimentos. Para los experimentos se utiliza un caudal de 85L/d aprox. para cada unidad.

Se consideran las siguientes configuraciones de humedales construidos, ubicados en la Universidad Tecnológica de Pereira -UTP:

- Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal, con plantas (HSSW+P)
- Humedal construido de flujo subsuperficial horizontal, sin plantas ni algas (HSSW)
- humedal construido superficial de flujo libre con plantas (FWS+P)
- humedal construido superficial de flujo libre con algas (FWS+A)
- humedal construido superficial de flujo libre sin plantas ni algas (FWS)
- Humedal construido de flujo vertical con plantas (VF+P)
- Humedal construido de flujo vertical sin plantas ni algas (VF)

Los humedales plantados utilizan *Phragmites australis*. Las algas usadas fueron obtenidas a partir de los sedimentadores de la planta de potabilización de la ciudad de Pereira. Los humedales tienen un área superficial de 0.24 m² cada uno. Para el arranque del experimento, se tienen tres etapas o momentos, en el primero se alimenta una agua residual sintética con baja concentración de Zn y Pb, y con un pH cercano a neutro, luego en las otras dos etapas siguientes las concentraciones de Zn y Pb fueron aumentando, y el pH fue disminuyendo, con el fin de facilitar la adaptación de las plantas.

En el primer mes de evaluación y al final, el mayor porcentaje de remoción de acidez se obtuvo con (VF+P). La mayor remoción de zinc y remoción de plomo se obtuvieron ambas con (VF+P).

En (Marin, 2007), se evalúan humedales construidos para el tratamiento de agua residual proveniente de una industria/mina carbonífera.

El agua residual a tratar proviene de los efluentes de drenajes de una mina carbonífera de Venezuela. Dicha agua residual presenta una alta concentración de sulfatos (6334 mg/L).

Para los ensayos se utilizaron humedales de flujo subsuperficial, instalados en los alrededores de la mina. Se tienen nueve humedales, cada uno consiste de un tanque de forma cilíndrica, hecho de fibra de vidrio, e inclinación de 1%. La forma cilíndrica es por razones prácticas. Se utilizaron dos tipos de material de soporte: uno es sedimento de la fosa de almacenamiento de los efluentes de la mina, principalmente arena de grano

fino, y el otro es grava comercial. Los humedales están agrupados de la siguiente forma:

- Tres humedales con sedimento de la fosa de la minera
- Tres humedales con grava comercial
- Tres humedales sin material de soporte, de modo que son humedales flotantes, son considerados humedales de control.

En los humedales con material de soporte se les implantó *Typha Dominguisis*. La aclimatación de las plantas duró dos meses, luego de los cuales los humedales fueron alimentados con el efluente de la mina. Se definieron tiempos de retención hidráulica (TRH) de 24, 72, 120, 168 y 216 h.

Se logró la reducción de nitrógeno total Kjeldahl y P total a valores por debajo del límite permisible establecido por la normativa venezolana. Se logró una muy buena reducción de sulfatos, con porcentajes de remoción mayores a 80% para TRH de 120h, lo cual implica que hay un alto nivel de reducción microbiana de sulfatos.

En (Gessner, 2005), se realizó un estudio de tratamiento de agua residual con cianuro e hidrocarburos. Se utilizaron humedales superficiales de flujo libre (free wáter Surface wetlands -FWS), para reducción de complejos de cianuro y cianuro libre, y otros contaminantes relacionados con el cianuro, de un agua residual proveniente de una cantera abandonada. El agua residual contiene: hierro, y cianuro, fluoruro, metales, e hidrocarburos de petróleo. Los hidrocarburos de petróleo presentes son: compuestos orgánicos de tipo diésel (diésel range organics -DRO), y compuestos orgánicos tipo gasolina (gasolina range organics -GRO). El contenido de cianuro total es menor a 0.6mg/L, y el contenido de nutrientes es relativamente bajo, es decir, se tienen unos valores bajos para las concentraciones de nitrógeno en forma de nitrato, nitrógeno amoniacal, y fósforo total.

Se considera agua residual de una industria de manufactura de aluminio, la cual contiene cianuro, fluoruro, metales, e hidrocarburos de petróleo. El diseño del sistema consiste de dos celdas de humedales FWS que operan en serie: el agua residual primero pasa por la celda uno y luego por la celda dos. Las celdas consisten de tanques de poca profundidad, que fueron inicialmente plantados con enea (*Schoenoplectus tabernae montani*) la primera celda, y con totora (*Typha latifolia*) la segunda celda, y luego se hizo un cambio a sargazo (*Ceratophyllum demersum*) y lenteja de agua (*Potamogeton* spp.). Las celdas están forradas para evitar la infiltración

hacia fuentes subterráneas de agua. La primera celda tiene 75m² y la segunda tiene 87m².

El sistema fue diseñado para caudal de 5.5m³/d, lo cual implica un tiempo de residencia hidráulico nominal (HRT) de 7d y carga hidráulica de 3.5 cm/d. La profundidad del agua es de 20 y 15 cm en las celdas 1 y 2, respectivamente. Parámetros examinados: hierro, DRO, GRO, cianuro libre, cianuro total, fluoruro, BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), nitrógeno en forma de nitrato, nitrógeno en forma de amoníaco, fósforo, pH, y oxígeno disuelto (OD). Se colectaron muestras cada dos semanas a partir del flujo de entrada y de salida del sistema.

La luz del sol y el nivel de oxígeno disuelto dieron lugar a una buena remoción de hierro en el estanque anterior a los humedales. En los humedales, se logró remoción de hierro de 38% en promedio, y disminuyó su concentración de 3.1 mg/L a 0.6 mg/L. El cianuro libre disminuyó de 0.009 a 0.004mg/L; mientras que el cianuro total disminuyó de 0.043 a 0.005 mg/L. La concentración del cianuro total y el cianuro libre se redujo en 56% y 88%, con un tiempo de detención de 7 días. El pH de entrada y salida del sistema de humedales es de 6.8 y 7.6 en promedio.

Se pudo determinar que en los humedales ocurría muy poca volatilización del cianuro, pero la degradación microbiana era significativa en la remoción de cianuro. Además, se pudo demostrar que los microorganismos presentes tenían la capacidad de degradar el cianuro libre (Gessner, p. 465). Por otro lado, se observó y demostró que la generación de subproductos peligrosos en los humedales fue nula.

En (Garcia, 2003), se realiza un estudio de remoción de cobre y cianuro presentes en el agua residual proveniente de una mina de oro mediante humedal artificial a nivel laboratorio. El agua residual es alcalina y contiene principalmente cobre y cianuro, los cuales resultan de la etapa de cianuración. Se realizaron estudios a escala laboratorio, para evaluar la eficiencia del humedal construido.

El humedal construido tiene las siguientes características: el material utilizado es acero inoxidable; las dimensiones son 1.5 m de largo; 0.5m de ancho; 0.5m de altura, de modo que el volúmen total es 375L; el humedal está dividido en 15 secciones o celdas, cada una de 0.5m de largo, 0.1m de ancho, y 0.5 m de altura. Esto da lugar a una ruta serpenteante de 7 m de largo para la circulación del agua, con el fin de aumentar el tiempo de residencia del agua dentro del sistema, dando lugar a una mayor superficie de contacto entre el agua residual y el substrato. Sobre el fondo del recipiente hay una capa de substrato orgánico -compost, de 30cm. Sobre

este hay plantadas unas 50 ejemplares de totora (*Typha latifolia*), tres plántulas por celda. La porosidad del compost es de 45%.

Se alimentó el agua residual de manera continua a una velocidad de 10ml/min durante todos los 60 días que duró el experimento. Los valores del flujo de entrada fueron: 16.6 mg/L de WAD; 47.3 ppm de Cu; 8.9 de pH; flujo de 10 ml/min. El tiempo de residencia fue de 437h.

Durante el experimento, se tomaron muestras de efluente y se analizaron. El WAD promedio en el efluente fue de 1.58mg/L, y la concentración de cobre fue de 1.25mg/L. El pH disminuyó en 1.0-1.5 unidades, lo que implica la posibilidad de transformación del CN⁻ a gas HCN, que puede ser volatilizado por aireación.

El substrato orgánico y las plantas del humedal adsorben el cobre bastante bien; mientras que los cianuros son disociados y degradados dando lugar al cianuro libre

2.4 Metodología:

Actividades primer objetivo, de determinación del tiempo de retención

- Caracterización: gestionar la caracterización fisicoquímica del agua residual bajo estudio, para el o los parámetros de interés. (Dependiendo de los recursos disponibles)
- Gestionar o llevar a cabo la construcción de una unidad para experimentos por lotes, para determinación del tiempo de retención que debe tener el humedal: gestionar la compra de materiales, incluyendo las plantas, adecuación del recipiente tanque y disposición de las plantas.
- Transporte de las muestras: llevar a cabo o gestionar el transporte de la muestra de agua residual de la mina La Cascada, hasta el sitio de ubicación de la unidad.
- Puesta en marcha de la evaluación. Disponer el agua residual en la unidad, disponer las plantas, realizar mediciones de pH y temperatura. Nota: esta etapa no abarca la completa adaptación de las plantas, puesta esto podría tomar hasta 4 o 6 meses.
- Adaptación de las plantas observar y evaluar la adaptación de las plantas ya que se requiere un tiempo suficiente para la adaptación de las mismas.
- Caracterización: gestionar la caracterización fisicoquímica del agua residual bajo estudio

- Determinar la evolución de la eficiencia de remoción de contaminantes, y formular la recomendación de tiempo de retención hidráulico (TRH).

Actividades segundo objetivo, de diseño del prototipo

- Consultar y analizar las características de funcionamiento, diseño, construcción, operación y mantenimiento los sistemas de humedales escala piloto, haciendo énfasis en el caso de agua residual con cianuro, proveniente de proceso de minería. Esto implica aspectos tecnológicos, ambientales y económicos. Incluye: nivel de remoción que puede lograr el sistema, tiempo de retención hidráulico (THR) componentes estructurales, características de funcionamiento, recomendaciones de dimensionamiento, diseño, construcción, puesta en marcha, y operación.

- Cabe anotar que los humedales artificiales son comúnmente recomendados para tratamiento terciario, no secundario debido a su riesgo de colmatación y a la gran demanda de área; por lo tanto, debe haber un sistema secundario anterior al humedal con el fin de definir la carga contaminante del flujo que entraría al humedal, por ende se requiere determinar o averiguar el nivel de remoción que lograría un sistema secundario.

- Calcular la potencial concentración de cianuro y metales pesados en el flujo de salida de sistemas secundarios.

- Determinar de manera teórica, el tiempo de retención que debe tener el prototipo de humedal.

- Proponer un prototipo de sistema de tratamiento a escala piloto, para el agua residual con contenido de cianuro, proveniente de la mina La Cascada: definir componentes estructurales, dimensiones respectivas, modo de funcionamiento y operación y condiciones de operación.

Actividades tercer objetivo, de construcción del prototipo

- Definir materiales que se deben obtener, y definir las plantas.

- Gestionar la compra de materiales para el prototipo, incluyendo las plantas.

- Construcción: adecuación del recipiente tanque, y adecuación del sistema de tuberías y conexiones. Adecuación de las plantas.

- Transporte de las muestras: llevar a cabo o gestionar el transporte de la muestra de agua residual de la mina La Cascada, hasta el sitio de ubicación del prototipo.

- Puesta en marcha/arranque. Disponer el agua residual para su flujo en el prototipo, verificar el correcto flujo del agua, disponer las plantas, realizar mediciones de caudal, y de pH. Nota: esta puesta en marcha no alcanza a la completa adaptación de las plantas, pues esta puede demorar hasta 6 meses.

- Adaptación de las plantas: observación y evaluación de la adaptación de las plantas
- Determinar la porosidad y el tiempo de retención hidráulico (THR)
- Redactar informe final y realizar diligencias para terminación.

NOTA: advertimos que estas actividades no son camisa de fuerza. De acuerdo con las necesidades de ahorro de costos, ahorro de tiempo, mejora de la calidad del trabajo, consideraciones técnicas y consideraciones económicas, es posible eliminar o modificar algunas o todas las actividades anteriores.

Parámetros a medir

Se debe tener en cuenta que para el agua residual con contenido de cianuro, proveniente de minería, se deben medir los siguientes parámetros:

- Caudal
- PH
- Acidez neta
- Alcalinidad total
- Sulfatos (SO₄=)
- Hierro (Fe²⁺, Fe total)
- Conductividad
- Posiblemente otros metales, como Al, Mn, Cu, Ca, Mg, Na, Cl, K, Br, Zn, Pb, Ni, As, Au, Ag, S.
- Cianuro WAD (ver metodología en García, 2003, p. 04)

En (Shehong, 2005, p. 12) se describe la metodología para medir cianuro total.

Humedal a usar

Humedal de flujo libre

Planta a utilizar

Las plantas más adecuadas, para tratamiento de agua residual de minería, según las experiencias previas reportadas en la literatura, son: *Typha angustifolia*, *Typha latifolia* y *Typha Domingensis*.

2.5 Análisis y resultados:

En el proyecto realizado a cargo tanto por parte del docente Alejandro rincón y el estudiante asistente de investigación Juan Sebastián García López, se lideró una consulta bibliográfica de documentos que permitieran establecer los tiempos de retención hidráulica más manejados en los diferentes humedales que se han llevado a cabo en diferentes países, estos a su vez permiten tener un poco más de asertividad en la selección de las especies de plantas, ya que por medio de esta revisión pudimos encontrar algunos resultados tanto de remoción como de concentraciones de entrada y salida de metales pesados que han sido en gran parte removidos, por la buena intervención de estas plantas en los humedales construidos, Es de notar que en la revisión realizada se presenta en diferentes textos, similares características como lo son las áreas en ciertos casos y los tiempos de retención hidráulica, ya que en estos tipos de sistemas como lo son los humedales, encontraremos que los más manejados para este caso son los tiempos de retención de entre 7 a 12 días, los cuales son los tiempos estimados suficientes para que las aguas alcancen a obtener remociones en los procesos secundarios como lo son estos humedales, no obstante se presenta que las especies de plantas manejadas tanto por los autores de los artículos como las seleccionadas por nosotros con base a lo que enuncian en estos textos, son especies de plantas muy rendidoras y eficientes, ya que en sus procesos operativos presentan de acuerdo a las experiencias de implementaciones de este tipo de plantas manejadas en humedales, presentan muy buenas características y larga durabilidad; adicionalmente se realizó para cada uno de estos textos de acuerdo a lo que fuera posible en cuanto a los cálculos para obtener la carga hidráulica de cada uno de ellos, para así obtener un dato más acerca de los criterios que tuvieron en cuenta para la elaboración de humedales a escala real y teórica y poder así mismo con esta información obtenida plantear aplicaciones de este tipo de proyectos de acuerdo a sus caudales, áreas, eficiencias, extensiones de tierra y remociones, para unos futuros humedales que se deseen construir de acuerdo a las investigaciones y actividades realizadas en este proyecto.

Referencia	tiempo de retencion (dias)	concentracion de metales entrada	concentracion de metales salida	%remocion		Q(caudal o descarga)(L/d-1)	ÁREA (m2)	CARGA HIDRAULICA (L/m2)
Escala real								
maine 2006	7 dias	Fe:13,7 mg/l; Cr:22 ug/l-1;Ni:17 ug/l-1;Zinc:<0,05 ug/l-1	Fe:0,38 mg/l-1;Cr:3,6 ug/l-1;Ni:9,0;Zinc:<0,05 ug/l-1	Fe	95	1000	18	55,55555556
				Cr	86			
				Ni	67			
				zinc	'--			
maine 2007	7-12 dias	Fe: 2,4 + - 0,7 mg/l ; Cr:13+ - 24 mg/l; Ni:47 + - 41 mg/l; Ca:182+ -118 mg/l	Fe: 0,09 + - 0,04 mg/l; Cr:5,0+ -1,1 mg/l; Ni:27+ -5,0 mg/l; Ca:88 + -25 mg/l	Fe	80	100000	18	5555,555556
				Cr	58			
				Ni	48			
				Ca	36			
maine 2014	7 dias	Fe: 0,310mg/l ; Cr: 0,210 mg/l; Zn: 0,072mg/l; Ni: 0,018mg/l	FE: 0,110 mg/l; Cr: 0,022 mg/l; Zn:0,031 mg/l; Ni:0,004mg/l	Fe	70,4	10000	140	71,42857143
				Cr	92,9			
				Zn	51,7			
				Ni	77,5			
Hadad 2006	7 dias	Carbonato:107 mg/l;Sulfato:1445 mg/L; Nitrato:19,7 mg/l; Nitrito:2,12 mg/l;Zinc: 58 ug-1	Carbonato: 9,3 mg/l ; Sulfato:923 mg/l;Nitrato:1,45 mg/l;Nitrito:0,13 mg/l;Zinc:38 ug-1	carbonato	91	10001	18	555,6111111
				sulfato	35			
				nitrato	89			
				nitrito	85			
				zinc	55			
escala teorica								
GESSNER	7 dias	Hierro:3,07 mg/l;nitrogeno amoniacal:0,25 mg/l;fosforo:0,33mg/l;nitrato: 0,54mg/l	Hierro:0,61mg/l;nitrogeno amoniacal:0,08mg/l;fosforo:0,16 mg/l;nitrato:0,05mg/l	hierro	80,13	5.500	cell 1: 75 m2 ,cell2: 87 m2	CH1:73,3; CH2:63,2
				nitrogeno amoniacal	68%			
				fosforo	51,51%			
				nitrato	90,74%			
GALVAN	Mas o menos 0,5 dias	1	zinc:9,6 (mg/l) plomo:(0,7mg/l)	Zinc	Plomo	85	'-----	'-----
				1) 59%	1) 71%			
				2) 57%	2) 85%			
				3) 87%	3) 93%			
3	zinc :24,2mg/l plomo:2,6 mg/l							

El proyecto que se lidera con el fin de determinar los tiempos de retención hidráulico y las concentraciones de remoción de metales pesados, a causa de la explotación minera de oro que se lleva a cabo en la zona de marmato y que a lo largo de los días esta actividad genera incrementos de contaminación de muchos de los afluentes cercanos, generando un impacto altamente pronunciado a poblaciones que se abastecen diariamente de ellos para la ejecución de sus actividades diarias, es por ello que se genera grandes motivaciones para emprender proyectos como este, que intentan de alguna manera u otra remediar los daños causados por el hombre de una manera natural y eficiente sin generar alteraciones al medio ambiente, sino que por el contrario contribuyendo al cuidado y preservación de los recursos naturales como en este caso es el agua.

Los humedales a pesar de que son tratamientos que demandan gran cantidad de extensión de tierra para su implementación, son un tratamiento secundario que permite optimizar la eficiencia del proceso de agua que se desea tratar, liberando dicha agua de contaminantes perjudiciales y que afectan su ciclo; estos humedales están constituidos en ciertos casos por grava, arena o un sustrato respectivo que permite que se lleve a cabo un proceso de remoción de contaminantes adecuado y eficiente, existen tres tipos de humedales, los cuales se diferencian en sus respectivos flujos como lo son, flujo libre en donde el agua en general presenta un contacto constante más que todo en el tallo de la planta, flujo sub superficial cuando la planta presenta un contacto con el agua solo en la raíz ya que el agua en su gran mayoría se encuentra por debajo y permite la fácil remoción; por ultimo tenemos los humedales flotantes los cuales se caracterizan por que presentan plantas flotadoras y que debajo de ellas ocurre los procesos de descontaminación, en ellos podemos destacar plantas como el buchón de agua el cual es netamente flotador y que podría vincularse a un proceso de tipo flotante.

El tratamiento de aguas residuales tanto industriales como domesticas es vital para el desarrollo de hoy en día, puesto que muchos de los países lideran actualmente grandes compañías e industrias que desarrollan altos niveles de contaminación y que no obstante generaran un impacto y afectación drástica al medio ambiente, es por ende que se deben de ejecutar actividades que sigan desarrollando opciones y viabilidades de remediaciones y tratamientos de aguas con el fin de seguir masificando un crecimiento paralelo en cuanto a las industrias y viviendas que generan nuevos contaminantes, pero que de una manera u otra puedan ir siendo intervenidos por el hombre y la sociedad para evitar grandes

daños y el deterioro masivo que se ha venido presentando en el recurso hídrico a causa de las actividades mencionadas anteriormente.

Debido a los grandes avances que han presentado en el ámbito de la aplicación de procesos secundarios para el tratamiento de aguas residuales industriales, países como México, Argentina, y Estados Unidos, realizaremos el proyecto teniendo en cuenta muchas de las recomendaciones que en las literaturas se mencionan con el fin de obtener resultados sumamente positivos en las remociones de acuerdo al tipo de humedal que se establece para favorecer el desarrollo tanto de las plantas como de los posibles costos que estos puedan incrementar debido al tipo de sustrato que se maneje y el tipo de recipiente en donde este pueda estar establecido.

REALIZACION DE ACTIVIDADES:

- se realizaron las gestiones para conseguir las plantas respectivas en cada ciudad correspondiente en donde eran masivas la existencia de la especie o su fácil obtención para un oportuno sembrado de la planta en los recipientes establecidos en la universidad para la prueba piloto que se llevaría a cabo
- se realizó un seguimiento constante y exhaustivo acerca del desarrollo y crecimiento de las plantas en cuanto a su diámetro de tallo y su respectiva muestra de hoja más larga que presentaba en el momento
- Algunas plantas fueron sometidas a un desembrado de la tierra en el que se encontraban, con el fin de trasladarlas al recipiente establecido para la ejecución de la prueba piloto ; cabe mencionar que las plantas fueron sembradas inicialmente con tierra y agua para facilitar su adaptación al medio al cual iban a ser sometidas posteriormente, debido a la ejecución de esta actividad se evidenció que a las plantas les favorecía más un sembrado de 20 cm de cascarilla de arroz y 10cm de agua, ya que así se evitaría la generación de pantano y posibles muertes de plantas en el proceso de 4 meses de adaptación en el cual contarían con un agua un poco más limpia y óptima para seguir desarrollando su crecimiento.
- A los recipientes que fueron establecidos y adecuados para la ejecución del proyecto se les realizó una modificación de la apertura de seis orificios con el fin de que el agua no presentara tanto atascamiento y que fuera siendo

liberada de a poco, para que las plantas no se quedaran sin el suministro líquido que es esencial para su desarrollo.

- Las plantas que están siendo manejadas en el experimento las cuales son *thypha dominguensis*, *thypha latifolia* y *thypha angustifolia*, fueron establecidas para tomar de cada una de ellas tres muestras exceptuando la *thypha latifolia* de la cual solo fue posible la obtención de dos muestras de esta planta por su difícil obtención y cultivación, esto se realizó con el fin de evidenciar en procedimientos siguientes la eficiencia estándar de remoción de cada planta implementada.

En el proyecto realizamos el seguimiento exhaustivo del desarrollo de cada una de las plantas, en donde pudimos apreciar el desarrollo de cada una de ellas, tomando como referencia los puntos más altos de crecimiento, los promedios de medidas de los anchos de troncos y sus respectivas comparaciones con las muestras de las distintas especies de plantas, A continuación mostraremos algunas tablas de crecimiento que se realizaron en los días de seguimiento y toma de medidas ,también a su vez, pudimos graficar algunas de ellas para tener una ilustración un poco más clara acerca del desarrollo de cada una de las especies de las plantas, para que con base a estos resultados evidenciados tanto en graficas como en apreciación real, pudiéramos decidir a cuál de las plantas realizarle las primeras pruebas de agua residual de minería, teniendo en cuenta las plantas que presentaran mayor desarrollo y madurez, para ir obteniendo de esta manera los primeros datos y resultados de remoción y así mismo ir observando el continuo desarrollo o intermitente en ciertos casos de las plantas sometidas a las primeras pruebas del agua residual proveniente de la extracción minera que se lidera en el lugar de marmato.

DESARROLLO Y MADURACION DE ESPECIE DE PLANTA TYPHA DOMINGUENSIS.

planta dominguensis	A. TRONCO(m)	promedio ancho de tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,14	0,15	1,25	1,23	1T
B	0,15	0,15	1,27	1,23	2T
C	0,16	0,15	1,17	1,23	2T
30					

12/09/2015	45
------------	----

planta dominguensis	A. TRONCO(m)	promedio ancho de tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,2	0,186667	1,72	1,406667	1T
B	0,16	0,186667	1,2	1,406667	2T
C	0,2	0,186667	1,3	1,406667	2T

60	26/09/2015
----	------------

planta dominguensis	A. TRONCO(m)	promedio ancho de tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,63	0,47	1,84	1,44	9T
B	0,47	0,47	1,27	1,44	3T
C	0,31	0,47	1,21	1,44	3T

75	17/10/2015
----	------------

planta dominguensis	A. TRONCO(m)	promedio ancho de tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,68	0,5	2	1,543333	11T
B	0,49	0,5	1,34	1,543333	4T
C	0,33	0,5	1,29	1,543333	4T

90	30/10/2015
----	------------

planta dominguensis	A. TRONCO(m)	promedio ancho de tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,72	0,553333	2,2	1,666667	12 T
B	0,54	0,553333	1,5	1,666667	5 T
C	0,4	0,553333	1,3	1,666667	5 T

Graficas de las tablas de la planta dominguensis

Planta dominguensis dia 30

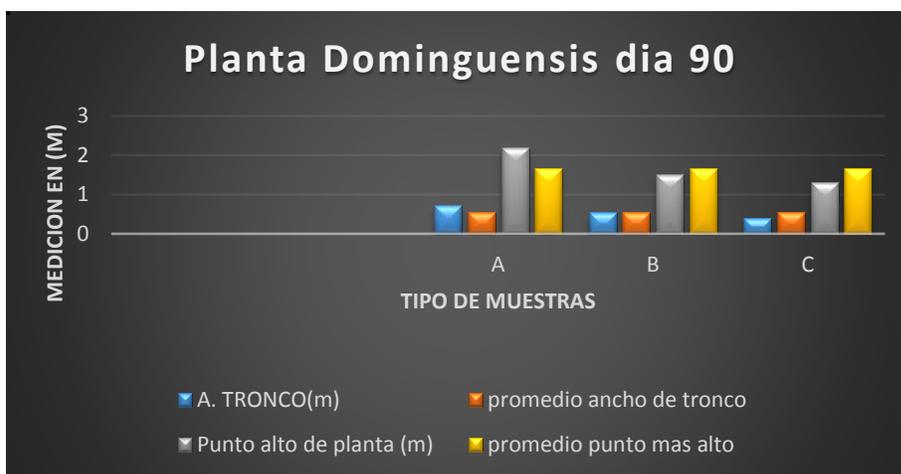
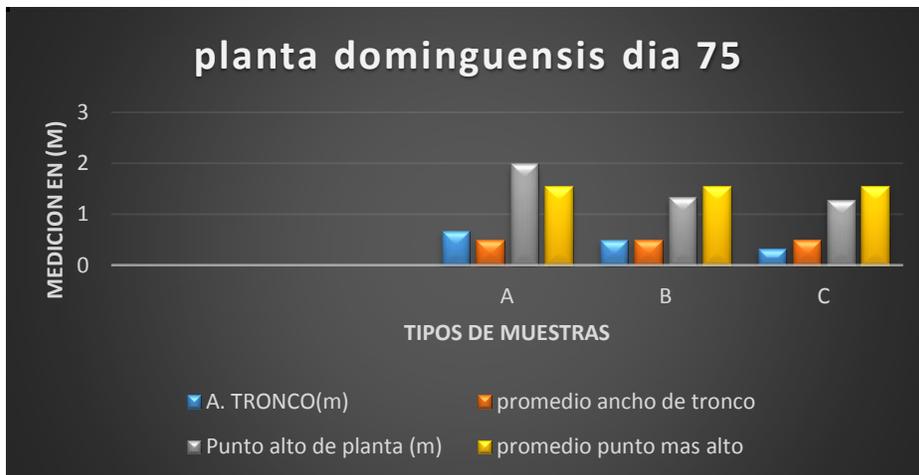


planta dominguensis dia 45



planta dominguensis dia 60





De acuerdo a las diferentes tomas de medidas que se realizaron en la especie de planta typha Dominguensis, se puede evidenciar y concluir acerca del crecimiento de esta planta que en todas sus muestras presenta un notable desarrollo y maduración, que a diferencia de las demás especies manejadas para el proyecto se evidencia en las tres muestras que se obtuvieron un desarrollo casi que constante y parejo de las tres muestras de esta especie de planta, sin embargo hay una de ellas que presenta un mayor crecimiento como lo es el caso de la typha dominguensis muestra A, la cual marca la diferencia notablemente en ciertos días en los cuales se tomaron las mediciones de crecimiento para todas las muestras y especies de plantas; en general esta especie de planta presenta una gran adaptabilidad y desarrollo al medio, lo cual facilita su aplicabilidad para la implementación de humedales a escala real, debido a las características que presenta esta especie de planta en cuanto a remociones de metales pesados y durabilidad de la misma en los procesos aplicados a humedales, pues presenta unas eficiencias muy buenas y una vida útil larga para los procesos secundarios

como los humedales, lo cual la hace una especie de planta viable y factible para el desarrollo y aplicación de proyectos como de este tipo.

DESARROLLO Y MADURACION DE ESPECIE DE PLANTA TYPHA LATIFOLIA.

Día 30

planta Latifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco (m)	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto(m)	referencia de tronco
A	0,07	0,11	1,31	1,28	1T
B	0,15	0,11	1,25	1,28	3T

día 45

planta Latifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco (m)	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto(m)	referencia de tronco	existencia de vida animal
B	0,44	0,44	1,41	1,41	5T	si, ranas
A	se murió	0	0	0	0	

día 60

planta Latifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco (m)	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto(m)	referencia de tronco	existencia de vida animal
B	0,54	0,54	1,48	1,48	6T	si, ranas

A	se siembra retoño nuevamente
---	------------------------------

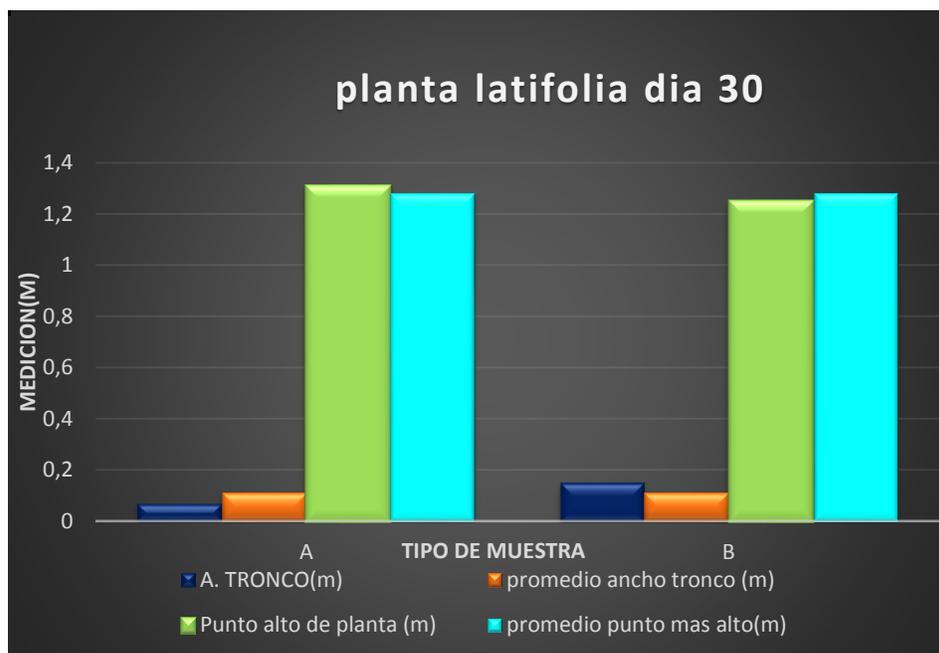
día 75

planta Latifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco	Punto alto de planta	promedio punto más	referencia de tronco	existencia de vida animal
------------------	--------------	-----------------------	----------------------	--------------------	----------------------	---------------------------

		(m)	(m)	alto(m)		
B	0,58	0,58	1,58	1,58	7T	si, ranas

día 90						
planta	A.	promedio	Punto	promedio		existencia
Latifolia	TRONCO(m)	ancho	alto de	punto	referencia	de vida
		tronco	planta	más	de tronco	animal
		(m)	(m)	alto(m)		
B	0,62	0,62	1,65	1,65	8T	si, ranas

Graficas de las tablas de la planta Latifolia



Con base a los resultados obtenidos en las mediciones que se realizaron acerca del crecimiento de la especie de planta latifolia, podemos decir que es una planta que presento en una de sus muestras gran dificultad para crecer y adaptarse al medio, por lo cual esta muestra murió, es por ello que solo se tomó como referencia después de la muerte de la muestra A, la muestra tipo B, ya que fue la única que logro adaptarse óptimamente al medio, dadas estas razones las únicas graficas comparativas que podemos realizar acerca de esta especie de planta es la del día 30 de medición, ya que después se presenta la muerte de la muestra A y por ende no hay manera de realizar un comparativo con otra planta de la misma especie. Posteriormente analizaremos las mejores muestras de cada especie de planta y sus respectivas remociones de metales pesados para obtener así un comparativo mucho más aterrizado a cerca de las eficiencias de cada planta respectiva.

DESARROLLO Y MADURACION DE ESPECIE DE PLANTA ANGUSTIFOLIA

Día 30

planta angustifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,17	0,133333	1,22	0,453333	1T
B	0,14	0,133333	0,07	0,453333	1T
C	0,09	0,133333	0,07	0,453333	1T

día 45

planta angustifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,22	0,186667	1,5	0,883333	3T
B	0,18	0,186667	0,82	0,883333	2T
C	0,16	0,186667	0,33	0,883333	1T

día 60

planta angustifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,42	0,415	1,6	1,25	3T
B	0,41	0,415	0,9	1,25	4T

C	se murió la planta, pues no se logró adaptar al medio				
---	---	--	--	--	--

día 75

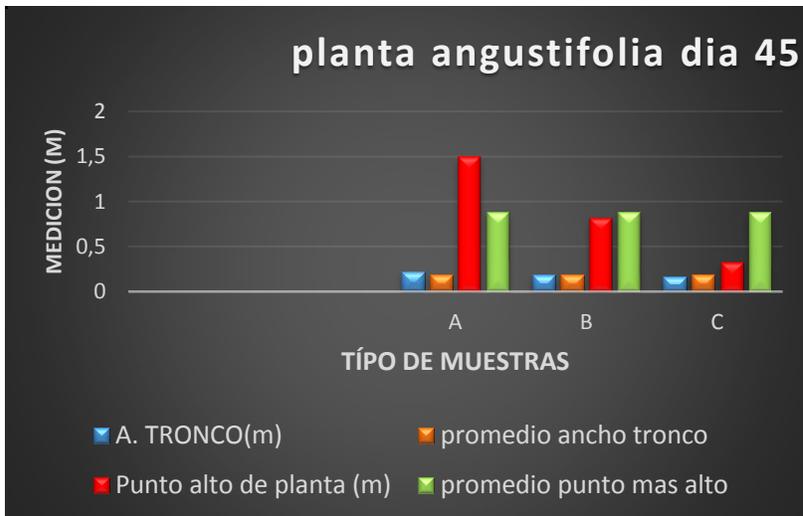
planta angustifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
A	0,48	0,49	1,82	1,71	5T
B	0,5	0,49	1,6	1,71	4T

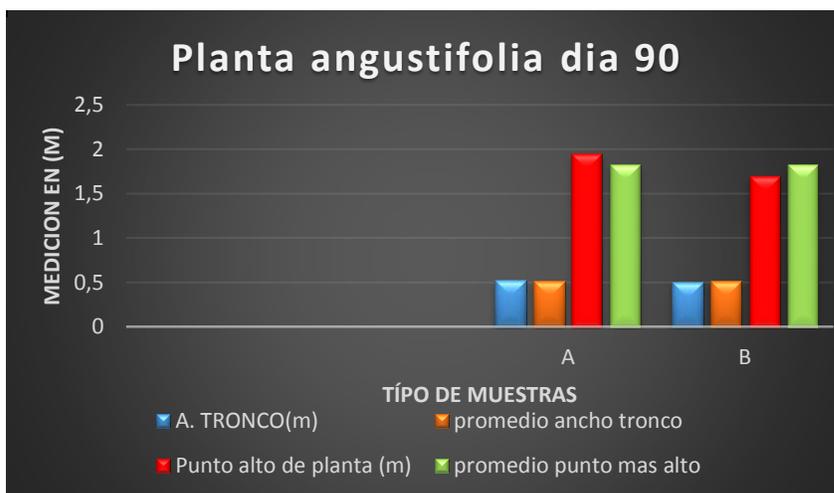
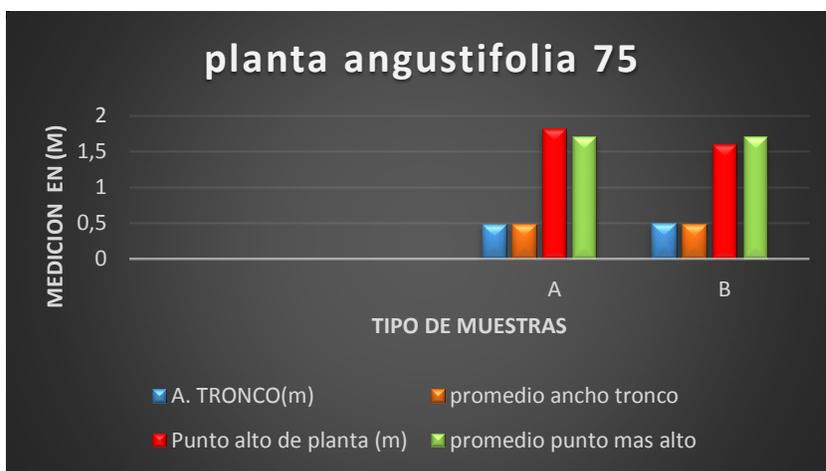
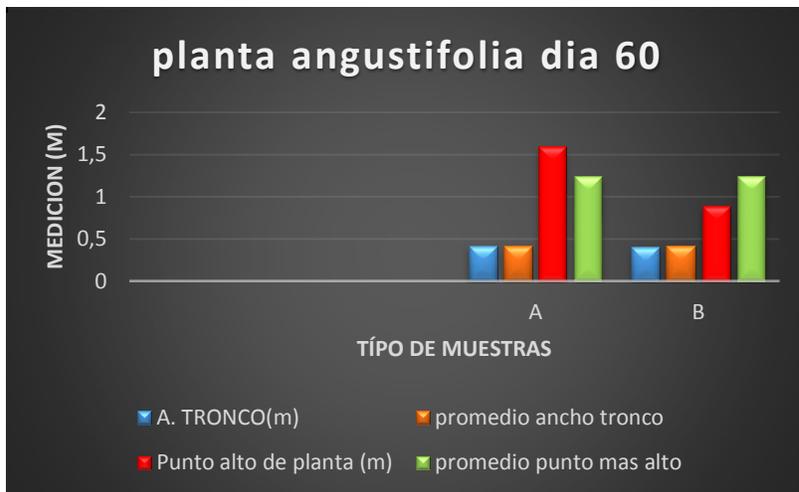
día 90

planta angustifolia	A. TRONCO(m)	promedio ancho tronco	Punto alto de planta (m)	promedio punto más alto	referencia de tronco
---------------------	--------------	-----------------------	--------------------------	-------------------------	----------------------

A	0,52	0,51	1,95	1,825	6T
B	0,5	0,51	1,7	1,825	4T

GRAFICAS DE LA ESPECIE DE PLANTA ANGUSTIFOLIA:





Con base a las gráficas elaboradas con los datos obtenidos en las tomas de mediciones que se les realizaron a las muestras de este tipo de planta angustifolia podemos afirmar de que en el proceso de crecimiento y maduración de estas muestras de plantas, inicialmente se presentaba una diferencia muy marcada por parte de la muestra angustifolia tipo A frente a las B y C, es por ello que esta es

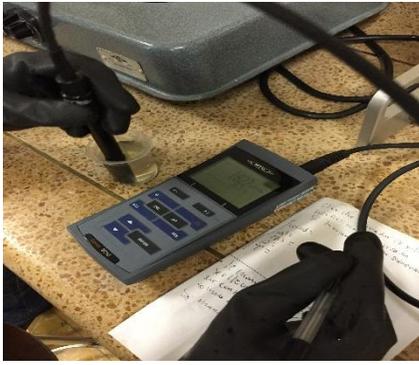
una de las primeras en ser seleccionada para realizarle las pruebas iniciales con el agua residual de minería, a través del tiempo las plantas de muestra tipo B y C logran presentar una cierta nivelación frente a la muestra tipo A, sin embargo después de varios días aproximadamente llegando al día 60 de medición, se produce la repentina muerte de la muestra tipo C de esta especie de planta, debido a las falencias en la fijación de las raíces con el sustrato y el agua natural que se les vertió inicialmente para su desarrollo, debido a esta situación presentada, solo logra quedar en condiciones adecuadas y de desarrollo las muestras tipo A y B, Lo cual presentan un desarrollo y maduración que hacen que se puedan tener como referencia para las futuras pruebas que se realizaran en los humedales pilotos construidos por este tipo de plantas. En cuanto a lo que compete en remociones de metales pesados de este tipo de plantas y sus viabilidades de aplicabilidad, presentan buenas referencias según la literatura de aplicabilidad de humedales reales, por sus muy buenas características de remoción, sin embargo en cuanto al crecimiento sigue marcando la diferencia frente a las demás la especie de planta tipo dominguensis la cual se madura muy rápido frente a las demás y obtiene buenos niveles de remoción, pero la dominguensis no es la planta que lidere todo, ya que si bien tiene buenos niveles de maduración y crecimiento, no logra superar está a la planta tipo angustifolia quien mostro en las últimas pruebas realizadas grandes niveles de remoción y una buena efectividad en las remociones de metales pesados, lo cual es sin lugar a dudas una especie que no se puede descartar, ya que si presenta un crecimiento y desarrollo un poco más tardío que la dominguensis, logra después de un tiempo estabilizarse y ser una herramienta muy útil para la aplicación de humedales reales.

ALGUNAS FOTOS DE LA REALIZACION DEL PROYECTO EN DONDE SE TOMAN MEDIDAS Y SE REALIZA EL SEMBRADO DE ELLAS COMO TAMBIEN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO DE ALGUNOS DE SUS PARAMETROS.

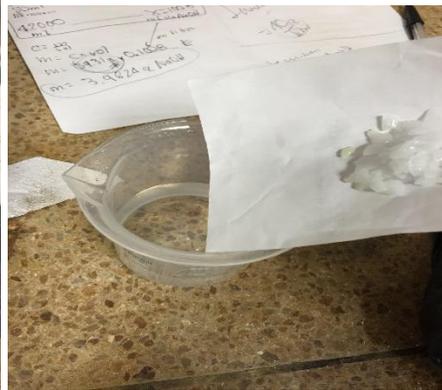














El proceso que se ha llevado a cabo en la adecuación de las plantas al medio para un posterior tratamiento de agua industrial proveniente de la extracción minera por medio de la implementación de un humedal, el cual nos servirá para remover gran cantidad de metales pesados y obtener una agua un poco más pura libre de contaminación que no afecte los recursos hídricos a los cuales esta será vertida, las plantas inicialmente se sembraron con agua en unos recipientes plásticos los cuales fueron adecuados para realizar dicha actividad, algunas de estas plantas fueron trasladadas del medio terrestre al acuático con el fin de que se fueran adaptando al medio al cual van a ser evaluadas como posibles alternativas de remoción de metales pesados y contaminantes de aguas industriales, las especies de plantas fueron dispuestas al aire libre en el patio trasero de la universidad en donde se iba a llevar a cabo su desarrollo y maduración para posterior comparación entre las tres mejores especies y muestras que presentaran mayor desarrollo y por ende una posible mejor remoción. Las plantas al evidenciar en algunas su acelerado desarrollo y en algunas otras su no tan rápido desarrollo, se decidió en conjunto con el profesor encargado del proyecto docente ALEJANDRO RINCON y los estudiante de apoyo JUAN SEBASTIAN GARCIA la disposición de estas plantas en el invernadero que la universidad tenía dispuesto, con el propósito de que la variabilidad climática no pudiera afectar drásticamente el proyecto y el desarrollo normal de las plantas que estaban siendo cultivadas para una futura evaluación de remoción de contaminantes de metales pesados provenientes de aguas industriales como la extracción de oro. En el invernadero se logró obtener un mayor control de las plantas y quizás se redujo la probabilidad de muerte de algunas de las plantas que se tenían como muestras, ya que previamente se produjo la muerte de una de las plantas que se tenían en este lugar, debido a los cambios drásticos de clima como las intensas lluvias que no permiten la maduración y desarrollo adecuado de la planta, lo que se evidencia rápidamente la muerte de las plantas que no soportan tanta cantidad de agua en tan corta edad y en el proceso de adaptación que se estaba ejecutando con el sustrato y el agua que se les vertía a ellas para su crecimiento.

A Las plantas se les llevo a cabo un proceso de medición de parámetros acerca del agua residual que iba a ser vertida a ellas con el fin de evidenciar las concentraciones de remoción que estas podían ir generando al agua que se les vertía, para así obtener resultados que nos pudieran orientar acerca de cuál de las tres clases de plantas podía obtener resultados más significativos y propicios para el tratamiento de aguas residuales industriales, algunos de los parámetros que se llevaron a cabo en la medición del agua que posteriormente iba a ser vertida en las tres especies de plantas fueron los siguientes, pH, conductividad, solidos disueltos totales, temperatura, DBO, DQO, solidos suspendidos, salinidad, resistencia, sulfatos, hierro, zinc y cromo, algunos de los resultados acerca de los parámetros medidos nos permite evidenciar las condiciones y eficiencia de remoción de metales pesados que se pueden obtener de las plantas que están siendo analizadas en el proyecto, comparando las

concentraciones de metales pesados de entrada y de salida del agua, inicialmente los resultados de la medición de parámetros antes de que el agua fuera vertida a las plantas fueron los siguientes.

Salinidad: 1.1%

Conductividad: 2.16 (mS/cm)

Resistencia: Ω *cm

Sólidos disueltos totales (SDT): 2160 mg/l

Sulfatos: 868 mg/l

Hierro: 11.3mg/l

Zinc: 1.0 mg/l

Cromo :< 0.1 mg/l

DQO: 766 mg/l

El resultado de estos parámetros nos permite obtener unos análisis comparativos mucho más exactos acerca de cuál de los humedales pilotos construidos presenta mayor remoción de los metales pesados comparando su concentración de entrada con su concentración final del agua que fue vertida y que cumple con los parámetros que fueron inicialmente medidos y anexados anteriormente para realizar la respectiva comparación; los humedales también fueron sometidos a mediciones previas al sacar las muestras finales de agua, con el fin de obtener un seguimiento acerca del proceso de su remoción y analizar los resultados que se puedan generar a partir de dichas mediciones, para plasmar respectivamente los resultados comparativos obtenidos entre las distintas especies de plantas manejadas en el proyecto.

De acuerdo con las muestras de las plantas que han logrado desarrollarse en el medio y a las cuales se le ha realizado el respectivo seguimiento, se procedió a realizar unos vertimientos en los humedales conformados por las diferentes especies de plantas manejadas, los cuales iban a contener el agua del proceso de extracción de minería que se realiza en marmato.

Inicialmente a este proceso, después de haber obtenido las muestras de agua, las cuales se les iba a realizar el respectivo análisis de los diferentes parámetros de acuerdo a los diferentes tiempos de retención de las aguas que se encontraban en los humedales que fueron construidos, se llevó a cabo inicialmente un proceso de neutralización del agua al cual se le midieron los diferentes parámetros con el fin de ir evidenciando las diferentes concentraciones de tanto al inicio del proceso como al finalizarlo. La planta que por el momento presentaba mejores

características para desarrollar las pruebas de remoción de metales pesados del agua proveniente de la industria minera fue el humedal construido por la planta TYPHA DOMINGUENSIS B, a la cual se le vertió el día sábado 19 de septiembre del presente año 3 litros de agua neutralizada con hidróxido de sodio, esta agua inicial que se vertió en el humedal se neutralizó, puesto que el agua proveniente de marmato presenta características ácidas, lo cual podría perjudicar el proceso de remoción de metales pesados en las plantas, debido a esto se le agregaron 9,6 ML de hidróxido de sodio al agua para incrementar su PH y no afectar el proceso.

La muestra obtenida de acuerdo a la neutralización realizada se le asignó una nomenclatura de las muestras de M1, las cuales se les realizaron los análisis y mediciones de parámetros correspondientes entre los cuales podemos destacar, salinidad, conductividad y temperatura, con el fin de obtener una visualización un poco más clara de los porcentajes de remoción de metales pesados generados por los humedales, pero que en este caso sería únicamente y a modo de prueba, el humedal constituido por la muestra de planta TYPHA DOMINGUENSIS B, a la cual inicialmente se sometió al proceso con el agua residual proveniente de extracción minera y que fue neutralizada previamente arrojando los siguientes resultados en sus parámetros, teniendo en cuenta la proporción de adición de 0,12 ml/solución de NAOH para la respectiva neutralización del agua.

Conductividad: 1,752 mS/cm

T°C = 21,6°C

ℓ: 571 Ω cm

Sólidos totales disueltos: 1752 mg/l

Salinidad: 0.9

Pasados cuatro días correspondiente a la fecha miércoles 23 de septiembre de 2015, de haber vertido inicialmente el agua al humedal dominguensis B, se realizaron las respectivas mediciones de las aguas que contenía este humedal, con el fin de evidenciar un comparativo con los parámetros que inicialmente fueron medidos y poder así lograr comparar las diferentes remociones de metales y cambio de parámetros que las aguas obtenían al ser dispuestas en este humedal, a esta toma de muestras se le asignó la nomenclatura de M2, la cual arrojó resultados iniciales de sus parámetros de una **conductividad** : 1,449 mS/cm; **Salinidad:** 0,7%; **Sólidos totales disueltos:** 1449 mg/l ; **ℓ:** 690 Ω cm y una **T°:**22,7 °C, el agua que fue extraída de este humedal para realizarle los respectivos análisis de parámetros, fue tomada a una profundidad de 1cm - 2 cm

en donde se extrajeron 100 ml de los cuales fueron repuestos del agua que inicialmente fue vertida al humedal.

Luego de haber obtenido los resultados de acuerdo a la medición de parámetros de las muestras anteriores, se logró realizar la toma de muestra del agua del humedal dominguensis B pasados 3 días de la última medición correspondiente a la fecha de 26 de septiembre del presente año, en donde obtuvimos los mismos 100 ml que fueron sacados en la toma de muestra anterior y que fueron repuestos después de haberlos extraído del recipiente, esta toma de muestra de agua fue realizada, a los mismos 1cm - 2 cm de profundidad del humedal y arrojando resultados iniciales en la medición de sus parámetros de **conductividad** :1,448 mS/cm;**salinidad**:0,7% **solidos totales disueltos**:1448 mg/l; **ℓ 691 Ω cm** y una **T°C:21,4°C**,correspondientemente también se obtuvo un PH neutro de 7, ya que este fue modificado por el agua neutralizado previamente, a esta muestra que se obtuvo de acuerdo a estos parámetros anteriormente mencionados, se le asignó una nomenclatura de M3,a la cual le faltarían los resultados de los demás parámetros que se desean analizar y que se realizaron por intermediación de los laboratorios del SENA y la universidad nacional, quienes apoyan las investigaciones y proyectos que se realizan en la universidad católica de Manizales.

Con la obtención de los diferentes resultados que arrojaron las mediciones de los parámetros que se realizaron en las muestras de agua, se realizó una medición disyuntiva para comparar las disminuciones o variaciones que presentaban los parámetros del agua que fue vertida en el recipiente plástico y que no presentaban una externalidad que afectara el proceso de variación de los parámetros del agua como lo es el caso de las plantas implementadas en los humedales piloto, esto se llevó a cabo por medio de un recipiente en el cual se vertía el agua y en donde se esperaba a que ocurriera una sedimentación de los metales pesados que contenía este tipo de vertimiento por medio de la gravedad y sus características propias de cada uno de los componentes químicos que presentaba esta agua, esto con el fin de poder tener como referencia algunos resultados de las aguas que estaban siendo medidas y caracterizadas de este proceso, como también de aquellos que presentaban una intervención por parte de las plantas y poder comparar así los efectos generados en el agua de acuerdo al proceso que se le desee implementar teniendo en cuenta la especie de planta a manejar.

Posteriormente se tomaron dos muestras de dos recipientes, los cuales contenían el agua residual y que se dejaron a una sedimentación individual de acuerdo a las características que presentaba este fluido, por tal razón se tomaron dos muestras del agua sobrenadante que se encontraba en cada uno de los recipientes una para cada uno, para así someterlos a mediciones de algunos parámetros y poder

evidenciar los efectos generados en las aguas con y sin implementación de humedales constituidos por plantas acuáticas reductoras de contaminantes.

Los resultados arrojados para la muestra #1 fueron los siguientes

Conductividad: 1,821mS/cm

Salinidad: 0,9%

Solidos totales disueltos: 1820 mg/l

ℓ: 549 Ω cm

Temperatura: 20,9°C

Los resultados arrojados para la muestra #2 fueron los siguientes

Conductividad: 1,824 mS/cm

Salinidad: 0,9%

Solidos totales disueltos: 1824 mg/l

ℓ: 548 Ω cm

Temperatura: 20,2°C

Al obtener los resultados de ambas muestras se evidencia que presentan unas características similares de sedimentación, sin embargo se evidencia unas pequeñas variaciones en los dos tipos de recipientes, los cuales son indicativos de las características de las aguas que son vertidas por estos efluentes y que fueron sometidas a las mismas condiciones para evidenciar los respectivos cambios adquiridos por el agua en estas condiciones como lo es el caso de la sedimentación por efecto de la gravedad y peso específico de cada uno de los componentes que el agua adquiere en este proceso industrial.

El agua que fue previamente neutralizada en el proceso que se llevó a cabo antes de someterla al tratamiento del humedal puesto a prueba inicialmente obtuvo las siguientes características de parámetros y a dicha agua neutralizada se le asignó la nomenclatura de M4 quien obtuvo los siguientes resultados.

Conductividad: 1.752 mS/cm

Salinidad: 0.9

Solidos totales disueltos: 1752 mg/l

ℓ : 549 Ω cm

T= 21,6 °C

Seguido a esto se tomaron muestras del agua que había sido dispuesta en el recipiente pet plástico para evidenciar los resultados del agua decantada quien se dejó por sedimentación propia de acuerdo al peso específico arrojando, resultados de los parámetros como los siguientes y al que la muestra se le asignó una nomenclatura de M5 .

Conductividad: 1.820 mS/cm

Salinidad: 0,9

Solidos totales disueltos: 1821mg/l

ℓ :549 Ω cm

T°C: 20,6°C

PH: 3.83

Seguido a esto se tomaron muestras del humedal piloto Dominguenis B quien fue el humedal puesto a prueba inicialmente al cual se le tomo una muestra de 100 ml a una profundidad de entre 1cm – 2cm, arrojando resultados de los parámetros como los siguientes y a la cual dicha muestra se le asignó una nomenclatura de M6 .

Conductividad: 1.505 mS/cm

Salinidad: 0,9

Solidos totales disueltos: 665mg/l

ℓ :549 Ω cm

T°C: 20,6°C PH: 6,96

Después de haber realizado la prueba y mirar el desarrollo de la planta typha dominguensis B en el humedal piloto construido, se procedió a verter agua en otros tres recipientes en donde podríamos analizar las diferentes propiedades que el agua adquiriría en cuanto a sus metales pesados de acuerdo a los tipos de plantas y sustratos existentes en cada tipo de humedal piloto construido, para este caso decidimos utilizar las siguientes plantas que se encontraban en los humedales construidos los cuales fueron las siguientes, typha dominguensis B, latifolia B, testigo y agua sedimentada con metales pesados en el recipiente pet, esto se realizó con el fin de evidenciar algunos resultados que se presentaban al

momento de extraer las muestras de agua después de haber tenido un tiempo de retención en el cual las plantas, los sustratos y la sedimentación realizada por la gravedad de los metales pesados arrojará diferentes resultados con los cuales podríamos basarnos para realizar unos análisis comparativos en cuanto a la remoción y características de las aguas sometidas a los diferentes humedales pilotos construidos y de esta manera determinar el humedal que presentara mayor viabilidad tanto por el crecimiento y desarrollo de la planta como por sus eficiencias de remoción demostradas en el proceso que se llevó a cabo.

Los humedales construidos también se les realizó un seguimiento exhaustivo en cuanto a la disminución del agua tanto por evaporación como por absorción propia de la planta, para ello se llevó a cabo la medición de los descensos del nivel del agua previamente vertidos, dado esto para los diferentes humedales pilotos construidos y que en este caso fueron sometidos a la prueba arrojaron los siguientes resultados antes de sacar el volumen de las muestras correspondientes de cada tipo de humedal.

Humedal dominguensis B: 0,8 cm de descenso de nivel de agua correspondiente al último vertimiento de agua que fueron 14 cm de nivel de agua

Testigo:(contenido de sustrato de cascarillas de arroz y tierra) 1 cm de disminución de nivel del agua con respecto al último vertimiento realizado.

Latifolia B: este humedal presentó un descenso de nivel de agua de 1 cm con respecto al último vertimiento realizado al humedal que fueron aproximadamente 15 cm de agua.

Después de haber obtenido este registro de descenso de nivel de agua antes de sacar las muestras correspondientes que se deseaban analizar, se extrajeron las muestras las cuales fueron 100 ml de agua de cada humedal, por lo cual se redujeron los niveles de agua en los siguientes, de acuerdo a las nomenclaturas dadas para cada muestra.

M11 (*Typha dominguensis*) 0,5 cm de disminución de nivel de agua

M12 (*Latifolia B*) 0,3 cm de disminución de nivel de agua

M13 (testigo con sustrato) 0,7 cm disminución de nivel de agua

Para el recipiente de decantación no se produjo ningún tipo de disminución en su nivel de agua pues se encontraba herméticamente sellado y no fue relevante su disminución, sin embargo si presentó buena sedimentación de metales pesados en el medio en el cual se dejó, el cual fue la botella plástica pet en donde se logran evidenciar las concentraciones de los metales pesados.

De acuerdo a las muestras que fueron tomadas en los humedales pilotos y a las cuales así mismo se les midió sus respectivos descensos de niveles de agua,

también se les debió medir algunos parámetros en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

M11 (*thypha dominguensis* B)

Sólidos totales disueltos: 1711 mg/l

T°C: 22,1°C

ℓ: 586 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1,71 mS/cm

PH: 6,5

M12 (*Latifolia* B)

Sólidos totales disueltos: 1587 mg/l

T°C: 21,1°C

ℓ: 630 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.586 mS/cm

PH: 6

M13 (Testigo)

Sólidos totales disueltos: 1918 mg/l

T°C: 21,8°C

ℓ: 521 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.919 mS/cm

PH: 6

Recipiente de decantación:

Sólidos totales disueltos: 1839 mg/l

T°C: 20°C

ℓ: 544 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.838mS/cm

PH: 5

Estos datos fueron tomados el día jueves 17 de octubre del 2015, con el fin de tener un control acerca de los parámetros que daban como resultado de cada agua que fue vertida en los humedales seleccionados para esta prueba, seguidamente al día siguiente se realizaron otros muestreos en los humedales seleccionados con el fin de que pudiéramos adquirir unos resultados un poco más asertivos y basados en las remociones que presentaba cada planta, los cuales trajeron los siguientes resultados.

M14 (typha dominguensis B):

Solidos totales disueltos: 1667mg/l

T°C: 20,4°C

ℓ: 600 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.667mS/cm

PH: 6

M15 (Latifolia B):

Solidos totales disueltos: 1483 mg/l

T°C: 19,9°C

ℓ: 674 Ω cm

Salinidad: 0,7

Conductividad: 1.483mS/cm

PH: 6,5

M16 (Testigo con sustrato)

Solidos totales disueltos: 1483 mg/l

T°C: 20,8°C

ℓ: 465 Ω cm

Salinidad: 1,1

Conductividad: 2.15 mS/cm

PH: 6

Recipiente con agua decantada

Solidos totales disueltos: 1845 mg/l

T°C: 19,5°C

ℓ: 465 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1,845 mS/cm

PH: 6

La toma de estas muestras se realizó el día 19 de octubre de 2015 para seguir realizando el proceso exhaustivo de medición de parámetros de las plantas, lo cual al día siguiente ósea el 20 de octubre se realizaron las siguientes tomas de muestras de los humedales pilotos en donde allí mismo se pudieron obtener más datos de los parámetros con los que contaba esta agua que se encontraba en el humedal después de haber tenido un tiempo de retención hidráulico de 5 días, los resultados obtenidos tanto en la disminución del nivel del agua como de parámetros del agua fueron los siguientes.

Para cada humedal como muestra se sacaron 100 ml para analizar y que respectivamente contribuyeron al descenso del nivel del agua en el recipiente en el que se encontraba el humedal, este procedimiento se realizó tanto para el testigo, Dominguenis B, Latifolia B y el agua sedimentada sobrenadante.

A continuación mostraremos los niveles de descenso del agua de los humedales puestos a prueba inicialmente.

Tipo de humedal	Sábado		Lunes		martes	
	Evaporado (cm)	Con muestreo (cm)	Evaporado (cm)	Con muestreo (cm)	Evaporado (cm)	Con muestreo (cm)
DOMINGUENSIS B	0,7 CM	1 CM	1,3 CM	1,7 CM	2,1 CM	2,4 CM
LATYFOLIA B	0,9 CM	1,1 CM	1,2 CM	1,4 CM	1,5 CM	1,3 CM
TESTIGO	1,2 CM	1,5 CM	1,7 CM	1,9 CM	1,9	2,2

Para las muestras que se extrajeron de los humedales se lograron obtener los siguientes resultados de parámetros del agua.

M17 (Latifolia B):

Sólidos totales disueltos: 1464mg/l

T°C: 21,2°C

ℓ: 685 Ω cm

Salinidad: 0,7

Conductividad: 1.463 mS/cm

PH: 6,5

M18 (Dominguensis B):

Solidos totales disueltos: 1672 mg/l

T°C: 21,9°C

ℓ: 598 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.672 mS/cm

PH: 6,3

M 19 (TESTIGO):

Solidos totales disueltos: 2300 mg/l

T°C: 21,4°C

ℓ: 435 Ω cm

Salinidad: 1,2

Conductividad: 2.30 mS/cm

PH: 6

M 20 (Agua decantada)

Solidos totales disueltos: 1849 mg/l

T°C: 19,7°C

ℓ: 540 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.847 mS/cm

PH: 6

Pasados ocho días de haber vertido el agua en los recipientes de los humedales se obtienen algunos resultados tanto de los humedales que contienen diferentes especies de plantas como de algunos parámetros del agua residual que fue previamente neutralizada antes de ser vertida, así como también los parámetros después de ocho días; cabe resaltar que estas mediciones no generan mayor relevancia puesto que de acuerdo con la literatura de diferentes autores de los cuales nos hemos basado para realizar el trabajo, es solo requerido los primeros 4 o 5 días respectivamente que es en donde se evidencia una mejor remoción por parte de las plantas implementadas en los humedales.

Los siguientes son los resultados de muestras extraídas tanto de los humedales como del agua residual que fue neutralizada previo antes de ser vertida, Las otras muestras que fueron extraídas son simplemente para tener un soporte de resultados comparativos, ya que ninguna de ellas fueron llevadas a los laboratorios del Sena y universidad nacional para sus caracterizaciones respectivas.

M 21(AGUA NEUTRALIZADA):

Sólidos totales disueltos: 1833 mg/l

T°C: 18,7°C

ℓ: 546 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.833 mS/cm

PH: 6

DOMINGUENSIS B:

Sólidos totales disueltos: 1716 mg/l

T°C: 18,8°C

ℓ: 583 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.716 mS/cm

PH: 7

TESTIGO:

Sólidos totales disueltos: 280 mg/l

T°C: 18,5°C

ℓ: 357 Ω cm

Salinidad: 1,4

Conductividad: 2.80 mS/cm

PH: 6.8

LATYFOLIA B:

Sólidos totales disueltos: 1395 mg/l

T°C: 18,5°C

ℓ: 718 Ω cm

Salinidad: 0,6

Conductividad: 1.393 mS/cm

PH: 6.8

El día 24 de octubre del presente año se realizaron algunas mediciones para los recipientes en los cuales se encontraban los humedales, esto con el fin de que pudiéramos calcular los volúmenes aproximados de cada uno, para tener este dato como referencia de la cantidad de agua residual de minería que debíamos preparar y neutralizar en el momento para verter en la totalidad de las especies de las plantas, pues así obtendríamos un gran reporte de datos y parámetros que pudiéramos comparar entre las tres clases de plantas manejadas, para de esta manera estimar cuál de ellas presenta mejores características para la remoción de metales pesados y sus detalles de crecimiento después de haber sido vertidas las aguas neutralizadas en ellas.

Algunos de los cálculos que realizamos para tener en cuenta los volúmenes aproximados de cada uno de los humedales, fueron los siguientes

Testigo: 15 cm de altura extrayendo una parte del sustrato para generar mayor nivel de agua, su respectivo radio fue 21cm/2

Volumen testigo:

Radio $21/2 = 10,5$ cm

$$r^2 = 110,25 \quad v = \pi r^2 * h$$

$$v = \pi * 110,25 \text{cm} * 15 \text{cm}$$

V= 5.195 litros (para el testigo)

Dominguensis C: Altura 15 cm del recipiente, lado mayor 27,3 cm y lado menor 20 cm

Volumen dominguensis C:

$$v = \text{área base} * h$$

$$v = \text{lado} * \text{lado} * h$$

$$v = 27,3 \text{ cm} * 20 \text{cm} * 15 \text{ cm}$$

v = 8,190 litros (para dominguensis c)

Latifolia B: 15 cm altura * 27 cm lado mayor * 26 cm lado menor

Volumen latifolia B:

$$v = 15 \text{ cm} * 27 \text{ cm} * 26 \text{ cm}$$

v = 10,530 litros (para latifolia b)

Angustifolia B: Altura 13 cm * lado 20 cm * 20 cm

Volumen angustifolia B

$$v = \text{área base} * \text{altura}(h)$$

$$v = \text{lado} * \text{lado} * \text{altura}$$

$$v = 20 \text{cm} * 20 \text{cm} * 13 \text{cm}$$

v = 5,2 litros (Para angustifolia b)

Angustifolia A: Altura 14cm, diámetro 28 cm

Volumen angustifolia A

$$v = \pi D^2 / 4 * h$$

$$v = \pi 28^2 / 4 * 14 \text{ cm}$$

$v = 8,620 \text{ litros (para angustifolia A)}$

Para un volumen total de: 37,735 litros aproximadamente 38 litros, dado esto por medio de la investigación se decide realizar una preparación de agua residual que posteriormente se iba a verter lo cual se presupuesta de 42 litros que oficialmente se prepararon para darle satisfacción de este insumo a los humedales que se iban a someter a la prueba, por lo tanto se realizaron los respectivos cálculos para una preparación oficial de 42 litros de agua de minería neutralizada, ya que con esta cantidad no se generaba tanta pérdida en los niveles del agua de los humedales para la obtención de las muestras que se realizan para analizar sus parámetros respectivos.

Después de haber realizado los cálculos aproximados correspondientes en cuanto al volumen necesario que se debía verter para los humedales, procedimos a realizar el cálculo del volumen existente en el recipiente en el que se encontraba el agua residual de minería original, puesto que se generaban ciertas dudas de que el agua que estuviese allí alcanzara para satisfacer a todos los humedales y poder tomar las muestras durante los primeros 4 días.

Para esto realizamos los siguientes cálculos tomando como bases algunos criterios de las literaturas revisadas y que nos orientarían al desarrollo de la preparación de agua neutralizada por medio de hidróxido de sodio, de acuerdo a esto procedimos a realizar los cálculos necesarios teniendo en cuenta las proporciones mencionadas en las literaturas.

De acuerdo a las revisiones bibliográficas realizadas, se tiene la siguiente proporción.

50 ml de agua de minería original ---- 0,12 ml de solución de hidróxido de
Sodio NAOH

Aplicamos respectivamente regla de tres para saber cuánta proporción de masa se requiere para la cantidad de volumen que vamos a preparar.

50 ml de H₂O----- 0,12 ml solución NOAH

42000 ml (volumen requerido) ----- X ml solución NAOH

Volumen ml solución NAOH = $42000 \text{ ml} \times 0,12 \text{ ml Solución NAOH} / 50 \text{ ml de H}_2\text{O}$

Volumen ml solución NAOH = 100,8 ml solución NAOH (0,1008 litros)

Dado esto determinaremos la masa necesaria de hidróxido de sodio para preparar la solución.

[] NAOH= masa /volumen

Masa = [] NAOH*volumen

Masa =39,31 gramos /litro *0,1008 litros

Masa = 3,9624 gramos de NAOH (requeridos)

Así mismo las concentraciones de hidróxido de sodio serán de acuerdo a su peso molecular

1 molar = 1 mol /1 litro

[] 39,31 gramos /litro de NAOH.

Realizamos la respectiva medición de volumen para la cantidad de agua que había en el recipiente que contenía el agua residual original de marmato para poder saber si lográbamos alcanzar el vertimiento de esta agua a cada uno de los humedales que queríamos analizar sus parámetros después de haber tenido el tiempo de retención hidráulico necesario.

Para la toma de medición de volumen de recipiente se obtuvieron los siguientes resultados.

Diámetro: 44 cm

Altura: 68 cm -38,5 cm = **29,5 cm altura de agua residual**

Sacamos respectivamente el diámetro promedio del recipiente teniendo en cuenta el perímetro

$$perimetro = 2\pi * r$$

$$D = 133,5 CM / \pi$$

$$D = 42,496 CM$$

Obteniendo un diámetro promedio de

$$(44+42,5) / 2 = 43,25 cm$$

DIAMETRO PROMEDIO = 43,25 cm

Hallamos respectivamente el volumen del recipiente con la siguiente ecuación.

$$volumen = (\pi D^2 h) / 4$$

$$volumen = \frac{\pi(43,25 \text{ cm})^2}{4} * 29,5 \text{ cm}$$

$$volumen = 43338 * 2 \text{ cm}^3$$

Volumen =43,3 litros de agua residual de minería en recipiente traído de marmato)

En el momento de realizar las mediciones reales guiadas por la parte teórica obtuvimos los siguientes datos de acuerdo a las capacidades de medición que presentábamos en cuanto a instrumentos.

1) medimos en la gramera 3,967 gramos de NAOH

2) medimos respectivamente 101 ml de agua para mezclar con el hidróxido de sodio y así realizar la solución requerida

Asumiendo un volumen de 42 litros realizamos la siguiente regla de tres para saber cuánto volumen de la solución de hidróxido de sodio debemos verter al agua residual que se tenía en el recipiente inicialmente y que serán repartidas en los recipientes de nueve litros, por lo cual realizamos este cálculo para saber cuánto le corresponde a cada balde que se vaya a preparar para verter.

42 litros de H2O minería original ----- 0,101 litros de solución neutralizada NAOH

9 litros capacidad del recipiente ----- X litros de solución para el balde

$$X = (9 \text{ litros} * 0,10 \text{ litros}) / 42 \text{ litros}$$

$$X = 0,02164$$

X= 21,6428 ml de solución de hidróxido de sodio para cada balde

Después de haber vertido la cantidad requerida de volumen en la solución realizamos la toma de muestra tanto del agua sobrenadante decantada, como medición de parámetros de agua de minería antes de ser neutralizada y después de este mismo proceso, a continuación mostraremos los datos de estas clases de aguas.

Agua sobrenadante (recipiente pet vertido el 16/oct/2015)

Solidos totales disueltos: 1860 mg/l

T°C: 20,1°C

ℓ: 538 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.8610mS/cm

PH: 5,5

Parámetros de agua residual antes de ser neutralizada por la solución de hidróxido de sodio, esta medición se llevó a cabo el día 24/octubre /2015 a eso de las 5:25 pm, esta agua arrojó los siguientes parámetros

Sólidos totales disueltos: 222 mg/l

T°C: 19,1°C

ℓ: 451 Ω cm

Salinidad: 1,1

Conductividad: 2.22mS/cm

PH: 3

Para el agua ya neutralizada que fue vertida a los recipientes de los humedales arrojaron los siguientes resultados que fueron medidos a las 6:30 pm del mismo día.

Sólidos totales disueltos: 1825 mg/l

T°C: 18,5°C

ℓ: 548 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.825 mS/cm

PH: 5

Dado esto se vertió el agua a los humedales pilotos construidos, los cuales van a hacer empleados para la extracción de las muestras en los días 26,27 y 30 de octubre para consolidar las informaciones de los parámetros que se van a medir en las muestras y obtener resultados que nos permitan realizar comparativos entre las plantas de distintas especies y que evidencien muy buenos resultados.

Debido a los días estipulados anteriormente para la toma de muestras se procedió así mismo a realizar la recolección de muestras para realizar el comparativo, la toma de muestras se empezaron a llevar a cabo el día lunes 26 de octubre de 2015, los cuales arrojaron los siguientes resultados para este día, de acuerdo a las denotaciones de cada una de las muestras.

Testigo: (M22)

Solidos totales disueltos: 1976 mg/l

T°C: 19,3°C

ℓ: 506 Ω cm

Salinidad: 1.0

Conductividad: 1.976 mS/cm

PH: 6

Typha Dominguensis C: (M23)

Solidos totales disueltos: 1633 mg/l

T°C: 19,9°C

ℓ: 612 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.633 mS/cm

PH: 5,5

Typha latifolia B (M24)

Solidos totales disueltos: 1679 mg/l

T°C: 19,8°C

ℓ: 595 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.679 mS/cm

PH: 6,8

Typha angustifolia A (M25)

Solidos totales disueltos: 1419 mg/l

T°C: 19,8°C

ℓ: 705 Ω cm

Salinidad: 0,7

Conductividad: 1.418 mS/cm

PH: 6,8

Agua decantada:

Solidos totales disueltos: 1835 mg/l

T°C: 19,5°C

ℓ: 545 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.835 mS/cm

Para el día siguiente se realizaron también la toma de muestras para realizar la medición respectiva de cada uno de los humedales a los cuales se les había vertido el agua neutralizada de minería, estas mediciones se realizaron el día martes 27 de octubre de 2015 y arrojarían los siguientes resultados.

Testigo: (M26)

Solidos totales disueltos: 2010mg/l

T°C: 19,9°C

ℓ: 497 Ω cm

Salinidad: 1,0

Conductividad: 2.01 mS/cm

PH: 6,8

Typha Dominguensis C: (M27)

Solidos totales disueltos: 1590mg/l

T°C: 20,1°C

ℓ: 629 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.590mS/cm

PH: 6,5

Typha latifolia B: (M28)

Solidos totales disueltos: 1649mg/l

T°C: 19,8°C

ℓ: 606 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.649mS/cm

PH: 6,5

Typha angustifolia A: (M29)

Solidos totales disueltos: 1370mg/l

T°C: 19,8°C

ℓ: 730 Ω cm

Salinidad: 0,6

Conductividad: 1.369mS/cm

PH: 6,8

Agua decantada:

Solidos totales disueltos: 1836mg/l

T°C: 19,3°C

ℓ : 545 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.836mS/cm

PH: 3,0

Posterior a obtener los resultados de estas muestras y poder haber medido los parámetros respectivos de cada uno de los humedales, realizamos una última medición el día viernes 30 de octubre de 2015, arrojando así resultados suficientes para poder realizar un análisis un poco más completo acerca de las características de cada planta y su eficiencia en la remoción de metales pesados del agua como también parámetros como conductividad y salinidad, los cuales fueron factores importantes a tener en cuenta en las conclusiones que se llevaron a cabo acerca de los humedales que presentarían mejores características para implementar los humedales a gran escala y que presentaran así mismo una eficiencia alta en la remoción de metales pesados que habían sido adquiridos por el agua en el proceso industrial de minería aurífera.

Los resultados obtenidos por las muestras fueron los siguientes.

Testigo: (M30)

Sólidos totales disueltos: 213mg/l

T°C: 20,5°C

ℓ : 470 Ω cm

Salinidad: 1,1

Conductividad: 2.13mS/cm

PH: 6,8

Dominguensis C: (M31)

Sólidos totales disueltos: 1537mg/l

T°C: 20,3 °C

ℓ : 650 Ω cm

Salinidad: 0,7

Conductividad: 1.537mS/cm

PH: 7

Latifolia B (M32)

Solidos totales disueltos: 1607mg/l

T°C: 20,2 °C

ℓ: 621 Ω cm

Salinidad: 0,8

Conductividad: 1.606mS/cm

PH: 6

Angustifolia A: (M33)

Solidos totales disueltos: 1300 mg/l

T°C: 20,2 °C

ℓ: 770 Ω cm

Salinidad: 0,6

Conductividad: 1.299mS/cm

PH: 6,5

Agua decantada: (M34)

Solidos totales disueltos: 1834 mg/l

T°C: 20,2 °C

ℓ: 546 Ω cm

Salinidad: 0,9

Conductividad: 1.833mS/cm

PH: 4

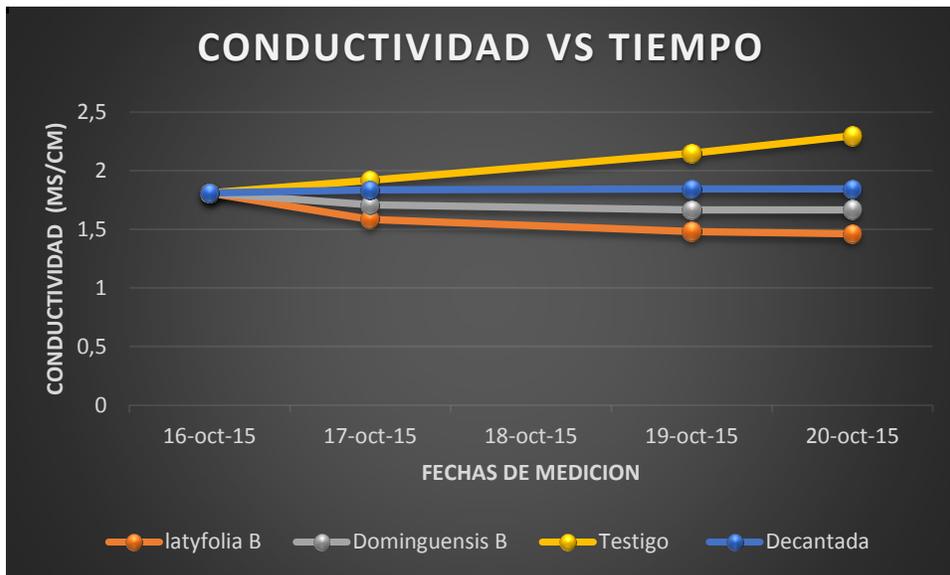
Posteriormente a estos resultados obtenidos en todas las muestras que fueron recolectadas en los humedales que se sometieron a las pruebas de aguas residuales de minería se realiza un análisis acerca de los mejores resultados obtenidos en ellos y así poder estimar cuál de las diferentes plantas utilizadas en la construcción de los humedales presenta una mayor eficiencia en la remoción de metales pesados del agua y así mismo otros parámetros que son necesarios tener en cuenta en la calidad del agua.

Entre los parámetros que pudimos evaluar a lo largo de la ejecución del proyecto podremos encontrar la medición de salinidad, conductividad, PH y hierro, los cuales son relevantes en nuestros análisis y con los que pudimos comparar frente a la normativa actual existente de estos parámetros en algunos de los casos que se presentan rangos o cantidades limitantes.

Para esto establecimos la creación de diferentes tablas que permiten la asimilación y comparación de los diferentes tipos de humedales que fueron puestos a prueba junto con sus resultados y poderlos de tal manera graficar, para su mayor entendimiento e interpretación a continuación mostraremos algunas de ellas con sus respectivos parámetros y mediciones de acuerdo a la campaña correspondiente para cada una de ellas, puesto que en el proyecto se lograron ejecutar dos tipos de campañas en los cuales obtuvimos varios resultados.

Para la campaña #2 esta serán las siguientes tablas comparativas e ilustrativas de algunos de los parámetros que fueron medidas en ellas previa y posteriormente.

CAMPAÑA 2	conductividad (mS/cm)			
	fechas de toma de muestras			
tipo de humedal	16-oct-15	17-oct-15	19-oct-15	20-oct-15
latifolia B	1,812	1,586	1,483	1,463
Dominguensis B	1,812	1,71	1,667	1,672
Testigo	1,812	1,919	2,15	2,3
Decantada	1,812	1,838	1,845	1,847

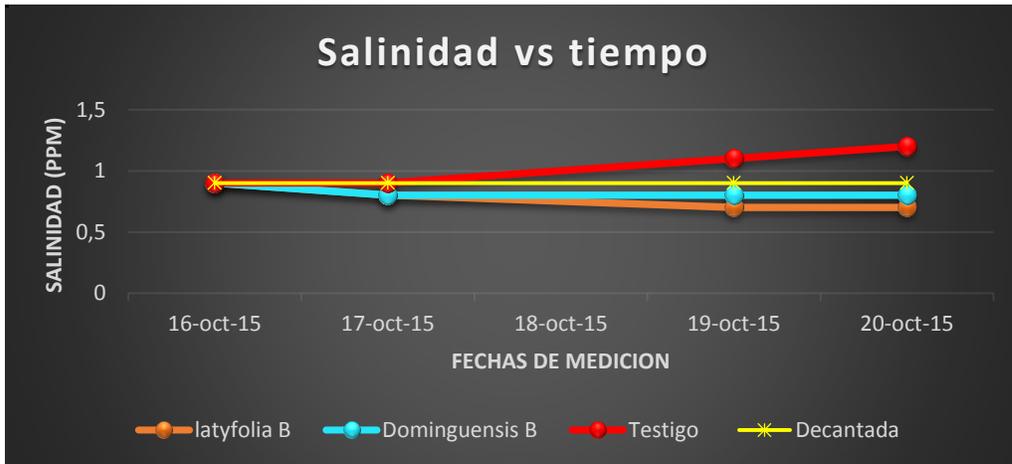


De acuerdo a los resultados que se pueden observar en esta gráfica, quien presenta mayor descontaminación del agua en este caso es el humedal conformado por typha latifolia B, la cual logra presentar una mayor disminución de la conductividad inicial con la que fue entregada el agua a su humedal piloto establecido, dado esto se presenta como también una muy buena alternativa de aplicación en los humedales la planta typha dominguensis B, quien es la segunda que lidera los buenos porcentajes de remoción y de calidad del agua después del humedal establecido por latifolia B, no obstante a esto se puede deducir que los otros dos factores que fueron evaluados en la prueba como lo son el agua decantada y el testigo no presentan una buena remoción, ya que no cuentan con raíces o tallos como en el caso de los humedales, que permitan la adherencia de diferentes compuestos del agua en los tallos y raíces, que hacen que varíen significativamente los parámetros de las aguas como en este caso, que se evidencia una buena remoción por parte de los dos humedales conformados por latifolia B y dominguensis B respectivamente.

De igual manera presentaremos la tabla y la gráfica de salinidad para los humedales seleccionados como lo es en el caso de la campaña 2, en la cual obtuvimos los siguientes resultados y análisis.

CAMPAÑA 2				
	Salinidad(ppm)			
	fechas de toma de muestras			
tipo de humedal	16-oct-15	17-oct-15	19-oct-15	20-oct-15

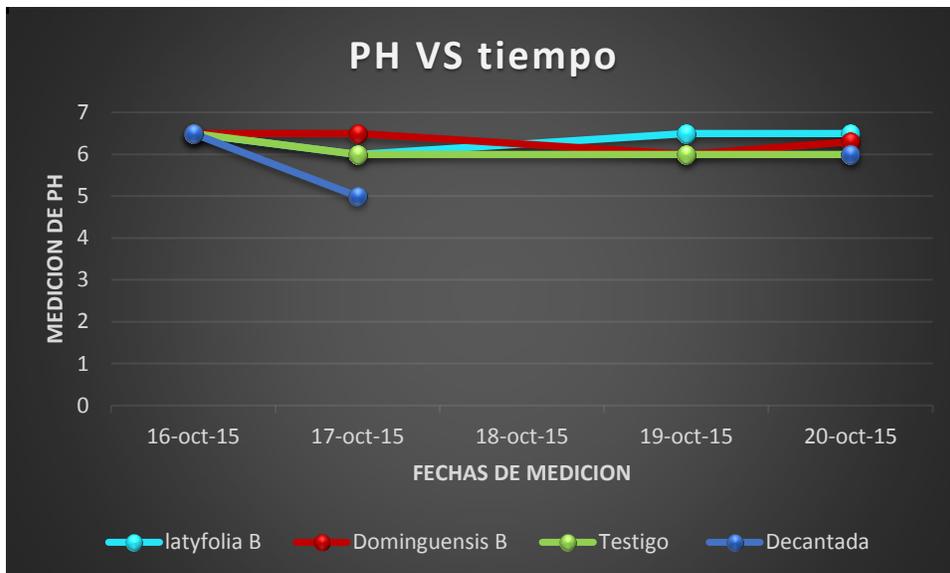
latifolia B	0,9	0,8	0,7	0,7
Dominguensis B	0,9	0,8	0,8	0,8
Testigo	0,9	0,9	1,1	1,2
Decantada	0,9	0,9	0,9	0,9



En esta grafica se puede observar igualmente las buenas representaciones de los datos de los humedales conformados por latifolia B y Dominguensis B, los cuales son quienes representan mayores remociones y bajas concentraciones de salinidad y conductividad, por lo tanto son plantas que se presentan como una muy buena alternativa de aplicación, pues en ellos se evidencia que hay gran adherencia de propiedades de los contaminantes como lo es en el caso de las raíces y los tallos de las plantas, los cuales contribuyen notablemente a las disminuciones de concentraciones de las aguas que fueron vertidas inicialmente en ellas para que interactuaran en el humedal piloto construido y que fue puesto a prueba.

Podemos observar igualmente las tablas y graficas de los PH de los humedales puestos a prueba en la campaña 2, los cuales nos ayudan a determinar de acuerdo al PH la mayor solubilidad o no de los metales pesados en el agua.

PH	fechas de toma de muestras			
tipo de humedal	16-oct-15	17-oct-15	19-oct-15	20-oct-15
latifolia B	6,5	6	6,5	6,5
Dominguensis B	6,5	6,5	6	6,3
Testigo	6,5	6	6	6
Decantada	6,5	5		6

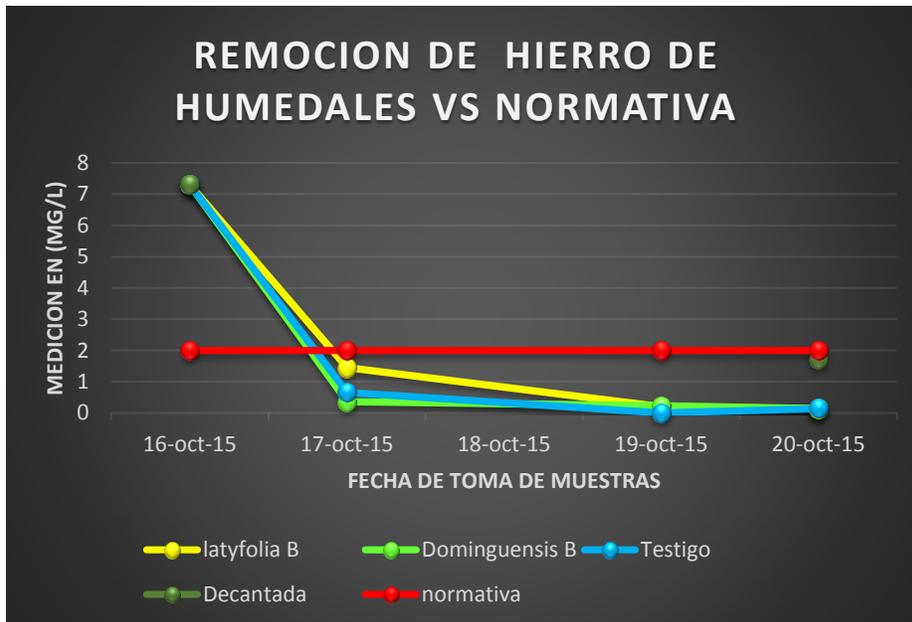


De acuerdo a esta grafica representada por los valores de pH obtenidos por los humedales, podemos decir de que tanto el testigo como el agua que se encontraba en el recipiente de agua decantada, son quienes presentan mayor solubilidad de los hierros y de metales pesados en el agua, por lo cual estos se encuentran inmersos en el agua y son más difíciles de sedimentarlos debido a su acidez, caso contrario que sucede con los humedales construidos por las plantas typha dominguensis B y latifolia B, los cuales son un poco más básicos y por ende contribuyen a la separación de los metales pesados contenidos en el agua inicial, ya que estos se pueden sedimentar un poco más fácil y en mayor cantidad, pues no se encuentran tan solubilizados como en el caso de los otros dos recipientes los cuales son conformados por testigo y agua decantada.

Es importante poder evidenciar los cambios que representan las aguas al transcurrir el tiempo de retención hidráulico de las mismas, ya que de esta manera se puede evidenciar los resultados de las concentraciones de metales pesados como lo es el caso del hierro, quien es uno de los principales metales que contienen las aguas de estos procesos productivos y que así mismo es de suma importancia analizarlos, ya que así se podrá realizar los comparativos respectivos con la normativa de acuerdo a los límites de concentración o medida establecida para los parámetros de este tipo de agua.

límite de cuantificación de método hierro	<0,0043
Hierro (mg/l)	fechas de toma de muestras

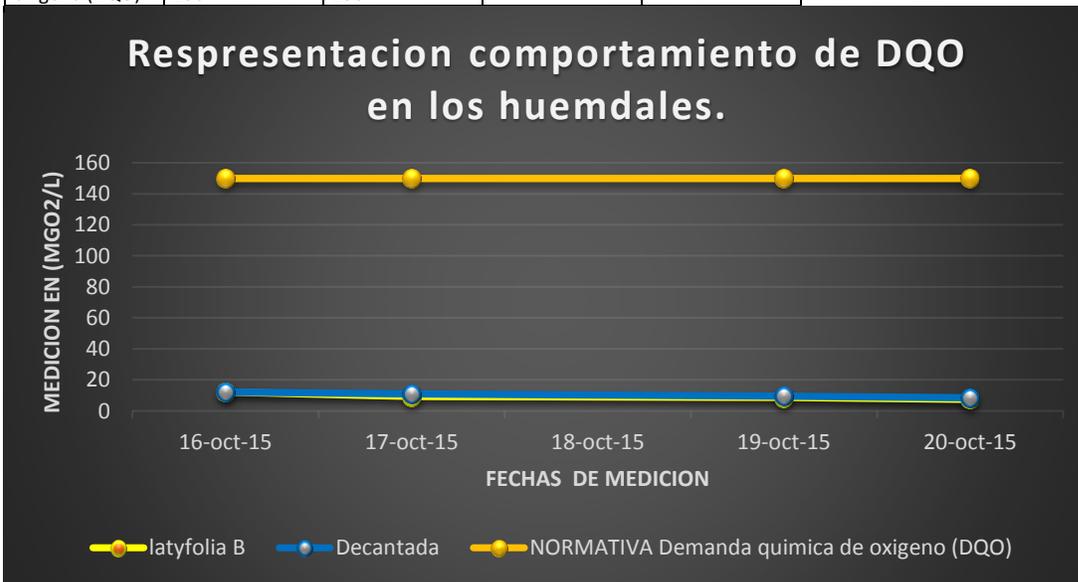
tipo de humedal	16-oct-15	17-oct-15	19-oct-15	20-oct-15
latifolia B	7,31	1,45	0,2	0,13
Dominguensis B	7,31	0,36	0,23	0,14
Testigo	7,31	0,66	0,00043	0,14
Decantada	7,31			1,71
normativa	2	2	2	2



Teniendo en cuenta estos resultados podemos aludir de que las aguas en general sometidas a prueba presentan en los humedales una gran remoción de metales pesados como lo es el caso del hierro, ya que en general todos al ser sometidos a prueba logran encontrarse después de transcurrido el tiempo de retención hidráulico muy por debajo de los límites establecidos por la normatividad actual.

Seguidamente a estos resultados encontraremos los análisis y resultados obtenidos por la demanda química de oxígeno (DQO), los cuales en general dieron por debajo del límite de medición de DQO, por lo cual es importante aclarar de que debido a los resultados establecidos por la universidad nacional quien fue quien realizó las mediciones de los parámetros de las muestras de agua extraídas en el proyecto y de los cuales no se tenían un valor exacto del valor inferior del límite de medición de DQO de cada muestra de humedal, se realizó una representación solo en este caso de algunos valores tomados por nosotros que se encontraran por debajo del límite de medición, para así poder representar gráficamente los resultados obtenidos y el comportamiento tentativo de la DQO en los humedales a través del tiempo.

límite de cuantificación de método DQO		<13,56 (MgO ₂ /l)		
DQO (mgO ₂ /l)	fechas de toma de muestras			
tipo de humedal	16-oct-15	17-oct-15	19-oct-15	20-oct-15
latifolia B	12,3	9,3	8,7	7,5
Decantada	12,3	11	9,6	8,5
NORMATIVA Demanda química de oxígeno (DQO)	150	150	150	150

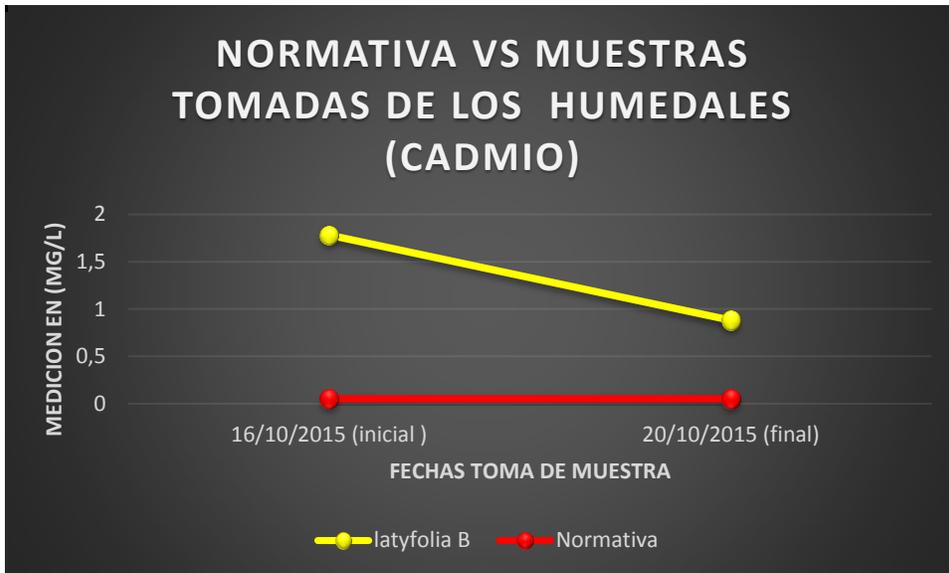


En esta gráfica y de acuerdo a los valores que tomamos de representación para la (DQO) podemos decir que básicamente el comportamiento de la (DQO) en el agua a través del tiempo es prácticamente muy por debajo de la normativa, lo cual también ilustra la tendencia lineal y constante de los comportamientos del agua con respecto a este parámetro importante de medición, ya que tomando netamente los valores suministrados por el laboratorio de medición de la universidad nacional que se encuentra en la ciudad de Manizales, la gran mayoría de las muestras arrojan resultados por debajo del límite de medición de (DQO), el cual corresponde a <13,56 (MgO₂/l) resultado que no sobrepasa los límites establecidos por la normativa nacional los cuales son de 150(MgO₂/l).

En nuestro proyecto no solo realizamos mediciones de parámetros como el hierro, sino que también realizamos los análisis de parámetros importantes que son necesarios tener en cuenta como el cadmio, al cual se le realiza una medición inicial y final para posteriormente ser comparado con la normativa nacional aplicada, la cual alude a los límites de concentración de este parámetro en estas respectivas aguas.

Medición de cadmio

(mg/l)	fechas toma de muestras	
humedal	16/10/2015 (inicial)	20/10/2015 (final)
muestra	1,78	0,88
Normativa	0,05	0,05



En este caso a diferencia de los demás parámetros que hemos logrado medir en las muestras de agua residual que ha sido vertida en los humedales, podemos afirmar de que no presentan una remoción suficiente este solo sistema secundario de humedales para la remoción de metales pesados como el cadmio, pues dados los resultados que arrojaron las muestras de agua recolectadas de los humedales, se sigue sobrepasando los límites de la normativa los cuales son 0,5(mg/l), por lo cual quizás se requiera para este parámetro en específico un tiempo de retención mucho mayor o la complementación de este sistema con una implementación muy buena de un tratamiento primario mucho más eficiente que permita que la cantidad de cadmio que tenga que remover los humedales sean mucho menores, y así poder cumplir o sobre pasar las reducciones de metales pesados como el cadmio de acuerdo a la normativa, es decir obtener resultados mucho menores a los 0,5 (mg/l) exigidos.

Es importante que de acuerdo a los parámetros que medimos y que son relevantes como en este caso lo son los conductividad, salinidad, hierro y cadmio ilustremos por medio de tablas los porcentajes de remoción que adquieren cada

uno de estos para así complementar y tener una idea mucho más clara de las diferentes eficiencias que pueden llegar a obtener los humedales conformados por los distintos tipos de plantas y así establecer cuál de ellas presenta mayores niveles de remoción de metales pesados en el agua de minería de la cual se le realiza el estudio; en estas tablas se encontraran los complementos de las representaciones de las gráficas, pues con los mismos datos que se realizaron las gráficas, se obtuvieron las tablas y los porcentajes de remoción que se representan a continuación para cada uno de los parámetros anteriormente mencionados.

conductividad (mS/cm)			
tipo de humedal	valor inicial	valor final	%remoción
latifolia B	1,812	1,463	19,26048565
Dominguensis B	1,812	1,672	7,726269316
testigo	1,812	2,3	-26,93156733
Decantada	1,812	1,847	-1,931567329

Salinidad (ppm)			
Tipo de humedal	valor inicial	valor final	%remoción
latifolia B	0,9	0,7	22,22222222
Dominguensis B	0,9	0,8	11,11111111
testigo	0,9	1,2	-33,33333333
Decantada	0,9	0,9	0

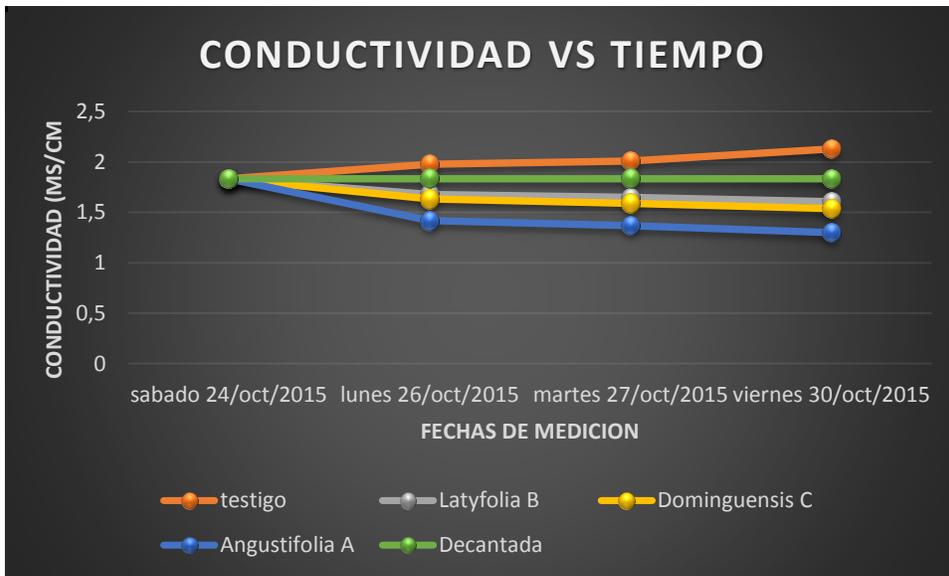
Hierro (mg/l)			
Tipo de humedal	valor inicial	valor final	%remoción
latifolia B	7,31	0,13	98,22161423
Dominguensis B	7,31	0,14	98,08481532
testigo	7,31	0,14	98,08481532
Decantada	7,31	1,71	76,60738714

Cadmio (mg/l)			
Tipo de humedal	valor inicial	valor final	%remoción
latifolia B	1,78	0,88	50,56179775

Campaña 3:

Para la campaña 3 que se llevó a cabo en el proyecto, realizamos las diferentes tablas y graficas de representación de parámetros como la salinidad, conductividad, pH y sus respectivas tablas de medición de porcentajes de remoción con el fin de ya obtener resultados un poco más asertivos debido a que se realizó con todas las especies de plantas que se manejaron en el proyecto.

Campaña 3		conductividad (Ms/cm)			
		fechas de medición			
tipo de humedal	sábado 24/oct/2015	lunes 26/oct/2015	martes 27/oct/2015	viernes 30/oct/2015	
testigo	1,833	1,976	2,01	2,13	
Latifolia B	1,833	1,678	1,649	1,606	
Dominguensis C	1,833	1,633	1,59	1,537	
Angustifolia A	1,833	1,418	1,369	1,299	
Decantada	1,833	1,836	1,836	1,833	

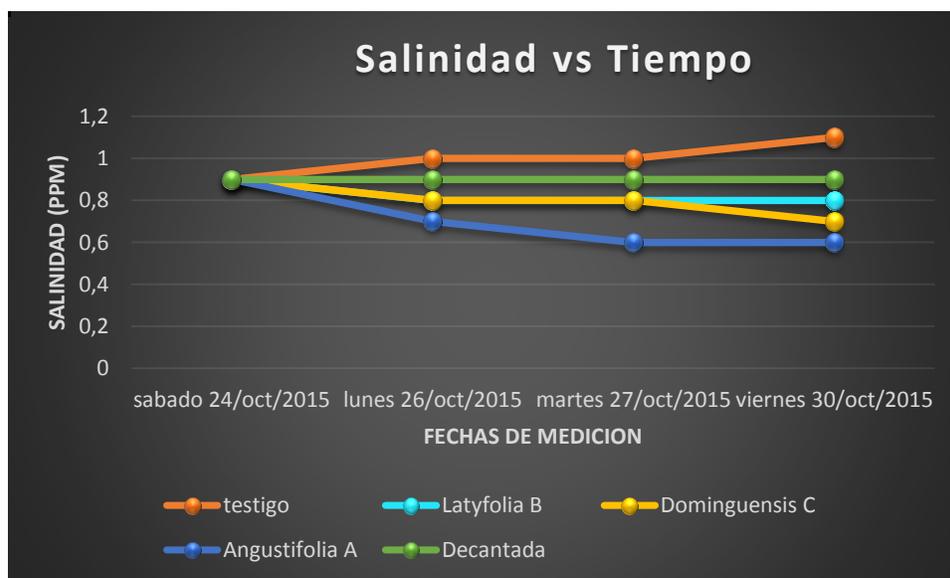


Para el análisis que se realizó en la campaña 3 de acuerdo a todos los humedales que se manejaron y las especies de plantas, para este parámetro como lo es la conductividad los mejores resultados que se presentan en cuanto a la disminución de estas son los humedales que están conformados por las pantas angustifolia A y dominguensis C las cuales encabezan las mejores remociones de conductividad

en el agua, ya que comparando con los resultados de la campaña 2 se sigue evidenciando las buenas características que presenta la planta typha dominguensis y la angustifolia, ya que la última mencionada es la primera prueba que se le realiza, arrojando resultados muy positivos que pueden ser considerados para una próxima y futura implementación.

Respectivamente seguido a esto, se llevó a cabo una elaboración de tablas y gráficas para analizar la salinidad que presentaban las aguas extraídas de los humedales y así mismo obtener una comparación para esta etapa, la cual arroja resultados muy satisfactorios de remociones y de posibles implementaciones de los humedales a escala real por medio de este tipo de plantas acuáticas.

		SALINIDAD (PPM)			
		fechas de medición			
tipo de humedal	sábado 24/oct/2015	lunes 26/oct/2015	martes 27/oct/2015	viernes 30/oct/2015	
testigo	0,9	1	1	1,1	
Latifolia B	0,9	0,8	0,8	0,8	
Dominguensis C	0,9	0,8	0,8	0,7	
Angustifolia A	0,9	0,7	0,6	0,6	
Decantada	0,9	0,9	0,9	0,9	

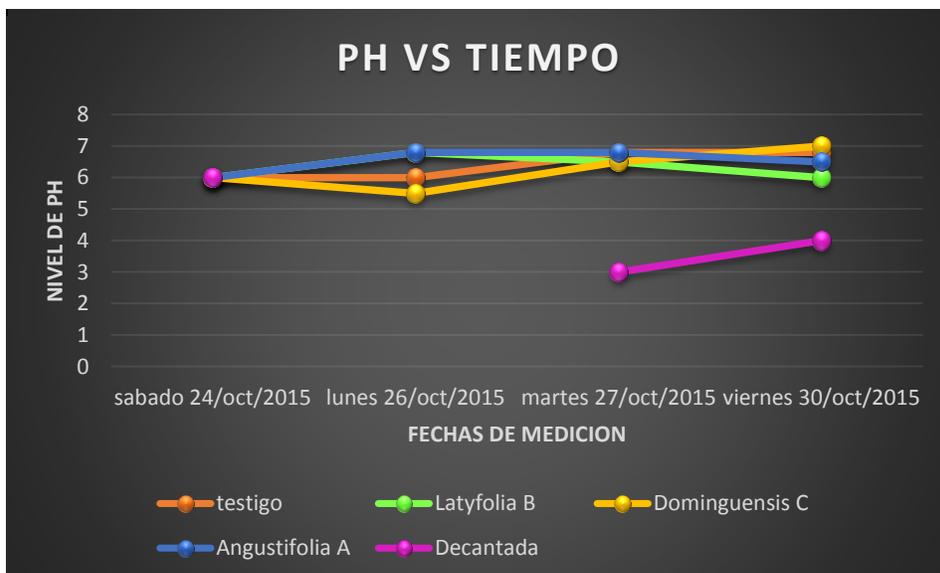


En este caso podemos evidenciar la ratificación de la muy buena respuesta por parte del humedal piloto conformado por la planta angustifolia A, ya que se logra

observar la diferencia representada por la gráfica, superando notablemente de esta manera las dos postuladas iniciales que se tenían de la campaña 2, las cuales eran la dominguensis y latifolia, sin embargo al realizarle un estudio a estos dos humedales conformados por estas plantas, siguen obteniendo buenos resultados y representando buenas remociones para el agua de minería que fue inicialmente vertida en ellos.

No obstante realizamos para esta campaña el análisis del agua tanto acida como básica por medio de la medición de PH, el cual determina notablemente en cierto modo la sedimentación o no de los metales pesados de acuerdo a las características del agua, ya que de acuerdo a que tan básico o ácido sea el agua, esta permitirá la solubilización o no de los metales pesados en el agua, lo cual facilita o impide la sedimentación de dichos metales en el fondo de los humedales.

PH (Campaña 3)	fechas de medición			
tipo de humedal	sábado 24/oct/2015	lunes 26/oct/2015	martes 27/oct/2015	viernes 30/oct/2015
testigo	6	6	6,8	6,8
Latifolia B	6	6,8	6,5	6
Dominguensis C	6	5,5	6,5	7
Angustifolia A	6	6,8	6,8	6,5
Decantada	6		3	4



Dados estos resultados en gráficas, se puede ratificar que los humedales que presentan mayores remociones tanto de salinidad como de conductividad, presentan unos PH más básicos los cuales facilitan la sedimentación de muchos de los metales pesados, caso contrario que sucede con los humedales como el testigo y el decantado quienes tienen un PH un poco más ácido, lo cual permite mayor solubilización de metales pesados en el agua por lo cual es más difícil su separación por medio de la decantación de los mismos en el agua que fue vertida en los humedales.

Debido a la realización de tablas que empleamos en la campaña 2, esta campaña 3 no va tener excepción alguna, por lo cual se llevaron a cabo la elaboración de tablas, de las cuales podemos evidenciar los porcentajes de remoción para estos dos parámetros que fueron establecidos para la medición, y poder seguir de esta manera aterrizando las características y porcentajes de remoción de muchos de los humedales construidos por las diferentes plantas para establecer de esta manera la mejor opción.

conductividad (mS/cm)			
tipo de humedal	valor inicial	valor final	% remoción
testigo	1,833	2,13	-16,20294599
latifolia B	1,833	1,606	12,38406983
Dominguenis C	1,833	1,537	16,14839062
Angustifolia A	1,833	1,299	29,13256956
Decantada	1,833	1,833	0

Salinidad (ppm)

Tipo de humedal	valor inicial	valor final	% remoción
testigo	0,9	1,1	-22,22222222
latifolia B	0,9	0,8	11,11111111
Dominguensis C	0,9	0,7	22,22222222
Angustifolia A	0,9	0,6	33,33333333
Decantada	0,9	0,9	0

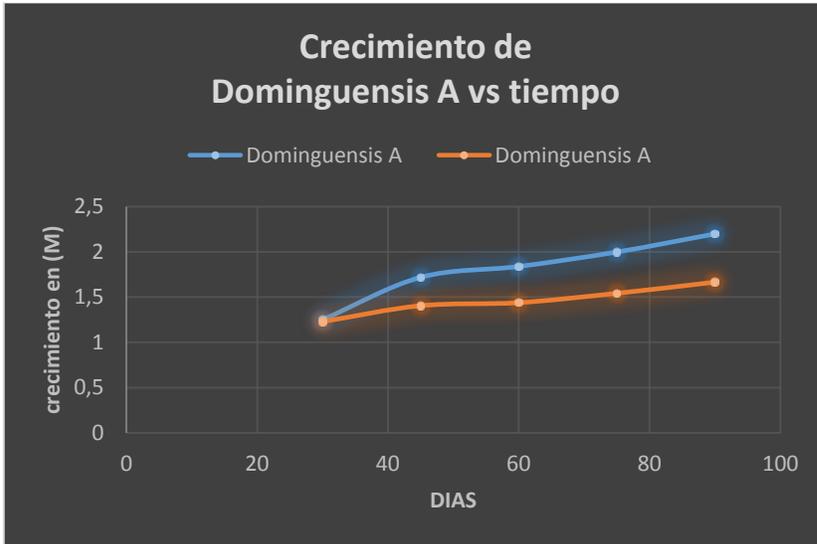
Para el proyecto que se desarrolló en cuanto al crecimiento de las plantas y la implementación de estas en humedales pilotos con contenido de sustrato y agua natural; inicialmente se realizaron la siembra y adecuación de cada una de las especies de plantas que se seleccionaron para su respectivo desarrollo, las especies que seleccionamos fue debido a los grandes usos que presentan este tipo de plantas en la implementación a escala real de los humedales, No obstante a esta premisa realizamos todas las adecuaciones pertinentes para que las especies de plantas que estábamos utilizando para el desarrollo del proyecto presentaran un crecimiento óptimo con el fin de que pudiéramos tener como resultado una madurez, con la cual pudiéramos contar para que posteriormente se vertiera el agua residual de minería y poder obtener los resultados pertinentes en cuanto a remociones de metales pesados y calidad del agua inicialmente vertida a los humedales construidos, por plantas anteriormente seleccionadas y desarrolladas. Teniendo en cuenta lo anterior, decidimos realizarle a cada especie de planta su seguimiento en cuanto al desarrollo y madurez de la misma, ya que así podríamos notar los cambios y las características que estas iban presentando con el transcurrir los días en los cuales se ejecutó el proyecto, por ende realizamos la elaboración de unas tablas y graficas que representan las mejores y las no tan buenas plantas que presentan un desarrollo y una madurez óptima para que posteriormente sean utilizadas en los humedales pilotos para la remoción de metales pesados y mejoras de la calidad del agua, a continuación mostraremos las tablas y graficas elaboradas en cada uno de los días en los que se tomaron las mediciones.

Comenzaremos para las muestras de especies de plantas tipo DOMINGUENSIS

Dominguensis A:

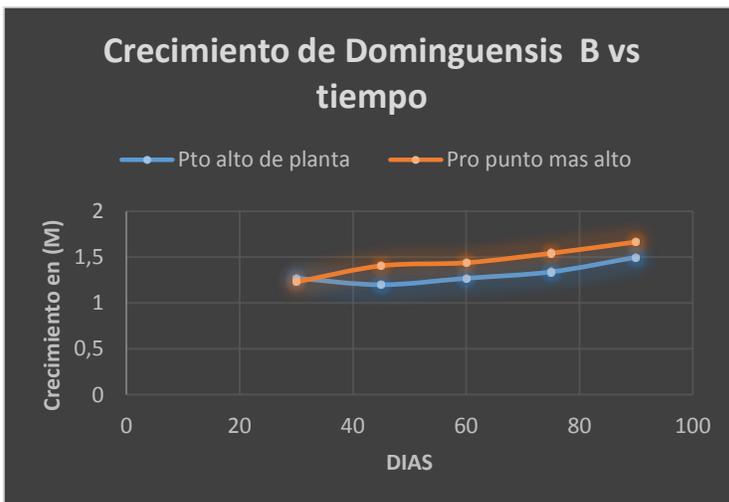
Dominguensis A		
Tiempo	Pto alto de planta	Pro punto más alto
30	1,25	1,23
45	1,72	1,406
60	1,84	1,44
75	2	1,54333333

90	2,2	1,66666667
----	-----	------------



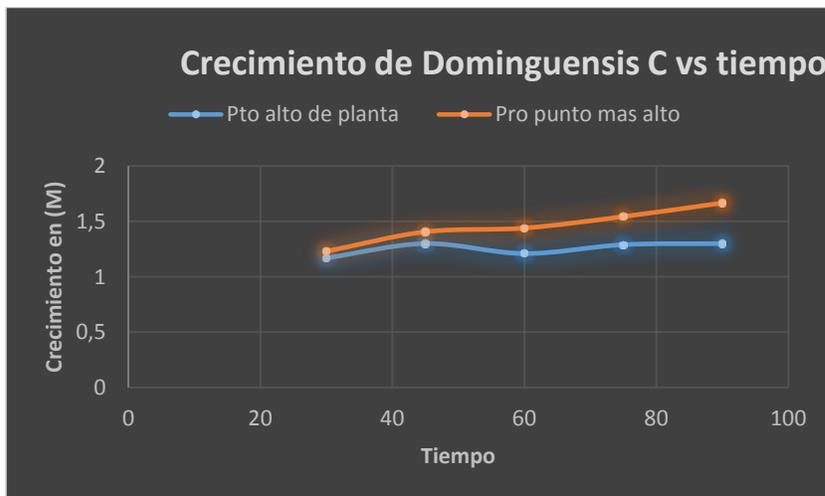
Dominguenis B:

Dominguenis B		
Tiempo	Pto alto de planta	Pro punto más alto
30	1,27	1,23
45	1,2	1,406
60	1,27	1,44
75	1,34	1,54333333
90	1,5	1,66666667



Dominguenis C:

Dominguensis C		
Tiempo	Pto alto de planta	Pro punto más alto
30	1,17	1,23
45	1,3	1,406
60	1,21	1,44
75	1,29	1,543333333
90	1,3	1,66666667



Análisis especie de planta dominguensis:

Las muestras de planta tipo dominguensis presentan un gran desarrollo en el medio y un crecimiento pronunciado que no solo se evidencia en el desarrollo y en el comparativo de las muestras de la misma especie, sino que también con las otras muestras de otra clase de planta como la angustifolia y latifolia quienes son las otras dos clases que se someten al comparativo para evidenciar cuál de las tres presenta mejores remociones de metales pesados de agua extraída en el proceso productivo de minería; es de notar que se parte y se toma como punto de referencia según la literatura de experimentos y bibliografía que se ha llevado a cabo para desarrollar el proyecto, que la planta que mejor comportamiento ha tenido en esta clase de proyectos y procesos secundarios como lo son los humedales son la plantas de tipo DOMINGUENSIS, las cuales a niveles experimentales han generado buenos resultados, los cuales permiten tenerla como gran favorita para realizar la totalidad del proyecto, visualmente esta planta se adapta fácilmente al medio y su desarrollo es notable, las muestras de mejor desarrollo y más relevante adaptación ha sido la muestra tipo A quien alcanza a lograr obtener una diferencia significativa, pero a la vez muy estrecha frente a las demás muestras de esta misma especie como la B Y C. con base a la literatura revisada esta clase de planta es muy rentable para la implementación de humedales, ya que esta presenta larga durabilidad y después de tener un

desarrollo y adaptación adecuada al medio, puede durar alrededor de 2 años o más de operación constante y tratamiento de aguas con remociones significativas , lo cual nos lleva a centrarnos un poco más en esta clase de planta, la cual nos orienta mucho mejor para llevar a cabo un proceso de remoción mucho más óptimo y eficiente para el tratamiento de aguas industriales por medio de esta clase de plantas.

Dado esto se realizaron todas las mediciones de crecimiento respectivo tanto de alto como de ancho para las tres muestras de especie typha dominguensis, la cual ha sido la única especie de planta de con las cuales hemos trabajado que todavía presenta la existencia de las tres muestras A, B y C, ya que de las otras han tenido cierta dificultad para el crecimiento y desarrollo, tanto así que no han logrado desarrollarse lo suficiente en el medio y por ende esto les causa la muerte.

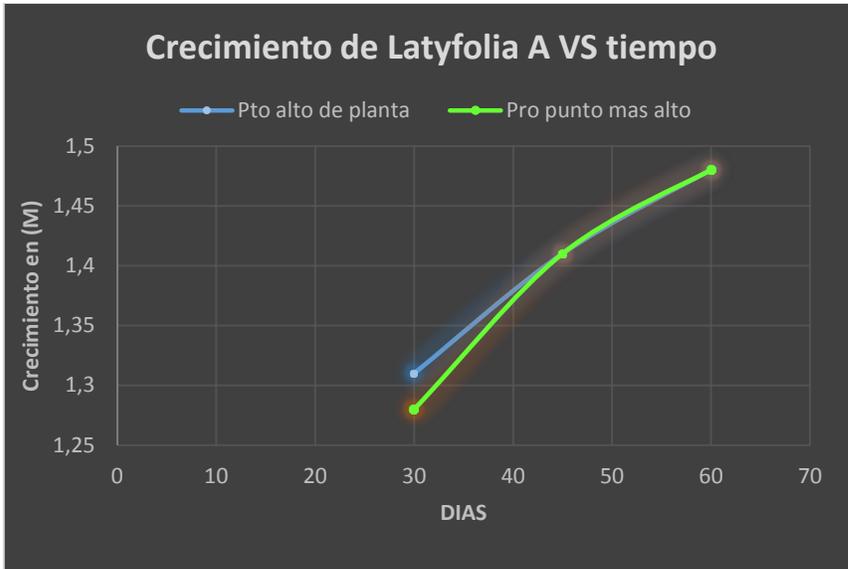
En este orden de ideas se decidió por parte del docente Alejandro rincón(líder del proyecto) y Juan Sebastián García (estudiante asistente del proyecto) la puesta a prueba del humedal conformado por la planta typha dominguensis C para el agua de minería traída de marmato, esto debido a que la cantidad de agua que demandaba los recipientes de los otros humedales conformados por esta misma especie eran muchos mayores que los del humedal conformado por la muestra tipo C, igualmente no se descarta de ninguna manera la implementación de los otros humedales de esta especie de planta para las futuras pruebas que se puedan realizar con el agua de minería de marmato, con el fin de obtener mayores resultados en la remociones de metales pesados en el agua contaminada por el proceso de minería en marmato, al realizar estas futuras pruebas se podrá asentar un poco más la información y la implementación de estos tipos de humedales para el tratamiento de aguas residuales en un orden de tipo secundario el cual logre complementar la remoción de metales pesados y obtener porcentajes muchos mayores en la remoción, lo cual beneficia completamente al agua que posteriormente va ser vertida a un acuífero o red hídrica, puesto que no presentara mayores riesgos de salubridad y contaminación elevada para el receptor hídrico de esta agua de minería que previamente puede ser tratada por sistemas primarios y secundarios como los humedales.

ESPECIE DE PLANTA LATIFOLIA:

Latifolia A:

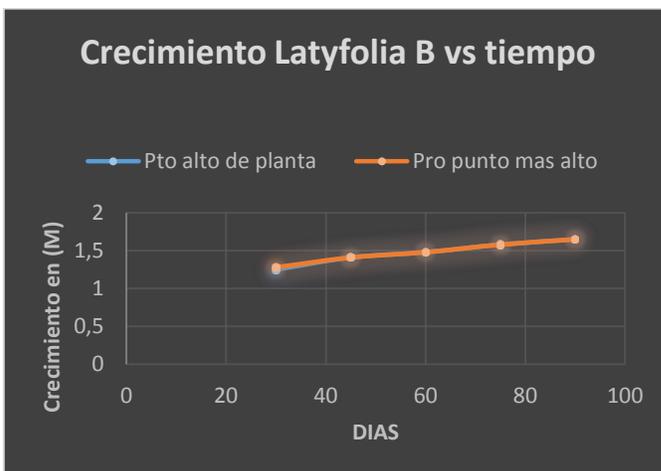
Latifolia A		
Tiempo	Pto alto de planta	Pro punto más alto

30	1,31	1,28
45	1,41	1,41
60	1,48	1,48



Latifolia B:

Latifolia B		
Tiempo	Pto alto de planta	Pro punto más alto
30	1,25	1,28
45	1,41	1,41
60	1,48	1,48
75	1,58	1,58
90	1,65	1,65



Análisis de especie de planta latifolia:

El tipo de planta latifolia inicialmente presentaban ambas muestras tanto la A como la B unos avances significativos en su desarrollo y adaptación al medio, lo que eran dos muestras que se postulaban para realizar un gran análisis comparativo de ambas frente a las demás, no obstante a este desarrollo que se empezaba a forjar en ellas, ocurre la repentina muerte de una de las muestras, en este caso sería la muestra tipo A, la cual parece que algunas de las causas de su muerte es por su no aceptación al medio y factores climáticos que no la lograron favorecer para su desarrollo, sin embargo al cabo de unos días después de las mediciones, se observa que permanece vivo un retoño de esta planta, el cual se intenta sembrar y adecuarle en lo máximo posible un ambiente propicio para su desarrollo y en el cual podamos implementar las pruebas de las muestras de agua obtenidas ;por otra parte el crecimiento de la planta muestra B presenta un desarrollo hasta el momento continuo y con gran pronunciamiento de vida en ellas, lo que hace evidenciar la existencia de animales como ranas y renacuajos, los cuales toman como hábitat de procreación este medio, el cual en este caso sería la muestra de planta tipo LATYFOLIA B la cual temporalmente es la única muestra que logro desarrollarse en los medios iniciales de sembrado y adaptación, mientras se esperan los resultados y futuro desarrollo del retoño de la planta que había muerto. Es por ende que se tomara esta como la única candidata para realizar el comparativo con las demás plantas mejores de cada especie, pues el crecimiento del retoño podría realizarse pero tardaría un poco más, debido a su crecimiento retardado a causa de la muerte de su planta progenitora, dado esto se trabajara inicialmente en el proyecto con la muestra tipo B quien ya está desarrollada y presenta características óptimas en el momento para las pruebas.

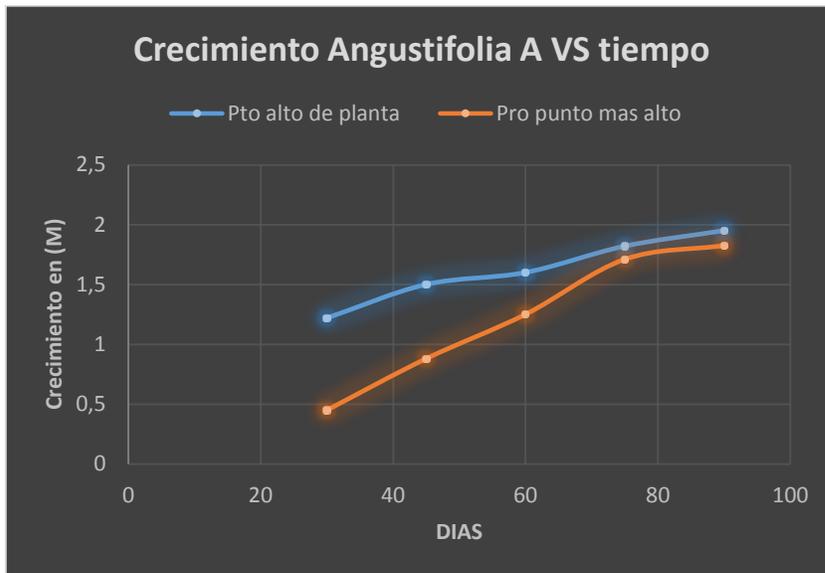
Después de un periodo de alrededor de 25 días se obtienen resultados acerca del retoño que fue sembrado en días anteriores, lo cual evidencia que su desarrollo no se ha realizado correctamente, por lo cual este muere definitivamente y se procede a trabajar directamente con la única especie que queda, la cual es la typha latifolia B, quien finalmente logro ser la única que se desarrolló en el medio al cual fueron sometidas las plantas para su maduración.

ESPECIE DE PLANTA ANGUSTIFOLIA:

Angustifolia A:

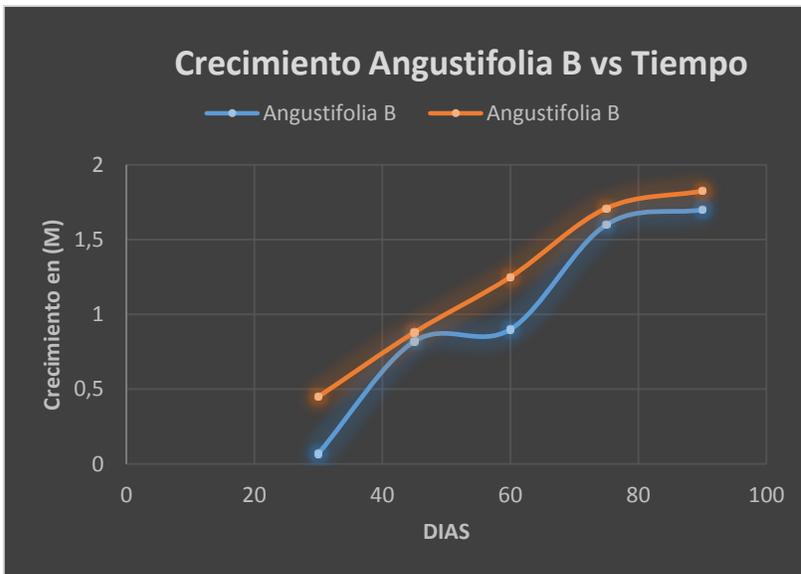
Angustifolia A		
Tiempo	Pto alto de planta	Pro punto más alto
30	1,22	0,45
45	1,5	0,88
60	1,6	1,25

75	1,82	1,71
90	1,95	1,825



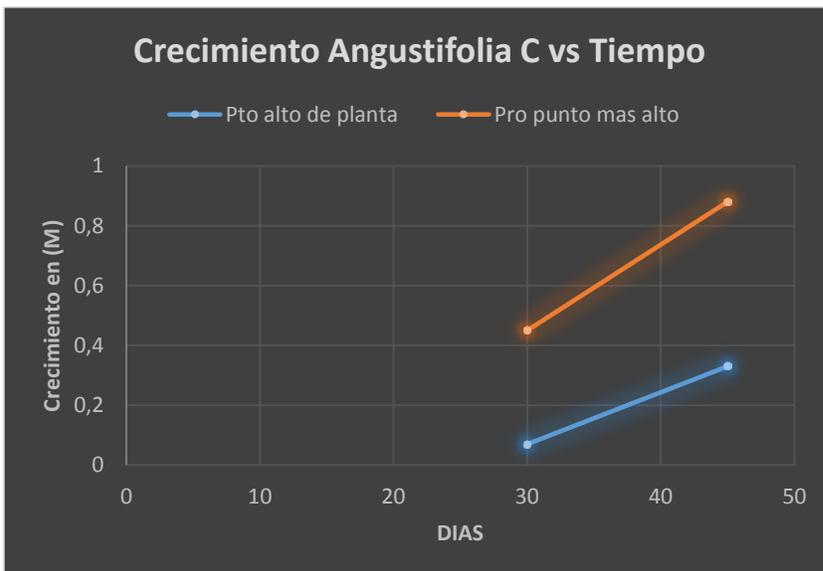
Angustifolia B:

Angustifolia B		
Tiempo	Pto alto de planta	Pro punto más alto
30	0,07	0,45
45	0,82	0,88
60	0,9	1,25
75	1,6	1,71
90	1,7	1,825



Angustifolia C:

Angustifolia C		
Tiempo	Pto alto de planta	Pro punto más alto
30	0,07	0,45
45	0,33	0,88



En el proceso de sembrado y adaptación al medio experimental, las muestras de planta tipo angustifolia presentaron algunos desarrollos importantes como el gran avance que presentó la muestra tipo A, quien inicialmente presentó una diferencia

importante frente a las demás muestras en su crecimiento; este desarrollo en la segunda toma de mediciones no se vio tan pronunciada y marcada frente a las demás muestras tipo B y C, sin embargo estas dos anteriormente mencionadas presentan un avance en su crecimiento, quizás no tan significativo como en el comparado con la muestra tipo A al inicio del proceso de adaptación, pero si se evidencia un crecimiento relativamente bueno y una aceptación por parte de la planta al medio lo que permite su buen desarrollo. En general el desarrollo de las tres muestras de este tipo de planta es muy bueno, no se evidencia un estancamiento hasta el momento en el desarrollo de alguna de las tres muestras de este tipo de planta, lo que puede significar un crecimiento óptimo para posteriormente tener una competencia y quizás unos niveles de rendimiento en la remoción de metales pesados mucho mayores a las demás tipos de plantas con las que se quiere realizar el respectivo comparativo.

Las plantas angustifolias presentaban un desarrollo acorde y óptimo para la futura comparación de las mejores plantas para remover metales pesados de aguas residuales del proceso de minería, hasta que en el día 60, fecha en la cual se realizaron las mediciones, se evidencio la muerte de una de las muestra de este tipo de planta, la cual fue la muestra tipo c, a la cual se le suministro un sustrato igual que a las demás muestras y que no logro presentar una fijación adecuada a este medio, pasados los 60 dias, debido a lo acontecido se retira la planta del recipiente en el cual estaba inmersa y se procede a votar las aguas que estaban presenten allí junto con el sustrato, logrando evidenciar que presentaba una insalubridad bastante acumulada en el interior de los sustratos de fijación los cuales fueron agua, tierra y cascarilla de arroz, siendo estos notablemente junto con el clima los causantes de la muerte de la muestra de la planta tipo C, Dado esto se realizaran las futuras comparaciones y seguimientos de la remoción de metales pesados en las muestras A Y B de esta especie de planta las cuales lograron establecerse y desarrollarse en este medio.

Para la mediciones realizadas en el día 90 de las plantas se logra tener un desarrollo constante de las plantas, sin mostrar una diferencia relevante entre los dos tipo de muestras de planta angustifolia que quedan, las cuales son la A Y B y que posteriormente se someterán al agua residual de minería para evidenciar sus comportamientos y cambios relevantes presentes en el agua vertida a los humedales conformados por estos tipos de plantas angustifolia, no obstante es de notar que el mejor humedal entre ambas muestras y que presenta mejores desarrollos ha sido el humedal conformado por la planta angustifolia A , a la cual muy posiblemente se le pondrá a prueba con el agua residual de minería en los días siguientes, con el fin de tomar mayores resultados de remoción de metales en el agua residual vertida inicialmente.

3.0 CONCLUSIONES DEL TRABAJO REALIZADO:

- ❖ Con respecto al crecimiento y adaptabilidad del medio al cual fueron sometidas las plantas que se seleccionaron para la realización del proyecto, las que presentaron un mayor crecimiento y un satisfactorio desarrollo en cuanto al humedal artificial piloto que se construyó y sus respectivos sustratos manejados en las pruebas realizadas, se evidencia que la planta de especie *tyhpha dominguensis*, es quien presenta mayor diferencia en cuanto al crecimiento, desarrollo y adaptabilidad del medio al cual fueron sometidas en comparación a las otras especies de plantas manejadas en el proyecto.
- ❖ De acuerdo a los porcentajes de remoción adquiridos con cada una de las plantas en las pruebas que se realizaron al momento de llevar a cabo el proyecto, se constituye como una muy buena alternativa de aplicación para humedales tipo escala real teniendo en cuenta sus porcentajes de remoción adquiridos en las pruebas realizadas, la planta de especie tipo *thypha angustifolia*, la cual presenta los niveles más altos de %remoción de salinidad y conductividad , lo cual hace que sea una estrategia muy viable de aplicación para este tipo de humedales que a futuro se puedan proyectarse a implementar en los diferentes sectores que presenten contaminación o degradación de las aguas a causa de los metales pesados o de las altas concentraciones de conductividad y salinidad respectivamente adquiridas en el agua a causa de factores externos como la contaminación hídrica de los procesos liderados como la minería aurífera.
- ❖ Las plantas de especie tipo *typha latifolia*, presenta a través del tiempo una buena remoción de metales pesados como el cadmio para la segunda

campana experimental que se realizo, sin embargo esta planta requiere de un tiempo de retencion hidraulico un poco mayor, con el fin de poder lograr de cierta manera obtener valores y porcentajes que se acerquen un poco mas al cumplimiento de la normativa el cual estima valores de 0,05 (mg/l), y que por ende de acuerdo a las condiciones y tiempos de retencion hidraulicos manejados, no se logra cumplir con los requerimientos exigidos por la normativa.

- ❖ En cuanto al comportamiento de las plantas frente a la remoción específica de hierro, se evidencia de acuerdo a la prueba realizada para la campaña 2, que las plantas que presentan inicialmente una mayor remoción de metales pesados como hierro en este caso, es la planta *typha dominguensis*, quien logro desarrollar una remoción de hierro del 98% con base a las características iniciales de agua entrante al humedal piloto construido, razón por la cual sigue orientando muy correctamente a la implementación de este tipo de plantas para futuros humedales a construir, que beneficien el tratamiento del agua por medio de la fitoremediación.
- ❖ Seguido de la toma de mediciones de parámetros que se realizaron tanto como al inicio, intermedio y final del procedimiento de vertimiento de agua de minería en los humedales pilotos construidos, se obtuvo un análisis profundo acerca de cuál de las especies de plantas que conformaban los humedales presentaba mayor estado básico o acidez del agua de acuerdo a las mediciones de PH, el cual permite orientarnos un poco acerca del estado que presente el humedal, ya que este PH de ser muy ácido no lograra que las plantas puedan asimilarlo para su posterior proceso de remoción de metales pesados de agua contaminada, por lo cual se neutralizo el PH y se obtuvo de que las plantas que mayor sedimentación de metales pesados obtuvieron en el proceso de acuerdo a lo expuesto anteriormente fue la especie de planta tipo *Dominguensis* y *latifolia* tanto para la campaña 2 como 3.
- ❖ Después de haber realizado el proyecto, se puede afirmar que se enriqueció notablemente el conocimiento acerca de este tipo de procedimientos, los cuales presentan alternativas muy viables frente a las situaciones actuales que afrontan los países y ciudades en cuanto a la gran explotación minera que ocurre actualmente, por lo cual se considera un gran aporte al conocimiento profesional que se debe adquirir en la universidad para realizar posteriormente un uso apropiado y adecuado acerca de las posibles situaciones que como profesional se deban afrontar y en las cuales se daban plantear soluciones, pero que por medio de la ejecución de este tipo de proyectos se le permite a uno obtener habilidades y adquirir destrezas que le contribuirán a que se desarrollen correctamente y se lleven a buen término las situaciones que a diario como profesional se deben asumir.

- ❖ De acuerdo a los análisis y estudios realizados es pertinente establecer de que las plantas que se seleccionaron para la ejecución del proyecto presentan características muy optimas, las cuales permiten poder tenerse en cuenta de acuerdo a las necesidades de cada situación las tres especies de plantas tanto angustifolia, dominguensis y latifolia, pues cada una de ellas presenta características muy importantes que son necesarias tener en cuenta para el desarrollo de proyectos y actividades que lo puedan demandar a nivel real y que de acuerdo a las características de cada una de ellas se pueda satisfacer las necesidades específicas de cada situación.
- ❖ Es importante resaltar que los sustratos que se sometieron a las pruebas en este caso los testigos de cada una de las campañas, presentaron un incremento tanto en salinidad como conductividad, esto debido a que se fijan en la tierra y en los sustratos como cascarilla de arroz gran cantidad de la sal, mientras que para los humedales que presentan las diferentes especies de plantas hay una disminución notable de estos parámetros, puesto que una de las grandes características es que en los tallos y raíces de las plantas se fijan grandes cantidades de sal, lo que permite la disminución notable de estos parámetros.

3.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Passive treatment for the removal of residual cyanide indrainage from closed gold mine toiling ponds (R.alvarez) 2011
- Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales humedales de flujo libre superficial. (EPA) 1993
- Wetland remediation of cyanide and hydrocarbons (timothy Gessner)2005
- Macrophyte growth in a pilot scale constructed wetland for industrial waste water treatment. (H.R.HADAD)2006
- Nutrient and metal removal in a constructed wetland for waste water treatment from a metallurgic industry (Maine) 2006
- Tolerancia y eficiencia de typha dominguensis en la retención de metales y nutrients de efluentes industriales (LIC.Maria de las mercedes Mufarrege) 2012
- Redalyc sistema de información científica red de revista científicas de América latina,el Caribe, España y Portugal (Ruiz López vianey)2010
- The european journal of mineral processing and environmental protection(TI Mudder) vol4 2004
- Constructed wetlands use for cyanide and metal Removal from gold mill effluents (Ignacio Rodriguez Garcia)2003
- Recientes de la aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas (José Celis hidalgo)2005