



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD VEGETAL EN PISCINAS DE RELAVE DE  
LA MINERA AGROINDUSTRIAL EL CORAZÓN

AUTOR

María José Vega Sánchez

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD VEGETAL EN PISCINAS DE RELAVE DE LA  
MINERA AGROINDUSTRIAL EL CORAZÓN

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor guía

MSc. Indira Fernandina Black Solís

Autora

María José Vega Sánchez

Año

2018

## **DECLARACIÓN DE PROFESOR GUÍA**

"Declaro haber dirigido el trabajo, Composición y diversidad vegetal en piscinas de relave de la minera Agroindustrial El Corazón, a través de reuniones periódicas con el estudiante María José Vega Sánchez, en el semestre 2018-1, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Indira Fernandina Black Solís

Magister en Conservación y Gestión del Medio Natural

C.I: 1711273563

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

"Declaro haber revisado este trabajo, Composición y diversidad vegetal en piscinas de relave de la minera Agroindustrial El Corazón, del estudiante María José Vega Sánchez, en el semestre 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Cristián Patricio Villamarín Flores

Doctor en Ecología Fundamental y Aplicada

C.I: 1002339404

## **DECLARACIÓN DE AUTORIA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

María José Vega Sánchez

C.I: 1719158949

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por haberme guiado en este camino. A mi madre y a mi padre por su apoyo incondicional, por sus consejos, su amor, su esfuerzo, su comprensión y por haberme ayudado a culminar una etapa muy importante en mi vida. A mi esposo e hija por su paciencia, su amor y comprensión durante todo este proceso y a mis hermanas por estar siempre conmigo.

A mi profesora guía Indira Fernandina Black Solís mi sincero agradecimiento por su entrega, pasión y motivación en este trabajo de titulación, por sus consejos su constancia y humildad.

## **DEDICATORIA**

A mi querida y amada madre por ser un pilar fundamental en mi vida, por estar a mi lado en las buenas y malas, por siempre darme ánimos y no dejarme decaer en ningún momento, a mi padre por darme su apoyo incondicional y por estar a mi lado en todo momento. A mi esposo por ser mi compañero de vida y darme su amor infinito.

## RESUMEN

El presente estudio fue realizado con la finalidad de evaluar la diversidad y composición vegetal en piscinas de relaves de la Minera Agroindustrial El Corazón y determinar potenciales especies para fitorremediación, identificar la variación temporal de las comunidades vegetales, y determinar la presencia de micorrizas en la rizósfera. Durante la investigación se analizaron parámetros físico químicos en el agua de las piscinas: pH, conductividad, turbidez, porcentaje de oxígeno, temperatura ambiente y temperatura del agua; y metales pesados de los lodos de las piscinas donde se midió el contenido de Mercurio, Cromo, Cadmio, Manganeso, Plomo, etc. A partir de los datos obtenidos se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para determinar las variables más importantes. Se estudió la comunidad vegetal por medio de transectos y se registró: la riqueza, la abundancia y la composición vegetal. Para comprender las diferencias en la composición entre las comunidades vegetales de cada una de las piscinas se realizó un Análisis de Similitud (ANOSIM). Además se hizo un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) para entender la relación entre las variables físicoquímicas y las variables biológicas. También se determinó la presencia de micorrizas en la rizósfera de las plantas mediante un análisis de microscopía. En el área de estudio se identificaron en total 29 especies, las que presentaron una mayor abundancia en las piscinas fueron: *Equisetum giganteum*, *Palhinhaea cernua*, *Typha dominguensis* y *Cyperus aggregatus*. Las especies con mayor colonización de micorrizas fueron: *Equisetum giganteum*, *Pityrogramma calomelanos*, *Phytolacca thyrsiflora*, *Polypodium fraxinifolium*, *Cyperus aggregatus*, *Polypodium cf. loricum* y *Munnozia sagittata*, la piscina con mayor riqueza es la piscina 4 (nueva) y con menor es la 2 (antigua). Los resultados obtenidos en el estudio indican que el pH y el oxígeno son los parámetros con más influencia sobre la vegetación, los metales pesados más influyentes son el Mercurio y el Cromo. Las comunidades vegetales de las 4 piscinas son similares,



además el tiempo no influye en la composición vegetal de las piscinas sino solo en la abundancia. Finalmente de las 29 especies 9 poseen potencialidad para ser utilizadas en fitorremediación y 27 presentaron asociaciones micorrízicas.

## ABSTRACT

The present study was carried out with the purpose of evaluating the diversity and vegetal composition in tailing pools of the Minera Agroindustrial El Corazón and to determine potential species for phytoremediation, to identify the temporal variation of plant communities, and to determine the presence of mycorrhizae in the rhizosphere. During the investigation, physical chemical parameters were analyzed in the water of the pools: pH, conductivity, turbidity, percentage of oxygen, ambient temperature and water temperature; and heavy metals from pool sludge where the content of Mercury, Chromium, Cadmium, Manganese, Lead, etc. was measured. Based on the data obtained, a Principal Components Analysis (PCA) was carried out to determine the most important variables. The plant community was studied through transects and recorded: wealth, abundance and plant composition. To understand the differences in the composition between the plant communities of each of the pools, a Similitud Analysis (ANOSIM) was carried out. He also did a Canonical Correspondence Analysis (CCA) to understand the relationship between physicochemical variables and biological variables. The presence of mycorrhizae in the rhizosphere of the plants was also determined by microscopy analysis. In the study area a total of 29 species were identified, those that had a greater abundance in the pools were: *Equisetum giganteum*, *Palhinhaea cernua*, *Typha dominguensis* and *Cyperus aggregatus*. The species with the highest colonization of mycorrhizae were: *Equisetum giganteum*, *Pityrogramma calomelanos*, *Phytolacca thyrsoiflora*, *Polypodium fraxinifolium*, *Cyperus aggregatus*, *Polypodium cf. loriceum* and *Munnozia sagittata*, the pool with greatest richness is pool 4 (new) and with smaller is 2 (old). The results obtained in the study indicate that pH and oxygen are the parameters with the most influence on vegetation, the most influential heavy metals are Mercury and Chromium. The plant communities of the 4 pools are similar, in addition, time does not influence the plant composition of the pools but only in the abundance. Finally, of the 29 species 9, they have the

potential to be used in phytoremediation and 27 presented mycorrhizal associations.

# INDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivo General.....	7
1.3 Objetivos Específicos .....	7
1.4 Hipótesis .....	7
1.4.1 Hipótesis Nula (HO):.....	7
1.4.2 Hipótesis Alternativa (HI): .....	7
1.5 Alcance .....	8
1.6 Justificación .....	8
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 Minería .....	9
2.1.1 Minería artesanal.....	10
2.1.2 Pequeña minería .....	10
2.2 Impactos Ambientales de la actividad minera .....	10
2.3 Relaves Mineros .....	12
2.4 Impactos producidos por los relaves mineros .....	13
2.5 Estudios internacionales sobre la tolerancia que poseen las plantas ante la presencia de metales pesados.....	14
2.6 Fitorremediación .....	15
2.6.1 Ventajas de la fitorremediación .....	15
2.6.2 Desventajas de la fitorremediación.....	16
2.7 Mecanismos de la fitorremediación.....	16
2.7.1 Fitoestabilización .....	16
2.7.2 Fitovolatilización .....	17

2.7.3 Fitofiltración o rizofiltración .....	18
2.7.4 Fitoextracción o fitoacumulación.....	18
2.8 Micorrizas .....	19
2.9 Tipos de Micorrizas .....	20
2.9.1 Arbusculares.....	20
2.9.2 Ericoides.....	23
2.9.3 Orquioides .....	24
2.9.4 Ectomicorrizas .....	25
2.10 Colonización.....	25
<b>3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>26</b>
3.1 Área de Estudio .....	26
3.2 Caracterización físico-química .....	26
3.2.1 Toma de datos del agua de las piscinas.....	26
3.2.2 Toma de datos de metales pesados en lodos de las piscinas relaveras.....	27
3.2.3 Análisis de Componentes Principales (ACP).....	28
3.3 Caracterización y composición de las comunidades vegetales.....	28
3.3.1 Transectos.....	28
3.3.2 Forma de recolección y preservación de muestras vegetales .....	30
3.3.3 Determinación de presencia de micorrizas .....	31
3.3.4 Análisis de Similaridad (ANOSIM) .....	34
3.4 Relación entre factores ambientales y composición de la comunidad vegetal de los relaves (ACC).....	34
3.5 Determinación de las especies con potencial de fitorremediación presentes en las relaveras.....	35
<b>4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>35</b>

4.1 Parámetros físico químico del agua de las piscinas relaveras .....	35
4.2 Análisis de lodos de las piscinas relaveras .....	37
4.3 Especies vegetales .....	39
4.4 Distribución espacial, riqueza y cobertura de la comunidad vegetal en las piscinas relaveras .....	41
4.5 Intensidad de colonización y frecuencia de micorrización .....	56
4.5.1 Porcentaje de colonización y frecuencia micorrízica en especies comunes para las piscinas .....	61
4.6 Análisis estadísticos .....	63
4.6.1 Análisis de Componentes Principales de los parámetros físico químico del agua de las piscinas .....	63
4.6.2 Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) entre abundancia vegetal y parámetros físicos químico del agua de las piscinas relaveras .....	66
4.6.3 Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) entre abundancia vegetal y elementos tóxicos (metales pesados) de los lodos de las piscinas .....	68
4.6.4 Análisis de Similitud (ANOSIM) de la riqueza y composición de las piscinas .....	71
4.7 Especies con potencial para fitorremediación .....	74
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	80
5.1 Conclusiones .....	80
5.2 Recomendaciones .....	82
REFERENCIAS .....	84
ANEXOS .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Micorrizas Arbusculares.....	21
Figura 2. Vesículas.....	22
Figura 3. Hifas micorrízicas.....	22
Figura 4. Esporas de micorriza.....	23
Figura 5. Micorriza ericoides.....	24
Figura 6. Micorriza orquioides (ovillos).....	24
Figura 7. Ectomicorriza (Red Harting).....	25
Figura 8. Ubicación de puntos primarios (color naranja) y secundarios (color blanco), transecto lineal.....	29
Figura 9. Distribución espacial de la comunidad vegetal en las piscinas relaveras estudiadas en la minera Agroindustrial El Corazón.....	42
Figura 10. Distribución espacial de a comunidad vegetal de la piscina relavera 2.....	45
Figura 11. Distribución espacial de la comunidad vegetal de la piscina relavera 3.....	47
Figura 12. Distribución espacial de la comunidad vegetal de la piscina relavera 4.....	50
Figura 13. Distribución espacial de la comunidad vegetal de la piscina relavera 6.....	54
Figura 14. Análisis de Componentes principales (ACP) de parámetros físico químico del agua de las piscinas.....	65
Figura 15. Análisis de Correspondencia Canónica entre parámetros físico químicos del agua y la abundancia vegetal de las piscinas.....	67
Figura 16. Análisis de Correspondencia Canónica entre metales pesados de lodos y la abundancia vegetal de las piscinas.....	70
Figura 17. Análisis de similitud (ANOSIM).....	73
Figura 18. NMDS, distribución de las piscinas de acuerdo a su composición.....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medición de parámetros físico químicos IN SITU.....	27
Tabla 2. Porcentaje de colonización.....	32
Tabla 3. Análisis físico químico IN SITU del agua de las piscinas relaveras.....	37
Tabla 4. Análisis de concentración de metales pesados y elementos de los lodos. ....	38
Tabla 5. Lista taxonómica de especies vegetales en las piscinas relaveras. ....	40
Tabla 6. Porcentaje de cobertura vegetal de cada especie encontrada en las piscinas relaveras. ....	43
Tabla 7. Composición, riqueza y abundancia de la piscina relavera 2.....	46
Tabla 8. Composición, riqueza y abundancia de la piscina relavera 3.....	48
Tabla 9. Composición, riqueza y abundancia de la piscina relavera 4. ....	51
Tabla 10. Composición, riqueza y abundancia de la piscina relavera 6. ....	55
Tabla 11. Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas en la piscina relavera 2. ....	56
Tabla 12. Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas en la piscina relavera 3. ....	57
Tabla 13. Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas en la piscina relavera 4. ....	58
Tabla 14. Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas en la piscina relavera 6. ....	60
Tabla 15. Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas de las especies comunes en las piscinas. ....	62
Tabla 16. Componentes principales de acuerdo al porcentaje de variabilidad.....	63
Tabla 17. Representatividad de variables físico químicas en cada componente. ....	64



Tabla 18. Análisis de correspondencia canónica, porcentaje de varianza por eje. ....	66
Tabla 19. Análisis de correspondencia canónica, porcentaje de varianza por eje. ....	68
Tabla 20. Análisis de riqueza, Índice de Shannon y Simpson mediante PRIMER. ....	71
Tabla 21. Análisis de similitud entre piscinas. ....	72
Tabla 22. Lista tentativa de especies con potencial fitorremediadora. ....	74

## **1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

A escala mundial, la demanda de productos de industrias extractivas como lo es la minería es cada vez mayor, dando lugar a la producción de un volumen considerable de materiales de desecho, incluidos relaves, que son mezclas de roca triturada y fluidos de procesamiento de cada operación unitaria que comprende la actividad minera (Kossoff, Dubbin, Alfredsson, Edwards, Macklin y Hudson, 2014).

Los procesos de extracción de recursos minerales han conllevado durante varios años a la producción de grandes cantidades de residuos, dando lugar a una gran problemática de contaminación en varios países del mundo, afectando recursos naturales, sectores sociales, económicos y productivos.

En primer lugar se puede mencionar que la minería es inevitablemente perjudicial para el medio ambiente. Mencionando que grandes cantidades de tierra y roca son removidas con el fin de recuperar minerales valiosos. Los materiales que quedan después de los procesos unitarios son denominados como relaves, que en el peor de los casos, pueden llegar a contaminar cuerpos de agua adyacentes, ya sean ríos, lagos o el mar. Estos accidentes representan una amenaza tanto para la salud humana como para la fauna siendo motivo de preocupación para las industrias extractivas y la comunidad en general. Por consiguiente, es de suma importancia comprender la naturaleza de estos materiales, cuál es la mejor práctica para su remediación previo a que ocurran impactos los cuales afectan directamente al ambiente (Kossoff et al., 2014).

La contaminación ambiental por metales pesados se ha convertido en una problemática de alto interés tanto a nivel ambiental como en salud pública

(Oyuela, Fernández y Gutiérrez, 2016). Siendo la movilización de metales pesados a través de los procesos de extracción de minerales y procesamiento lo que ha conllevado a la liberación de los mismos en el medio ambiente (Ali, Khan y Sajad, 2013). El problema de contaminación por metales pesados se ha ido intensificando con el aumento de la industrialización y la alteración de los ciclos ecosistémicos lo que afecta a los componente bióticos y abióticos (Viehweger, 2014). Una de las características de los metales pesados es que se acumulan en el medio ambiente e incluso en los organismos (Xing, Wu, Hao, Huang y Liu, 2013). La simple acumulación de estos metales pesados en el componente suelo y agua supone un riesgo tanto para la salud ambiental como humana (Peng, Luo, Lou, Li y Shen, 2008; Gupta, Huang y Corpas, 2013) por los procesos de bioacumulación y biotransferencia.

El desarrollo de las tecnologías en la última década ha dado impulso a la fitorremediación que es una de las metodologías de eliminación de contaminantes más actuales, muchos estudios se han basado en ver la tolerancia que poseen especies vegetales para absorber metales pesados muchos de ellos provenientes de la actividad minera (Monterroso et al., 2014).

De igual manera se ha dado impulso el estudio de micorrizas, que hace referencia a la simbiosis existente entre hongo-raíz. Aproximadamente 50.000 especies de hongos forman asociaciones nutricionales de micorrizas, actualmente se cree que más del 97% de especies vegetales terrestres se encuentran micorrizadas (González y Raisman, 2013). Los hongos micorrizógenos influyen mucho en la función y productividad de las comunidades vegetales, interviniendo en los procesos ecosistémicos, incrementan la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y agua, mejoran la capacidad de sintetizar ácidos orgánicos (Coninx, Martinova y Rineau, 2017). Otros de los beneficios que éstos proporcionan es que hacen que las raíces de la planta se encuentren fisiológicamente más activas, incrementan la tolerancia de las plantas a la temperatura y pH extrema que

contenga el suelo (González y Raisman, 2013). Es fundamental señalar que también generan resistencia a patógenos, influye en la producción de hormonas y ayuda a la restauración del suelo (Lowenfels, 2017). Cabe mencionar que los beneficios obtenidos también lo adquieren de plantas a hongos, debido a que reciben de estas carbohidratos y vitaminas (Stirling, 2014).

La alteración del medio ambiente a causa de la minería es inevitable, provocando además que se desencadenen problemas sociales (Kossoff et al., 2014). Por esta razón, se requiere reducir la probabilidad de desastres ambientales relacionados con la minería y con el manejo de relaves proponiendo metodologías alternativas como es el caso de la fitorremediación.

La minería ha llegado a convertirse en una de las actividades económica más trascendentales para el Ecuador, debido a que proveen de materiales y recursos utilizados para distintos fines o usos.

La minería no es nueva en la historia del Ecuador, ya que aparece desde la época pre colonial, la cual inicia con la explotación y extracción de arcillas para la elaboración de cerámicas, conjuntamente de utilizaron otros metales como oro, plata, cobre, platino y en menor medida azogue, para fines religiosos ya que se utilizaban como ofrendas para sus dioses. En algunas culturas de distintas regiones del Ecuador se pudo evidenciar la actividad minera por los tesoros descubiertos en la profundidad de las tierras. Luego con la llegada de los españoles en el siglo XVI, comenzaron a explotar grandes yacimientos de oro en diferentes regiones del país esclavizando a niños y mujeres para beneficios del rey. Sin embargo, la extracción no era continua y se ha visto afectada por largas interrupciones, debido a los intereses buscados para activar la economía del país de manera esporádica (Yépez, 2016).

A partir del siglo XX el Estado y la empresa South American Development Company (SADCO) iniciaron el emprendimiento de las actividades mineras, lo cual permitió que se den asentamientos humanos, ligadas por completo al desarrollo del proyecto en Portovelo (El Oro). Con la salida de SADCO, se conformó la Compañía Industrial Minera Asociada (CIMA), que cual operó hasta los años 70, dejando la explotación y extracción de minerales en manos de minas artesanales y pequeñas mineras. En los años 80, se redescubrió Nambija y los yacimientos de Ponce Enríquez y Cerro Pelado (Ministerio de Minería, 2017).

La Ley de Minería del Ecuador establece que: “La explotación de los recursos naturales y el ejercicio de los derechos mineros se ceñirán al Plan Nacional de Desarrollo, a los principios del desarrollo sustentable y sostenible, de la protección y conservación del medio ambiente y de la participación y responsabilidad social, debiendo respetar el patrimonio natural y cultural de las zonas explotadas. Su exploración y explotación racional se realizará en función de los intereses nacionales, por personas naturales o jurídicas, empresas públicas, mixtas o privadas, nacionales o extranjeras, otorgándoles derechos mineros, de conformidad con esta ley” (Banco Central del Ecuador, 2015).

De acuerdo a la información del Ministerio de Minería, el área utilizada para la actividad minera es de cinco millones de hectáreas, representando el 20% del territorio nacional del Ecuador, de las cuales dos millones de hectáreas son áreas de bosques protectores que desempeñan importantes funciones ecosistémicas, ya que funcionan como inmensos reservorios naturales de agua, atraen la lluvia, protegen las cuencas hidrográficas, mejoran la calidad de los suelos, ayudan a purificar el aire, capturan el CO<sub>2</sub>, y mantienen una amplia biodiversidad de flora y fauna. (Ministerio de Minería, 2017).

El proyecto minero “El Corazón” adjudicada el 31 de diciembre del 2001 como concesión minera, “Agroindustrial El Corazón” posee un área de 880 hectáreas y explota responsablemente valores de Oro (Au) y Plata (Ag), realiza la extracción de 120 toneladas día de mineral, con un promedio de 2-5 gramos de oro por tonelada, el proceso comienza con una reducción de tamaño del material obtenido de la cantera a través de trituraciones (primaria, secundaria y terciaria), molienda, lixiviación, adsorción en carbón activado, desorción, electrólisis, fundición y un proceso ácido (Enríquez, 2014), generando grandes cantidades de residuos los cuales son depositados en piscinas de relave, mismas que se encuentran distribuidas en el área del proyecto. La minera Agroindustrial “El Corazón” está localizada en el occidente de la Cordillera Occidental, en la Provincia de Imbabura, Cantón Cotacachi, Parroquia García Moreno, comunidad “El Corazón”, a unos 60 Km al Noroeste de Quito, es un área de espesa cobertura vegetal especialmente arbórea y niveles de meteorización profundos, en la cual predomina el clima tropical y fuertes estaciones lluviosas, la humedad real es del 90%, con una temperatura promedio es de 25°C. La altitud varía entre 800 y 1200 m.s.n.m. (Barreno y Silva, 2002). Es por ello que según Sierra et al. (1999) la zona pertenece a la formación vegetal de Bosque Siempre Verde Montano.

El proyecto minero “El Corazón” ha construido desde el año 2002 trece piscinas para relaves, todas las piscinas fueron cubiertas con geo-membrana, incluyendo los taludes, para evitar que las soluciones cianuradas se infiltren a los suelos y drenajes naturales. Las piscinas se han construido secuencialmente de acuerdo a las necesidades de la planta de beneficio de depositar los relaves y se han colmatado hasta límites predeterminados para evitar derrames por los bordes. Las piscinas colmatadas se han abandonado en forma sistemática y se han realizado monitoreos periódicos para mantener el buen estado de la geo-membrana.

De las trece piscinas ocho se encuentran fuera de funcionamiento (están totalmente llenas de los residuos mineros). De éstas, cuatro poseen una cierta cantidad de cobertura vegetal en distintos porcentajes y de forma aleatoria,

mismas que se encuentran en función de las dimensiones de cada piscina de la minera. La piscina 2 se encuentra fuera de funcionamiento desde el 2004 y está cubierta de vegetación en un 10%, la piscina 3 está fuera de funcionamiento desde el 2005 y está cubierta de vegetación en un 30%, la piscina 6 se encuentra fuera de funcionamiento desde el año 2010 y cuenta con un 80% de vegetación, por último a excepción de las demás, la piscina 4 se encuentra en funcionamiento debido a la recirculación de lodos provenientes de las piscinas en proceso y cuenta con una cobertura vegetal de un 40%.

Uno de los problemas identificados es que no se cuenta con un plan de cierre del proyecto minero. Además existen varios poblados y fuentes hídricas que se encuentran aledaños al área de la mina, los mismos que pueden ser perjudicados si no existe un tratamiento de los residuos mineros una vez que la empresa termine con su etapa operativa. A pesar de que está creciendo cobertura vegetal en las piscinas de relave, estas no son consideradas por la falta de conocimiento e información de que realizan un proceso de depuración ecológica natural, es por ello que incluso llegan a eliminarlas y quitarlas de las piscinas relaveras.

La insuficiente información por parte de la empresa minera, acerca de los servicios que brindan las comunidades vegetales que crecen naturalmente en las piscinas de relave es otro de los problemas identificados, debido a que existe la posibilidad de aprovechar estas especies para un futuro proceso de remediación el cual podría ser implementado como un plan de cierre del proyecto minero.

En base a que Ecuador ha dispuesto una política pública que asegure el desarrollo de la actividad minera, con altos criterios de responsabilidad social y ambiental, precaviendo las buenas practicas, estimulando el progreso y desarrollo de las poblaciones cercanas a los proyectos y a los estudios realizados con anterioridad, surge la idea de esta investigación, con la finalidad de que la empresa utilice la

información generada sobre las posibles especies con potenciales de fitorremediación de los relaves y así realizar su plan de cierre de la mina.

## **1.2 Objetivo General**

Evaluar la diversidad y composición vegetal en piscinas de relaves de la Minera Agroindustrial El Corazón, como potenciales especies para fitorremediación

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Identificar la variación temporal de las comunidades vegetales de las piscinas de relave de la mina
- Determinar la presencia de micorrizas en la rizósfera de las especies que crecen en las piscinas relaveras, mediante análisis de microscopía
- Determinar el potencial de fitorremediación de las especies identificadas en las piscinas de relave de la mina mediante revisión bibliográfica

## **1.4 Hipótesis**

**1.4.1 Hipótesis Nula (HO):** La composición vegetal y la estructura de la comunidad no varía en relación a la edad de las piscinas de relave de la Minera Agroindustrial El Corazón.

**1.4.2 Hipótesis Alternativa (HI):** La composición vegetal y la estructura de la comunidad varía en relación a la edad de las piscinas de relave de la Minera Agroindustrial El Corazón.



### **1.5 Alcance**

Esta investigación será un estudio correlativo ya que pretende relacionar los datos de las propiedades físico químicas del agua de las piscinas, los metales pesados presentes en los lodos y las comunidades vegetales que se desarrollan en las piscinas de relave de la minera Agroindustrial El Corazón. La primera fase fue el levantamiento de información sobre las comunidades vegetales y la identificación taxonómica de especies que se realizó en el herbario de la Universidad de la Católica del Ecuador. De las especies encontradas se hizo un análisis, para determinar la presencia de micorrizas. Finalmente se realizó una lista de especies vegetales que cumplen con las condiciones necesarias para ser utilizarlas como potenciales especies en el proceso de fitorremediación de los relaves en su etapa final, es decir en el proceso de cierre de la mina.

### **1.6 Justificación**

Debido a la falta de interés sobre el manejo de relaves mineros y los impactos ambientales, sociales y económicos que esto conlleva, surge la necesidad de atender la problemática generada, por el riesgo que implica la disposición de los relaves en piscinas de contención, principalmente para aquellas empresas mineras que no poseen sistemas de manejo y mitigación de los impactos derivados de este tipo de residuo, o incluso que no poseen un plan de cierre para su proyecto.

Es por ello que durante esta investigación, se pretende contribuir al conocimiento de las especies vegetales potenciales para ser usadas en la fitorremediación de relaves producto de la actividad minera, para aportar y cubrir las deficiencias de información existente respecto al tema. Además se busca investigar la tolerancia de ciertas comunidades vegetales a concentraciones altas de metales pesados lo cual influye en que el enfoque puede ser ampliado y utilizado por otras industrias

que generen este tipo de contaminantes, impulsando al aumento y desarrollo de metodologías alternativas que son amigables con el ambiente.

La empresa minera Agroindustrial el Corazón podría reducir costos en el tratamiento de los relaves que se obtienen como residuo de los procesos mineros, ya que el tener una especie que crece de manera natural dentro de las piscinas es una ventaja para poder aprovecharla y reproducirla (proceso de fitorremediación) al momento del cierre del proyecto, de esta manera se evitará que la empresa genere pasivos ambientales y que tenga problemas legales por los posibles daños ocasionados.

Además, por medio de esta investigación se podría reducir los posibles riesgos ambientales que las comunidades aledañas al proyecto presenciarían en el caso de que no se realice un buen cierre de las piscinas relaveras, como la contaminación de cauces naturales o del suelo, alteración del paisaje, trayendo consigo graves alteraciones a la salud e integridad de moradores y los ecosistemas.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Minería**

La minería es una actividad basada en la aplicación de distintas técnicas y procesos con la finalidad de obtener selectivamente minerales u otros materiales que se encuentran en la corteza terrestre con fines comerciales y económicos (INREDH, 2010). La minería comprende diversos procesos como exploración, prospección, extracción, explotación y aprovechamiento de yacimientos minerales, cada una de las cuales conlleva a producir impactos ambientales (Banco Central del Ecuador, 2017). En Ecuador esta actividad se ha ido desarrollando desde la época pre colonial y ha tenido un mayor progreso a partir del siglo XX como

pequeña minería y minería artesanal, actualmente el 20% del territorio nacional está destinado a la minería misma que aporta el 1,5% del total del PIB del país, es decir que aporta con 1.041 millones de dólares (Ministerio de Minería, 2016).

### **2.1.1 Minería artesanal**

En la actualidad la minería artesanal es una actividad de sustento para miles de personas en el país, se caracteriza por poseer tecnologías de bajo nivel, condiciones laborales precarias, carencia de noción técnica, poca producción, y se realiza en su mayoría ilegalmente sin bases normativas; el reto principal del Estado es disminuir sus riesgos y desventajas propias a su actividad (Ministerio de Minería, 2016).

### **2.1.2 Pequeña minería**

Se considera pequeña minería cuando las características y condiciones geológicas de los yacimientos, así como sus parámetros técnicos y económicos, son factibles para su explotación racional en forma directa, esta minería representa aproximadamente el 90% de la producción de oro en el Ecuador, teniendo un total de 852 concesiones mismo que corresponde al 20,65% respecto a la superficie total concesionada del país (Ministerio de Minería, 2016).

## **2.2 Impactos Ambientales de la actividad minera**

La minería conlleva un sin número de impactos hacia el ambiente, la sociedad y la economía, con respecto al ambiente, se ha estimado que el suelo para uso de esta actividad es del 0.2% de toda la superficie terrestre mismos que han sido degradados por la presencia de desechos y lixiviados provenientes de los procesos mineros, produciendo variaciones en su textura, pérdida de la calidad, pérdida de la estructura edáfica, etc. (Lillo, 2011). Se liberan sustancias tóxicas provenientes de los drenajes ácidos o relaves, mismos que liberan metales

pesados alterando las cadenas tróficas, produciendo la pérdida de vegetación, afecciones a la salud de las personas aledañas a la actividad debido a que existe un alto porcentaje de que los contaminantes lleguen a fuentes hídricas (Moran, 2001). Además, pérdida de cuerpos de agua, afectación del paisaje, cambio del perfil de la corriente fluvial, variaciones en el nivel freático, variaciones en el pH del agua, degradación de hábitats; es importante mencionar que la sociedad tanto externa como interna (trabajadores) se ve afectada generándoles enfermedades pulmonares y respiratorias debido a la presencia de polvo, enfermedades auditivas por la presencia constante de ruido, y otras enfermedades gástrico intestinales o dérmicas por estar expuestos constantemente a metales pesados (Dayoub, 2014). Los impactos ambientales que ha presenciado el país provienen principalmente de la pequeña minería y la minería artesanal, generando impactos principalmente al suelo por destruirlo (deforestación) y no reforestar el área afectada, el agua por la contaminación de metales pesados y aire por los gases emanados, mismos que generan afecciones a corto o largo plazo en los distintos ecosistemas (fragmentación de hábitats) incluyendo flora y fauna aledaña a la zona minera (Banco Central del Ecuador, 2017). Sin duda, el recurso con mayores afecciones es el hídrico ya que debido a la actividad minera el agua pierde sus características físico químicas, su calidad se ve afectada y esta no puede ser utilizada por el ser humano debido a las concentraciones de metales pesados presentes en el mismo que podrían afectar a su salud.

Acerca de los impactos generados en el país se muestra a continuación algunos ejemplos y datos importantes, mismos que se mencionan según el Banco Central del Ecuador en su reporte de minería (2017):

- Se han realizado análisis físico químico del agua de algunas provincias que se dedican a la actividad minera, dando como resultado que los niveles más altos de contaminación existen en los ríos de la provincia de El Oro, Azuay y Zamora Chinchipe con concentraciones altas de mercurio.

- El suelo de Nambija posee contaminantes como: plomo, cromo, hierro y zinc mismos que sobrepasan los límites establecidos por normativas internacionales, sin embargo no existía presencia de drenaje ácido.
- Adicionalmente se hicieron estudios San Gerardo, cantón Ponce Enríquez, provincia del Azuay, especialmente en los afluentes producidos en cinco unidades donde obtienen oro mediante amalgamación con mercurio, obteniendo como resultado un contenido de metales y metaloides (As, Co, Cu, Hg, Pb y Zn) con elevada conductividad eléctrica y concentraciones altas de sólidos disueltos totales, infringiendo el límite establecido por la normativa ambiental vigente.

### **2.3 Relaves Mineros**

Las operaciones mineras generalmente no concluyen con el cierre de operaciones de explotación, sino que estas deben estar enmarcadas en un Plan de Cierre y una restauración y remediación de las zonas afectadas, de esta manera se eliminará o reducirá los riesgos que los relaves y desechos puedan causar al ambiente, la sociedad y la economía; con ello se limita la producción y propagación de contaminantes, con el objetivo de generar un medio aceptable y compatible para un posible uso futuro (Peña y Menéndez, 2016).

Los relaves mineros son el resultado de una mezcla entre roca triturada y fluidos provenientes del procesamiento de molinos o lavadoras que persisten después de la extracción de metales, la palabra "relaves" describe los subproductos de varias industrias extractivas como las de aluminio, carbón, uranio y metales preciosos como oro, plata, cobre, etc. Con respecto a las propiedades físicas de los relaves estos suelen ser angulares o muy angulares, en donde predomina especialmente arena y grava misma que varía de acuerdo a la tipología de la roca madre, la composición

química depende directamente de la mineralogía del mineral y de la naturaleza de los fluidos que son utilizados para la extracción del metal, considerando que ningún proceso es 100% eficiente, generalmente se encuentra As, Cu, Pb, Zn Al, Mn, entre otros elementos cuyas concentraciones varían y que son de vital importancia analizarlos (Kossoff et al., 2014).

Los relaves mineros están compuestos por sólidos suspendidos totales, cianuro, nitritos, nitratos, metales pesados (As, Hg, Pb, Cu, Fe, Ni), estos componentes generan afecciones a la salud de las personas, los cuales ingresan al organismo mediante distintas vías de exposición (Duque, 2016).

#### **2.4 Impactos producidos por los relaves mineros**

Con respecto a los impactos inmediatos se puede decir que los sistemas fluviales afectan directamente debido a que si la intensidad de lluvia es grande y las piscinas de relaves no se encuentran construidas y permeabilizadas correctamente, se podrá desbordar o infiltrar el contenido y por consiguiente afectará inevitablemente a la calidad del agua, suelo y vida tanto flora, fauna como vida humana potencialmente a varios kilómetros de la zona de influencia. Además si hablamos de impactos a mediano y largo plazo, es evidente que tanto el componente agua y suelo se verían afectados por este tipo de actividad por ende se debe analizar la historia minera de una cuenca hidrográfica y del suelo, la dinámica aluvial, y los hotspots actuales del contaminante y su susceptibilidad a la remoción (Kossoff et al., 2014).

Por otro lado, los impactos a nivel social y económico, se basan principalmente en las enfermedades producidas a las poblaciones aledañas y trabajadores de la actividad minera, enfermedades a niveles: vasculares, dérmicas, respiratorias,

auditivas, neurológicas, gastrointestinales entre otras; con respecto a lo económico se generan pasivos ambientales que por obvias razones los gastos de remediación están a cargo de la empresa concesionaria de un proyecto, que a su vez al no cumplir con ello, el estado deberá asumir esa responsabilidad, afectando directamente a la economía del país (Polo y Saritama, 2017).

## **2.5 Estudios internacionales sobre la tolerancia que poseen las plantas ante la presencia de metales pesados**

Este es el caso de un estudio que fue realizado al Noroeste de España cuyo objetivo fue identificar plantas tolerantes a los metales con potencial aplicación en estrategias de fitorremediación. Para ello se evaluó la distribución y el fraccionamiento químico de metales pesados en suelos y su acumulación por especies de plantas que crecen en una mina que contiene de Pb y Zn la misma que fue abandonada hace ya varios años (Monterroso et al., 2014). Otros dos estudios fueron realizados en China donde uno de ellos tuvo como objetivo comparar nueve especies de plantas dominantes que crecen en relaves de minas con alto contenido de Pb, Zn, Cd y áreas no mineras con el fin de ver la acumulación y la tolerancia que poseen las plantas ante estos metales pesados (Zhang et al., 2012). Mientras que el segundo estudio se basó en la identificación de especies candidatas para su aplicación en la fitoestabilización de los relaves en esta región (Yang et al., 2014). En las últimas décadas se ha podido demostrar mediante varios estudios que las plantas experimentan estrés oxidativo a la exposición a metales pesados que conduce al daño celular, las plantas han desarrollado mecanismos de quelación, es decir mecanismos de desintoxicación ante la presencia de estos contaminantes (Yadav, 2010). Se puede mencionar que generalmente las áreas afectadas por las actividades mineras suelen tener una cubierta vegetal natural muy escasa, debido a una elevada concentración y biodisponibilidad de metales pesados a la cual se suman condiciones de crecimiento adversas como valores bajos de pH, baja retención de agua, alta

compactación, baja materia orgánica y nutrientes. A pesar de estas condiciones desfavorables, estas plantas han desarrollado mecanismos biológicos que les permiten resistir y tolerar concentraciones tóxicas de metales, y colonizar este tipo de sustrato, que en este caso son relaves mineros (Monterroso et al., 2014).

## **2.6 Fitorremediación**

La fitorremediación se refiere principalmente al uso de plantas y a los microorganismos presentes en el suelo, mismos que se encuentran asociados con la finalidad de remover, reducir, degradar, eliminar o transformar las concentraciones de los contaminantes en el ambiente (Fernández, Fernández-Pascual, Mañero y García, 2015). Esta reciente tecnología que promete ser respetuosa con el ambiente, eficaz y rentable puede ser utilizada para la remoción de metales pesados, radionucleidos o incluso contaminantes orgánicos (Ali et al., 2013).

### **2.6.1 Ventajas de la fitorremediación**

- Tecnología económica, rentable y ecológica, que puede ser utilizada tanto in situ como ex situ.
- No se produce diseminación de contaminantes en el aire o agua.
- No se requiere de personal especializado para su mantenimiento.
- Presenta ahorros significativos de energía entre 50-90%.
- Es eficiente para contaminantes inorgánicos y orgánicos.
- Se utiliza para remediar más de un contaminante.
- Utiliza naturalmente el potencial inherente de plantas y microbios de origen natural para limpiar sitios contaminados.
- Después de la fitorremediación, se pueden recuperar los metales pesados mediante las plantas hiperacumuladoras (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez y Acevedo, 2011).



### **2.6.2 Desventajas de la fitorremediación**

- Se requieren plantas que toleren o acumulen contaminantes caso contrario el proceso no tendrá éxito.
- El crecimiento de la planta o los microorganismos que se desarrollen en el medio son limitados y varían de acuerdo a las condiciones ambientales.
- El proceso toma más tiempo para obtener resultados.
- Se requieren áreas grandes para el proceso.
- Puede existir contaminación cruzada debido a la fitovolatilización a acumulación de contaminantes en los órganos o tejidos de la planta (Delgadillo et al., 2011).

### **2.7 Mecanismos de la fitorremediación**

Hay que considerar que el mecanismo de fitodegradación no es considerado debido a que se utiliza únicamente para contaminantes orgánicos, ya que hay que tomar en cuenta que los metales pesados no se degradan ni por procesos químicos o biológicos (Delgadillo et al., 2011).

#### **2.7.1 Fitoestabilización**

Este mecanismo consiste en inmovilizar los contaminantes que se encuentran presentes en el suelo a través de la acumulación, adsorción o absorción en las raíces de las plantas, o a su vez precipitarlos en la zona de la rizósfera, con ello se reduce la movilización de los contaminantes hacia aguas subterráneas o al aire (Fernández et al., 2015). De acuerdo a (Delgadillo, 2011 y Wuana & Okieimen, 2011) se establecen las siguientes ventajas y desventajas del mecanismo.

#### **Ventajas**

- Los metales pesados no se movilizan hacia las partes aéreas de la planta.

- Fácil de aplicar.
- Estéticamente agradable.
- Bajos costos.
- No existe contaminación de las cadenas tróficas

### **Desventajas**

- Los contaminantes permanecen en el lugar.
- No se puede reutilizar el suelo para otros fines.
- La vegetación debe ser monitoreada constantemente.

### **2.7.2 Fitovolatilización**

Es un mecanismo en donde las plantas absorben contaminantes (solubles en agua) junto con el agua desde el suelo y estos se trasladan hacia las hojas en donde se lleva a cabo la transpiración y los liberará en forma gaseosa a la atmósfera (Fernández et al., 2015 y Delgadillo et al., 2011). Mediante este proceso se han logrado eliminar COVs, contaminantes orgánicos y en ocasiones inorgánicos como Selenio, Arsénico y Mercurio (Rodríguez, Sánchez, Mena y Amezcua, 2016). Las ventajas y desventajas se describen de acuerdo a la información de Carpena y Bernal (2007):

### **Ventajas**

- Tecnología sostenible.
- Económica.
- Las plantas absorben y modifican tanto metales pesados como compuestos orgánicos y los libera a la atmósfera mediante el proceso de transpiración.

## **Desventajas**

- Los contaminantes se trasladan al aire debido a su volatilización, produciendo otro tipo de contaminación.

### **2.7.3 Fitofiltración o rizofiltración**

Este mecanismo se produce gracias a que las raíces de la planta son capaces de absorber, concentrar o precipitar metales tóxicos, cabe mencionar que tanto plantas, microorganismos como sedimentos actúan en conjunto como un filtro biogeoquímico para eliminar estos contaminantes del suelo (Fernández et al., 2015 y Delgadillo et al., 2011). Las ventajas y desventajas se describen de acuerdo a Guevara, De la Torre, Villegas y Criollo (2008).

## **Ventajas**

- La capacidad extractiva de las plantas se mantiene a lo largo del proceso.
- Impacto regenerativo.
- Es económica.
- Mejor relación costo-beneficio.

## **Desventajas**

- Las plantas que se utilizan son cultivadas en invernaderos, en agua no en tierra.
- Es un mecanismo que aún se encuentra en investigación.

### **2.7.4 Fitoextracción o fitoacumulación**

El mecanismo consiste en la absorción de metales a través de las raíces de las plantas para posteriormente acumularse en tallos y hojas (Fernández et al., 2015). De acuerdo a la información según (Rojas, 2014 y Wuana & Okieimen, 2011) se presentan las siguientes ventajas y desventajas de este mecanismo:

### **Ventajas**

- Las plantas hiperacumulan grandes cantidades de metales pesados.
- Alta tolerancia de la planta.
- No se generan lixiviados.
- Bajos costos.
- El metal pesado puede ser extraído mediante la biomasa de la planta.

### **Desventajas**

- El crecimiento de la planta es lento.
- La planta no produce mucha biomasa.
- Existe traslocación de metales desde la raíz hasta la parte aérea de la planta.
- Proceso lento.

## **2.8 Micorrizas**

Las micorrizas (del griego myces, hongo y rhiza, raíz) no son más que una representación de una asociación constituida por un conjunto de hifas fúngicas (micelio) que, al entrar en contacto con las raíces de las plantas huésped, las pueden cubrir formando un manto (Camargo, Montaña, Mera y Montaña Arias, 2012). La micorrizas poseen un papel importante en la preservación de las comunidades vegetales, debido a la existencia de simbiosis entre hongo-raíz (Derkowska, Paszt, Dyki y Sumorok, 2015). Aproximadamente 50.000 especies de

hongos forman asociaciones de micorrizas conjuntamente con especies vegetales, sin esta asociación micorrízica, un gran porcentaje de plantas probablemente no existirían, debido a que muchas de ellas dependen directamente de las micorrizas durante todas sus etapas de vida ya sea para obtener nutrientes, agua o incluso protección ante patógenos y medios alterados por contaminación (González y Raisman, 2013). Muchos miembros del reino vegetal han formado estas relaciones incluyendo briófitos, angiospermas, pteridofitas y muchas gimnospermas (Lowenfels, 2017).

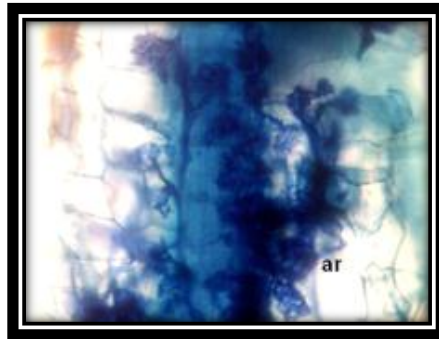
Los hongos micorrizógenos influyen mucho en la función y productividad de las comunidades vegetales, interviniendo en los procesos ecosistémicos, incrementan la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y agua, aumentan el contacto de la planta con partículas minerales y residuos del suelo, mejora la capacidad de sintetizar ácidos orgánicos (Coninx et al., 2017). Otros de los beneficios que estos proporcionan es que hacen que las raíces de la planta se encuentren fisiológicamente más activas, incrementan la tolerancia de las plantas a la temperatura y pH extrema que contenga el suelo por presencia de aluminio, azufre, o magnesio (González y Raisman, 2013). Cabe mencionar que los beneficios obtenidos también lo adquieren de plantas a hongos, debido a que reciben de estas carbohidratos y vitaminas (Stirling, 2014). Proporcionan a las plantas defensa propia ante patógenos y plagas, influye en la producción de hormonas, ayuda a la restauración del suelo, genera resistencia a sequías, mejora la estructura del suelo y almacenamiento de carbono (Lowenfels, 2017).

## **2.9 Tipos de Micorrizas**

### **2.9.1 Arbusculares**

Las micorrizas arbusculares que son las más antiguas, se forman entre los hongos del filo Glomeromycota, que van desde las plantas no vasculares hasta las

angiospermas (Coninx et al., 2017). La célula forma una membrana que rodea la hifa de hongos, encerrándola en una especie de envoltura. Esta membrana va creciendo a medida que el hongo crece, finalmente los racimos que se forman se ramifican en hifas, muchos hongos micorrízicos arbusculares forman vesículas intercelulares temporales en donde se almacena principalmente agua y nutrientes (Lowenfels, 2017). En general, su función es mantener una relación con la planta huésped, así como también el equilibrio bioquímico, energético e intercambio de nutrientes (Souza, 2015).

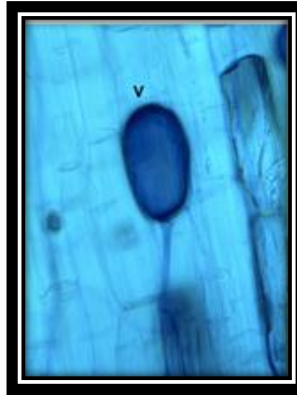


*Figura 1.* Micorrizas Arbusculares.

Tomada de (Camargo et al., 2015)

#### **a) Vesículas**

Las vesículas son aquellas estructuras en forma de óvulos que cumplen la función de almacenar el hongo, estos se forman en el micelio intraradical, además reservan lípidos compuestos que suministran energía durante el desarrollo del hongo micorrízico arbuscular (Souza, 2015 y Sieverding, 1983, p. 21).

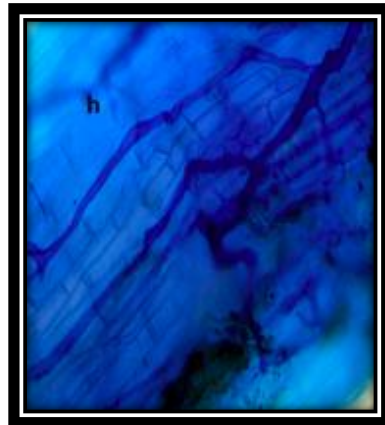


*Figura 2. Vesículas.*

Tomada de (Camargo et al., 2015)

### **b) Hifas**

Las hifas son filamentos cilíndricos que se introducen en la raíz de la planta, mismas que pueden salir como esporas o micelios, su función es permitir un mayor contacto con el suelo para la absorción de agua y nutrientes, incluso facilitan el almacenamiento de lípidos mediante la formación de vesículas (Souza, 2015 y Monroy Ata y García Sánchez, 2009, p. 30)

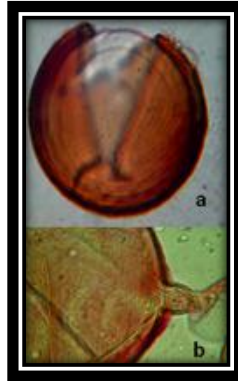


*Figura 3. Hifas micorrízicas.*

Tomada de (Camargo et al., 2015)

### c) Esporas

Son células asexuales que se encargan de la dispersión y representan la supervivencia y el establecimiento de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (Souza, 2015 y Jaramillo, 2011, p. 20).



*Figura 4.* Esporas de micorriza.

Tomada de (Camargo et al., 2015)

### 2.9.2 Ericoides

Las hifas de las micorrizas Ericoides son las más sencillas, penetran en la pared celular cortical y forma una estructura de espiral densa, u ovillos; esta asociación se da por lo general entre plantas del orden Ericales y los hongos del grupo Ascomycotina (Andrade, 2010). Sin embargo, no penetran tan profundamente en el suelo, se función es obtener nitrógeno a partir de materia orgánica en ambientes donde el nitrógeno es un factor limitante para las plantas, produciendo ácidos fuertes que lo rompen. Los hongos liberan muchos iones de hidrógeno provocando de esta manera que el suelo se vuelva ácido, pero a su vez este resultado hace que las plantas puedan tolerar medios ácidos (Lowenfels, 2017).



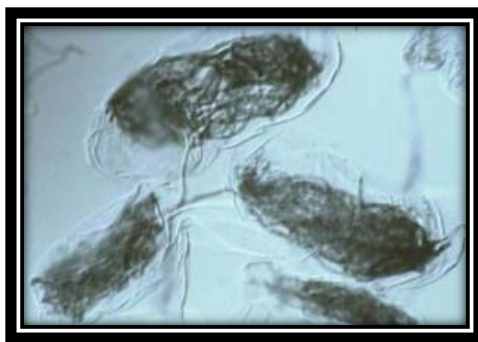


*Figura 5.* Micorriza ericoides.

Tomada de (Amela, 2011)

### **2.9.3 Orquioides**

Estas micorrizas se dan principalmente entre orquídeas y basidiomicetos, sus hifas crecen en la epidermis de las células de la raíz y la corteza, formando una red compleja de ovillos mismos que son absorbidos por la planta tiempo después de estar formados (Lowenfels, 2017). Algunas orquídeas son heterotróficas, por lo que dependen necesariamente de asociaciones fúngicas para obtener nutrientes a lo largo de sus vidas, debido a que la función principal de esta asociación fúngica es la de disponer clorofila para que la planta no muera, así como también de ayudar a que las semillas germinen y pueda crecer la plántula (Andrade, 2010).

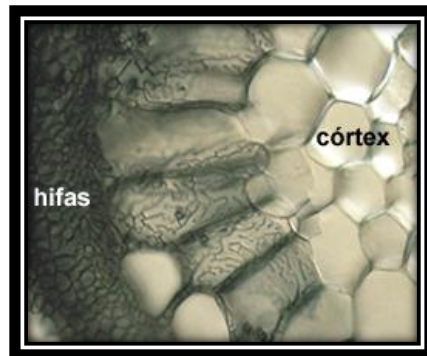


*Figura 6.* Micorriza orquioides (ovillos).

Tomada de (Martínez, 2016)

### 2.9.4 Ectomicorrizas

Las Ectomicorrizas se forman entre árboles maderables y hongos del grupo Basidiomycotina, sus hifas penetran principalmente las raíces secundarias de la planta prefieren suelos con un pH sumamente ácido, éstas forman un manto fúngico en las raíces de la planta, y a partir de este manto se forman las hifas intercelulares que no penetran las células del hospedaje (Sánchez y Gallejo, 2014). Sus hifas se disponen como una red denominada red Harting la cual se extiende dentro de las raíces de la planta huésped, su función principal es proteger a los árboles maderables de algunos agentes patógenos, además estas especies vegetales requieren de estas asociaciones durante todas las etapas de vida (Martín-Amor, 2011, p. 6).



*Figura 7.* Ectomicorriza (Red Harting).

Tomada de (Cordeiro, 2001)

### 2.10 Colonización

La colonización micorrízica tiene lugar en las raíces de la planta huésped donde el micelio se desarrollará, una vez que las hifas han colonizado la raíz se forman los arbusculos los cuales ayudarán a la planta a mejorar la absorción de agua y nutrientes del suelo (Tapia, 2003, p. 21). Eso quiere decir que a mayor colonización micorrízica menor será la capacidad de la planta de sobrevivir sin

esta asociación fúngica ya que es totalmente dependiente de ella (Morales, Bernal, Alcocer, & Maldonado, 2008, p. 3).

### **3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Área de Estudio**

La minera Agroindustrial “El Corazón” cubre una superficie de 880 hectáreas, está localizada al occidente de la Cordillera Central, en la Provincia de Imbabura, Cantón Cotacachi, Parroquia García Moreno, comunidad “El Corazón”, a unos 60 Km al Noroeste de Quito, en un área de espesa cobertura vegetal especialmente arbórea y niveles de meteorización profundos (Enríquez, 2000). Caracterizada por un clima tropical y fuertes estaciones lluviosas, la humedad real es del 90%.

Existen dos estaciones: la estación lluviosa (Enero a Junio) y la estación seca (Julio a Diciembre), la temperatura promedio es de 25°C. La altitud varía entre 800 a 1200 m.s.n.m. (Barreno y Silva, 2002).

La mina cuenta con trece piscinas relaveras, cuatro de ellas poseen comunidades vegetales, mismas que serán utilizadas para el estudio propuesto. Las piscinas 2 y 3 son las más antiguas (inhabilitadas desde el año 2004 y 2005 respectivamente), mientras que la piscina 4 y 6 son un poco más recientes (piscina 4 aún en funcionamiento debido a la recirculación de agua existente y piscina 6 inhabilitada desde año 2007). La variación temporal es debido a que estas fueron construidas en la misma área de estudio con las condiciones ambientales similares, pero con distintas fechas de construcción.

#### **3.2 Caracterización físico-química**

##### **3.2.1 Toma de datos del agua de las piscinas**

En las piscinas se midieron los siguientes parámetros: pH, conductividad, turbidez, porcentaje de oxígeno, temperatura ambiente y temperatura del agua en un solo punto cercano a la vegetación, a excepción de la piscina 4 donde se tomó dos puntos, el primero ubicado cerca de la descarga de agua proveniente de los procesos mineros y el otro fue cercano a las formaciones vegetales, los resultados fueron utilizados como medidas de referencia para el posterior análisis comparativo. Los parámetros fueron registrados con equipo de campo, se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1.

*Medición de parámetros físico químicos IN SITU*

<b>Parámetros Medidos</b>	<b>Equipo utilizado</b>
<b>pH</b>	PH metro de campo (Milwaukee)
<b>Conductividad</b>	Conductivímetro (Milwaukee)
<b>Turbidez</b>	Turbidímetro (Lamotte)
<b>% de Oxígeno</b>	Medidor de oxígeno disuelto u oxímetro (Milwaukee)
<b>Temperatura ambiente</b>	
<b>Temperatura de agua de las piscinas relaveras</b>	

### 3.2.2 Toma de datos de metales pesados en lodos de las piscinas relaveras

Para el análisis de los lodos de las piscinas se recolectó inicialmente 5 muestras individuales aleatoriamente, cercanas a la vegetación, mediante el uso del barreno, posteriormente se mezcló las muestras y se formó una muestra compuesta para cada una de las piscinas de estudio (2, 3, 4 y 6). Posteriormente fueron guardadas en fundas herméticas previamente etiquetadas. Finalmente las muestras fueron llevadas a un laboratorio ambiental certificado (GRUNtec) el cual utilizará las metodologías pertinentes, adecuadas y conforme a la ley para el

análisis de las concentraciones de los metales pesados y elementos contenidos en los mismos. El método adaptado de referencia y el método interno que utilizó GRUNtec para todos los elementos fue: EPA 6020 B / MM-AG/S-39.

### **3.2.3 Análisis de Componentes Principales (ACP)**

Con los datos obtenidos se realizó un Análisis de Componentes Principales donde se determinaron las variables que explicaban de mejor manera la variabilidad de los datos obtenidos (agua y lodos) de cada una de las piscinas relaveras.

## **3.3 Caracterización y composición de las comunidades vegetales**

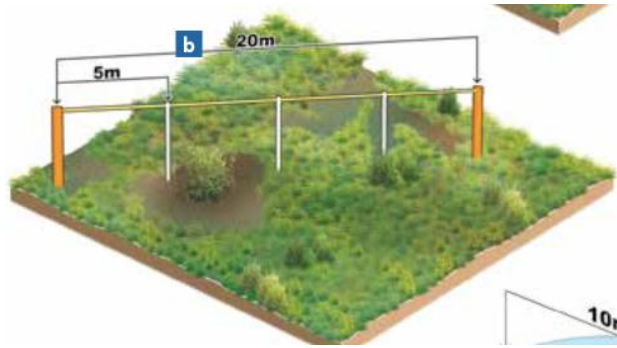
### **3.3.1 Transectos**

Para el levantamiento en campo de las comunidades vegetales se utilizó el método aleatorio estratificado, ya que se aplica para una heterogeneidad marcada de las condiciones ambientales, hídricas, y debido a la falta de control de estas condiciones (Aguilar y Ramírez, 2015).

Se realizó un mapeo global de cada una de las piscinas a estudiar, posteriormente se trazaron partiendo de un método general un transecto lineal y tres transectos transversales, el número de transectos dependió de la cobertura vegetal de cada piscina y su heterogeneidad espacial (Aguilar y Ramírez, 2015). Donde se mapeó mediante una determinada simbología cada especie presente en la comunidad vegetal a lo largo de los transectos.

A partir de las visitas iniciales al campo se procedió a realizar un reconocimiento del área de trabajo. Posteriormente de acuerdo a la forma y tamaño seleccionado para el monitoreo, se trazaron los transectos mediante la adaptación de la metodología descrita por Aguilar y Ramírez (2015). Esto permitirá que la

identificación de cada comunidad vegetal sea mucho más fácil como se muestra en la figura 8.



*Figura 8.* Ubicación de puntos primarios (color naranja) y secundarios (color blanco), transecto lineal.

Adaptada de (Aguilar y Ramírez, 2015)

Según Mendoza (2013) las parcelas o transectos que se vayan a realizar deben ubicarse principalmente en sitios representativos es decir con mayor diversidad en cuanto a especies, evitando de esta manera el efecto de borde y también poder abarcar la mayor cantidad de especies posibles incluyendo distintos estratos. Es por ello que los transectos fueron realizados en el centro de la piscina o en sitios donde la diversidad y heterogeneidad se veía mucho más marcada.

Finalmente, los individuos inventariados en campo se registraron con el nombre común, suministrado por conocedores locales.

En cada transecto se registraron las siguientes variables biológicas, sugeridas por Wilson (1988):

- **Riqueza:** número de especies diferentes de una comunidad.
- **Composición:** listado de especies vegetales encontradas a lo largo del transecto; nombre científico y nombre común.

- **Abundancia:** Dependiendo del porcentaje de cobertura vegetal en las piscinas y la riqueza, se registraron el número de individuos de cada especie presentes en el transecto o el porcentaje de cobertura por especie en relación a cobertura total de las piscinas.

En el caso de la existencia de especies arbustivas o arbóreas se midió además el DAP (Diámetro a la altura del pecho) y altura.

### 3.3.2 Forma de recolección y preservación de muestras vegetales

Para la recolección de los diferentes especímenes se contó con la ayuda de un morador del sector, con el fin de conocer los nombres comunes, y además saber si la especie es utilizada en la comunidad y con qué fin.

De cada especie encontrada se tomó una muestra fértil, esta recolección se realizó de forma sistemática, en zigzag para muestrear todas las especies presentes en toda el área de las piscinas.

- **Plantas no vasculares:**
  - ✓ **Recolecta y secado:** Se recolectó las muestras en papel periódico, ya que el secado es de mejor calidad. Para el secado, se pusieron las muestras en papel periódico, este paso es importante ya que las muestras pueden pudrirse, formar hongos o ponerse frágiles si no se secan correctamente (Bowles, 2004). En el caso de las muestras grandes, fueron presionadas para evitar que sea dificultoso el secado.
  - ✓ **Preparación de las muestras:** Se recolectó el material vegetal en menor cantidad. Además, se recolectó muestras con esporofito ya que es necesario para la identificación (Sánchez y González, 2012).

- **Plantas vasculares:**

- ✓ Recolección de la parte fértil: La recolección fue de las partes reproductivas del esporofito.
- ✓ Fotografías: Se tomó fotografías para mostrar la disposición y arreglo de las plantas, así como el color y la textura. Es fundamental ya que dan información adicional (Croft, 1999).

Todas las plantas llevaron un código para poder conocer su procedencia, seguido del número de cada especie. Una vez recolectadas las muestras, estas fueron prensadas y secadas de acuerdo al procedimiento según Guaña (2015).

Posteriormente las muestras secas fueron llevadas al Herbario de la Universidad Católica del Ecuador para su identificación. Quienes hicieron uso de claves taxonómicas y registros fotográficos para su determinación taxonómica.

### **3.3.3 Determinación de presencia de micorrizas**

Para determinar el porcentaje de colonización de micorrización se trabajó con las 29 especies vegetales identificadas en las piscinas. Por cada especie se recolectaron cinco individuos al azar y de cada una de ellas 10 raicillas, teniendo un total de 50 muestras a analizar por especie, excepto en las especies en la que el número de individuos era inferior a 10; posteriormente fueron sometidas a un proceso de tinción y así determinar el porcentaje de micorrizas presentes en cada especie.

#### **3.3.3.1 Tinción de raíces**

Para la tinción de las raíces se tomó como referencia la metodología según Lowenfels (2017). Además, este proceso se llevó a cabo mediante una



modificación del protocolo de Phillips y Hayman (1970), momento previo a la tinción, se realizaron los cortes de 2cm de largo a cada raicilla, cada muestra fue almacenada en tubos Eppendorf de 1.5ml con alcohol al 70%.

Este procedimiento se inició con el lavado de las raíces con agua en un tamiz para eliminar el suelo adherido; a continuación se agregó KOH al 10% de tal manera que queden cubiertas totalmente y se las llevó al plato calentador a 70°C por el lapso de una hora, seguido a este tiempo fueron lavadas nuevamente para luego añadir HCl al 10% en un periodo de dos minutos, se retiró el ácido sin lavar las raíces y se agregó azul de metileno preparado con ácido láctico para cubrirlas totalmente y ser llevadas una vez más al plato calentador por una hora más. Finalmente, al proceso de tinción, se realizó el montaje de las raicillas, fijando en total diez de ellas por especie, es decir cinco por cada portaobjetos para ser observadas en el microscopio.

### 3.3.3.2 Intensidad de colonización y frecuencia de micorrización

De acuerdo a la metodología de Trouvelot (1986), se analizó mediante el uso del microscopio las muestras preparadas en el lente de 10X, a cada una de ellas se les asignó una categoría de acuerdo al porcentaje de colonización detectado, teniendo como base la siguiente tabla:

Tabla 2.

*Porcentaje de colonización.*

<b>Categoría</b>	<b>% de Colonización</b>
0	0
1	< 1
2	2-10

3	11-50
4	51-70
5	> 90

Adaptada de (Trouvelot et al., 1986)

Con los datos obtenidos, se realizó el cálculo de la intensidad de colonización (%M) que implica cuanto de la raíz está colonizada por micorrizas y va de 0-100%, y la frecuencia (%F) que está representada de igual manera en porcentaje, pero implica el número de raíces de cada individuo que están micorrizadas, de acuerdo a las siguientes fórmulas (Muñoz et al., 2009):

$$\%M = \frac{95 n^5 + 70 n^4 + 30 n^3 + 5 n^2 + n^1}{N}$$

En donde:

$n^5$  = Número de fragmentos de raíces por placa categorizadas como 5

$n^4$  = Número de fragmentos de raíces por placa categorizadas como 4

$n^3$  = Número de fragmentos de raíces por placa categorizadas como 3

$n^2$  = Número de fragmentos de raíces por placa categorizadas como 2

$n^1$  = Número de fragmentos de raíces por placa categorizadas como 1

$N$  = Número total de fragmentos

$$\%F = \frac{\text{nb of fragments myco}}{N} * 100$$

En donde:

$nb$  = Número de fragmentos de raíces que presentan micorrizas

$N$  = Número total de fragmentos

### **3.3.4 Análisis de Similitud (ANOSIM)**

A partir de los datos obtenidos se realizó un Análisis de Similitud (ANOSIM) mediante el programa PRIMER, en donde se determinó las diferencias que existen en la composición vegetal de las diferentes piscinas relaveras, y la variabilidad existente en el área de estudio (piscinas relaveras 2, 3, 4 y 6). Además, este análisis se realizó para determinar cuál es la diferencia entre las piscinas y ver si las respuestas de las especies encontradas dependen del tiempo o de otros factores.

### **3.4 Relación entre factores ambientales y composición de la comunidad vegetal de los relaves (ACC)**

Para comprender la relación que existe entre las comunidades vegetales de cada una de las piscinas objeto de estudio, los elementos tóxicos (metales pesados) de los lodos y los factores físico químico del agua de las piscinas, se utilizó el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), utilizando el programa PAST (Hammer, Harper y Ryan, 2001). El CCA es una técnica que explica una regresión múltiple donde las composiciones de especies se relacionan con las variables ambientales (González, Sevilla y Mesquita, 2014).

Es importante mencionar que para el ingreso de datos en el programa PAST, se estandarizó previamente los datos mediante la aplicación de las siguientes fórmulas: biológicos ( $\log x+1$ ), los físico químicos  $\{(x-\text{mean})/\text{stdev}\}$  y los elementos tóxicos ( $\text{Log}_{10}$ ) (Carvacho, 2012 y Castro & Valdés, 2012). En el Programa PAST se correlacionó los elementos tóxicos con la abundancia vegetal y parámetros físicos químicos del agua con la abundancia vegetal de las piscinas

El programa para el CCA representa varios factores resultantes de los datos ingresados en el mismo, en donde las correlaciones ambientales se representan

como líneas radiadas del centro de la gráfica, la línea ambiental más larga representará el gradiente en la relación de la variable ambiental con las comunidades vegetales, y finalmente la posición de los puntos de las especies que se usará para interpretar su relación (Villegas, 2009).

### **3.5 Determinación de las especies con potencial de fitorremediación presentes en las relaveras**

Posterior a la identificación taxonómica de las especies y en respuesta a la permanencia de la especie en las distintas piscinas, se elaboró un listado tentativo, y sobre ese listado se hizo un análisis bibliográfico para definir si las especies están siendo utilizadas para fitorremediación de metales pesados o propósitos similares a nivel nacional o en otros países del mundo. El listado fue realizado en base al nombre común, nombre científico (género y especie), familia, clase y división.

## **4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **4.1 Parámetros físico químico del agua de las piscinas relaveras**

La piscina 2 tiene una cobertura vegetal del 10% (Tabla 3). Durante la caracterización físico química in-situ se obtuvo: 96.7% de oxígeno disuelto, 24,1°C, conductividad 637 uc, pH 2,92 y turbidez 0.39 fnu. Con respecto a estos valores se determina que el pH es de tipo ácido. Según Hernández (2017) cuando la conductividad es alta, las plantas tienen que hacer mayor gasto de energía para absorber el agua y se secan con mayor facilidad, incluso su crecimiento se ve reducido y tanto hojas como tallos no se expanden; sin embargo, hay plantas que toleran este tipo de medio salino. De igual manera con respecto a la acidez y según CANNA (2017) al tener un pH muy bajo la mayoría de los nutrientes se disuelven fácilmente, y por consiguiente existe un exceso de magnesio, aluminio y

hierro. Esta podría ser la razón por la cual en la piscina 2 no se encuentra una gran variedad de especies y su crecimiento es limitado en comparación a las demás piscinas. Por el contrario, el porcentaje de oxígeno disuelto en esta piscina se encuentra dentro de los rangos considerados como aceptables (40-110%), esto determina que las plantas presentes allí están realizando su proceso normal de fotosíntesis y están aportando oxígeno para que puedan crecer más plantas, con esto se puede corroborar que a pesar de que el pH es muy ácido y la conductividad sea alta, las especies vegetales se ven beneficiadas por el % de oxígeno disuelto, lo cual estaría probablemente contribuyendo al desarrollo de estas plantas dentro de la piscina relavera.

La piscina 3 posee una cobertura vegetal del 30%. Durante la caracterización físico química in-situ se obtuvo: 90.1% de oxígeno disuelto, 25.4°C, conductividad 447 uc, pH 3.06 y turbidez 4.23 fnu. Al igual que la piscina 2 esta posee un pH de tipo ácido, con una conductividad un poco más baja que la piscina 2 es por ello que podría existir una variedad de especies vegetales más amplia en comparación de la piscina 2. De igual manera posee un porcentaje de oxígeno disuelto aceptable y óptimo para el crecimiento de vida vegetal acuática.

Para la piscina 4, los resultados fueron los siguientes: pH casi cercano a 7 (6,61), dado que tenemos la dilución de agua lluvia favoreciendo al crecimiento de este tipo de plantas, turbidez de 8,23 fnu, conductividad baja (263 uc), y porcentaje de oxígeno disuelto de 105,4%, esta podría ser la razón de que exista una mayor riqueza de especies, y una cobertura total del 40%.

Finalmente, los resultados obtenidos en la piscina 6 muestra parámetros óptimos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, un pH cercano a 7, mismo que establece una homeóstasis dentro del ecosistema, una conductividad baja de 56 uc, un porcentaje de oxígeno de 21,11% que a pesar de ser bajo puede ser el óptimo para que las plantas se desarrollen, una turbidez de 1,85 fnu. Por estos

parámetros ya mencionados es que existe un porcentaje de cobertura vegetal total del 80%, misma que cubre casi toda la piscina 6 y a comparación de las demás piscinas estudiadas esta es la que presenta mayor formación vegetal, y todo debido a estas condiciones que a diferencia de los otros son los más óptimos y adecuados.

Tabla 3.

*Análisis físico químico IN SITU del agua de las piscinas relaveras.*

Parámetros evaluados IN SITU	Piscinas			
	2	3	4	6
Cobertura Vegetal (%)	10	30	40	80
Oxígeno disuelto (%)	96,7	90,1	105,4	21,11
Temperatura Ambiente (°C)	24,2	27,5	24,6	22,6
Temperatura Agua (°C)	24,1	25,4	24,6	22,5
Conductividad (uc)	637	447	263	56
pH	2,92	3,06	6,61	7,12
Turbidez (fnu)	0,39	4,23	8,23	1,85

#### 4.2 Análisis de lodos de las piscinas relaveras

En la Tabla 4 se muestra los resultados de concentración de 30 elementos obtenidos por el laboratorio certificado GRUNtec. Al no poseer una ley específica que controle los valores de concentración de lodos mineros, estos deben ser comparados con el Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas (RAOHE)- Decreto 1215 en el Anexo 2, Tabla 7: Límites permisibles de lixiviados

para la disposición final de lodos y ripios de perforación en superficie. En este caso se deberá tomar en cuenta el inciso b (CON impermeabilización de la base).

De acuerdo a la Tabla 4 se analizarán únicamente 5 metales pesados (As, Cr, Cd, Hg, Pb) debido a que no existe una normativa que regule los límites máximos permisibles de todos los elementos analizados. Con respecto al Arsénico, los valores más altos se encuentran en la piscina 3 y 4 seguido de la 6 y por último la piscina 2, con el Cromo se observa que los valores más altos se presentan en la 2 y la 3 seguido de la piscina 6 y por último la 4; por otro lado las piscinas 2 y 6 poseen mayores concentraciones de este metal en relación con la piscina 3 y 4. En cuanto al Mercurio, se encuentra presente en mayor cantidad en las piscinas 2 y 3 mientras que en las otras su concentración no es tan alta, esto se puede deber a que las dos primeras piscinas son las más antiguas y poseían otro tipo de metodología para extraer el oro y la plata. Finalmente el Plomo al igual que el Mercurio presenta mayores concentraciones en las piscinas 2 y 3; sin embargo en las piscinas 4 y 6 no es tan predominante como en las otras dos.

Tabla 4.

*Análisis de concentración de metales pesados y elementos de los lodos.*

Metales Pesados	Unidades	Concentración obtenida			
		Piscina 2	Piscina 3	Piscina 4	Piscina 6
Aluminio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	8712	961	1099	1252
Antimonio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	17	23	26	16
Arsénico	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	242	621	575	460
Azufre	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	10502	15904	19435	16276
Bario	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	45	15	6,1	7,7
Boro	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	<20	<20	<20	<20
Cadmio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	0,7	0,4	0,3	0,5
Calcio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	2648	1199	675	686

Cobalto	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	12	15	18	16
Cobre	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	663	430	597	532
Cromo	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	7,9	9,4	6,2	7,5
Estroncio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	7,9	4	1,6	1,6
Fósforo	% <sup>1,2</sup>	0,01	<0,001	<0,001	<0,001
Hierro	% <sup>1,2</sup>	1,9	1,9	2,3	2,1
Magnesio	% <sup>1,2</sup>	0,1	0,01	0,03	0,04
Manganeso	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	375	120	230	213
Mercurio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	11	15	7	5,8
Molibdeno	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	8,8	7,2	7	3,9
Níquel	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	9	12	14	14
Plata	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	2,9	2	3,5	2,3
Plomo	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	31	22	18	13
Potasio	% <sup>1,2</sup>	0,04	0,01	<0,01	0,02
Selenio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	6	6	5	5
Sodio	% <sup>1,2</sup>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Talio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	1,7	5,7	5,8	2,8
Titanio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	<100	<100	<100	<100
Uranio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Vanadio	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	15	<0,1	<0,1	1,3
Zinc	(mg/kg <sup>1,2</sup> )	37	27	30	34
<b>Humedad</b>	% <sup>1,2</sup>	32,6	22,2	17	17,2

### 4.3 Especies vegetales

Durante el levantamiento vegetal se identificaron 29 especies pertenecientes a 20 géneros y 17 familias. Muchas de las especies vegetales identificadas (Tabla 5) han sido determinadas mediante varios estudios como especies potenciales para la fitorremediación. Según estudios realizados por Cristaldi, Conti, Jho, Zuccarello, Grasso, Copat y Ferrante (2017), se han encontrado especies consideradas como hiperacumuladoras de elementos, diferenciándose de acuerdo a su familia o su capacidad de acumular contaminantes y producir biomasa, destacándose principalmente especies herbáceas y leñosas (e.g. *Brassica juncea*, *Helianthus annuus*, *Festuca arundinacea* y *Populus* sp.).



De igual manera, según Marrugo, Marrugo-Madrid, Pinedo, Durango y Díez (2016) existen especies nativas en Colombia que crecen y se desarrollan en zonas precarias con contenidos considerables de metales pesados como el mercurio (Hg) mismo que se acumula principalmente en los tejidos de las plantas (hojas, tallos, raíces), entre las que se encuentran: *Cyperus ferax*, *Stecherus bifidus*, *Pytirogramma colomelanos*, *Eleocharis interstincta*. Lo mismo señalan Londe y Silva (2014), cuyo estudio ha determinado que varias especies desarrollan resistencia a medios ácidos principalmente en zonas mineras, cuya colonización varía de acuerdo a la tolerancia que presenta la especie ante los contaminantes. Finalmente, en la investigación realizada por Orchard (2009) se estudiaon los usos alternativos que podrían tener las especies nativas que han colonizando naturalmente depósitos de relaves abandonados y de otras especies que, dadas sus características ecológicas, podrían establecerse sobre los relaves postoperativos en el marco de la tecnología de fitoestabilización.

Tabla 5.

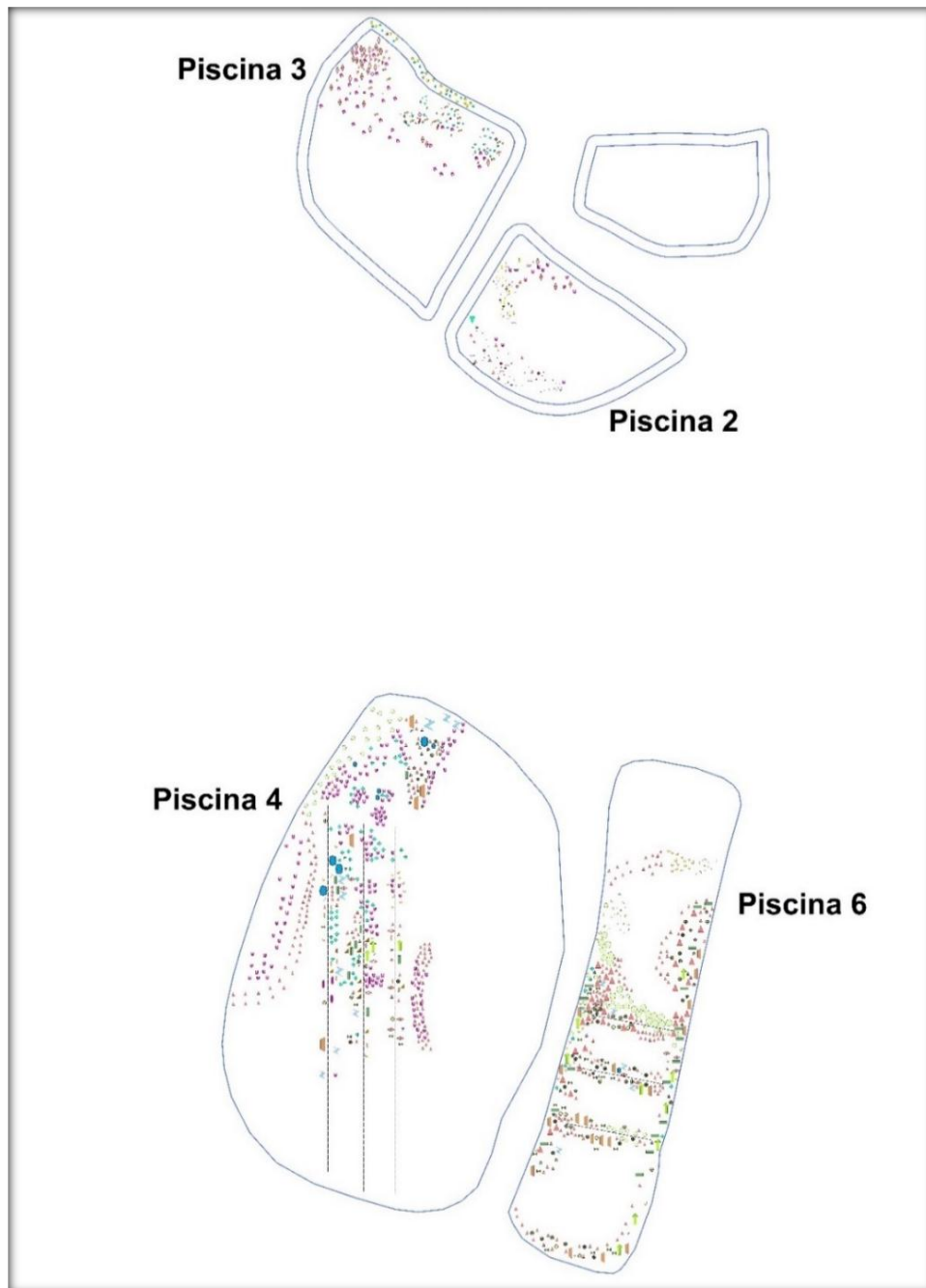
*Lista taxonómica de especies vegetales en las piscinas relaveras.*

Especie	Nombre Científico				
	Familia	Género	Especie	Descriptor	
1	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	sp.	L.	P4
2	Polypodiaceae	<i>Campyloneurum</i>	<i>cf.brevifolium</i>	(Lodd.exlink)Link	
3	Typhaceae	<i>Typha</i>	<i>domingensis</i>	Pers.	
4	Piperaceae	<i>Piper</i>	<i>aduncum</i>	L.	
5	Asteraceae	<i>Tessaria</i>	<i>integrifolia</i>	Ruiz & Pav.	
6	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>cf.tartarea</i>	Cav. Maxon	
7	Melastomataceae	<i>Leandra</i>	<i>granatensis</i>	Gleason	
8	Melastomataceae	<i>Meriania</i>	sp.	Sw.	
9	Urticaceae	<i>Cecropia</i>	sp.	Loefl.	
10	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>fraxinifolium</i>	Jacq.	
11	Begoniaceae	<i>Begonia</i>	sp.1	L.	P6
12	Asteraceae	<i>Mikania</i>	<i>cordifolia</i>	(L.f.) Willd	
13	Asteraceae	<i>Munnozia</i>	<i>saggittata</i>	Wedd.	
14	Melastomataceae	<i>Leandra</i>	<i>granatensis</i>	Gleason	

15	Urticaceae	<i>Cecropia</i>	sp.	Loefl.	
16	Melastomataceae	<i>Meriania</i>	sp.	Sw.	
17	Gesneriaceae	<i>Columnea</i>	sp.	L.	
18	Ochnaceae	<i>Sauvagesia</i>	<i>erecta</i>	L.	
19	Asteraceae	<i>Mikania</i>	<i>cordifolia</i>	(L.f.) Willd	
20	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea</i>	<i>cernua</i>	(L.) Vasc. & Franco	P3
21	Orchidaceae	<i>Scaphyglotis</i>	<i>punctulata</i>	(Rchb.f.) C. Schweinf.	
22	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>lancea</i>	Garay	
23	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>pulcherrima</i>	Garay	
24	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>cochlidium</i>	Lindl.	
25	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>atropubescens</i>	Ames & C. Schweinf.	
26	Cyatheaceae	<i>Alsophila</i>	sp.	R.Br.	
27	Cyatheaceae	<i>Cyperus</i>	<i>aggregatus</i>	(Willd.)Endl.	
28	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	sp.1	L.	
29	Poaceae	<i>Andropogon</i>	<i>bicornis</i>	L.	
30	Gleicheniaceae	<i>Sticherus</i>	<i>cf.bifidus</i>	(Willd.)Ching	
31	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>cf.loriceum</i>	(Lo)A.R.Sm	
32	Melastomataceae	<i>Meriania</i>	sp.	Sw.	
33	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>fraxinifolium</i>	Jacq.	
34	Asteraceae	<i>Vernonanthua</i>	<i>patens</i>	(Kunth) H.Rob.	P2
35	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>calomelanos</i>	(L.) Link	
36	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca</i>	<i>thyrsiflora</i>	Fenzl	
37	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>giganteum</i>	L.	

#### 4.4 Distribución espacial, riqueza y cobertura de la comunidad vegetal en las piscinas relaveras

En la Figura 9 se muestra el mapeo global de las comunidades vegetales en las piscinas estudiadas. Siendo las piscinas 2 y 3 las más antiguas (inhabilitadas desde el año 2004 y 2005 respectivamente), mientras que la piscina 4 y 6 son un poco más recientes y jóvenes (piscina 4 aún en funcionamiento debido a la recirculación de agua existente y piscina 6 inhabilitada desde año 2007).



*Figura 9.* Distribución espacial de la comunidad vegetal en las piscinas relaveras estudiadas en la minera Agroindustrial El Corazón.

En la Tabla 6 se muestra el porcentaje de cobertura vegetal por piscina. Con respecto a las especies más destacadas fueron: *Equisetum giganteum*

(Equisetaceae), está presente en tres de las 4 piscinas, y con un porcentaje de cobertura que va entre 5-40%. Con respecto a la otra especie *Andropogon bicornis* Poaceae presentó un porcentaje casi constante (2-6%) entre las 4 piscinas. Por otro lado, se muestra que sólo 12 especies vegetales se desarrollan únicamente en una de las piscinas.

En el estudio de Leguizamo, Gómez y Sarmiento (2017) encontraron especies de plantas herbáceas nativas en humedales naturales, en cuya composición predominaban tres familias, entre ellas las Equisetaceae, misma que presenta potencial para fitorremediación de metales pesados. Esta familia también fue registrada en este estudio, por lo que se podría considerar como una familia con una capacidad alta de tolerancia a aguas contaminadas por la minería y potencial biorremediador.

Con respecto a *Andropogon bicornis*, Londe y Silva (2014) determinaron que esta especie acepta cualquier tipo de suelo sea contaminado o no, teniendo una ventaja sobre otras especies, ya que se adapta fácilmente a suelos ácidos y pobres en nutrientes, invadiendo las praderas agotadas, así como carreteras, terrenos baldíos, etc. Igualmente, Jacobi, Do Carmo, Vincent y Stehmann (2007), destacan que *Andropogon bicornis* es una de las plantas identificadas en su estudio y que además poseen una gran capacidad para tolerar grandes cantidades de hierro y muestran adaptaciones morfológicas y fisiológicas para estas limitaciones ambientales.

Tabla 6.

*Porcentaje de cobertura vegetal de cada especie encontrada en las piscinas relaveras.*

	Familia	Especie	Piscina 2	Piscina 3	Piscina 4	Piscina 6
1	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	40%	5%	18%	25%

2	Cyatheaceae	<i>Cyperus aggregatus</i>	9%	30%	18%	
3	Pteridaceae	<i>Pityrogramma calomelanos</i>	12%			
4	Asteraceae	<i>Vernonanthua patens</i>	4%			
5	Asteraceae	<i>Munnozia sagittata</i>	30%			6%
6	Poaceae	<i>Andropogon bicornis</i>	3%	6%	3%	2%
7	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca thyrsoiflora</i>	2%			
8	Polypodiaceae	<i>Polypodium sp.1</i>		1%		
9	Polypodiaceae	<i>Polypodium cf.loriceum</i>		5%	5%	3%
10	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea cernua</i>		20%	12%	3%
11	Polypodiaceae	<i>Polypodium fraxinifolium</i>		4%	2%	5%
12	Pteridaceae	<i>Pityrogramma cf.tartarea</i>		8%	3%	5%
13	Orchidaceae	<i>Epidendrum sp.</i>		2%		
14	Orchidaceae	<i>Sobralia atropubescens</i>		2%		
15	Gleicheniaceae	<i>Sticherus cf.bifidus</i>		11%		
16	Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>			7%	15%
17	Begoniaceae	<i>Begonia sp.1</i>			1%	7%
18	Asteraceae	<i>Mikania cordifolia</i>			5%	20%
19	Orchidaceae	<i>Sobralia pulcherrima</i>			1%	3%
20	Ochnaceae	<i>Sauvagesia erecta</i>				1%
21	Urticaceae	<i>Cecropia sp.</i>			5%	1%
22	Melastomataceae	<i>Leandra granatensis</i>			2%	1%
23	Gesneriaceae	<i>Columnea sp.</i>				2%
24	Melastomataceae	<i>Meriania sp.</i>		4%	2%	0,5%
25	Piperaceae	<i>Piper aduncum</i>			4%	
26	Orchidaceae	<i>Epidendrum cochlidium</i>		0,5%	4%	
27	Cyatheaceae	<i>Alsophila sp.</i>		0,5%	5%	
28	Asteraceae	<i>Tessaria integrifolia</i>			3%	
29	Orchidaceae	<i>Scaphyglotis punctulata</i>		0,5%		
			<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

En la Figura 10 se muestra el mapeo realizado en la piscina relavera número 2, en la cual se representa mediante simbología y colores las especies vegetales presentes, en total se encontraron 7 especies vegetales.

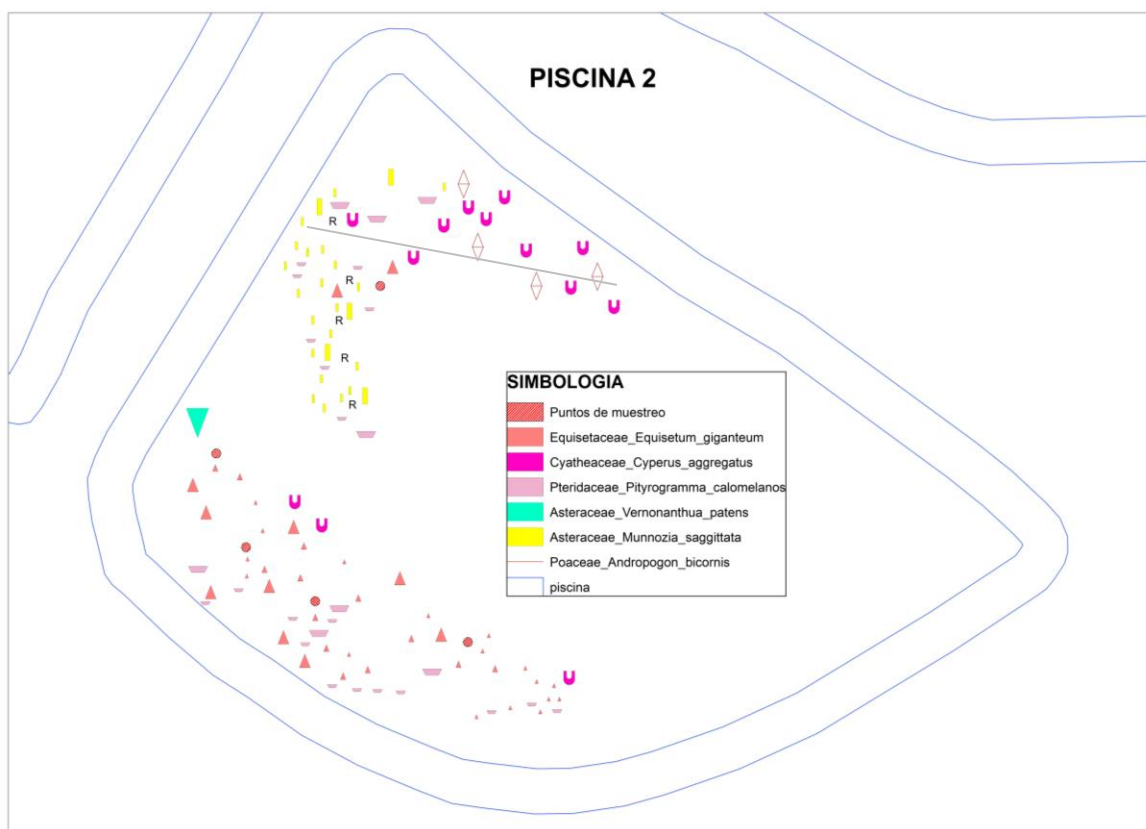


Figura 10. Distribución espacial de la comunidad vegetal de la piscina relavera 2.

Como se muestra en la Tabla 7, la especie que destaca en la piscina 2 *Equisetum giganteum* o también conocida por los moradores como caballo chupa, esta planta es utilizada especialmente para fines medicinales en la localidad del Corazón, en la piscina se encontraron tres clases etarias de esta especie, es decir que su tamaño varía de menos de 1 metro a 2 metros respectivamente, lo cual determina que existen plantas adultas jóvenes y aquellas que recién están comenzando a desarrollarse. Según Churqui, Lind, Thörn, Svensson, Savolainen, Aranda y Eriksson (2018) esta especie posee potencial antiviral y también ayuda a combatir infecciones, inflamaciones e incluso es utilizada para tratar diabetes principalmente en zonas donde los medicamentos químicos no son una opción, sino que prefieren lo natural.

Otra de las especies bien representada fue *Munnozia saggittata*, cuyo nombre común es desconocido por las personas propias de la zona, en la piscina se encontró dos clases etarias que varían de 10 cm a más de 70cm de altura. *Pityrogramma calomelanos* o también conocida en el sector por el nombre común de helecho, ya que los moradores no logran identificar si existen variedades de esta especie, es otra planta que se desarrolla en la piscina y posee 2 clases etaria de 5cm a más de 50 cm de altura. Es importante mencionar que sólo en esta piscina se encontró una especie denominada con su nombre común como Pichulán o por su nombre científico *Vernonanthua patens* Asteraceae.

Tabla 7.

*Composición, riqueza y abundancia de la piscina relavera 2*

PISCINA 2							
Nombre científico				Nombre común	Clase Etaria	Abundancia (Cobertura)	Riqueza
Familia	Género	Especie					
1	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>giganteum</i>	Caballo chupa	> 2 m	40%	7
					1- 1,5 m		
					< 1 m		
2	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>calomelanos</i>	Helecho	5-50 cm	12%	
					> 50 cm		
3	Asteraceae	<i>Vernonanthua</i>	<i>patens</i>	Pichulán	-	4%	
4	Asteraceae	<i>Munnozia</i>	<i>saggittata</i>	-	10-70 cm	30%	
					> 70 cm		
5	Cyatheaceae	<i>Cyperus</i>	<i>aggregatus</i>	-	-	9%	
6	Poaceae	<i>Andropogon</i>	<i>bicornis</i>	Sigse	-	3%	
7	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca</i>	<i>thyrsiflora</i>	-	-	2%	
						100%	

La figura 11 muestra el mapeo realizado en campo de la piscina 3, encontrándose un total de 15 especies. Sin embargo tres de ellas al poseer únicamente un solo individuo, no se registraron en el mapeo global debido a que se las había recolectado con anterioridad para su identificación.

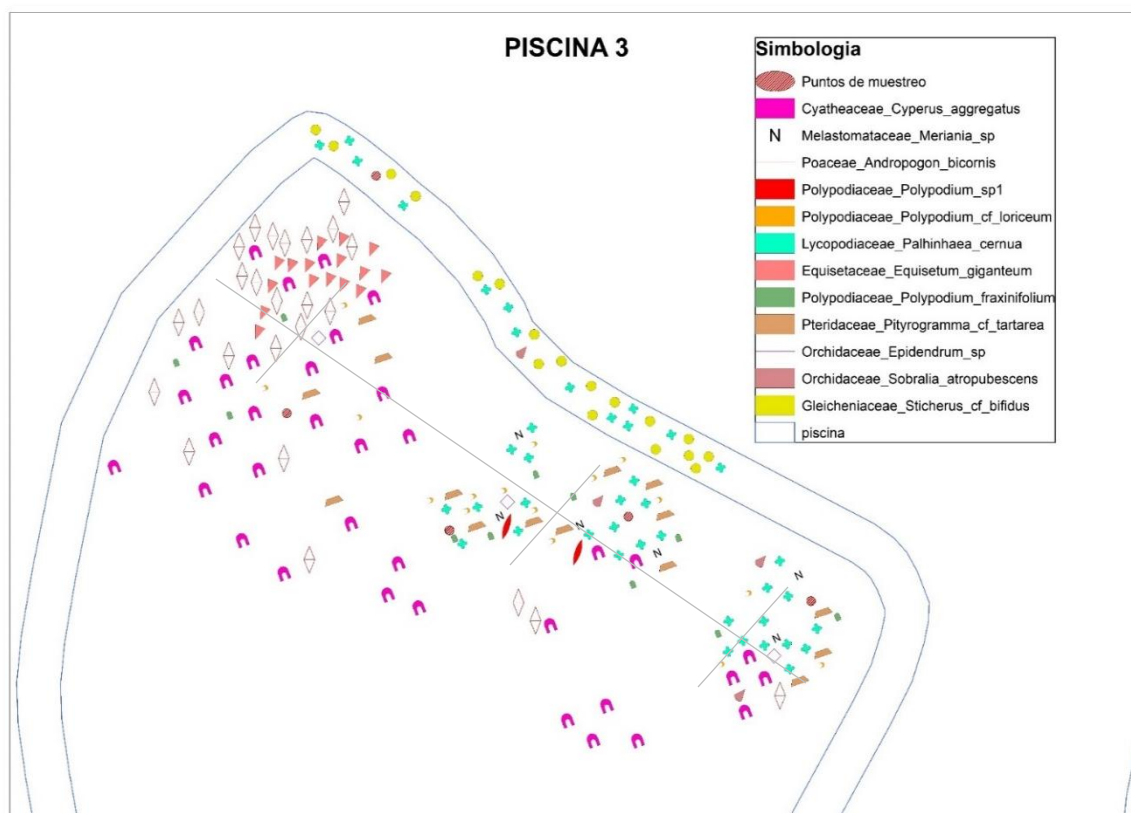


Figura 11. Distribución espacial de la comunidad vegetal de la piscina relavera 3.

En la Tabla 8 se muestra que la piscina relavera 3 posee una riqueza de 15 especies vegetales de las cuales los moradores solo conocían 12 de ellas, principalmente helechos, caballo chupa y sigse. Presentó dominancia de dos especies *Cyperus aggregatus* (30%) y *Palhinhaea cernua* (20%). A pesar de que no exista información sobre la especie *Palhinhaea cernua* y sus posibles potencialidades para fitorremediación, existe un estudio el cual fue realizado en el 2015 por Andreola en el cual determina que esta especie conjuntamente con otras especies de helechos, tiene capacidad de tolerar condiciones inhóspitas del medio



y además servir como alternativa para revegetar zonas afectadas por extracciones de minerales. Además, es considerada una especie pionera que crece fácilmente en cualquier tipo de condiciones ambientales. Finalmente es una de las piscinas que posee la mayor diversidad de orquídeas y cuyo desarrollo es constante, aunque no se encuentren muchos individuos.

Tabla 8.

*Composición, riqueza y abundancia de la piscina relavera 3*

PISCINA 3							
	Nombre científico			Nombre común	Clase Etaria	Abundancia (Cobertura)	Riqueza
	Familia	Género	Especie				
1	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea</i>	<i>cernua</i>	-	-	20%	15
2	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>cf.loriceum</i>	Helecho	-	5%	
3	Cyatheaceae	<i>Cyperus</i>	<i>aggregatus</i>	-	< 70 cm	30%	
					> 70 cm		
4	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>fraxinifolium</i>	Helecho	-	4%	
5	Poaceae	<i>Andropogon</i>	<i>bicornis</i>	Sigse	< 1,5 m	6%	
					> 1,5 m		
6	Gleicheniaceae	<i>Sticherus</i>	<i>cf.bifidus</i>	Helecho	-	11%	
7	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>atropubescens</i>	Orquídea	-	2%	
8	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	sp.1	Helecho	-	1%	
9	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>giganteum</i>	Caballo Chupa	-	5%	
10	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>cf.tartarea</i>	Helecho	-	8%	
11	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	sp.	Orquídea	-	2%	
12	Melastomataceae	<i>Meriania</i>	sp.	-	-	4%	
13	Orchidaceae	<i>Scaphyglotis</i>	<i>punctulata</i>	Orquídea	-	0,5%	
14	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>cochlidium</i>	Orquídea	-	0,5%	
15	Cyatheaceae	<i>Alsophila</i>	sp.	Helecho	-	0,5%	
						100%	

En la Figura 12 se encuentra representado a manera de simbología y colores las distintas especies vegetales de la piscina 4, además se trazaron tres transectos longitudinales y en cada uno de ellos tres transversales, además se mapearon todas las plantas que se lograban visualizar en toda la piscina, obteniendo un total 18 especies distribuidas.

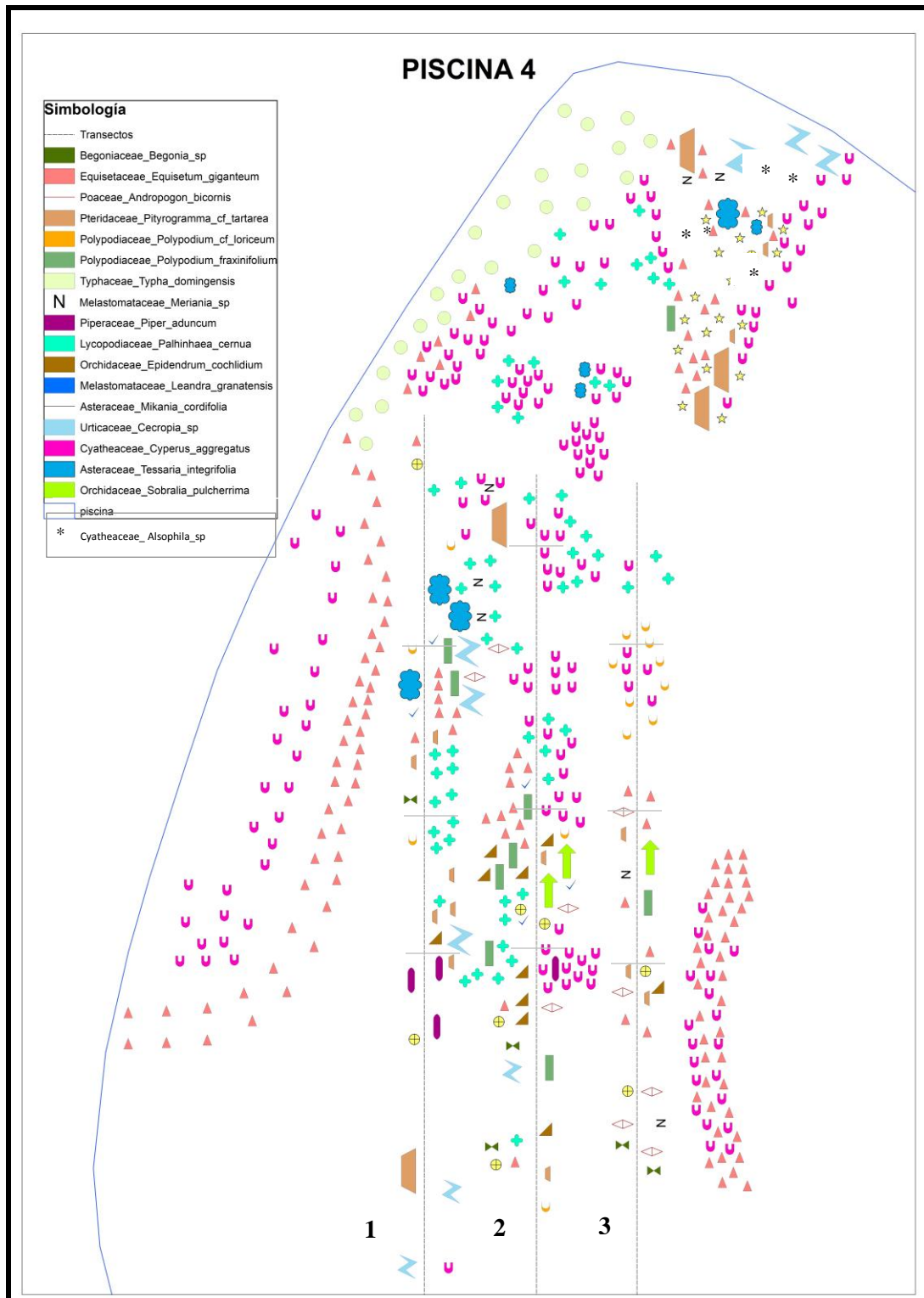


Figura 12. Distribución espacial de la comunidad vegetal de la piscina relavera 4.

Es piscina 4 es la única con mayor heterogeneidad en cuanto a especies mismas que no habían sido encontradas en las anteriores piscinas como Totorá, Caña Agria, Camotillo, Palo Bobo y Guarumo. Además presentó tres individuos de especies arbóreas (*Tessaria integrifolia* Asteraceae) cuyas alturas fueron medidas en campo y varían desde el medio metro hasta tres metros con distintos DAP's (Tabla 9). Con respecto a las especies que sobresalieron en esta piscina por su cobertura fueron tres (*Equisetum giganteum*, *Thypha domingensis*, y *Cyperus aggregatus*). Mientras que las demás especies no representaban tanta cobertura, eran un poco dispersas y escasas en relación a las especies ya mencionadas con anterioridad.

Tabla 9.

Composición, riqueza y abundancia de la piscina relavera 4.

PISCINA 4							
	Nombre científico			Nombre común	Clase Etaria	Abundancia (Cobertura)	Riqueza
	Familia	Género	Especie				
1	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>cf. tartarea</i>	Helecho	0-50 cm	3%	18
					50-100 cm		
2	Asteraceae	<i>Tessaria</i>	<i>integrifolia</i>	Palo Bobo	0-50 cm	3%	
					50- 100 cm		
					> 100 cm		
3	Typhaceae	<i>Typha</i>	<i>domingensis</i>	Totorá	-	7%	
4	Piperaceae	<i>Piper</i>	<i>aduncum</i>	-	-	4%	
5	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>fraxinifolium</i>	Helecho	-	2%	
6	Begoniaceae	<i>Begonia</i>	sp.1	Caña agria	-	1%	
7	Asteraceae	<i>Mikania</i>	<i>cordifolia</i>	Camotillo (enredadera)	-	5%	
8	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea</i>	<i>cernua</i>	-	-	12%	
9	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>pulcherrima</i>	Orquídea	-	1%	
10	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>cochlidium</i>	Orquídea	-	4%	
11	Cyathea-	<i>Alsophila</i>	sp.	Helecho	-	5%	

	ceae					
12	Cyathea- ceae	<i>Cyperus</i>	<i>aggregatus</i>	-	< 60 cm > 60 cm	18%
13	Poaceae	<i>Andropo- gon</i>	<i>bicornis</i>	Sigse	-	3%
14	Polypodia- ceae	<i>Polypodium</i>	<i>cf.loriceum</i>	Helecho	-	5%
15	Equiseta- ceae	<i>Equisetum</i>	<i>giganteum</i>	Caballo Chupa	-	18%
16	Melastoma- taceae	<i>Meriania</i>	sp.	-	0-200 cm > 200 cm	2%
17	Melastoma- taceae	<i>Leandra</i>	<i>granatensis</i>	-	-	2%
18	Urticaceae	<i>Cecropia</i>	sp.	Guarumo	< 170 cm > 170 cm	5%
						100%

La piscina 6 es una de las más pobladas ya que las especies vegetales la cubren casi en su totalidad, al igual que la piscina 4 se realizaron tres transectos longitudinales y en cada uno de ellos tres transversales, para de esta manera mapear las especies a este nivel.

En la Figura 13 se muestra el mapeo de la comunidad vegetal encontrada en la piscina 6, se identificaron un total de 15 especies. De estas 15 especies 3 poseían el mayor porcentaje de cobertura vegetal y estas fueron: *Equisetum giganteum* (25%), *Mikania cordifolia* (20%) y *Thypha dominguensis* (15%) (Tabla 10). Según la investigación realizada por Husby, Delatorre, Oberbauer, Grau y Novara (2014) *Equisetum giganteum* es una especie que además de extenderse en varios países también crece en una gran variedad de hábitats, y zonas con condiciones extremas como alta radiación, salinidad, o una atmósfera altamente desecante. Es la única especie de pteridofitas que tolera este tipo de condiciones climáticas, es por ello que por su capacidad se desarrollan sin ningún problema en las piscinas relaveras. Incluso Prasad (2013) establece que esta especie junto con otras más posee múltiples mecanismos de resistencia al estrés a temperaturas letales y a

concentraciones de sustancias tóxicas como los metales pesados como el Cadmio (Cd).

De la misma forma, aunque no existen muchos datos sobre *Mikania cordifolia*, esta es considerada una especie con capacidad de tolerar metales pesados, esto fue determinado por Akinbiola, Awotoye, Adepoju y Salami en el año 2016 mediante investigaciones. Por otro lado, de acuerdo a investigaciones realizados por Mufarrege, Hadad, Di Luca y Maine en el año 2014 y 2015, *Thypha domingensis* se desarrolla fácilmente en humedales naturales, en zonas con altas concentraciones de Niquel (Ni), Cromo (Cr), y Zinc (Zn), determinando que es una planta hiperacumuladora de metales especialmente su acumulación en las hojas de esta especie y alta tolerancia a los mismos.

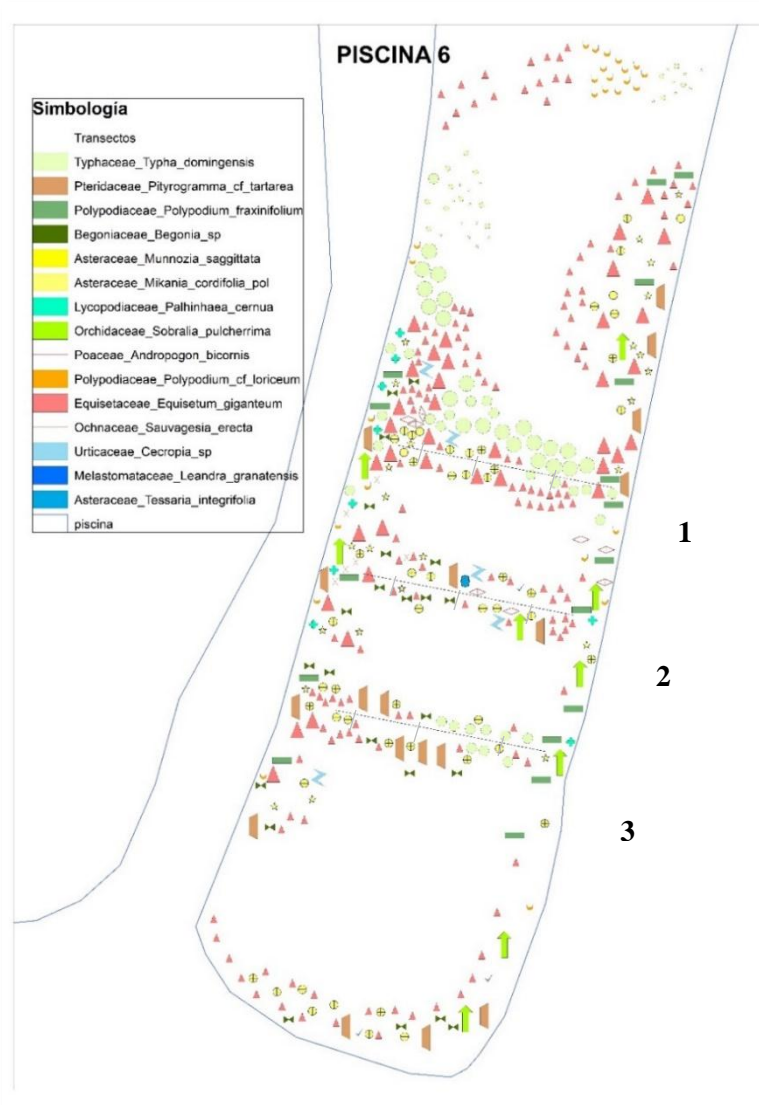


Figura 13. Distribución espacial de la comunidad vegetal de la piscina relavera

Cabe mencionar que tanto esta piscina como la piscina 4 se caracterizan por tener estas especies en su composición en mayor cantidad que las dos primeras piscinas y pueda que se dé debido a la edad de estas piscinas que son mucho más recientes que las otras dos. El resto de especies encontradas representan porcentajes menores de cobertura y además muchas de ellas no son conocidas por los moradores del sector. En esta piscina se encuentra tres clases etarias de

la especie *Thypha dominguensis*, ya que existen plantas adultas, jóvenes y pequeñas. A diferencia de la piscina 3 y 4, posee tres clases etarias de Caballo Chupa al igual que la piscina 2, y estas van desde los 70cm hasta 1.40 m de altura.

Tabla 10.

*Composición, riqueza y abundancia de la piscina relavera 6.*

PISCINA 6							
	Nombre científico			Nombre común	Clase Etaria	Abundancia (Cobertura)	Riqueza
	Familia	Género	Especie				
1	Typhaceae	<i>Typha</i>	<i>dominguensis</i>	Totora	0-70 cm	15%	16
					70-140 cm		
					> 140 cm		
2	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>cf. tartarea</i>	Helecho	-	5%	
3	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>fraxinifolium</i>	Helecho	-	5%	
4	Begoniaceae	<i>Begonia</i>	sp.1	Caña agria	-	7%	
5	Asteraceae	<i>Munnozia</i>	<i>sagittata</i>	-	-	6%	
6	Asteraceae	<i>Mikania</i>	<i>cordifolia</i>	Camotillo (enredadera)		20%	
7	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea</i>	<i>cernua</i>	-	-	3%	
8	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>pulcherrima</i>	Orquídea	-	3%	
9	Poaceae	<i>Andropogon</i>	<i>bicornis</i>	Sigse	-	2%	
10	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>cf. loriceum</i>	Helecho	-	3%	
11	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>giganteum</i>	Caballo Chupa	0-70 cm	25%	
					70-140 cm		
					> 140 cm		
12	Melastomataceae	<i>Leandra</i>	<i>granatensis</i>	-	-	1%	
13	Gesneriaceae	<i>Columnea</i>	sp.	-	-	2%	
14	Urticaceae	<i>Cecropia</i>	sp.	Guarumo	-	1%	
15	Ochnaceae	<i>Sauvagesia</i>	<i>erecta</i>	-	-	1%	
16	Melastomataceae	<i>Meriania</i>	sp.	-	-	0,5%	
						100%	



#### 4.5 Intensidad de colonización y frecuencia de micorrización

Tabla 11.

*Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas en la piscina relavera 2.*

<b>Piscina 2</b>				
	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>%M</b>	<b>%F</b>
1	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	18,08	80
2	Cyatheaceae	<i>Cyperus aggregatus</i>	9,5	68
3	Pteridaceae	<i>Pityrogramma calomelanos</i>	28,48	92
4	Asteraceae	<i>Vernonanthua patens</i>	16,8	80
5	Asteraceae	<i>Munnozia saggittata</i>	26,8	96
6	Poaceae	<i>Andropogon bicornis</i>	5,38	62
7	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca thyrsoiflora</i>	45,74	70

En la piscina 2 se analizaron en total 7 especies, todas ellas presentaban colonización micorrízica; sin embargo, 5 especies de las 7 se destacaron en presentar mayor porcentaje. Los porcentajes de colonización obtenidos en la piscina 2 se muestran en la Tabla 11, en donde se muestra que la especie con mayor colonización micorrízica es *Phytolacca thyrsoiflora* con un (45,74%), seguido de la especie *Pityrogramma calomelanos* con un (28.48%) de colonización y *Munnozia saggittata* con (26.8%), dos especies de las 7 que existen en total presentan una colonización de hongos micorrízicos (HM) alta; sin embargo existe dos especies (*Cyperus aggregatus* y *Andropogon bicornis*) que fueron las que presentaron menor porcentaje de colonización micorrízica. Se recalca además que de las 29 especies en total 11 presentan mayor porcentaje de micorrización; sin embargo solo 4 son las que se encuentran con gran abundancia, por ende no es necesario que se encuentren en mayor abundancia para presentar una mayor cantidad de micorrización.

Es importante mencionar que *Phytolacca thyrsoiflora* Phytolaccaceae fue la única especie vegetal de esta piscina que presentaba claramente arbuscúlos o vesículas bien formados, a pesar de que esta especie vegetal tuvo el mayor porcentaje de colonización micorrízica no existen estudios que corroboren la información

obtenida siendo un campo nuevo de investigación con respecto a esta especie. Existen estudios realizados por Lara, Zulueta y Andrade (2017) en donde determinaron las relaciones fúngicas y colonización en las raíces de algunas plantas especialmente helechos y licofitas, teniendo como resultado de un 13.4% de micorrización en total, entre este porcentaje se incluía a *Pityrogramma calomelanos*, misma que según este estudio presentaba colonizaciones de HMA.

Las especies que presentan mayor frecuencia de micorrización fueron *Munnozia sagittata* con un 96%, seguida de *Pityrogramma calomelanos* con 92%. *Andropogon bicornis* mostró la menor frecuencia micorrízica en los segmentos analizados.

Tabla 12.

*Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas en la piscina relavera 3.*

<b>Piscina 3</b>				
	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>%M</b>	<b>%F</b>
1	Cyatheaceae	<i>Cyperus aggregatus</i>	27,52	88
2	Melastomataceae	<i>Meriania</i> sp.	6,7	78
3	Poaceae	<i>Andropogon bicornis</i>	4,08	62
4	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i> sp.1	17,14	86
5	Polypodiaceae	<i>Polypodium cf.loriceum</i>	30	82
6	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea cernua</i>	0,98	50
7	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	5,72	78
8	Polypodiaceae	<i>Polypodium fraxinifolium</i>	40,66	94
9	Pteridaceae	<i>Pityrogramma cf.tartarea</i>	9,72	74
10	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i> sp.	4,96	70
11	Orchidaceae	<i>Sobralia atropubescens</i>	5,24	72
12	Gleicheniaceae	<i>Sticherus cf.bifidus</i>	1,1	54

De las 12 especies que presentaron colonización por micorrizas, las que tuvieron una colonización superior al 15% fueron *Polypodium fraxinifolium* con (40.66%), *Cyperus aggregatus* (27,52%) y *Polypodium* sp.1 con (17,14%), estas a su vez presentan una frecuencia alta micorrización en los segmentos de raíz (94%, 88% y 86%) respectivamente (Tabla 12).

Aunque no existen estudios específicos sobre cada una de las especies ya mencionadas existen investigaciones realizados por Velázquez, Biganzoli y Cabello (2010) en donde se examinaron las raíces de 103 especies de plantas para determinar la presencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA); entre estas especies se encontraron plantas de la familia Polypodiaceae; sin embargo existía ausencia de una asociación micorrízica de esta especie. De igual manera según estudios hechos por Lara, Noa, Landa, Hernández, Oros, y Andrade (2014), plantas que pertenecen a la familia Cyatheaceae no presentaron colonización micorrízica o arbusculos que indiquen una asociación simbiótica. En contraposición de esta investigación se encuentra el estudio realizado por Harris, Mora, Sánchez y Palafox en el año 2016, quienes determinaron la presencia de hongos arbusculares en plantas pertenecientes a esta familia. Es importante mencionar que no existen estudios de la presencia micorrízica en la especie puntual, sólo estudios a nivel de familias.

Por el contrario *Palhinhaea cernua* y *Sticherus cf. bifidus* fueron las especies que poseían menor porcentaje de colonización y frecuencia. Sin embargo, en otros estudios realizados por Muthukumar, Sathiyaraj, Priyadharsini, Uma y Sathiyadash (2014), si encontraron un porcentaje alto de micorrizas en algunas plantas que pertenecen a la familia Lycopodiaceae. En cuanto a la segunda especie con menor colonización, existe ausencia de investigaciones con respecto a las asociaciones fúngicas con la misma.

Tabla 13.

*Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas en la piscina relavera 4.*

<b>Piscina 4</b>				
	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>%M</b>	<b>%F</b>
1	Begoniaceae	<i>Begonia</i> sp.1	0,22	22
2	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	15,26	70
3	Poaceae	<i>Andropogon bicornis</i>	0,28	28

4	Pteridaceae	<i>Pityrogramma cf. tartarea</i>	3,32	60
5	Polypodiaceae	<i>Polypodium cf. loriceum</i>	51,64	92
6	Polypodiaceae	<i>Polypodium fraxinifolium</i>	33,66	82
7	Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>	0,24	24
8	Melastomataceae	<i>Meriania sp.</i>	0	0
9	Piperaceae	<i>Piper aduncum</i>	3,42	44
10	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea cernua</i>	1,84	36
11	Orchidaceae	<i>Epidendrum cochlidium</i>	4,68	26
12	Melastomataceae	<i>Leandra granatensis</i>	1,52	46
13	Cyatheaceae	<i>Alsophila sp.</i>	4,2	40
14	Asteraceae	<i>Mikania cordifolia</i>	0,38	22
15	Urticaceae	<i>Cecropia sp.</i>	1,72	50
16	Cyatheaceae	<i>Cyperus aggregatus</i>	0,86	46
17	Asteraceae	<i>Tessaria integrifolia</i>	0	0
18	Orchidaceae	<i>Sobralia pulcherrima</i>	0,28	20

En la Tabla 13 se muestra el porcentaje de colonización y frecuencia de las 18 especies identificadas en la piscina 4, de las cuales 16 presentaron micorrización y 3 poseen un porcentaje alto de colonización: *Polypodium cf. loriceum* (51,64%), *Polypodium fraxinifolium* (33,66%) y *Equisetum giganteum* (15,26%). Por otro lado, la especie que tuvo el menor (%M) fue *Begonia sp.1* (0,22%), a pesar de este resultado, existe un estudio que se llevó a cabo por Becerra, Cabello y Chiarini en el año 2007 en donde se analizaron las raíces de 41 plantas de especies nativas y arrojó como resultados que *Begonia sp.1* Begoniaceae tenía una colonización de clase II (6-25%).

Por lo que se refiere a *Tessaria integrifolia* y *Meriania sp.* no presentaron presencia de HM en sus raíces, y además no existe información necesaria para asegurar que estas poseen asociaciones fúngicas, pero existe un estudio realizado por (Becerra et al., 2007) en donde se tiene que varias especies de la familia Asteraceae posee una colonización que varía de (1-100%) de acuerdo a la especie.

Tabla 14.

*Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas en la piscina relavera 6.*

<b>Piscina 6</b>				
	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>%M</b>	<b>%F</b>
1	Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>	3,06	68
2	Pteridaceae	<i>Pityrogramma cf.tartarea</i>	7,12	80
3	Polypodiaceae	<i>Polypodium fraxinifolium</i>	52,18	94
4	Begoniaceae	<i>Begonia</i> sp.1	0,76	36
5	Asteraceae	<i>Munnozia sagittata</i>	33,26	82
6	Asteraceae	<i>Mikania cordifolia</i>	11,78	74
7	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea cernua</i>	33,8	78
8	Orchidaceae	<i>Sobralia pulcherrima</i>	1,76	44
9	Poaceae	<i>Andropogon bicornis</i>	0,76	44
10	Polypodiaceae	<i>Polypodium cf.loriceum</i>	70,82	100
11	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	44,22	80
12	Ochnaceae	<i>Sauvagesia erecta</i>	1,9	44
13	Urticaceae	<i>Cecropia</i> sp.	1,5	62
14	Melastomataceae	<i>Leandra granatensis</i>	1,48	60
15	Gesneriaceae	<i>Columnea</i> sp.	1,66	60

Como se muestra en la Tabla 14, las 15 especies presentaron micorrización, 7 poseen colonización micorrízica alta: *Polypodium cf.loriceum* (70,82%), *Polypodium fraxinifolium* (52,18%), *Equisetum giganteum* (44,22%), *Palhinhaea cernua* (33,8%), *Munnozia sagittata* (33.26%) y *Mikania cordifolia* (11,78%), como se puede notar algunas de estas especies también tuvieron predominancia en otras piscinas por ende se podría decir que estas especies pueden ser utilizadas en los procesos de fitorremediación, 6 de las especies presentan porcentajes bajos de micorrizas, y finalmente dos especies (*Begonia* sp.1 y *Andropogon bicornis*) obtuvieron el menor porcentaje de presencia y colonización micorrízica. Estos resultados se corroboran por estudios realizados por Ferrer y Herrera (1985), en la que se determinó que *Andropogon bicornis* L. presentaba

colonización regular y no representativa a diferencia de otras especies que fueron analizadas en el mismo estudio.

Por otro lado, investigaciones llevadas a cabo por Silva, Santos, Alves y Maia (2001) determinaron que *Typha domingensis* no posee estructuras micorrízicas teniendo un 0% de colonización, en este caso el porcentaje de colonización de esta especie en la piscina 6 fue de 3,06% lo que demuestra que, sí puede mantener asociaciones fúngicas, aunque sea en un pequeño porcentaje.

#### **4.5.1 Porcentaje de colonización y frecuencia micorrízica en especies comunes para las piscinas**

En la Tabla 15 se muestra el porcentaje de colonización y frecuencia micorrízica de aquellas especies que se encuentran en más de una piscina. De estas 15 especies predominan 6 en cuanto a presencia y colonización: *Polypodium cf. loriceum* con (50.41%), *Polypodium fraxinifolium* con (42.92%), *Munnozia sagittata* con (30.03%), *Equisetum giganteum* (20.08%), *Cyperus aggregatus* (12.6%) y *Palhinhaea cernua* (12.2%). Todas estas especies presentan una frecuencia de contaminación de micorrizas alta dentro de las raicillas.

Con esto se puede mencionar que la importancia ecológica de los HM se basa en mejorar la capacidad de la planta para la adquisición de nutrientes, minerales, agua, aumentar la resistencia a patógenos y reducir la toxicidad de metales pesados es por ello que todas las plantas y especies analizadas crecen y se desarrollan de alguna manera en los lodos relaveros de la mina, siendo importante ya que pueden ser usadas en un futuro para fitorremediar las piscinas.

Tabla 15.

*Porcentaje de colonización y frecuencia de micorrizas de las especies comunes en las piscinas.*

	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>%M</b>	<b>%F</b>
1	Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>	1,65	46
2	Pteridaceae	<i>Pityrogramma cf.tartarea</i>	6,72	71,3
3	Polypodiaceae	<i>Polypodium fraxinifolium</i>	42,92	88
4	Begoniaceae	<i>Begonia sp.1</i>	0,49	29
5	Asteraceae	<i>Munnozia saggittata</i>	30,03	89
6	Asteraceae	<i>Mikania cordifolia</i>	6,08	48
7	Melastomataceae	<i>Leandra granatensis</i>	1,5	53
8	Cyatheaceae	<i>Cyperus aggregatus</i>	12,6	67,3
9	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea cernua</i>	12,2	51,3
10	Orchidaceae	<i>Sobralia pulcherrima</i>	1,02	32
11	Poaceae	<i>Andropogon bicornis</i>	2,6	49
12	Polypodiaceae	<i>Polypodium cf.loriceum</i>	50,41	91
13	Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	20,8	77
14	Urticaceae	<i>Cecropia sp.</i>	1,61	56
15	Melastomataceae	<i>Meriania sp.</i>	3,35	39

La importancia de la micorriza incide sobre la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados, debido a que inmoviliza los metales en la raíz evitando que se transporten a la parte aérea de la planta y con ellos de evita a su vez el flujo de metales pesados a cadenas tróficas. Según (Leyval et al., 2001) existen reportes realizados por concentraciones de metales sumamente altos y las variaciones de acumulación en las plantas dependen del hongo, de la planta hospedera, la densidad de la raíz y por último, pero no menos importante las características del suelo donde se están desarrollando.

## 4.6 Análisis estadísticos

### 4.6.1 Análisis de Componentes Principales de los parámetros físico químico del agua de las piscinas

En la Tabla 16 se muestra que el oxígeno y pH generaron una mayor significancia en el componente 1 explicando el 56.726% de la varianza, con lo cual se determina que existe una gran variabilidad en cuanto a datos; por lo tanto las variables de temperatura de agua, conductividad y turbidez presentan una mayor representatividad en el componente 2 explicando el 37.115% de la varianza. Al sumar el porcentaje del componente 1 y 2 se obtiene el porcentaje de varianza acumulada la cual explica el 94% de variabilidad. Finalmente, el componente 3 al no presentar un % de variabilidad significativo no fue tomado en cuenta.

Tabla 16.

*Componentes principales de acuerdo al porcentaje de variabilidad.*

ACP			
PC	Eigenvalue	% varianza	% varianza acumulada
1	340.281	56,726	94
2	222.638	37,115	
3	0.369455	6.159	

En la Tabla 17 se explica la variabilidad, es decir cuáles son los factores ambientales que explican la variabilidad de los datos. En este caso se utilizaron los datos del componente 1 y 2 ya que el componente 3 no posee representatividad. El primer eje esta explicado por el oxígeno y el pH, mientras que el segundo eje esta explicado por la temperatura del agua, la conductividad y la turbidez.



Tabla 17.

*Representatividad de variables físico químicas en cada componente.*

	PC 1	PC 2	PC 3
<b>Oxigeno</b>	<b>0.51066</b>	0.082072	-0.51368
<b>Tamb</b>	0.4055	0.37157	0.59969
<b>Tagua</b>	0.32569	<b>0.53102</b>	0.16922
<b>Conduct</b>	-0.22503	<b>0.57376</b>	-0.50588
<b>pH</b>	<b>-0.52619</b>	0.10449	0.30224
<b>Turbidez</b>	-0.37579	<b>0.48281</b>	0.024547

En la Figura 14 se muestra que tanto la piscina 2 como la 3 poseen características con la temperatura ambiente, temperatura del agua y oxígeno. Con respecto a las temperaturas, son altas debido a que las piscinas se encuentran en una zona mucho más expuesta al sol y lejos del bosque en comparación de las piscinas 4 y 6, además presentan concentraciones de oxígeno altas; además, el pH (ácido), turbidez y conductividad han ido disminuyendo con respecto al tiempo, ya que son las piscinas más antiguas. Por otro lado se encuentran las piscinas 4 y 6, cuyas características se basan en la conductividad, turbidez y pH es por ello que los valores de estos parámetros son mas altos, mientras que la temperatura ambiente, temperatura del agua y oxígenos son menores; debido a que estas dos piscinas además de ser las más actuales se encuentran en una zona rodeada de vegetación (bosque) que crea sombra y por ende las temperaturas disminuyen.

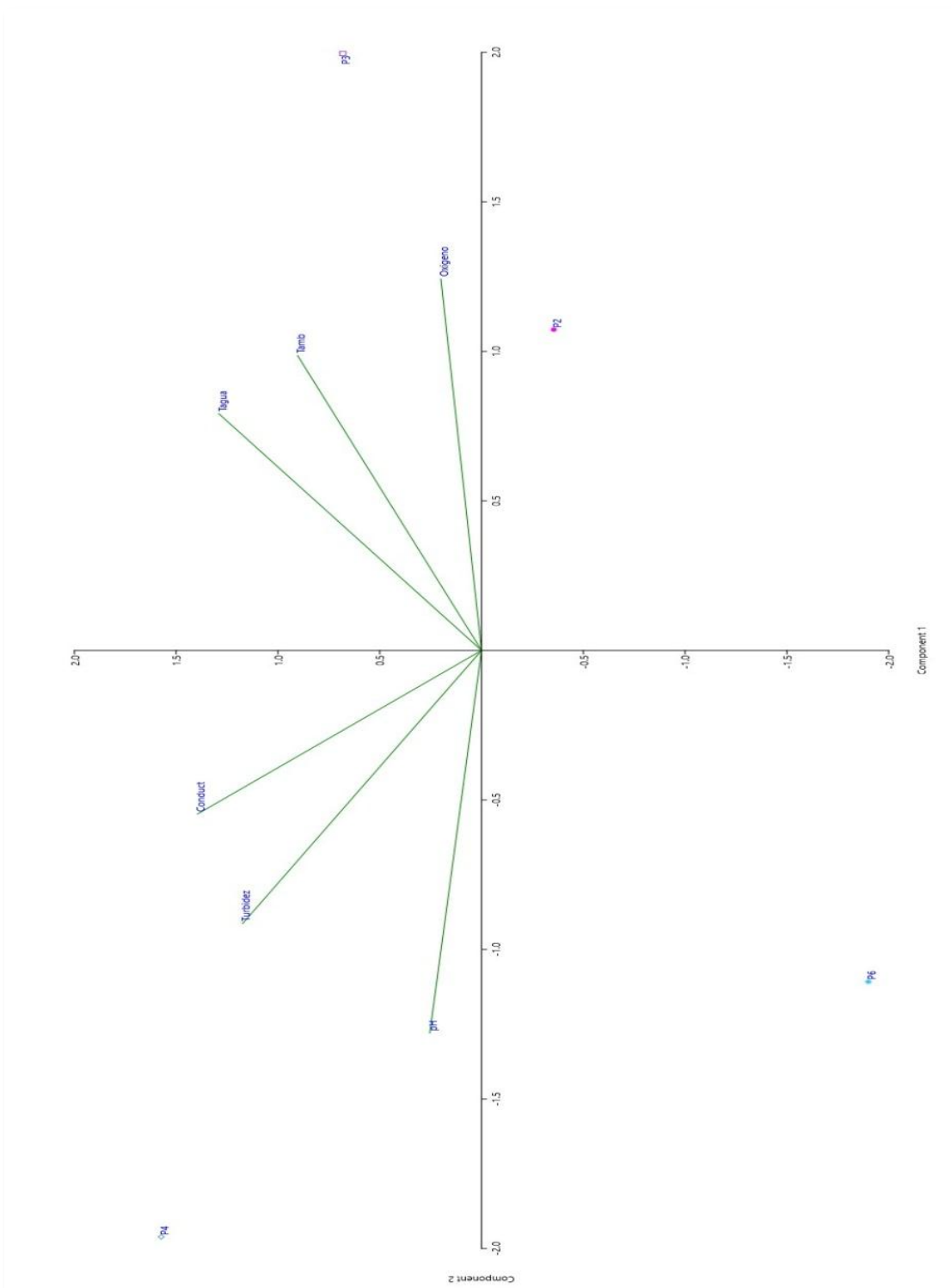


Figura 14. Análisis de Componentes principales (ACP) de parámetros físico químico del agua de las piscinas.

#### 4.6.2 Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) entre abundancia vegetal y parámetros físicos químico del agua de las piscinas relaveras

Los dos primeros ejes (Axis 1 y 2) representan el 83,5% de la varianza total acumulada de los datos que son utilizados para el ACC (Tabla 18).

Tabla 18.

*Análisis de correspondencia canónica, porcentaje de varianza por eje.*

ACC			
Axis	Eigenvalue	%varianza	% varianza acumulado
1	0.54433	48,19	83,5
2	0.39891	35,31	
3	0.18643	16,50	

En la figura 15 se muestra que las piscinas 2 y 3 poseen mayor relación con el oxígeno, la temperatura del agua, temperatura ambiente y conductividad, mismos parámetros que poseen niveles altos. Con respecto a la piscina 2 y 3 poseen grupos de especies diferentes aunque la piscina 3 tenga ciertos valores más altos de conductividad, además las dos poseen pH ácido lo cual determina la presencia de especies tolerables a estas condiciones como lo son: *Cyperus aggregatus*, *Pityrogramma calomelanos*, *Vernonanthua patens*, *Munnozia saggittata*, *Andropogon bicornis*, *Phytolacca thyrsiflora*, *Polypodium cf.loriceum*, *Sobralia atropubescens*, *Sobralia pulcherrima*, *Equisetum giganteum*. Con respecto a la piscina 4, posee valores altos de pH y turbidez, mientras que la piscina 6 contiene valores altos de oxígeno y pH, esto además puede estar relacionada con la riqueza y abundancia de especies vegetales que se encuentran en estas dos piscinas debido a que el pH no es ácido y da paso a que las especies se desarrollen con mayor facilidad. En resumen, cuando existe mayor pH hay mayor número de especies y mientras es más ácido existe menor cantidad de especies vegetales.

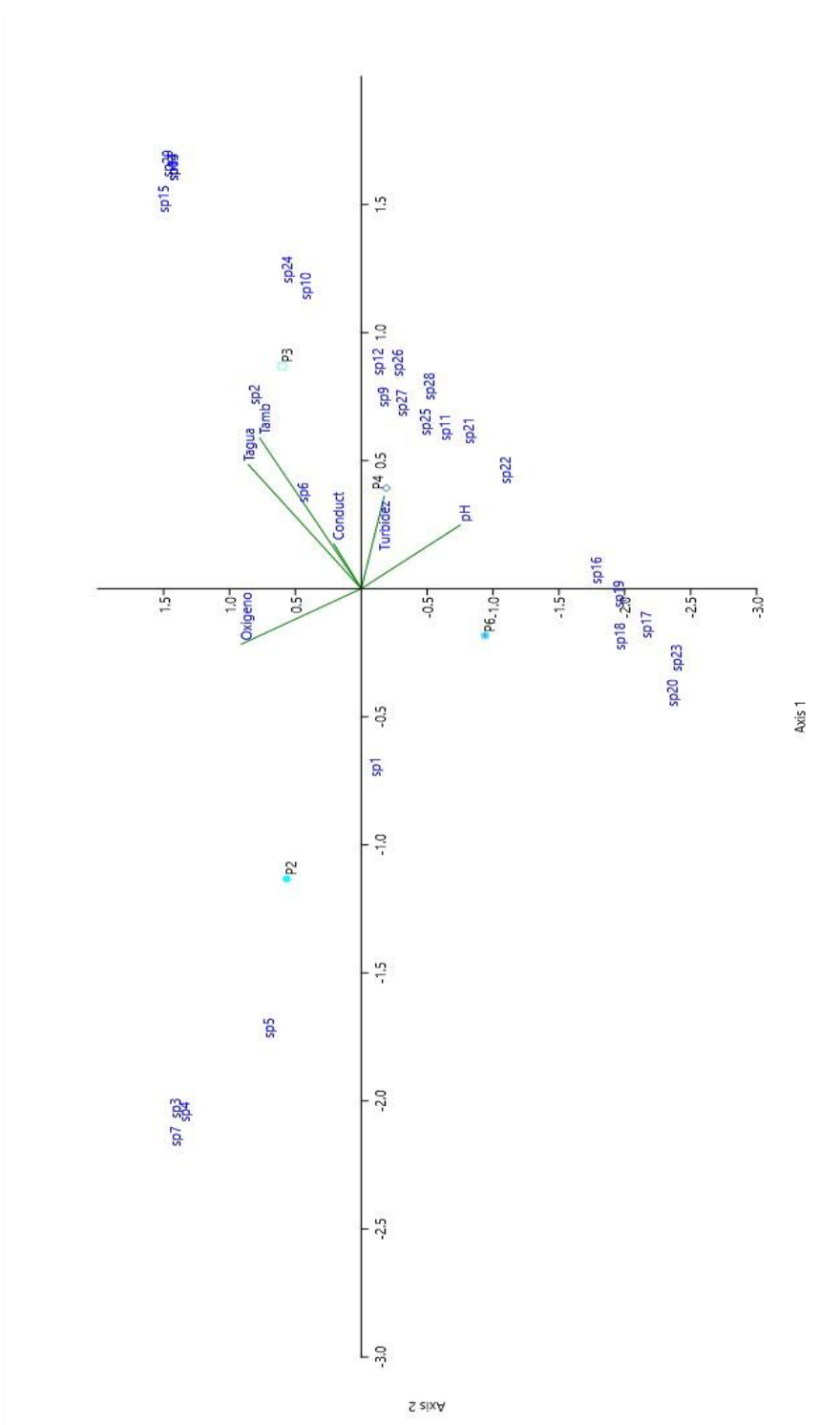


Figura 15. Análisis de Correspondencia Canónica entre parámetros físico químicos del agua y la abundancia vegetal de las piscinas.

#### 4.6.3 Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) entre abundancia vegetal y elementos tóxicos (metales pesados) de los lodos de las piscinas

Los dos primeros ejes (Axis 1 y 2) representan el 83.5% de la varianza total acumulada de los datos que son utilizados para el ACC (Tabla 19), por lo tanto el eje 3 no es tomado en cuenta debido a que no posee representatividad en los datos.

Tabla 19.

*Análisis de correspondencia canónica, porcentaje de varianza por eje.*

ACC			
Axis	Eigenvalue	%	% varianza acumulado
1	0,54452	48,19	83,5
2	0,39899	35,31	
3	0,18645	16,5	

En la figura 16 se muestra que las especies: *Cyperus aggregatus*, *Andropogon bicornis*, *Polypodium* sp.1, *Palhinhaea cernua*, *Epidendrum* sp., *Sobralia atropubescens*, *Sticherus cf.bifidus*, *Meriania* sp. y *Scaphyglotis punctulata* se encuentran en mayor proporción cuando existe mayor concentración de Mercurio (Hg) y Cromo (Cr). Con respecto a las especies: *Polypodium cf.loriceum*, *Polypodium fraxinifolium*, *Pityrogramma cf.tartarea*, *Cecropia* sp., *Leandra granatensis*, *Piper aduncum*, *Epidendrum cochlidium*, *Alsophila* sp. y *Tessaria integrifolia* se encuentran presentes cuando existe mayor cantidad de Arsénico (As) y Cobalto (Co). Por otro lado 4 especies: *Pityrogramma calomelanos*, *Vernonanthua patens*, *Munnozia sagittata* y *Phytolacca thyrsoiflora* se encuentran en mayor cantidad en presencia únicamente de Plomo (Pb), estas especies pertenecen a la piscina 2 y como se muestra en la Tabla 4 existe una mayor concentración de este metal lo cual comprueba este resultado. Además,

únicamente la especie *Equisetum giganteum* se desarrolla más en presencia de Manganeso (Mn). Finalmente las especies que se desarrollan y se encuentran en mayor cantidad cuando existe menor concentración de estos metales pesados son 6: *Typha domingensis*, *Begonia* sp.1, *Mikania cordifolia*, *Sobralia pulcherrima*, *Sauvagesia erecta* y *Leandra granatensis*.

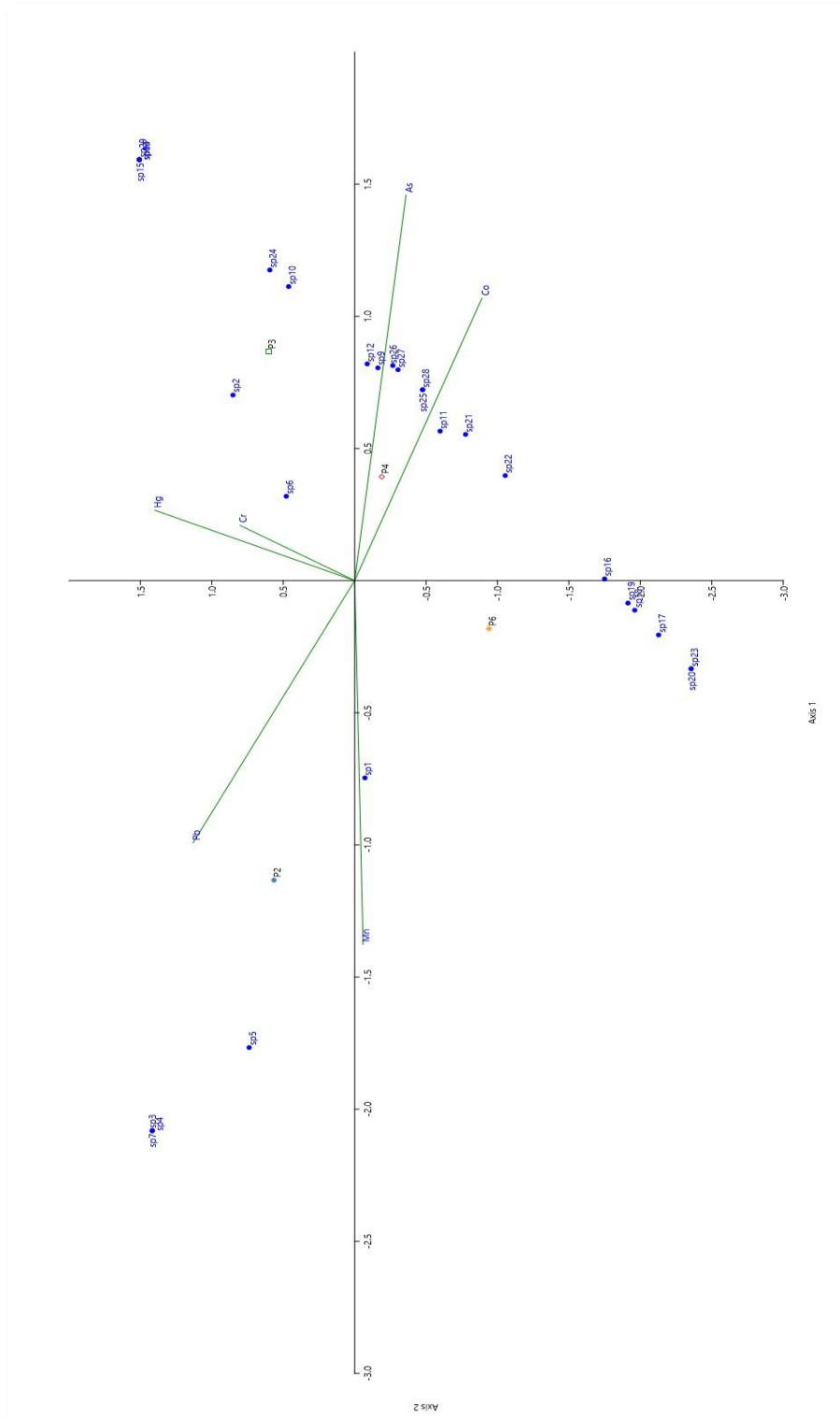


Figura 16. Análisis de Correspondencia Canónica entre metales pesados de lodos y la abundancia vegetal de las piscinas.

#### 4.6.4 Análisis de Similitud (ANOSIM) de la riqueza y composición de las piscinas

En la Tabla 20 se muestra la riqueza en cuanto especies encontradas en cada una de las piscinas, como ya se ha definido anteriormente, se corroboran los datos de que la piscina 4 es la que posee mayor riqueza vegetal y la que posee menor es la 2. Según el Índice de Shannon, la piscina 4 es la más diversa mientras que la menos diversa es nuevamente la piscina 2.

Tabla 20.

*Análisis de riqueza, Índice de Shannon y Simpson mediante PRIMER.*

<b>Piscinas</b>	<b>Riqueza</b>	<b>I. Shannon</b>	<b>I. Simpson</b>
Piscina 2	7	0,6562	0,2754
Piscina 3	15	0,948	0,1583
<b>Piscina 4</b>	18	1,11	0,1014
Piscina 6	16	0,9832	0,1424

	Más diverso
	Menos diverso

Las piscinas que poseen mayor similitud estadística son la 3 y la 4, seguida de la 4 y la 6; mismo que se puede deber a que su composición y abundancia vegetal no posee grandes diferencias. Sin embargo, las piscinas 2 y 3 poseen la similitud más baja en cuanto a valores, a pesar de que sean las más antiguas, y compartan un tiempo similar, no poseen similitudes en cuanto a la vegetación (Tabla 21).



Tabla 21.

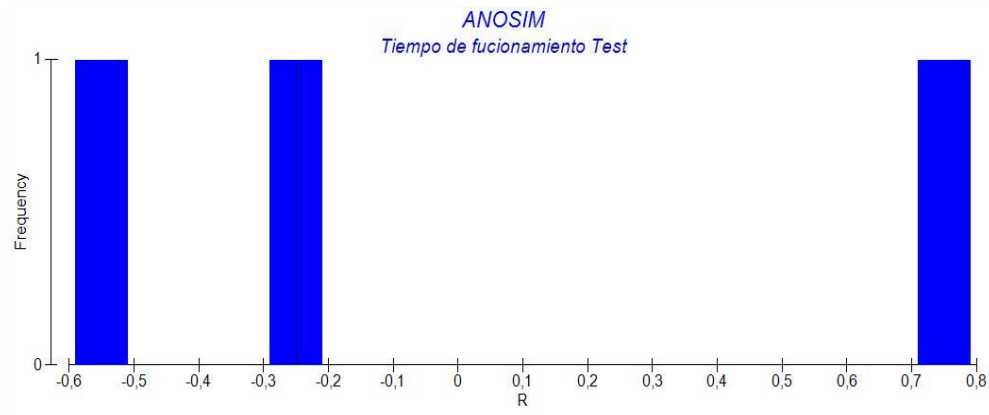
*Análisis de similitud entre piscinas.*

	Piscina 2	Piscina 3	Piscina 4	Piscina 6
Piscina 2				
Piscina 3	18,089			
Piscina 4	30,538	51,843		
Piscina 6	33,207	23,881	48,166	

	Mayor similitud
	Menor similitud

En la figura 17 se muestra que el valor de R al ser negativa indica que la composición no es estadísticamente significativa entre las piscinas, es decir que no existe diferencias fuertes en cuanto a la composición vegetal entre ellas, además significa que la variable tiempo no incide en que exista una composición más variada entre las piscinas, no importa si sean más antiguas o más nuevas, ya que la composición varía muy poco. Es importante recalcar, que algunas especies se encuentran en una sola piscina y no en el resto, por ejemplo: *Pityrogramma calomelanos*, *Vernonanthua patens* y *Phytolacca thyrsoflora* presente únicamente en la piscina 2. Mientras que *Polypodium sp.1*, *Epidendrum sp.*, *Sobralia atropubescens*, *Sticherus cf.bifidus* y *Scaphyglotis punctulata* presentes únicamente en la piscina 3. *Tessaria integrifolia* (piscina 4), *Sauvagesia erecta* y *Columnea sp.* (Piscina 6).

El porcentaje de significancia estadística es de 66.7%, eso quiere decir que son similares y estadísticamente no son significativas.



Global Test  
 Sample statistic (Global R): -0,25  
 Significance level of sample statistic: 66,7%  
 Number of permutations: 3 (All possible permutations)  
 Number of permuted statistics greater than or equal to Global R: 2

*Figura 17.* Análisis de similitud (ANOSIM)

En la figura 18 se muestra un análisis NMDS (Non-metric multidimensional scaling), donde se distribuye las piscinas de acuerdo a la composición vegetal que estas posean, se indica que existe algún tipo de diferencia, estas pequeñas diferencias pueden estar dadas principalmente por las especies colonizadoras, sin embargo la composición general por el ANOSIM determina que no es significativamente variable (son similares), únicamente y de acuerdo al tiempo varían en abundancia de las especies mas no en su composición.

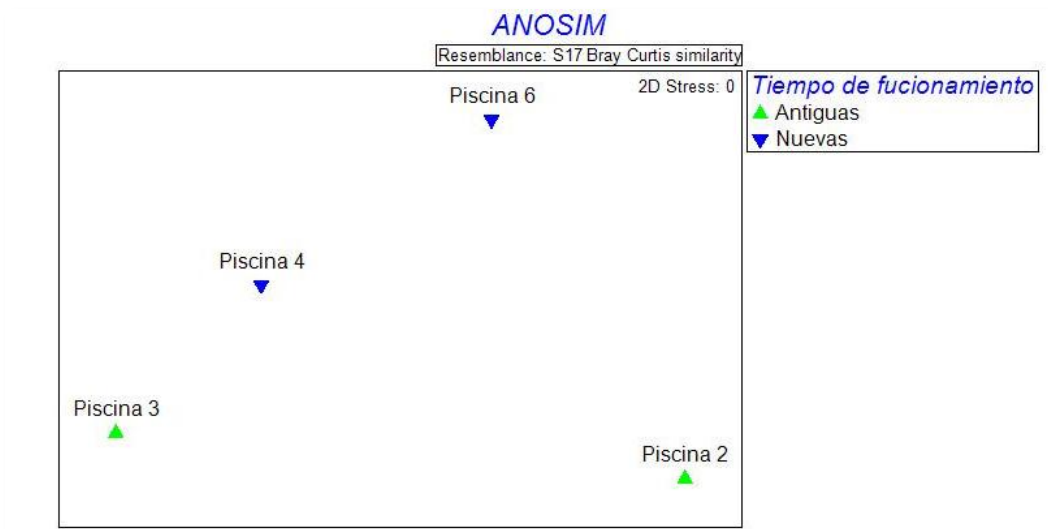


Figura 18. NMDS, distribución de las piscinas de acuerdo a su composición

#### 4.7 Especies con potencial para fitorremediación

La lista de especies se presenta en base a la abundancia relativa y el porcentaje de micorrización (como se indica en las tablas 13, 14, 15 y 16), frente a la revisión bibliográfica. En la Tabla 22 se encuentra detalladas las especies con potencial para fitorremediación.

Tabla 22.

*Lista tentativa de especies con potencial fitorremediadora.*

Clase	División	Nombre Científico			Nombre Común
		Familia	Género	Especie	
Liliopsida	Magnoliophyta	Typhaceae	<i>Typha</i>	<i>dominguensis</i>	Totora
Equisetopsida	Equisetophyta	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>giganteum</i>	Caballo Chupa

Pteridopsida	Pteridophyta	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>calomelanos</i>	Seserona pan (Helecho)
Liliopsida	Magnoliophyta	Poaceae	<i>Andropogon</i>	<i>bicornis</i>	Cola de zorra
Polypodiopsida	Pteridophyta	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	sp. <i>fraxinifolium</i> <i>c.loriceum</i>	Helecho milpiés
Magnoliopsida	Magnoliophyta	Asteraceae	<i>Tessaria</i>	<i>integrifolia</i>	Palo Bobo / Aliso del río
Magnoliopsida	Magnoliophyta	Urticaceae	<i>Cecropia</i>	sp.	Guarumo
Lycopodiopsida	Lycopodiophyta	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea</i>	<i>cernua</i>	/
Magnoliopsida	Magnoliophyta	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca</i>	<i>thyriflora</i>	Ombús/ Mazorquilla

De las 29 especies encontradas e identificadas, se consideran 9 de estas con la potencialidad para ser utilizadas en el campo de fitorremediación debido al potencial que poseen para soportar contaminantes incluyendo metales pesados.

Totora (*Typha dominguensis*) perteneciente a la familia Typhaceae misma que ha tenido gran acogida en cuanto a investigaciones sobre su potencial fitorremediador, estudios como el de (Cristaldi et al., 2017), (Silva, 2014) y (Salgado et al., 2010), que señalan que esta especie es hiperacumuladora de elementos y que además de producir gran cantidad de biomasa ésta se desarrolla en medios contaminados y presenta una gran capacidad de extenderse con facilidad; lo que concuerda con los resultados de esta investigación, debido a la amplia cobertura vegetal de la especie en las piscinas de estudio. En el estudio

realizado por Silva en el año 2001, se demostró que esta especie no presenta asociaciones.

Caballo Chupa (*Equisetum giganteum*) perteneciente a la familia Equisetaceae que como se mencionó con anterioridad también posee una gran cobertura dentro de las piscinas relaveras y su desarrollo ha ido aumentando, a pesar de estos resultados no existen numerosas investigaciones acerca de su uso como especie fitorremediadora, el estudio realizado por (Leguizamo et al., 2017) asegura que estas especies son utilizadas para fitorremediar zonas contaminadas y al ser nativas de una zona tienen un especial comportamiento hacia los metales pesados, con respecto a su colonización micorrízica es muy buena ya que el porcentaje encontrado se encuentra en un rango del 18-44%, además cabe mencionar que esta especie se encuentra en todas las piscinas por ende posee capacidad para propagarse con rapidez y ser invasiva a la vez, con el estudio realizado por (Velázquez et al., 2010) se afirma que esta especie posee un alto porcentaje de micorrización siendo el porcentaje mínimo de presencia fúngica del 70%, lo cual aporta a que esta especie tenga mayor resistencia, y acumule contaminantes en sus raíces.

Seseronapan o helecho (*Pityrogramma calomelanos*) perteneciente a la familia Pteridaceae, misma que posee capacidad para remediar zonas contaminadas especialmente por Plomo, Zinc, Arsénico y Cadmio, posee un alto potencial de absorción, translocación y acumulación del contaminante, esto ha sido comprobado mediante investigaciones realizadas por (Yongpisanphop, Babel, Kruatrachue y Pokethitiyook, 2017), (Campos, 2014) y (Anh, Ha, Danh, Van Minh y Kim, 2017), además estos autores determinan que es una especie hiperacumuladora y que son ideales para desarrollarse y crecer en suelos mineros; por el contrario los estudios de colonización micorrízica en esta especie son escasos y no existen referencias bibliográficas acerca del tema, únicamente estudios que determinan que la familia a la que pertenece esta especie poseen

porcentajes moderados a bajos de asociaciones micorrízicas (Lara et al., 2017). En el presente estudio se encontró un 28,48% de presencia fúngica.

Cola de zorra (*Andropogon bicornis*) perteneciente a la familia Poaceae, que de acuerdo a estudios realizados por Londe y Silva (2014) es una especie que se adapta y crece fácilmente en suelos con pocos nutrientes, ácidos y con presencia de contaminación, estudios como el de (Jacobi et al., 2007) en donde demuestran que esta especie resiste grandes cantidades de hierro. A pesar de que la especie no sea abundante, hay que destacar que se encuentra en todas las piscinas. La investigación realizada por Ferrer (1985) la especie poseía poca presencia de micorrización, resultado que difiere con el obtenido en el presente estudio debido a que el porcentaje de colonización no sobrepasaba del 5%.

*Polypodium cf. loricum* y *Polypodium fraxinifolium* especies pertenecientes a la familia Polypodiaceae o también conocidas como helecho mil pies, se presentan en 3 de las 4 piscinas relaveras con un porcentaje de cobertura que va de 3-5% y 2-5% respectivamente; no existen investigaciones o datos de que hayan sido utilizadas para fitorremediar pero según (Jacobi et al., 2007) son especies que muestran adaptaciones morfológicas y fisiológicas ante limitaciones ambientales. Al contrario, con el porcentaje de colonización micorrízica fueron de las especies que presentaron una alta presencia de micorrizas, lo cual le confiere la capacidad de tolerar condiciones ambientales adversas, contaminados y con presencia de metales pesados; investigaciones realizadas por Lara (2017) muestran que esta familia presenta micorrización y que la mayoría de sus especies daban positivo en cuanto a la colonización por HMA, con un porcentaje de 17.1%, lo cual indica que las plantas analizadas de esta familia en este estudio poseen una mayor ventaja en cuanto a su desarrollo y crecimiento dentro de las piscinas.

Palo Bobo o Aliso del río (*Tessaria integrifolia*) perteneciente a la familia Asteraceae, no hay estudios específicos sobre la especie, si embargo se infiere

que es una especie que posee potencial y por ende se encuentra en las presentes de acuerdo a lo mencionado por Bárcenas en el año 2012 en Ecuador donde se señala que se desarrollan en suelo contaminado por hidrocarburos. Por el contrario, hay estudios que muestran que las especies que provienen de esta familia presentan micorrizas en diferentes grados de colonización tal y como lo menciona (Becerra et al., 2007), a pesar de que no presente una colonización significativa, es considerada una especie con grandes potenciales de remediar áreas contaminadas, formando parte de humedales naturales cuyos fines pueden ser destinados hacia otros caminos especialmente ambientales.

Guarumo (*Cecropia* sp.) perteneciente a la familia Urticaceae, que de acuerdo a datos y estudios realizados por Vidal y Jaramillo (2009) el guarumo es una especie que acumula Mercurio (Hg) en sus tejidos, siendo la raíz la parte de la planta que presenta mayor concentración, seguida de las hojas y finalmente tallos. La capacidad de acumulación en las raíces está relacionada con el grado de contaminación de los suelos, misma que va incrementando paralelamente al crecimiento del guarumo. El guarumo tiene la capacidad de desarrollarse en suelos erosionados, ácidos, con bajos niveles de materia orgánica y con concentraciones de mercurio alrededor de 30000 ng HgT /g, o el 15% de Hg biodisponible, sin presentar efectos tóxicos adversos, además adquiere una gran biomasa en un periodo corto de tiempo lo cual le permite acumular metales pesados en la rizósfera y remediar suelos contaminados, con respecto a este estudio esta especie no es una de las más predominantes en cuanto a cobertura sin embargo es considerada hiperacumuladora, lo cual le confiere un gran potencial para remediar y acumular contaminantes en su estructura. Respecto a su porcentaje de micorrización de igual manera presentó niveles bajos, lo cual difiere del estudio realizado por (Becerra et al., 2007) debido a que los resultados obtenidos en el mismo arrojaron que esta especie presenta micorrizas entre un 26 y 50% en sus raíces.

*Palhinhaea cernua* perteneciente a la familia Lycopodiaceae, debido a que representó una cobertura vegetal que varía en un rango de (%) en 2 de las 4 piscinas y en una de ellas se encontraba en menor cantidad, con respecto a la micorrización la especie poseía porcentajes altos en los individuos de la piscina 6, la información obtenida se puede corroborar mediante el estudio realizado por Andreola en el año 2015, donde demostraban que la especie presentaba resistencia a las condiciones inhóspitas del medio, siendo caracterizadas como pioneras, de esta manera la especie puede ser considerada como una alternativa para la revegetación de áreas afectadas; con respecto a la micorrización no existen estudios específicos de la especie, pero si uno realizado en la familia de la planta por (Muthukumar et al., 2014) en donde la mayoría tenía asociaciones con hongos micorrízicos.

*Phytolacca thyrsoiflora* perteneciente a la familia Phytolaccaceae o también conocida como Mazorquilla, esta especie a pesar de no encontrarse en todas las piscinas relaveras, predominó en la piscina 2 debido a la abundante presencia de micorrizas arbusculares, fueron las únicas en las que se podía diferenciar totalmente el tipo de micorriza (ANEXO 1), lo que confiere la capacidad de tolerar este tipo de medio en el cual se desarrolla con total normalidad, siendo una especie a considerar ya que no existen suficientes investigaciones o datos, por ende esta podría ser la base de posteriores estudios sobre esta.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

La piscina 6 presentó mayor número de especies raras (solo 1 individuo) y estas fueron: *Sauvagesia erecta*, *Cecropia* sp., *Leandra granatensis* y *Meriania* sp.

La piscina 2 presentó 3 especies que no están presentes en las otras (*Pityrogramma calomelanos*, *Vernonanthua patens* y *Phytolacca thyrsiflora*), la piscina 3 presentó 5 especies raras (*Polypodium* sp.1, *Epidendrum* sp., *Sobralia atropubescens*, *Sticherus cf.bifidus* y *Scaphyglotis punctulata*), con respecto a la piscina 4 presentó 2 especies únicas y estas fueron: *Piper aduncum* y *Tessaria integrifolia*. Finalmente la piscina 6 presentó 2 especies raras: *Sauvagesia erecta* y *Columnea* sp.

Las especies *Equisetum giganteum* y *Andropogon bicornis* han sido especies utilizadas en otros estudios lo cual corrobora a este, debido a que se encontró alta abundancia de estas plantas, las cuales deberían utilizarse para fitorremediación.

En base a los análisis estadísticos se puede concluir que no existe una diferencia significativa o variabilidad con respecto a la composición vegetal entre las comunidades de las 4 piscinas, sino por el contrario estas son similares debido a que existe un número bajo de especies que hacen que difieran una piscina de la otra. Otro aspecto que se pudo determinar es que las especies responden diferente ante la presencia de diferentes concentraciones de metales pesados (principalmente Hg, Co, Cr, Pb, As y Mn) unas responden positivamente a concentraciones altas de los metales como por ejemplo: *Polypodium fraxinifolium*, *Pityrogramma cf.tartarea*, mientras que otras toleran concentraciones mucho más bajas como: *Typha domingensis*, *Begonia* sp.1.

Las variables físico químicas que influyeron en la composición vegetal de las piscinas fueron: pH, turbidez, conductividad y temperatura. A esto se puede inferir que exista esa variación en cuanto a la composición y abundancia vegetal de todas las piscinas. Es decir que a pH más ácidos menor número de especies y a pH más altos mayor número de especies se desarrollarán.

El tiempo influye moderadamente en la riqueza y composición vegetal de las piscinas, solo se puede ver una variación relevante a nivel de abundancia.

Como se pudo evidenciar en el estudio, se llegó a determinar que de las 29 especies vegetales encontradas durante la investigación, 27 presentaron asociaciones con micorrizas. Únicamente las especies *Tessaria integrifolia* y *Meriania* sp. no las presentaron. Las especies con mayor porcentaje de micorrización fueron: *Phytolacca thyrsoiflora* (45.74%), *Polypodium fraxinifolium* (33.66 - 52.18%), *Polypodium cf. loriceum* (40 - 70.82%), *Equisetum giganteum* (5.72 - 44.22%). Las especies que se encontraban en mayor abundancia no son las que necesariamente poseían mayor porcentaje de colonización y frecuencia micorrízica.

Haciendo alusión a la determinación de las especies que poseen potencial para fitorremediación, se obtuvieron 9 especies vegetales de las 29 identificadas en total siendo estas las que toleran los contaminantes presentes en las piscinas de la minera, que mediante revisión bibliográfica se afirmó que las especies han sido utilizadas como principales elementos para la fitorremediación de zonas iguales o similares; las especies son: *Typha dominguensis*, *Equisetum giganteum*, *Pityrogramma calomelanos*, *Andropogon bicornis*, *Polypodium* sp. (*fraxinifolium* y *c. loriceum*), *Tessaria integrifolia*, *Cecropia* sp., *Palhinhaea cernua*, *Phytolacca thyrsoiflora*, las cuales son además consideradas como hiperacumuladoras de contaminantes, especialmente de metales pesados. Paralelamente, según los resultados estadísticos se determinó que las especies que son las que poseen

mayor potencial son aquellas que se desarrollan en las piscinas 2 y 3 debido a que soportan características y condiciones mucho más extremas en relación a las piscinas 4 y 6.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda que se efectúen investigaciones más específicas en cuanto a la colonización de las micorrizas de las plantas, debido a que es un componente importante para que las especies toleren ciertas concentraciones de metales pesados, proporcionándoles además un gran potencial para poder ser utilizados en el ámbito ambiental como lo es la fitorremediación.

Se recomienda que exista una ampliación de la investigación, principalmente en los tipos de mecanismos de fitorremediación que aplican las especies vegetales de la zona de estudio, adicionalmente, se recomienda que se realicen estudios basados en la acumulación de los metales pesados dentro de las estructuras fisiológicas de la planta, principalmente en las partes aéreas de la misma, con el objetivo de verificar si existe o no la probabilidad de que la contaminación se transfiera a las cadenas tróficas, con ello se podrá generar un plan de cierre de la mina aplicando buenas prácticas ambientales para que al momento de que el proyecto termine con su fase operativa y productiva no se presenten inconvenientes y que además tengan un bajo o nulo impacto dentro de la zona y los componentes ambientales que podrían ser afectados.

Con la finalidad de obtener mejores resultados para el plan de cierre de la mina y la remediación de las piscinas relaveras, además de establecer mayores estudios sobre las comunidades vegetales que crecen naturalmente dentro de las piscinas, se recomienda aislar las plantas aptas para este objetivo, y hacer que crezcan dentro un invernadero con las condiciones naturales en las que crecieron (en suelo contaminado) para que cuando llegue el término final de la mina se utilice

con mayor facilidad las plantas y así el trabajo se realizará más rápido, eficaz y con mejores resultados.

Se recomienda realizar análisis de los lodos de todas las piscinas relaveras y determinar la concentración de los metales pesados, de esta manera se podrán tener datos históricos que ayuden a que otros estudios se puedan realizar sin tener tantos vacíos.

## REFERENCIAS

- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals- concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.
- Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres.
- Akinbiola, S., Awotoye, O., Adepoju, K., & Salami, A. (2016). Floristic indicators of tropical landuse systems: Evidence from mining areas in Southwestern Nigeria. *Global Ecology and Conservation*, 7, 141-147.
- Amela, E. (2011). *Micorrizas*. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de <http://edugranbonsai.blogspot.com/2011/03/micorrizas.html>
- Andrade-Torres, A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. *Ciencia* 61 (4): 84, 90.
- Andrango, C., Cueva, M., Viera, W., & Duchicela, J. (2016). Evaluation of methods to estimate mycorrhizal inoculums potential in field soils.
- Andreola, A. (2015). *Relação entre a presença de samambaias e licófitas e o teor de elementos-traço em áreas degradadas pela mineração de carvão em Santa Catarina, sul do Brasil*. Recuperado el 30 de octubre de 2017 de [http://www.cav.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/839/tese\\_versao\\_final\\_ariane\\_andreola.pdf](http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/839/tese_versao_final_ariane_andreola.pdf)
- Anh, B. T. K., Ha, N. T. H., Danh, L. T., Van Minh, V., & Kim, D. D. (2017). Phytoremediation Applications for Metal-Contaminated Soils Using Terrestrial Plants in Vietnam. In *Phytoremediation* (pp. 157-181). Springer International Publishing.
- Banco Central del Ecuador. (2015). *Campo Minero*. Recuperado el 01 de octubre de 2017 de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Banco Central del Ecuador. (2017). *La Minería ecuatoriana*. Recuperada el 06 de octubre de 2017 de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Banco Central del Ecuador. (2017). *Reporte de minería*. Recuperado el 06 de octubre de 2017 de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero012017.pdf>
- Bárcenas Calero, M. J. (2012). *Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación en cuatro especies vegetales nativas procedentes del sector Baeza-El Chaco, Ecuador* (Bachelor's thesis).

- Barreno J., & Silva (2002). Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.
- Becerra, A., Cabello, M., & Chiarini, F. (2007). Arbuscular mycorrhizal colonization of vascular plants from the Yungas forests, Argentina. *Annals of forest science*, 64(7), 765-772.
- Bowles, J. M. 2004. *Guide to plant collection and identification. Herbarium workshop in plant collection and identification*. University of Western Ontario. Recuperado el 03 de octubre de 2017 de <http://www.uwo.ca/biology/facilities/herbarium/collectingguide.pdf>
- CANNA. (2017). *La importancia de la acidez del pH para tus plantas*. Recuperado el 20 de octubre de 2017 de [http://www.canna.es/importancia\\_acidez\\_del\\_ph\\_para\\_tus\\_plantas](http://www.canna.es/importancia_acidez_del_ph_para_tus_plantas)
- Camargo-Ricalde, S. L., Montaña, N. M., Rosa-Mera, C. J. D. L., & Montaña Arias, S. A. (2012). Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria UNAM.MX*.
- Campos, N. V. (2014). Arsenic hyperaccumulation in *Pityrogramma calomelanos* (L.) Link (Pteridaceae): morphophysiological mechanisms of tolerance.
- Carpena, R. O., & Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Revista Ecosistemas*, 16(2).
- Carvacho Aránguiz, C. A. (2012). *Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile*.
- Castro, G., & Valdés, J. (2012). Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23° S, norte de Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 40(2), 267-281.
- Churqui, M. P., Lind, L., Thörn, K., Svensson, A., Savolainen, O., Aranda, K. T., & Eriksson, K. (2018). Extracts of *Equisetum giganteum* L and *Copaifera reticulata* Ducke show strong antiviral activity against the sexually transmitted pathogen herpes simplex virus type 2. *Journal of Ethnopharmacology*, 210, 192-197.
- Coninx, L., Martinova, V., & Rineau, F. (2017). Chapter Four-Mycorrhiza-Assisted Phytoremediation. *Advances in Botanical Research*, 83, 127-188.
- Cordeiro, A. C. (2001). *Raíz*. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de [http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/raiz\\_texto.htm](http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/raiz_texto.htm)
- Cristaldi, A., Conti, G. O., Jho, E. H., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., & Ferrante, M. (2017). Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*.
- Croft, J. (1999). *A guide to collecting herbarium specimens of ferns and their allies*. Australian National Herbarium, Centre for Plant Biodiversity Research, Canberra. Recuperado el 03 de octubre de 2017 de <http://www.anbg.gov.au/fern/collecting.htm>

- Dayoub Pseli, G. (2014). Proceso de agregación de valor al producto final desde la mina subterránea del Teniente.
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- Derkowska, E., Paszt, L. S., Dyki, B., & Sumorok, B. (2015). Assessment of Mycorrhizal Frequency in the Roots of Fruit Plants Using Different Dyes. *Advances in Microbiology*, 5(01), 54.
- Duque Sarango, A. (2016). *Evaluación de la degradación de arsénico con cepas bacterianas aisladas de relaves mineros, en el Cantón Ponce Enríquez* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Enríquez A. (2014). Diseño de explotación de la mina El Corazón. Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.
- Fernández, L. G., Fernández-Pascual, M., Mañero, F. J. G., & García, J. A. L. (2015). Phytoremediation of contaminated waters to improve water quality. *Springer International Publishing*, 11-26.
- Ferrer, R. L., & Herrera, R. A. (1985). Especies micorrízicas cubanas. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 75-82.
- Fischer, C., & Colinas, C. (1996). Methodology for certification of *Quercus ilex* seedlings inoculated with *Tuber melanosporum* for commercial application. *In First International Conference on Mycorrhiza*.
- Gobran, G. R., & Huang, P. M. (Eds.). (2011). Biogeochemistry of trace elements in the rhizosphere. *Elsevier*.
- Gonzalez, A. M. & Raisman, J. (2013). *Reino Fungi: Micorrizas*. Recuperado el 10 de octubre de 2017 de <http://www.biologia.edu.ar/fungi/micorrizas.htm>
- González, L. B., Sevilla, J. R., & Mesquita-Joanes, F. (2014). Estudio preliminar sobre la biodiversidad y ecología de la fauna intersticial en dos ríos mediterráneos: el Turia y el Palancia (Valencia, España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección biológica*, 108(1), 125-135.
- Guaña, P.B. (2015). *Identificación de especies arbóreas y arbustivas para la propuesta de un plan de manejo en zonas de alta vulnerabilidad física y ambiental en el sector San Pablo de la parroquia El Tingo-La Esperanza, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi en el periodo 2015 (transecto 5)* (Bachelor's thesis, LATACUNGA/UTC/2015).
- Guevara, A., De la Torre, E., Villegas, A., & Criollo, E. (2008). Uso de la rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuración que contienen cromo, cobre y cadmio. In Iberomet, X congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales. Cartagena de Indias, Colombia (pp. 740-741).
- Gupta, D. K., Huang, H. G., & Corpas, F. J. (2013). Lead tolerance in plants: strategies for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(4), 2150-2161.

- Hammer, O., Harper, D., & Ryan, P. (2001). Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9-18.
- Harris-Valle, C., Mora-Guzmán, E., Sánchez-Arias, M. D. C., & Palafox-Rodríguez, M. (2016). CARACTERIZACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES ASOCIADOS A *Cyathea* spp. EN LA SIERRA NORORIENTAL POBLANA SIGUIENDO UN GRADIENTE ALTITUDINAL EN PRIMAVERA Y VERANO. *Interciencia*, 41(10).
- Hernández, F. (2017). *La Conductividad Eléctrica del Agua de Riego*. Recuperado el 07 de octubre de 2017 de <http://universidadagricola.com/la-conductividad-electrica-del-agua-de-riego/>
- Husby, C. E., Delatorre-Herrera, J., Oberbauer, S. F., Grau, A., & Novara, L. (2014). Stomatal conductance patterns of *Equisetum giganteum* stems in response to environmental factors in South America. *Botany*, 92(10), 701-712.
- INREDH. (2010). *La Minería*. Recuperado el 17 de octubre de 2017 de <https://www.inredh.org/>
- Jacobi, C. M., Do Carmo, F. F., Vincent, R. C., & Stehmann, J. R. (2007). Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 16(7), 2185-2200.
- Jaramillo, I. R. (2011). La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *Contactos*, 81, 17-23.
- Kossoff, D., Dubbin, W. E., Alfredsson, M., Edwards, S. J., Macklin, M. G., & Hudson-Edwards, K. A. (2014). Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*, 51, 229-245.
- Lara-Pérez, L. A., Zulueta-Rodríguez, R., & Andrade-Torres, A. (2017). Micorriza arbuscular, Mucoromycotina y hongos septados oscuros en helechos y licofitas con distribución en México: una revisión global. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 1062-1082.
- Lara-Pérez, L. A., Noa-Carranza, J. C., Landa López, Á. D. J., Hernández-González, S., Oros-Ortega, I., & Andrade Torres, A. (2014). Colonización y estructura de la comunidad de hongos micorrízicos arbusculares en *Alsophila firma* (Cyatheaceae) en bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(4).
- Leguizamo, M. A. O., Gómez, W. D. F., & Sarmiento, M. C. G. (2017). Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands—A review. *Chemosphere*, 168, 1230-1247.
- Leyval, C., Joner, E., Del Val, C., & Haselwandter, K. (2001). Potencial de micorrizas arbusculares para biorremediación. *Mycorrhiza*, 7(2): 308-317.
- Lillo, J. (2011). *Impactos de la minería en el medio natural*. Grupo de Geología Universidad Rey Juan Carlos.



- Londe, V., & Silva, J. C. D. (2014). Characterization of Poaceae (grass) species as indicators of the level of degradation in a stretch of riparian forest in Matutina, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 28(1), 102-108.
- Lowenfels, J. (2017). Teaming with Fungi: The Organic Grower's Guide to Mycorrhizae. *Timber Press*.
- Martín-Amor, A. (2011). *Efectos de la inoculación del hongo de micorrización Tuber melanosporum y la rizobacteria Pseudomonas fluorescens en la calidad de Pinus halepensis*. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.
- Martínez, A. (2016). *Pon un hongo en tu vida*. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de <https://orquimaniaco.wordpress.com/tag/micorriza/>
- Marrugo-Negrete, J., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J., & Díez, S. (2016). Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site. *Science of the total environment*, 542, 809-816.
- Mendoza, Z. A. (2013). *Guía de métodos para medir la biodiversidad*. Recuperado el 20 de octubre de 2017 de <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medicic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf>
- Ministerio de Minería. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero*. Recuperado el 01 de octubre de 2017 de <http://www.mineria.gob.ec/plan-nacional-de-desarrollo-del-sector-minero/>
- Ministerio de Minería. (2017). *Proyecto Mirador*. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de <http://www.mineria.gob.ec/4054-2/>
- Ministerio de Minería. (2017). Proyecto Fruta del Norte. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de <http://www.mineria.gob.ec/fruta-del-norte-un-proyecto-minero-que-avanza-a-buen-ritmo/>
- Ministerio de Minería. (2017). Proyecto Loma Larga. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de <http://www.mineria.gob.ec/proyecto-loma-larga/>
- Ministerio de Minería. (2017). Proyecto San Carlos Panantza. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de <http://www.mineria.gob.ec/proyecto-san-carlos-panantza/>
- Ministerio de Minería. (2017). Proyecto Río Blanco. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de <http://www.mineria.gob.ec/proyecto-rio-blanco/>
- Ministerio de Minería. (2016). Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero. Recuperado el 15 de noviembre de 2017 de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu166602anx.pdf>
- Monroy Ata, A. & Garcia Sanchez, R. (2009). *Plantas y hongos*. Universidad de Extremadura. Recuperado el 05 de octubre de 2017 de [http://www.plantasyhongos.es/hongos/Ascomycota\\_conidios.htm](http://www.plantasyhongos.es/hongos/Ascomycota_conidios.htm)

- Monterroso, C., Rodríguez, F., Chaves, R., Diez, J., Becerra-Castro, C., Kidd, P. S., & Macías, F. (2014). Heavy metal distribution in mine-soils and plants growing in a Pb/Zn-mining area in NW Spain. *Applied Geochemistry*, 44, 3-11.
- Morales, R., Bernal, G., Alcocer, I., & Maldonado, L. (2008). Estudio del comportamiento de las asociaciones micorrizicas en el material germoplastico de Palma aceitera en Ecuador. *XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo EVALUACION*, 9.
- Moran, R. (2001). Aproximaciones al costo económico de impactos ambientales en la minería. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 17(1).
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal* (p. 92). Santa Cruz, Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOS).
- Mufarrege, M. M., Hadad, H. R., Di Luca, G. A., & Maine, M. A. (2015). The ability of *Typha domingensis* to accumulate and tolerate high concentrations of Cr, Ni, and Zn. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 286-292.
- Mufarrege, M. M., Hadad, H. R., Di Luca, G. A., & Maine, M. A. (2014). Metal dynamics and tolerance of *Typha domingensis* exposed to high concentrations of Cr, Ni and Zn. *Ecotoxicology and environmental safety*, 105, 90-96.
- Muñoz-Márquez, E., Macías-López, C., Franco-Ramírez, A., Sánchez-Chávez, E., Jiménez-Castro, J., & González-García, J. (2009). Identificación y colonización natural de hongos micorrizicos arbusculares en nogal. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 355-361.
- Muthukumar, T., Sathiyaraj, G., Priyadharsini, P., Uma, E., & Sathiyadash, K. (2014). Arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte fungal associations in ferns and lycophytes of Palni Hills, Western Ghats, southern India. *Brazilian Journal of Botany*, 37(4), 561-581.
- Orchard Gremler, C. (2009). Phytostabilization of massive mine wastes with native phytogenetic resources: potential for sustainable use and conservation of the native flora in north-central Chile.
- Peng, K., Luo, C., Lou, L., Li, X., & Shen, Z. (2008). Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. and their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. *Science of the total environment*, 392(1), 22-29.
- Peña-Carpio, E., & Menéndez-Aguado, J. M. (2016). Environmental study of gold mining tailings in the Ponce Enriquez mining area (Ecuador). *Dyna*, 83(195), 237-245.
- Polo Soria, G. A., & Saritama Celi, H. W. (2017). *Análisis social y económico del proyecto de minería a gran escala en el Ecuador hacia los habitantes de la provincia de Zamora Chinchipe, parroquia de Tundayme, barrio San Marcos: caso proyecto mirador, 2015-2016* (Bachelor's thesis, Quito: UCE.).


- Prasad, M. N. V. (2013). Metallothioneins, Metal Binding Complexes and Metal Sequestration. *Heavy Metal Stress in Plants: From Biomolecules to Ecosystems*, p. 61.
- Rodríguez-Vázquez, R., Sánchez, S., Mena-Espino, X., & Amezcua-Allieri, M. A. (2016). Identification of the medicinal plant species with the potential for remediation of hydrocarbons contaminated soils. *Acta physiologiae plantarum*, 38(1), 23.
- Rojas, J. A. (2014). *Fitoextracción*. Recuperado el 15 de noviembre de 2017 de [https://prezi.com/a\\_o2abqfjkmq/fitoextraccion/](https://prezi.com/a_o2abqfjkmq/fitoextraccion/)
- Sánchez, E., & Gallejo, J. (2014). *MYCO-UAL: Micorrizas*. Recuperado el 05 de octubre de <https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/micorr.htm>
- Sánchez-González, A., & González, L. M. (2012). *Técnicas de recolecta de plantas y herborización*. Recuperado el 29 de septiembre de 2017 de <http://es.scribd.com/doc/7996149/12-Tecnicas-de-recolectade-plantas-y-herborizacion> Accesado.
- Sieverding, E. (1983). Manual de metodos para la investigación de la Micorriza Vesiculo - Arbuscular en el laboratorio, (I), 121.
- Silva, G. A. D., Santos, B. A. D., Alves, M. V., & Maia, L. C. (2001). Arbuscular mycorrhiza in species of Commelinidae (Liliopsida) in the state of Pernambuco (Brazil). *Acta Botanica Brasilica*, 15(2), 155-165.
- Souza, T. (2015). Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Springer*.
- Stirling, G. R. (2014). *Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture*. CABI.
- Tapia Goné, J. (2003). *Identificación de hongos micorrízicos arbusculares asilados de suelos salinos y su eficiencia en plantas de lechuga (Lactuca, sativa L.)*. Recuperado el 04 de octubre de 2017 de [http://www.ucol.mx/interpretextos/pdfs/909\\_inpret1009.pdf](http://www.ucol.mx/interpretextos/pdfs/909_inpret1009.pdf)
- Valencia, C., & Zúñiga, D. (2015). Análisis de la presencia natural de micorrizas en cultivos de algodón (*Gossypium barbadense* L.) inoculados con *Bacillus megaterium* y/o *Bradyrhizobium yuanmingense*. *Ecología Aplicada*, 14(1), 65-69.
- Velásquez, F. A. G., Osorio, C. E. Ú., & Molano, A. E. F. (2015). Evaluación del recurso micorrizal en ecosistema natural y agroecosistema bananero del Urabá-Antioquia, Colombia. *REVISTA POLITÉCNICA*, 2(3), 41-48.
- Velázquez, M. S., Biganzoli, F., & Cabello, M. N. (2010). Arbuscular mycorrhizal fungi in El Palmar National Park (Entre Rios Province, Argentina)—a protected reserve. *Sydowia*, 62(1), 149-163.
- Vidal Durango, J. V., & Jaramillo Colorado, B. D. (2009). *Capacidad del Guarumo (Cecropia peltata) como planta fitorremediadora de suelos contaminados con mercurio* (Doctoral dissertation, Universidad de Cartagena).
- Viehweger, K. (2014). How plants cope with heavy metals. *Botanical Studies*, 55(1), 35.
- Villegas Aguilera, M. (2009). *Fitoplancton silíceo de la zona eufótica, como señal de la productividad primaria en Cuenca Alfonso, Golfo de California*

- (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Wilson, E. O. (1988). El estado actual de la diversidad biológica. *La biodiversidad*, 521 (1), 3-18.
- Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Isrn Ecology*, 2011.
- Xing, W., Wu, H., Hao, B., Huang, W., & Liu, G. (2013). Bioaccumulation of heavy metals y submerged macrophytes: looking for hyperaccumulators in eutrophic lakes. *Environmental science & technology*, 47(9), 4695-4703.
- Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167-179.
- Yang, S., Liang, S., Yi, L., Xu, B., Cao, J., Guo, Y., & Zhou, Y. (2014). Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine tailings. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 8(3), 394-404.
- Yépez, A. (2016). LAS MINAS DE ORO DEL RÍO SANTA BÁRBARA EN EL AUSTRO ECUATORIANO: DE LAS QUEJAS ESPAÑOLAS COLONIALES DEL SIGLO XVII A LA IDEOLOGÍA PREHISPÁNICA PROFUNDA DE LOS PUEBLOS ABORÍGENES. *Diálogo andino*, (49), 397-408.
- Yongpisanphop, J., Babel, S., Kruatrachue, M., & Pokethitiyook, P. (2017). Phytoremediation potential of plants growing on the Pb-contaminated soil at Song Tho Pb mine, Thailand. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, (just-accepted), 00-00.
- Zhang, S., Li, T., Huang, H., Zou, T., Zhang, X., Yu, H., & Wang, Y. (2012). Cd accumulation and phytostabilization potential of dominant plants surrounding mining tailings. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(9), 3879-3888.


## **ANEXOS**

Anexo 1

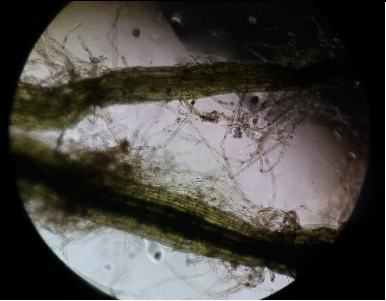
Piscina 2						
<i>Equisetum giganteum</i> Equisetaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.1	5	5	3	3	0
1	0.4	3	3	1	0	4
2	1.4	0	1	0	1	3
2	0.5	0	1	2	1	1
3	0.6	4	2	0	3	1
3	1.2	2	0	3	1	1
4	0.2	1	3	1	1	1
4	0.1	1	4	1	3	2
5	0.3	5	1	4	1	3
5	0.2	1	0	0	1	0

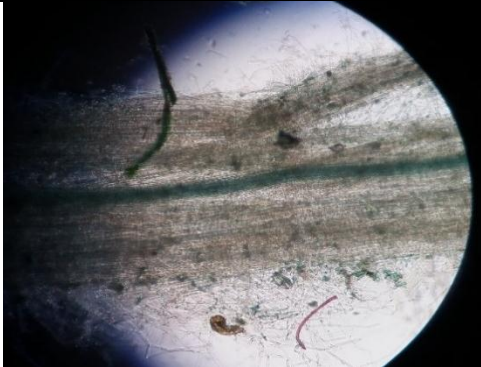
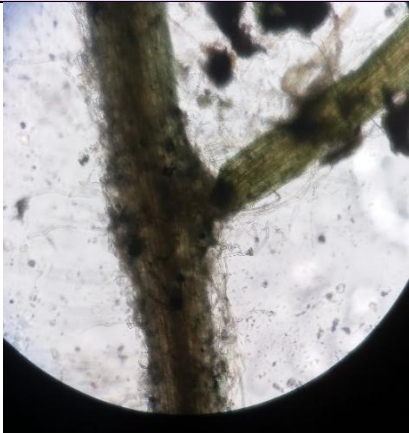


  

<i>Cyperus aggregatus</i> Cyatheaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	1	0	0	0	0
1	0.2	0	1	0	1	1
2	0.8	0	2	3	4	4
2	0.4	0	1	0	1	1
3	0.1	1	0	1	1	1
3	0.2	2	1	1	1	0
4	0.1	3	1	3	2	1
4	0.1	1	0	0	0	1
5	0.1	4	2	3	2	4
5	0.5	1	0	3	1	0

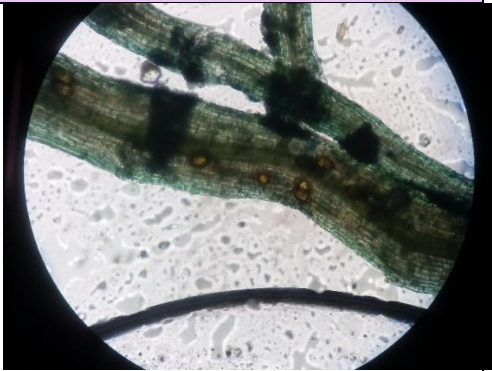

  

<i>Pityrogramma calomelanos</i> Pteridaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.6	1	1	2	3	2
1	0.5	4	4	3	2	2
2	0.3	3	2	1	5	3
2	0.6	1	4	2	2	1
3	0.4	2	3	5	4	4
3	0.3	5	5	1	2	2
4	0.8	5	4	4	1	4



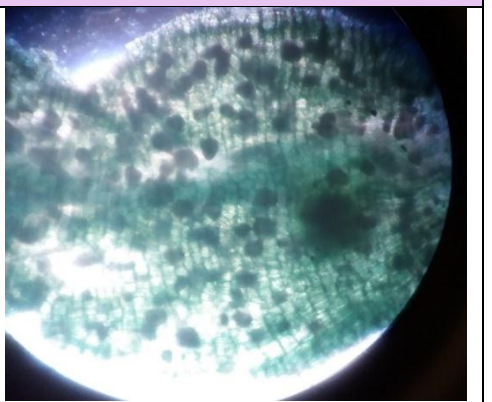
4	0.7	5	4	4	4	0		
5	0.3	1	1	1	1	1		
5	0.3	0	2	2	1	1		
<i>Vernonanthua patens</i> Asteraceae								
Muestra	Peso (g)	% de Colonización						
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5		
1	0.2	1	3	1	0	0		
1	0.3	3	4	3	2	1		
<i>Munnozia sagittata</i> Asteraceae								
Muestra	Peso (g)	% de Colonización						 
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5		
1	0.3	4	4	4	4	5		
1	0.3	4	3	3	1	3		
2	0.3	3	3	4	4	3		
2	0.4	4	3	2	3	2		
3	0.6	3	2	2	1	0		
3	0.3	2	1	1	2	3		
4	0.4	3	3	2	4	2		
4	0.5	3	2	3	2	1		
5	0.6	1	1	2	1	1		
5	0.9	0	1	3	4	3		
<i>Andropogon bicornis</i> Poaceae								

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	0	0	0	0	2
1	0.2	0	0	1	0	1
2	0.5	0	1	1	3	4
2	0.6	2	3	3	2	1
3	0.4	1	0	1	0	1
3	0.1	0	0	0	1	0
4	0.4	2	1	0	1	1
4	0.3	1	2	1	1	0
5	0.3	0	1	1	0	0
5	0.4	3	2	3	1	1



*Phytolacca thyrsoiflora* Phytolaccaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	0	1	0	0	0
1	0.3	0	1	0	1	1
2	0.3	0	0	0	0	0
2	0.4	0	1	0	0	0
3	0.6	4	5	5	5	5
3	0.3	5	5	5	5	5
4	0.4	4	4	5	5	5
4	0.5	5	5	4	5	4
5	0.6	4	5	5	4	4
5	1	4	3	2	1	1




Piscina 3

*Cyperus aggregatus* Cyatheaceae

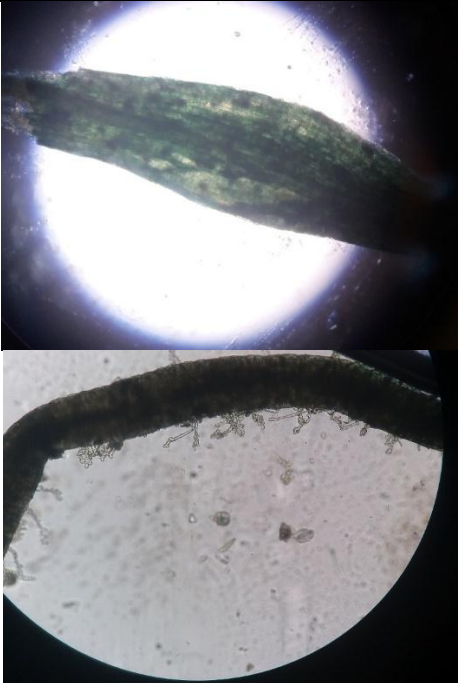
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	2	4	4	5	3
1	0.3	2	4	3	4	4
2	0.2	5	3	2	4	2
2	0.4	1	2	3	3	2
3	0.3	2	0	1	1	0
3	0.2	1	0	3	0	1
4	0.3	4	3	2	2	4
4	0.2	0	3	2	3	3
5	0.1	5	4	3	2	3
5	0.2	0	1	3	2	2






								
--	--	--	--	--	--	--	--	--

*Meriania* sp. Melastomataceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	0	0	0	1	0	
1	0.4	1	1	1	1	1	
2	0.7	3	0	1	1	1	
2	0.6	0	1	2	1	1	
3	0.3	1	1	1	2	5	
3	0.4	1	1	0	1	3	
4	0.4	3	1	2	1	1	
4	0.3	3	3	3	2	1	
5	0.5	0	1	0	2	1	
5	0.5	2	2	0	0	1	

*Andropogon bicornis* Poaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	2	2	0	1	3	
1	0.5	0	1	1	0	2	
2	0.5	0	2	0	3	1	
2	0.6	1	1	0	0	1	
3	0.7	0	0	0	1	0	
3	0.5	0	0	1	1	0	
4	0.4	3	1	3	2	3	
4	0.4	2	1	2	1	1	
5	0.4	0	1	1	1	0	
5	0.4	1	0	1	0	0	

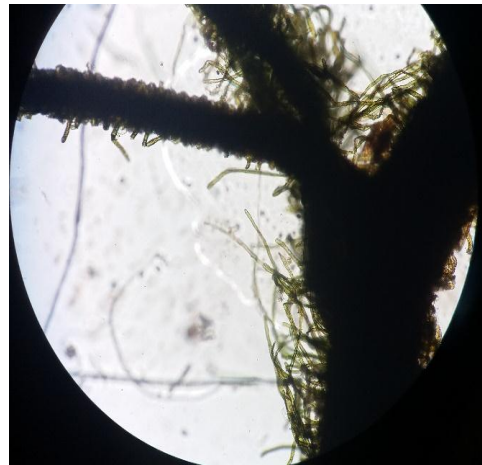
*Polypodium sp.1* Polypodiaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.9	3	3	2	1	1
1	0.7	1	0	1	0	0
2	0.5	3	2	4	4	4
2	0.6	3	3	0	4	3
3	0.7	4	3	2	1	1
3	0.1	0	3	2	2	1
4	0.9	3	2	2	0	3
4	1	2	1	0	1	1
5	0.9	3	2	2	1	1
5	0.6	4	3	2	2	2

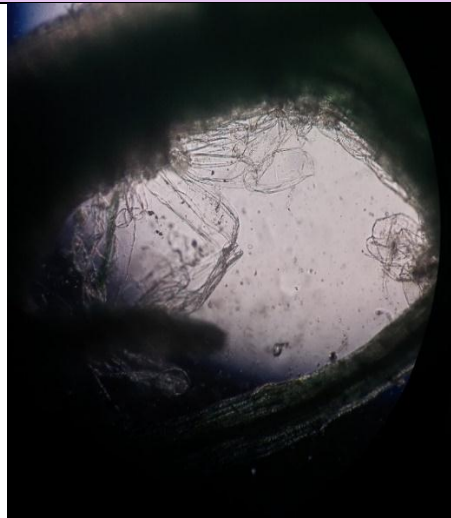


*Polypodium cf. loriceum* Polypodiaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.5	3	5	5	2	4
1	0.3	0	4	5	0	1
2	0.3	4	5	5	5	5
2	0.4	3	3	4	4	5
3	0.3	0	0	1	1	2
3	0.2	3	3	1	2	5
4	0.2	1	1	0	3	2
4	0.2	1	1	0	0	1
5	0.1	1	3	2	0	2
5	0.4	3	2	2	1	2



<i>Palhinhaea cernua</i> Lycopodiaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.6	0	1	1	2	0
1	0.7	0	0	0	1	0
2	0.5	1	0	0	1	0
2	1.1	0	2	0	0	0
3	0.7	1	2	1	1	1
3	0.6	1	1	0	0	0
4	0.6	1	0	1	0	0
4	0.6	1	1	0	0	1
5	0.7	0	0	0	1	2
5	1	2	2	1	0	1



<i>Equisetum giganteum</i> Equisetaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	1.1	1	1	0	0	1
1	1.1	1	2	1	2	1
2	1	1	0	0	0	1
2	1	0	1	1	1	2
3	0.9	0	3	3	2	1
3	0.3	2	1	1	1	0
4	0.5	3	1	0	1	1
4	0.5	2	2	0	2	1
5	0.3	0	2	1	3	3
5	0.6	2	1	3	3	2



*Polypodium fraxinifolium* Polypodiaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	4	4	3	4	3
1	0.5	2	4	4	5	5
2	0.3	5	4	2	1	1
2	0.5	2	2	3	2	0
3	0.8	3	3	4	4	4
3	0.7	0	0	1	2	1
4	0.5	3	2	1	1	2
4	0.5	3	2	1	1	3
5	0.8	4	4	5	5	4
5	0.6	5	4	4	5	5



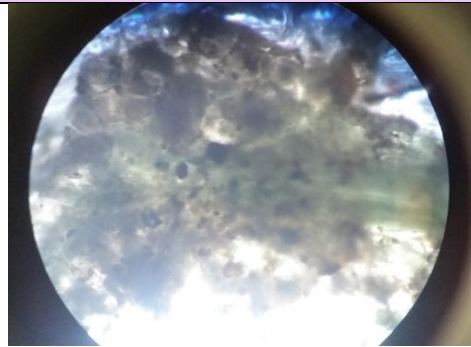
*Pityrogramma cf. tartarea* Pteridaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.4	1	1	0	0	1
1	0.4	3	4	4	0	1
2	0.5	0	1	1	1	4
2	0.8	3	3	2	4	3
3	0.7	1	0	2	3	2
3	0.4	2	1	0	1	1
4	0.6	1	0	0	1	1
4	0.6	0	1	1	0	0
5	0.6	2	0	1	1	1
5	0.3	2	1	2	1	0



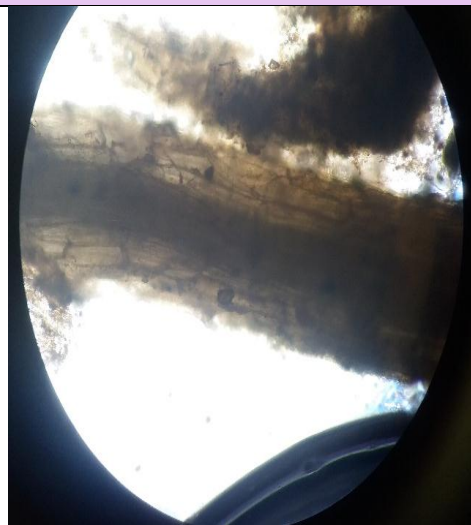
*Epidendrum* sp. Orchidaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.5	1	0	3	2	4
1	0.2	2	2	1	2	1
2	0.8	0	0	2	1	1
2	0.5	0	0	1	0	3
3	0.5	1	0	1	1	3
3	0.7	1	1	1	0	1
4	0.3	0	0	1	0	1
4	0.8	1	2	1	1	0
5	0.7	0	1	0	3	0
5	0.5	1	1	1	2	1

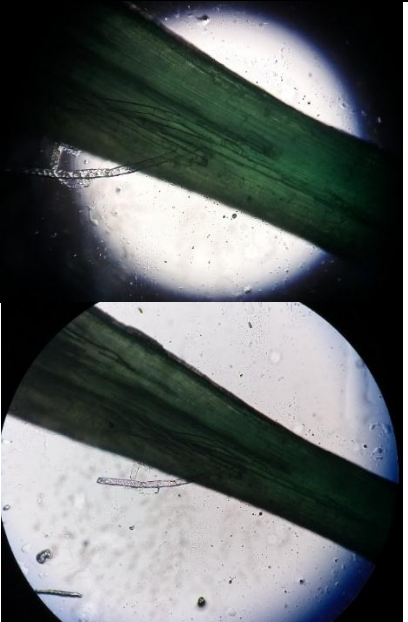


*Sobralia atropubescens* Orchidaceae

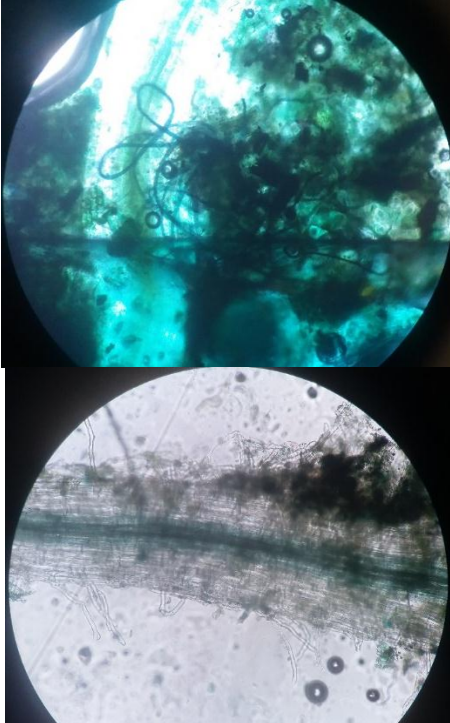
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.7	1	0	0	0	1
1	0.9	2	1	3	2	2
2	0.7	0	1	1	1	0
2	0.7	0	0	1	2	1
3	1	0	1	0	0	1
3	0.6	3	2	3	1	0
4	0.1	0	1	2	3	1
4	1.3	2	2	1	1	2
5	1.1	1	3	0	2	3
5	1.1	0	1	2	2	2



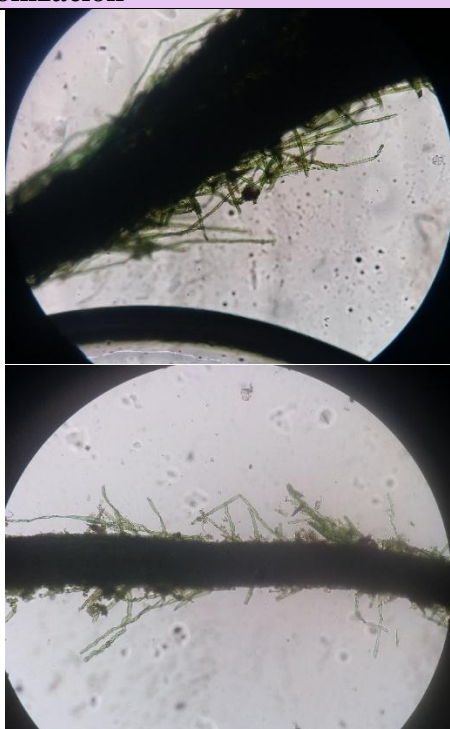
<i>Sticherus cf. bifidus</i> Gleicheniaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	0	0	0	0	0
1	0.2	0	1	0	0	2
2	0.2	1	1	0	0	0
2	0.4	1	1	1	1	2
3	0.1	2	1	0	0	1
3	0.3	1	0	0	1	1
4	0.2	2	2	0	1	1
4	0.1	0	0	0	0	1
5	0.1	1	0	1	1	0
5	0.1	2	2	0	1	1



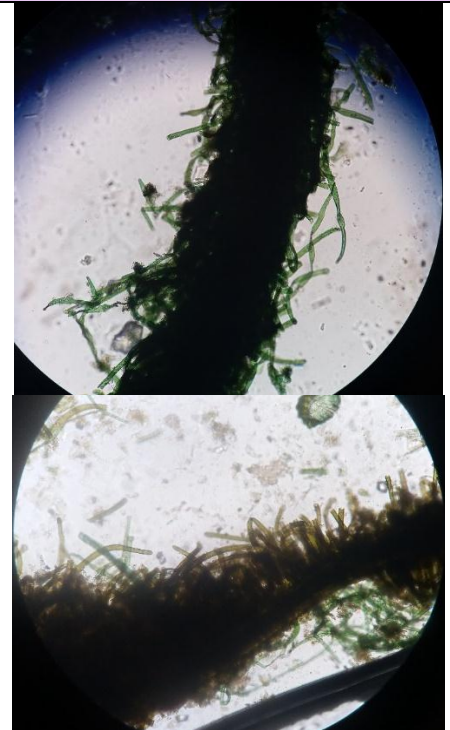
Piscina 6						
<i>Typha domingensis</i> Typhaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.1	1	0	1	1	0
1	0.2	0	0	1	1	1
2	0.2	2	1	2	0	3
2	0.1	0	0	0	1	1
3	0.2	1	2	1	1	2
3	0.4	1	2	1	3	2
4	0.4	0	0	1	1	1
4	0.4	1	2	1	3	2
5	0.5	0	1	0	0	0
5	0.5	0	1	0	1	1



<i>Pityrogramma cf.tartarea</i> Pteridaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	1	1	2	4	2
1	0.3	2	3	2	2	3
2	0.4	3	2	0	3	2
2	0.4	0	1	1	1	1
3	0.3	3	0	1	0	3
3	0.4	0	0	1	1	0
4	0.3	1	0	2	1	2
4	0.3	1	1	2	1	1
5	0.3	0	1	2	1	3
5	0.2	1	0	1	1	1

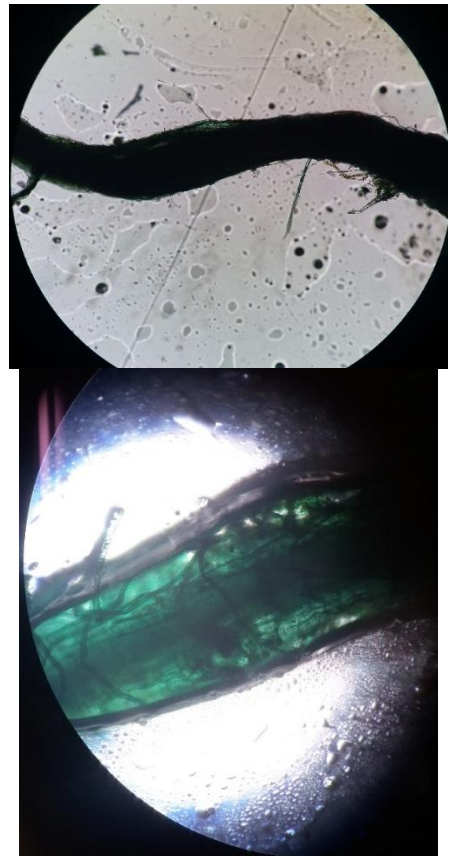

  

<i>Polypodium fraxinifolium</i> Polypodiaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	5	5	4	3	1
1	0.2	0	2	0	5	1
2	0.4	4	5	5	5	3
2	0.4	4	1	4	4	4
3	0.3	4	5	4	3	1
3	0.4	2	3	1	2	4
4	0.4	5	5	3	2	0
4	0.5	1	5	5	4	4
5	0.4	4	1	5	1	1
5	0.5	5	5	5	4	5



*Begonia sp.1* Begoniaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.4	0	0	1	2	2
1	0.4	0	1	0	2	1
2	0.3	0	0	1	0	0
2	0.3	0	0	0	1	0
3	0.4	1	0	1	0	0
3	0.4	0	0	2	0	0
4	0.3	1	1	0	0	0
4	0.4	0	0	1	0	0
5	0.1	0	0	0	1	0
5	0.2	0	0	1	2	1


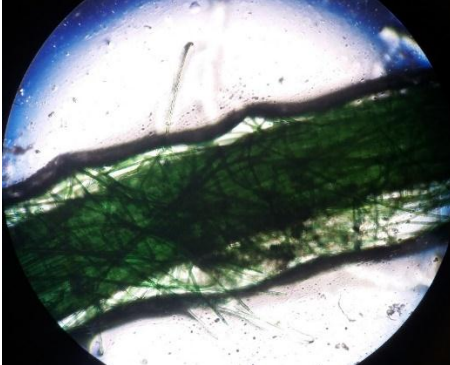


*Munnozia sagittata* Asteraceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	5	5	5	0	1
1	0.4	3	3	3	4	4
2	0.4	0	1	1	4	3
2	0.4	0	0	2	1	1
3	0.5	0	3	4	3	5
3	0.6	1	3	4	4	2
4	0.3	4	3	3	1	0
4	0.4	0	2	3	4	4
5	0.3	2	0	4	1	0
5	0.4	3	3	4	5	3


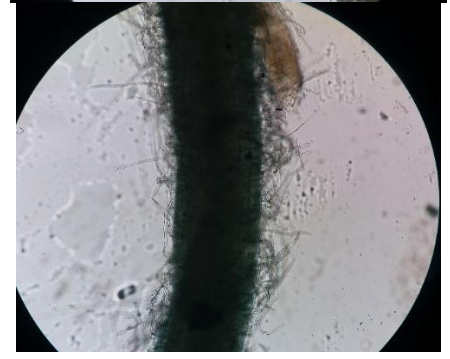





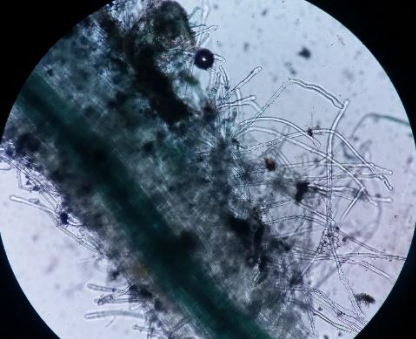
								 
--	--	--	--	--	--	--	--	---

*Mikania cordifolia* Asteraceae



Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.2	0	2	2	0	1
1	0.3	0	0	2	2	1
2	0.1	1	1	0	1	1
2	0.3	2	3	2	2	1
3	0.3	1	0	2	3	4
3	0.2	2	2	1	0	1
4	0.3	1	0	3	4	0
4	0.3	3	2	1	0	0
5	0.3	5	4	3	1	1
5	0.1	0	3	0	2	3

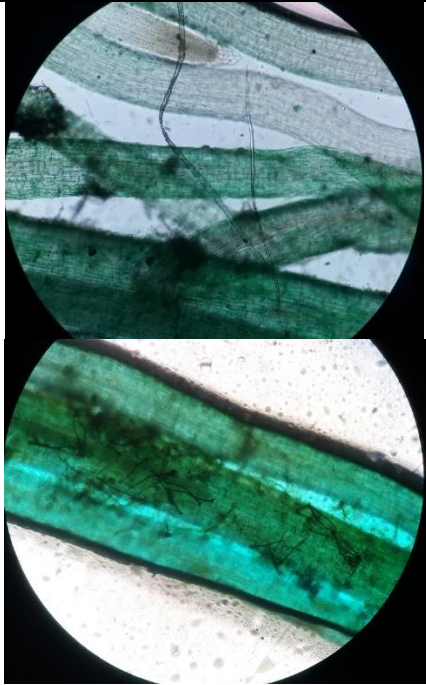
<i>Palhinhaea cernua</i> Lycopodiaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	5	4	5	5	5
1	0.4	5	5	4	5	4
2	0.3	3	4	5	5	2
2	0.2	5	4	5	5	5
3	0.1	0	1	0	1	1
3	0.1	4	2	2	4	3
4	0.3	0	0	0	0	0
4	0.4	0	0	1	1	0
5	0.3	1	0	0	1	1
5	0.2	0	1	2	1	0

<i>Sobralia pulcherrima</i> Orchidaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.1	1	0	0	0	0
1	0.1	0	0	0	0	0
2	0.4	1	0	1	1	1
2	0.4	2	1	0	0	1
3	0.3	0	0	0	1	0
3	0.2	1	1	3	0	1
4	0.3	0	0	1	0	1
4	0.2	0	1	2	1	0
5	0.4	0	1	0	0	0
5	0.3	3	0	0	1	1

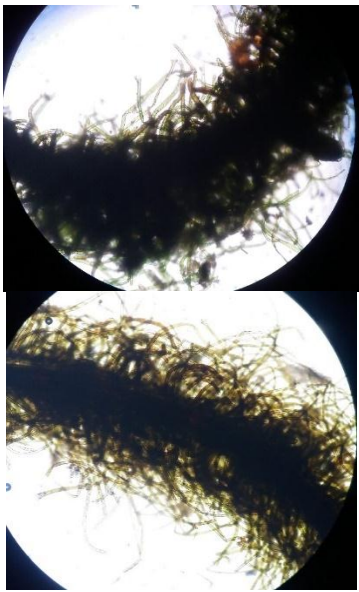



<i>Andropogon bicornis</i> Poaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.4	0	1	0	0	0
1	0.4	1	1	1	0	0
2	0.1	1	0	1	0	1
2	0.4	0	0	1	0	0
3	0.1	0	0	0	0	1
3	0.2	2	2	1	0	1
4	0.1	0	1	2	1	1
4	0.3	1	0	1	1	2
5	0.2	0	0	0	0	0
5	0.2	0	0	0	1	0

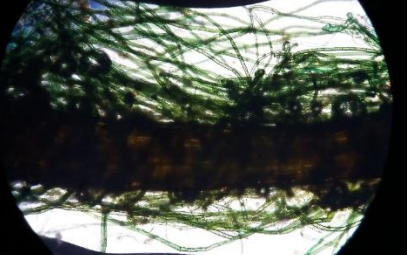




<i>Polypodium cf. loricum</i> Polypodiaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	2	2	2	2	1
1	0.4	3	5	5	5	5
2	0.3	2	4	5	5	5
2	0.3	5	3	4	2	4
3	0.4	5	5	5	5	5
3	0.5	5	5	5	2	4
4	0.3	5	5	5	3	4
4	0.4	4	4	5	5	3
5	0.3	5	5	4	5	5
5	0.4	5	5	4	5	5

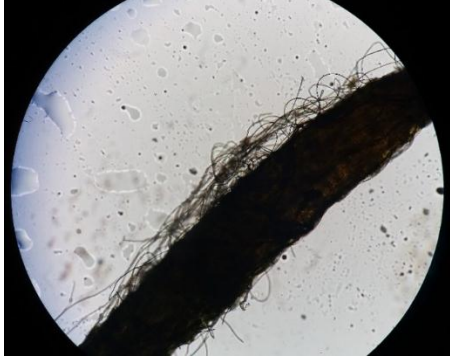


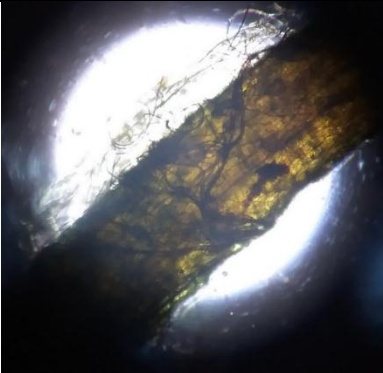
<i>Equisetum giganteum</i> Equisetaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.4	5	5	5	4	4
1	0.4	5	4	4	5	5
2	0.5	5	5	5	4	5
2	0.6	3	1	4	5	3
3	0.3	0	0	0	1	1
3	0.2	1	2	0	2	1
4	0.6	5	3	3	2	5
4	0.5	1	3	2	4	2
5	0.4	0	5	4	0	4
5	0.3	0	0	0	0	4



<i>Sauvagesia erecta</i> Ochnaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.2	0	0	0	0	0
1	0.2	1	0	0	0	0
2	0.2	0	0	0	1	0
2	0.1	0	1	1	1	0
3	0.1	1	1	4	1	1
3	0.1	0	1	1	2	1
4	0.2	0	0	0	1	0
4	0.2	1	0	0	0	1
5	0.2	1	0	0	0	0
5	0.2	1	1	0	1	1



									
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

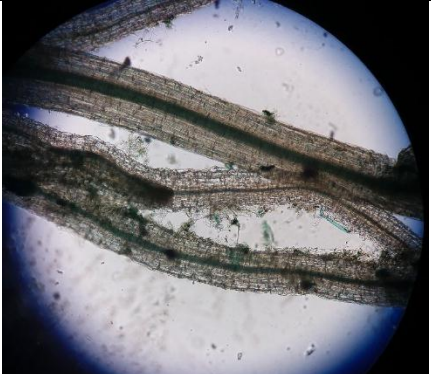
*Cecropia* sp. Urticaceae


Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.2	0	1	0	1	1
1	0.4	0	2	2	2	1
2	0.3	1	1	2	0	1
2	0.1	0	0	1	1	2
3	0.4	0	1	2	1	0
3	0.3	0	1	0	1	0
4	0.3	0	1	1	1	1
4	0.3	0	2	2	1	0
5	0.4	0	1	0	2	0
5	0.4	0	1	2	2	0


*Leandra granatensis* Melastomataceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	1	0	1	1	1
1	0.2	1	1	0	1	2
2	0.2	2	2	2	0	0
2	0.2	1	0	2	1	1
3	0.3	0	1	1	0	1
3	0.4	0	2	0	0	0
4	0.2	2	2	2	0	1
4	0.2	0	1	1	1	1
5	0.3	0	0	0	0	2



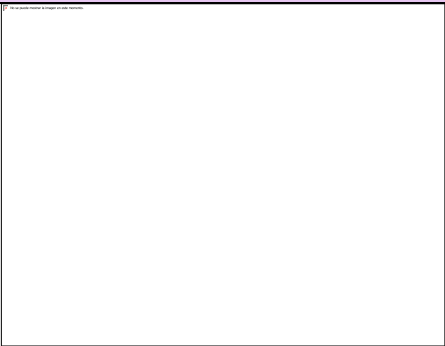
5	0.4	2	0	0	0	1	
---	-----	---	---	---	---	---	--

*Columnnea* sp. Gesneriaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	0	0	0	0	1	
1	0.2	0	1	1	3	0	
2	0.1	1	1	0	1	1	
2	0.2	1	2	1	1	1	
3	0.4	0	2	2	1	1	
3	0.5	0	1	0	0	1	
4	0.4	1	0	0	0	0	
4	0.5	2	1	0	0	2	
5	0.3	1	1	0	2	1	
5	0.2	0	0	1	1	1	

Piscina 4

*Begonia* sp.1 Begoniaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	0	1	1	0	0	
1	0.3	1	0	0	1	1	
2	0.2	0	0	0	0	0	
2	0.1	0	0	0	0	1	
3	0.1	0	0	0	0	0	
3	0.1	0	1	0	0	1	
4	0.3	0	0	0	0	0	
4	0.1	0	0	0	0	0	
5	0.4	0	0	1	0	0	
5	0.3	0	1	0	1	0	

--	--	--	--	--	--	--	--

*Equisetum giganteum* Equisetaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.3	1	2	1	0	2
1	0.2	2	3	2	3	3
2	0.3	3	0	2	3	1
2	0.2	3	3	2	0	1
3	0.2	4	4	0	3	0
3	0.1	0	0	1	1	1
4	0.4	0	1	0	1	1
4	0.3	1	4	4	3	3
5	0.2	0	0	2	4	4
5	0.2	1	0	2	1	0

*Andropogon bicornis* Poaceae

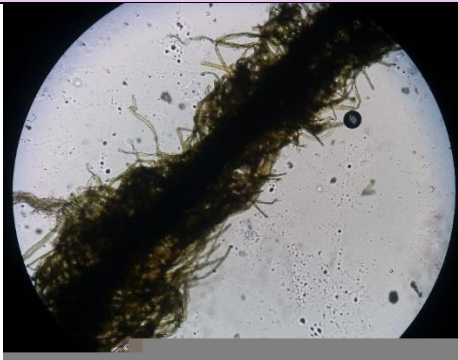
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.2	0	0	0	0	0
1	0.2	0	1	1	0	0
2	0.3	0	0	0	0	0
2	0.1	0	0	1	0	0
3	0.3	0	0	0	1	0
3	0.4	0	0	0	0	1
4	0.2	1	0	0	1	0

4	0.2	0	0	1	1	0	
5	0.3	1	1	1	1	1	
5	0.4	0	0	0	0	0	


*Pityrogramma cf. tartarea* Pteridaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	1	0	1	1	1	
1	0.3	1	0	1	0	1	
2	0.1	0	1	0	0	1	
2	0.2	0	1	1	0	2	
3	0.2	2	2	1	1	0	
3	0.3	3	1	3	3	1	
4	0.2	0	0	1	0	1	
4	0.3	0	0	0	1	0	
5	0.1	3	1	0	1	0	
5	0.2	2	0	1	2	0	


*Polypodium cf. loriceum* Polypodiaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.5	5	4	3	4	5	
1	0.5	5	4	4	5	2	
2	0.4	5	4	1	1	1	
2	0.6	4	1	3	5	5	
3	0.4	5	4	5	5	4	
3	0.3	5	5	5	5	5	
4	0.4	4	4	0	3	3	
4	0.3	3	3	2	0	0	
5	0.4	1	0	3	4	3	

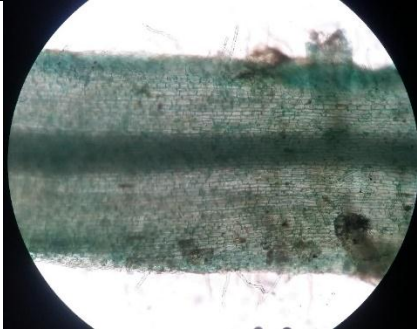


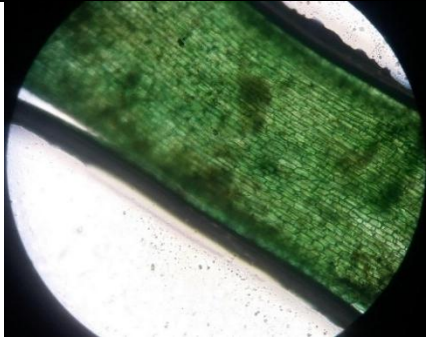
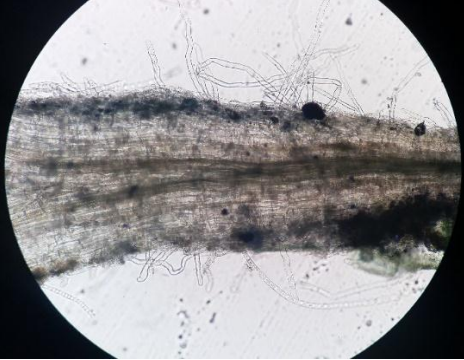

5	0.4	3	3	1	4	1	
---	-----	---	---	---	---	---	--

*Polypodium fraxinifolium* Polypodiaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	0	0	0	0	5	
1	0.2	2	2	4	0	0	
2	0.2	3	4	1	5	3	
2	0.3	0	0	4	3	3	
3	0.4	4	3	2	3	2	
3	0.3	2	1	0	2	3	
4	0.4	4	5	4	5	5	
4	0.3	3	3	2	4	4	
5	0.5	3	2	2	4	5	
5	0.6	3	3	4	2	1	

*Typha domingensis* Typhaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.2	0	0	0	0	0	
1	0.3	0	0	0	0	0	
2	0.4	0	0	1	1	1	
2	0.2	1	0	0	1	0	
3	0.4	0	0	0	0	0	
3	0.3	0	0	0	0	0	
4	0.3	0	0	0	0	0	

4	0.2	0	0	1	1	0	
5	0.2	0	0	0	1	0	
5	0.2	0	1	1	1	1	
<i>Meriania</i> sp. Melastomataceae							
Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.1	0	0	0	0	0	
1	0.2	0	0	0	0	0	
2	0.4	0	0	0	0	0	
2	0.3	0	0	0	0	0	
3	0.2	0	0	0	0	0	
3	0.1	0	0	0	0	0	
4	0.1	0	0	0	0	0	
4	0.2	0	0	0	0	0	
5	0.1	0	0	0	0	0	
5	0.3	0	0	0	0	0	
<i>Piper aduncum</i> Piperaceae							
Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	3	3	1	1	1	
1	0.2	0	0	1	1	3	
2	0.3	0	0	0	0	0	
2	0.3	0	0	0	0	0	
3	0.2	0	1	0	0	0	
3	0.1	3	1	0	1	0	
4	0.2	0	1	1	3	1	
4	0.2	0	0	1	1	0	
5	0.3	0	0	1	1	2	
5	0.4	0	0	0	1	0	
<i>Palhinhaea cernua</i> Lycopodiaceae							
Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	0	0	0	0	1	
1	0.3	0	0	0	0	0	
2	0.3	1	0	0	2	3	
2	0.2	1	0	3	0	1	
3	0.4	2	0	1	0	1	
3	0.2	2	0	1	1	0	

4	0.3	0	0	0	2	1
4	0.1	0	0	0	0	0
5	0.2	0	1	0	0	0
5	0.2	0	0	0	1	1

*Epidendrum cochlidium* Orchidaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.2	0	0	0	0	0
1	0.2	0	1	0	0	0
2	0.1	0	1	1	0	1
2	0.1	3	3	4	5	0
3	0.1	0	0	0	0	1
3	0.2	0	0	0	1	0
4	0.3	0	0	1	0	1
4	0.3	0	1	0	0	0
5	0.1	0	0	0	0	0
5	0.3	0	0	0	0	0

*Leandra granatensis* Melastomataceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.2	1	0	0	0	0
1	0.2	1	1	2	1	2
2	0.2	1	1	2	1	0
2	0.1	1	2	3	0	1
3	0.1	1	0	0	0	0
3	0.1	0	0	1	0	1
4	0.2	0	1	2	2	0
4	0.2	1	0	1	1	0
5	0.1	0	0	0	0	0
5	0.1	0	0	0	0	0



*Alsophila* sp. Cyatheaceae

Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.2	0	0	1	1	0
1	0.3	0	0	0	0	0
2	0.2	0	1	1	0	0
2	0.1	1	0	3	2	0
3	0.2	2	3	2	0	1
3	0.1	1	2	3	3	1
4	0.1	0	0	0	0	0

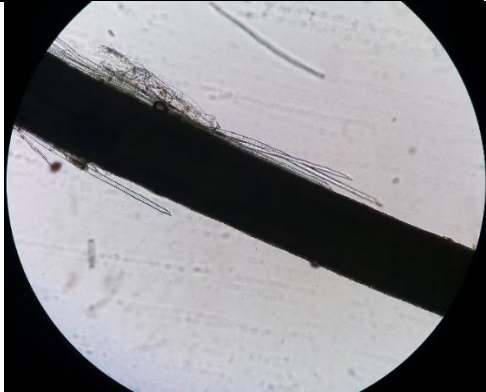
4	0.2	0	0	0	0	0	
5	0.3	0	0	3	1	0	
5	0.1	0	0	3	1	0	
<i>Mikania cordifolia</i> Asteraceae							
Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.3	0	0	0	0	1	
1	0.2	0	0	0	1	0	
2	0.1	1	0	0	0	0	
2	0.1	0	0	0	0	0	
3	0.1	0	0	0	0	0	
3	0.2	0	0	0	0	0	
4	0.2	0	0	0	1	1	
4	0.2	1	1	0	0	0	
5	0.1	1	2	2	0	1	
5	0.2	0	0	0	0	0	
<i>Cecropia</i> sp. Urticaceae							
Muestra	Peso (g)	% de Colonización					
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5	
1	0.1	0	2	2	1	0	
1	0.2	0	0	1	0	1	
2	0.1	0	0	0	1	1	
2	0.1	0	0	2	2	2	
3	0.2	0	0	0	0	2	
3	0.2	1	1	0	2	2	
4	0.1	0	0	1	0	1	
4	0.2	0	1	1	0	1	
5	0.1	0	1	3	1	1	
5	0.2	0	0	1	0	0	

<i>Cyperus aggregatus</i> Cyatheaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.1	0	0	0	0	0
1	0.1	0	2	1	0	0
2	0.1	0	0	0	0	0
2	0.2	1	1	0	0	0
3	0.1	2	0	1	1	2
3	0.1	0	0	0	1	1
4	0.2	1	2	0	1	0
4	0.1	0	0	0	1	0
5	0.2	1	1	1	1	1
5	0.1	1	2	1	1	0


  


<i>Tessaria integrifolia</i> Asteraceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.2	0	0	0	0	0
1	0.2	0	0	0	0	0
2	0.1	0	0	0	0	0
2	0.2	0	0	0	0	0
3	0.2	0	0	0	0	0
3	0.1	0	0	0	0	0
4	0.2	0	0	0	0	0
4	0.2	0	0	0	0	0
5	0.1	0	0	0	0	0
5	0.1	0	0	0	0	0



Sobralia pulcherrima Orchidaceae						
Muestra	Peso (g)	% de Colonización				
		Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
1	0.1	0	0	0	1	0
1	0.1	0	2	1	0	0
2	0.1	1	1	0	1	0
2	0.1	0	0	0	0	0
3	0.2	0	1	0	0	0
3	0.1	0	0	0	0	0
4	0.1	0	1	1	0	1
4	0.1	0	0	0	0	0
5	0.2	0	0	0	0	0
5	0.1	0	0	0	0	0





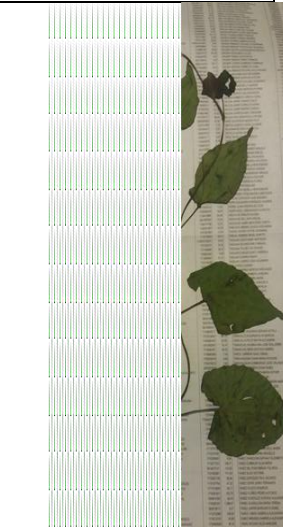
## Anexo 2

Muestra	Nombre Científico				Fotografía
	Familia	Género	Especie	Descriptor	
1	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	sp.	-	
Muestra	Familia	Género	Especie	Descriptor	Fotografía
2	Polypodiaceae	<i>Campyloneurum</i>	<i>cf. brevifolium</i>	(Lodd.exlink)Link	

Mues- tra	Familia	Género	Especie	Descriptor	Fotografía
3	Typhaceae	<i>Typha</i>	<i>domingensis</i>	Pers.	
Mues- tra	Familia	Género	Especie	Descriptor	Fotografía
4	Piperaceae	<i>Piper</i>	<i>aduncum</i>	L.	
Mues- tra	Familia	Género	Especie	Descriptor	Fotografía

5	Asteraceae	<i>Tessaria</i>	<i>integrifolia</i>	Ruiz & Pav.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
6	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>cf. tartarea</i>	Cav. Maxon	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>





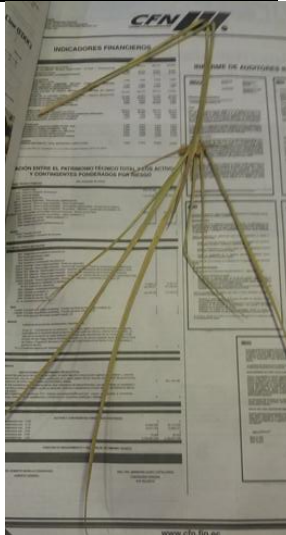

7	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>fraxinifolium</i>	Jacq.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
8	Begoniaceae	<i>Begonia</i>	sp.1		
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
9	Asteraceae	<i>Mikania</i>	<i>cordifolia</i>	(L.f.) Willd	




<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
10	Asteraceae	<i>Munnozia</i>	<i>saggittata</i>	Wedd.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
11	Asteraceae	<i>Mikania</i>	<i>cordifolia</i>	(L.f.) Willd	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>

12	Lycopodiaceae	<i>Palhinhaea</i>	<i>cernua</i>	(L.) Vasc. &Franco	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
13	Orchidaceae	<i>Scaphyglotis</i>	<i>punctulata</i>	(Rchb.f.) C. Schweinf.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
14	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>lancea</i>	Garay	

<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
15	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>pulcherrima</i>	Garay	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
16	Orchidaceae	<i>Epidendrum</i>	<i>cochlidium</i>	Lindl.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>

17	Orchidaceae	<i>Sobralia</i>	<i>atropubescens</i>	Ames & C. Schweinf.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
18	Cyatheaceae	<i>Alsophila</i>	sp.		
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>

19	Cyatheaceae	<i>Cyperus</i>	<i>aggregatus</i>	(Willd.) Endl.	
<b>Muestra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
20	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	sp.1		
<b>Muestra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>


21	Poaceae	<i>Andropogon</i>	<i>bicornis</i>	L.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
22	Gleicheniaceae	<i>Sticherus</i>	<i>cf. bifidus</i>	(Wi- lld.)Ching	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
23	Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>cf. loricium</i>	(Lo)A.R.Sm	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>

24	Polypodiaceae	Polypodium	fraxinifolium	Jacq.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
25	Asteraceae	<i>Vernonanthura</i>	<i>patens</i>	(Kunth) H.Rob.	
<b>Mues- tra</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Fotografía</b>
26	Pteridaceae	<i>Pityrogramma</i>	<i>calomelanos</i>	(L.) Link	



Muestra	Familia	Género	Especie	Descriptor	Fotografía
27	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>giganteum</i>	L.	
28	Melastomataceae	<i>Leandra</i>	<i>granatensis</i>	Gleason	
29	Urticaceae	<i>Cecropia</i>	sp.	-	

30	Ochnaceae	<i>Sauvagesia</i>	<i>erecta</i>	L.	
31	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca</i>	<i>thyrsiflora</i>	-	
32	Melastomataceae	<i>Meriania</i>	sp.	-	

33	Gesneriaceae	<i>Columnnea</i>	sp.	-	
----	--------------	------------------	-----	---	---

