

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE COBERTURAS PARA EL CONTROL DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA EN DEPÓSITOS DE DESMONTE EN LA UNIDAD MINERA TANTAHUATAY - CAJAMARCA

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero de Minas

Autor:

Bachiller: Edinson Eliseo Espinoza Idrogo

Bachiller: Antonella Marilyn Palomino Barrera

Asesor:

Ing. Mcs. Deicy Noemi Sánchez Espinoza

Cajamarca - Perú

2019



DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, por habernos dado la existencia y permitirnos el haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional, quien como guía estuvo presente en el caminar de nuestra vida, bendiciéndonos y dándonos fuerzas para continuar con nuestras metas trazadas sin desfallecer.

Esta tesis la dedico a mi madre Rosalía, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional; a mis abuelitos Roberto y Juana por su apoyo y gran ejemplo de perseverancia que llevaré a lo largo de mi vida, y a todos mis seres queridos que fueron fuente de apoyo para poder obtener uno de los anhelos más deseados.

Antonella Palomino

A mi padre, que, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mi madre Maximila y hermanos Ana Silvia, Cintia y Amilkar, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertir esta meta en realidad.

Edinson Espinoza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento a nuestra asesora Mcs. Deyci Noemí Sánchez Espinoza por depositar su entera confianza en nosotros en todo momento, por el invaluable apoyo y dedicación que ha brindado a este trabajo, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por su visión crítica, por su rectitud en su profesión como docente y por sus consejos que nos ayudaron a formarnos como personas e investigadores. Gracias por su Sincera e incondicional amistad. Gracias por ser un ejemplo y orgullo para nosotros.

Asimismo, queremos agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron con nosotros en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes Mirian, Jessica, Sr. Rosario, Doris, Julio y Ángel.

A nuestros padres y hermanos por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que nos han tenido. No tenemos palabras para agradecerles las incontables veces que nos brindaron su apoyo en todas las decisiones que hemos tomado a lo largo de nuestra vida, unas buenas, otras malas, otras frenéticas. Gracias por darnos oportunidad de desarrollarnos personal y profesionalmente.

Antonella y Edinson

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos	15
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	15
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
1.4. Hipótesis.....	16
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	16
1.4.2. <i>Hipótesis específicas</i>	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	17
2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	17
2.2. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS	17
2.2.1. <i>Materiales</i>	17
2.2.2. <i>Instrumentos</i>	17
2.2.3. <i>Métodos</i>	17
2.3. PROCEDIMIENTO	18
2.3.1. <i>Diseño experimental de las coberturas</i>	18
2.3.2. <i>Diseño de Cajas para cada Tratamiento</i>	18
2.3.3. <i>Obtención y procesamiento de los materiales</i>	19
2.3.3.1. <i>Disposición de materiales</i>	21
2.3.3.2. <i>Cálculo de fertilizantes</i>	23
2.3.3.3. <i>Cantidad de semillas y siembra</i>	25
2.3.4. <i>Riego</i>	25
2.3.5. <i>Obtención de drenaje</i>	25
2.3.6. <i>Biomasa</i>	26
2.3.7. <i>Análisis de cantidad y calidad de agua de drenaje</i>	26
2.3.8. <i>Data</i>	27
2.3.9. <i>Análisis Estadístico</i>	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS	28
3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS MATERIALES.....	28
3.1.1. <i>Desmonte</i>	28
3.1.2. <i>Lodos</i>	30
3.1.3. <i>Material Hístico (chufra)</i>	32

3.1.4.	<i>Top Soil</i>	34
3.2.	DESARROLLO DE LA VEGETACIÓN EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS	36
3.2.1.	GERMINACIÓN	36
3.2.1.1.	<i>Rye Grass</i>	36
3.2.1.2.	<i>Trébol Rojo</i>	37
3.2.2.	CRECIMIENTO	39
3.2.2.1.	<i>Rye Grass</i>	39
3.2.2.2.	<i>Trébol Rojo</i>	40
3.2.3.	BIOMASA	41
3.2.3.1.	<i>Rye Grass</i>	41
3.2.3.2.	<i>Trébol Rojo</i>	42
3.3.	CARACTERIZACIÓN DEL DRENAJE EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS	44
3.3.1.	CANTIDAD DE DRENAJE	44
3.3.1.1.	FLUJO	44
3.3.2.	CALIDAD DEL DRENAJE EN LAS COBERTURAS	45
3.3.2.1.	pH	45
3.3.3.	METALES PRESENTES EN EL DRENAJE	46
3.3.3.1.	Arsénico	46
3.3.3.2.	Cadmio	47
3.3.3.3.	Cobre	48
3.3.3.4.	Plomo	49
3.3.3.5.	Zinc	51
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		53
4.1	DISCUSIÓN	53
4.1.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS MATERIALES	53
4.1.1.1.	<i>Desmonte</i>	53
4.1.1.2.	<i>Lodos</i>	54
4.1.1.3.	<i>Material Hístico</i>	56
4.1.1.4.	<i>Top soil</i>	57
4.1.2.	DESARROLLO DE LA VEGETACIÓN EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS	59
4.1.2.1.	GERMINACIÓN	59
4.1.2.1.1.	<i>Rye Grass</i>	59
4.1.2.1.2.	<i>Trébol Rojo</i>	60
4.1.2.2.	CRECIMIENTO	61
4.1.2.3.	BIOMASA	62
4.1.2.3.1.	<i>Rye Grass</i>	62
4.1.2.3.2.	<i>Trébol Rojo</i>	62

4.1.3.	<i>CARACTERIZACIÓN DEL DRENAJE EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS</i>	63
4.1.3.1.	<i>CANTIDAD DE DRENAJE</i>	63
4.1.3.1.1.	<i>FLUJO DE DRENAJE</i>	63
4.1.3.2.	<i>CALIDAD DEL DRENAJE EN LAS COBERTURAS</i>	65
4.1.3.2.1.	<i>POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)</i>	65
4.1.3.2.2.	<i>METALES PRESENTES EN EL DRENAJE</i>	66
4.1.3.2.2.1.	<i>Arsénico</i>	66
4.1.3.2.2.2.	<i>Cadmio</i>	67
4.1.3.2.2.3.	<i>Cobre</i>	68
4.1.3.2.2.4.	<i>Plomo</i>	68
4.1.3.2.2.5.	<i>Zinc</i>	70
4.2	<i>CONCLUSIONES</i>	72
	<i>REFERENCIAS</i>	73
	<i>ANEXOS</i>	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental de los tratamientos.....	18
Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del desmonte	29
Tabla 3. Análisis químico de suelo (Desmonte) vs ECA	29
Tabla 4. Caracterización fisicoquímica de los lodos.	31
Tabla 5. Análisis químico de suelo (Lodos) vs ECA	31
Tabla 6. Análisis químico de suelo (Material Hístico) vs ECA	33
Tabla 7. Resultados de análisis de suelo Orgánico.....	34
Tabla 8. Interpretación de Resultados de suelo Orgánico	35
Tabla 9. Recomendaciones de Nutrientes por Hectárea	35
Tabla 10. Análisis de Varianza de Germinación de Rye Grass	37
Tabla 11. Análisis de Varianza de Germinación de Trébol Rojo.....	38
Tabla 12. Análisis de Varianza de Crecimiento de Rye Grass	39
Tabla 13. Análisis de Varianza de Crecimiento de Trébol Rojo	40
Tabla 14. Análisis de Varianza de Biomasa de Rye Grass.....	42
Tabla 15. Análisis de Varianza de Biomasa de Trébol Rojo.....	43
Tabla 16. Análisis de Varianza de Flujo de Drenaje	44
Tabla 17. Análisis de Varianza de pH	46
Tabla 18. Análisis de Varianza de concentración de Arsénico	47
Tabla 19. Análisis de Varianza de concentración de Cobre	48
Tabla 20. Análisis de Varianza de concentración de Plomo	50
Tabla 21. Análisis de Varianza de concentración de zinc	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cajas de madera con base de geomembrana, eh inclinación de 30°	18
Figura 2. Materiales Usados en los sistemas de coberturas de la investigación.....	20
Figura 3. Réplica del tratamiento CT, con 20 cm de espesor de material de Top soil.....	21
Figura 4. Réplica del tratamiento CD, con 20 cm de espesor de material de Desmonte ...	21
Figura 5. Réplica del tratamiento H y distribución de sus capas.....	22
Figura 6. Réplica del tratamiento 1 y distribución de sus capas	22
Figura 7. Réplica del tratamiento 2 y distribución de sus capas	23
Figura 8. Riego con 3 litros de agua potable por Caja	25
Figura 9. Recolección de drenaje en recipientes de Plástico.....	26
Figura 10. Extracción de especies, separación y sECAdo para cálculo de Biomasa	26
Figura 11. Obtención de Material de desmonte en la Unidad Minera.....	29
Figura 12. Lodos.....	31
Figura 13. Material hístico	33
Figura 14. Top soil	34
Figura 15. Diagrama de caja de Germinación de Rye Grass.....	36
Figura 16. Diagrama de caja de Germinación de Trébol Rojo.....	38
Figura 17. Diagrama de caja de Crecimiento de Rye Grass.....	39
Figura 18. Diagrama de caja de Crecimiento de Trébol Rojo.....	40
Figura 19. Diagrama de caja de Biomasa de Rye Grass.	42
Figura 20. Diagrama de caja de Biomasa de Trébol Rojo.....	43
Figura 21. Diagrama de caja de Flujo de Drenaje.....	44
Figura 22. Diagrama de caja de Flujo de Drenaje.....	45
Figura 23. Diagrama de caja de concentración de Arsénico... ..	47
Figura 24. Diagrama de caja de concentración de Cobre.....	48
Figura 25. Diagrama de Caja de Concentración de Plomo... ..	50
Figura 26. Diagrama de Caja de Concentración de Zinc... ..	51

RESUMEN

Esta tesis busca realizar un estudio que permita determinar el sistema de coberturas más adecuado para el control de drenaje ácido de desmonte, para ello se utilizaron materiales que se encuentran en el área de operación de la unidad minera Tantahuatay- Cajamarca (Desmonte, material hístico y lodos de la planta AWTP). Se diseñó 5 diferentes tratamientos: CT (top soil), CD (desmonte y cal), H (desmonte y cal + lodos + material hístico + top soil), 1(desmonte y cal + material hístico + top soil), 2 (desmonte y cal + lodos + top soil) con 5 réplicas cada uno; en donde se evaluaron las variables de germinación, crecimiento, biomasa, cantidad y calidad de drenaje.

En la germinación de especies de Rye Grass y Trébol el mejor tratamiento fue H con porcentaje en Rye Grass de 74% y 57% semillas germinadas de trébol Rojo; con respecto a la variable crecimiento, los mejores tratamientos fueron H y 2, con medias de crecimiento de Rye Grass de (50 y 48.40) cm y (23 y 21.20) cm de trébol rojo. En biomasa en especie. Rye Grass, el mejor tratamiento fue H con valor de 287 mg/caja (24.20 y 20) mg/caja.

Con respecto a cantidad de drenaje los mejores tratamientos fueron H y 2, con valores de 369.0 ml y 448.0 ml, ambos asimismo demostrando niveles más altos de potencial de Hidrogeno con respecto a los demás tratamientos, siendo estos los mejores con valores de 7.17 y 7.60.

En concentración de metales, el mejor tratamiento con respecto al arsénico fue el 2 con un valor de 0.841 mg/l; en relación al elemento cadmio todos los tratamientos resultaron adecuados pues se encuentran por niveles menores a 0.002 mg/l; en cobre y plomo los mejores tratamientos fueron H y 2, con valores de 1.375 mg/l y 0.8616 mg/l de cobre y 0.1885 mg/l y 0.1200 mg/l de plomo respectivamente. Y, por último, respecto al zinc, el mejor tratamiento es el 2 con valor de 0.12229 mg/l.

Finalmente, los tratamientos H (desmonte y cal + lodos + material hístico + top soil) y 2 (desmonte y cal + lodos + top soil) son considerados los más favorables para el control de drenaje ácido de desmonte mediante el diseño de coberturas.

Palabras clave: DAM, Coberturas, lodos, material Hístico, Vegetación, Top Soil.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Uno de los problemas más prominentes en las empresas mineras metálicas es el ligado al control de drenaje ácido de mina en áreas ocupadas por los depósitos de desmonte. “Toda compañía minera metálica posee dentro de sus operaciones materiales de desecho de extracción. Este material contiene por naturaleza sulfuros que al estar en contacto con el aire (oxígeno) tienden a oxidarse y al mezclarse con el agua procedente de precipitaciones generan un drenaje ácido que se vierte al suelo provocando su contaminación” (Ferguson, 2018).

Una de las maneras de controlar toda esta producción de drenaje ácido requiere que los minerales con sulfuros no estén en contacto con el oxígeno, intentándose actualmente controlarlo mediante el uso de coberturas tradicionales, sin embargo, esta meta no es completamente alcanzable.

Las técnicas más comunes para controlar el drenaje ácido de mina en componentes mineros son el uso de capas para aislar los tóxicos dentro de un área confinada, buscando la eliminación física del contaminante y la transformación química o física de los mismos, para volverlos menos tóxicos (Leigh et al. 2006). Desafortunadamente, la implementación de estas estrategias puede ser muy costosas, el uso de membranas sintéticas para aislar contaminantes suele valorizarse en aproximadamente (> \$ 0.5 millones / acre), la revegetación directa (menos costosa pero difícil de mantener) o enmiendas de cal (\$ 5000 / acre) (Berti & Cunningham 2000). En la mayoría de las empresas en la región de Cajamarca, sin excepción refiriéndonos a la unidad minera Tantahuatay, se han venido realizando cierre de minas de depósitos de desmonte mediante el uso de materiales externos a las

operaciones como es el uso de membranas sintéticas, complementados con materiales propios de la mina; lo cual ha generado un elevado costo en la actividad.

Esta investigación busca evaluar diferentes tipos de coberturas que minimicen el drenaje ácido en comparación con las coberturas utilizadas actualmente.

Es substancial mencionar que la unidad minera Tantahuatay cuenta con materiales con potencial de usarse en Coberturas de cierre de minas, como el Material hístico y los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas acidas (AWTP), los que a su vez demandan de una necesidad actual de reutilización y almacenamiento; todos estos materiales presentan características que pueden ayudar al control ácido de mina.

El uso de coberturas en cierre de depósitos desecho en minería ha sido un tema estudiado a partir de las últimas décadas, como el realizado en estados unidos por (Gilmour et al., 2018) en su libro “Science of The Total Environment - Colocación de capas delgadas de carbón activado como herramienta de remediación de mercurio in situ en una marisma del río Penobscot” en donde se expresa que: La eficacia de las enmiendas del suelo de capa fina in situ se probó como una herramienta potencial para la mitigación del riesgo de metilmercurio (MeHg) en el pantano salado de Penobscot River, ME. En la investigación se realizó el estudio de parcelas pequeñas completamente cruzadas, con cuatro tratamientos (carbón activado (AC), biochar, FeCl₂ y limo) y controles no enmendados en dos sitios. Las parcelas fueron monitoreadas por dos años. Las concentraciones de Porewater MeHg fueron el punto final principal, con impactos en la biogeoquímica de los sedimentos. SediMite™ basado en AC fue efectivo en la reducción de MeHg y, en menor medida, Hg total en aguas superficiales de poro. La CA redujo las concentraciones de MeHg en > 90% en el punto de tiempo de un mes, y continuó reduciendo significativamente el MeHg de

agua intersticial en aproximadamente un año. Este estudio es uno de los primeros ensayos de campo de la enmienda in situ para la remediación de MeHg. Nuestros resultados muestran que la colocación de CA de capa fina es una herramienta de remediación potencial para el riesgo de Hg para la biota, especialmente en marismas donde la acumulación neta de MeHg suele ser fuerte. (Gilmour et al., 2018).

Asimismo, en Bolivia Hinojosa en su tesis “Restauración de Sitios Mineros Mediante Coberturas de Efecto SDR (Almacenamiento, Derivación y Descarga), se encaminó a estudiar la aplicación de la cobertura SDR a nivel piloto. Para ello, se realizó la caracterización química, física e hidrológica de los materiales disponibles en el sitio; se investigó el comportamiento de la cobertura SDR simulando condiciones naturales y extremas válidas para Oruro (Bolivia), y se efectuó la medición y control de los parámetros (Ingreso de oxígeno y percolación lateral) más importantes en el monitoreo de una cobertura SDR. Los resultados obtenidos muestran que el "suelo Frankeita", usado como cobertura principal, sirve para los propósitos de remediación ambiental cuando se usen las coberturas tipo SDR; el principio de barrera capilar funciona perfectamente tanto con coberturas de 80 cm, de altura como coberturas de altura menor como 50 cm, y en condiciones de extrema precipitación. Hinojosa et. Al. (2011). De igual manera el estudio realizado en Perú por Durand (2014) en su tesis “Aplicación numérica para las coberturas de los depósitos de residuos mineros”, realizó la evaluación del desempeño de los sistemas de coberturas, para evitar la percolación del agua de lluvia y así generar el drenaje ácido de mina. Fueron 10 los modelos de sistemas de coberturas que se formularon y modelaron con el software VADOSE/W. se realizó la calibración de sus resultados mediante una constante, que fue hallada mediante el modelamiento de un caso real documentado y el monitoreo de el mismo, presentado en la guía para el diseño de coberturas del MINEM;

asimismo se generó un modelo físico en el cual se pudo apreciar la formación de la barrera capilar y el flujo de agua entre los suelos no saturados de diferente textura. Se tuvieron los siguientes resultados: “Las funciones de las curvas de conductividad hidráulica de los materiales gruesos son mayores que los materiales finos, esto es debido a que la permeabilidad saturada de los materiales gruesos es mayor. El modelamiento físico permitió observar la formación de la barrera capilar a partir del cambio del tamaño de grano de los suelos y también se observó el cambio de la dirección del flujo de agua entre los suelos de distinto tamaño de grano. Para disminuir la percolación del agua, se debe variar la capa de retención de humedad, ya que influye bastante en la reducción de la percolación. Para todos los modelos, a partir del espesor de 0.60 m de capa de retención de humedad la percolación disminuye por debajo del 3% de la precipitación total. La capa de almacenamiento ayuda a mantener la saturación de la capa de retención de humedad, es decir ayuda en la reducción de la migración de oxígeno, por lo cual se debe variar la capa de almacenamiento hasta mantener la saturación de la capa de retención de humedad en 85%. Se concluye que la capa de retención de humedad debe ser un material de grano fino, ya que contiene un valor alto de porosidad y baja permeabilidad. La capa de almacenamiento debe ser un material de grano grueso, para poder generar la barrera capilar. Se debe distribuir los materiales de tal manera que los materiales finos se encuentren entre materiales gruesos, de tal manera que se pueda generar la capilaridad. La variación de la presión de poros de agua (PWP) no presentó resultados concluyentes, pero se aprecia una variación de percolación a medida que aumenta la presión de poros”. (Durand, 2014).

Por otro lado , (Alcantara, 2016) tesista de la universidad nacional del centro del Perú, en su estudio “Recuperación de suelos de relaves mineros para convertirlos en

áreas verdes en la planta piloto metalúrgica de yauris-uncp” : Evaluó 3 sistemas de coberturas ; en la primera contenida solo de relave, la segunda con relave, 5% de cal y 5 % de humus y la tercera con muestra de relave, 10 % de cal y 10% de humus; mediante el análisis de los tres tratamientos se observó los resultados obtenidos. Con respecto al PH del suelo nos indica que la muestra N.º 1 tiene un PH fuertemente ácido (PH=5.89). La muestra N° 2 con una enmienda del 5% de cal elevó su PH a 6.85, valorándose en un rango de ligeramente ácido, y la muestra N° 3 con un incremento del 10% de enmienda con cal viva (cao) el suelo se neutralizó en su PH, con el que se consiguió favorecer la adsorción y absorción de las bases intercambiables. Los resultados de materia orgánica nos indican que los relaves son suelos con un contenido de materia orgánica muy bajo (0.36) por lo que se le da una valoración de extremadamente pobre. Con la aplicación del 5 % de humus mejora el % de materia orgánica a 0.88 y con 10 % de humus se eleva al 1.09 %. Ambos se presentan en un nivel de pobre a moderadamente pobre respectivamente.

1.2. Formulación del problema

¿Qué sistema de cobertura es el más adecuado para el control de drenaje ácido de mina en depósitos de desmonte en la unidad minera Tantahuatay- Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el mejor sistema de coberturas para controlar el drenaje ácido de mina en depósitos de desmonte en la unidad minera Tantahuatay.

1.3.2. Objetivos específicos

Caracterizar los materiales usados para cada sistema de coberturas.

Estimar en qué tipo de cobertura se desarrolla mejor la vegetación.

Valorar la cantidad y calidad del drenaje en los sistemas de coberturas.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El sistema compuesto por material de desmonte, lodos, material hístico y top soil, permitirá una mejor germinación y crecimiento de especies vegetales, así como una minimización de la cantidad y mejora de la calidad de agua.

1.4.2. Hipótesis específicas

Los lodos, el material Hístico y el top soil poseen propiedades fisicoquímicas favorables para ser usados en coberturas.

El uso de lodos, material Hístico y top soil permitirá mayor porcentaje de germinación, crecimiento y Biomasa

El uso de lodos, material hístico y top soil permitirá reducir o minimizar la cantidad de agua y mejorará la calidad de drenaje.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es experimental-Cuasi experimental con un muestreo probabilístico aleatorio simple al azar.

2.2. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

2.2.1. Materiales

1200 kg de desmonte
150 kg de lodos de la planta AWTP
120 kg de material hístico (chufra)
600 kg de top soil
7 kg de cal
25 cajas de madera de 1 m³
8750 semillas de Rye Grass
3750 semillas de trébol rojo
0.2738 kg de úrea
¼ kg de sulfato de potasio
0.4075 kg de fosfato diamónico
25 recipientes de plástico

2.2.2. Instrumentos

pHmetro (ICP couple plasma)
Balanza Electrónica
Wincha

2.2.3. Métodos

ABA Test
Análisis NPK
Estadística básica
Graficas de control
Anova

2.3. PROCEDIMIENTO

2.3.1. Diseño experimental de las coberturas

Se realizó un diseño experimental en bloque con distribución al azar, de 5 tratamientos con 5 réplicas cada uno.

Tabla 1. *Diseño experimental de los tratamientos*

Tratamiento	Descripción
C.T	Top soil
C.D	(Desmonte + cal)
H	(Desmonte +cal) + Lodos + chufla (Material Hístico) + top soil
1	(Desmonte +cal) + chufla (Material Hístico) + top soil
2	(Desmonte +cal) + Lodos + top soil

CD Y CT Considerados tratamientos de control para la investigación. Fuente: *Propia*

2.3.2. Diseño de Cajas para cada Tratamiento

Se fabricaron 25 cajas con volumen de 1 m³. La parte inferior de las cajas se selló con Geomembrana para impermeabilizar esa zona, asimismo se adicione dos sistemas que cumplen con la función de drenaje.



Figura 1. Cajas de madera con base de geomembrana, e inclinación de 30°.

2.3.3. Obtención y procesamiento de los materiales

Se solicitó los materiales de desmonte, material hístico (chufra), y lodos de la planta WTPA a la Empresa minera Coimolache.

Las cantidades expedidas de la Empresa Minera fueron de 1200 kilos de desmonte, 150 kilos de material hístico y 200 kilos de lodos, trasladados al lugar donde se realizó la investigación. Asimismo, se transportó 600 kilos de top soil del caserío Nuevo San José, Distrito de Namora – Cajamarca.

Lodos

Se acopiaron 150 kilos de lodos prensados inicialmente; material que para el desarrollo de la investigación fue homogenizado a través de un chancado manual con comba. Para su posterior uso en 2 de los tratamientos, en 10 cajas de 15 kilos cada una.

Desmonte

Se utilizaron 1200 kilos; material repartido en 20 cajas con 60 kilos para cada una. Asimismo, se procedió a hacer el encalado teniendo en cuenta resultados del laboratorio J Ramon; la cantidad de cal se calculó mediante ABA Test modificado (Sobek et al. 1978).

$(\% \text{ HNO}_3 \text{ extractable S} + \% \text{ Residual S}) 31.25 + 23.44 (\% \text{ HCl extractable S}) +$ $\text{SMP Lime Requirement, tons CaCO}_3/1000 \text{ tons soil}$

Acid Base Account Test:

Promedio de extraíbles HNO_3 = 0.214 %S
Promedio de extraíbles HCL = 0.11 %S
Promedio residual = 2.346 %S
Lime SMP = 5.796 *kg Caco₃ /TN*

$$(0.214\% + 2.346\%)31.25 + 23.44 (0.11\%) + \frac{5.796 \text{ kg } \text{Caco}_3 / \text{TN}}{1000 \text{ TN soil}}$$

$$6.621784 \text{ TN} \rightarrow 1000 \text{ TN}$$

$$6.621784 \text{ TN} \rightarrow 1000000 \text{ kg}$$

$$X \rightarrow 1200 \text{ kg}$$

$$0.00804 \text{ TN} \rightarrow 1200 \text{ kg}$$

$$8.04 \text{ kg} \rightarrow 1200 \text{ kg}$$

$$8040 \text{ g} \rightarrow 1200 \text{ kg}$$

$$8040 \text{ g}/20 \rightarrow 1200 \text{ kg}$$

$$402 \frac{\text{g}}{\text{caja}}$$

Obteniendo la cantidad de cal por caja se procedió a realizar el encalado manualmente.

Material Hístico

Se emplearon 120 kilos, distribuidos en dos tratamientos (10 cajas con 12 kilos cada una).

Top soil

Material utilizado en 4 tratamientos, repartido en 20 cajas con 30 kilos cada una.



Figura 2. Materiales Usados en los sistemas de coberturas de la investigación

2.3.3.1. Disposición de materiales

Se dispuso los materiales en las cajas según tratamiento, con 5 réplicas cada uno.

Tratamiento CT: 30 kilos de top soil en 5 réplicas.



Figura 3. Réplica del tratamiento CT, con 20 cm de espesor de material de Top soil

Tratamiento CD: 60 kilos de desmonte y cal en 5 réplicas.



Figura 4. . Réplica del tratamiento CD, con 20 cm de espesor de material de Desmonte con enmiendas de cal.

Tratamiento H: 60 kilos de desmonte y cal, seguidos de 15 kilos de lodos, una capa de 12 kilos de chufla y 30 kilos de top soil, en las 5 réplicas.



Figura 5. Réplica del tratamiento H y distribución de sus capas

Tratamiento 1: 60 kilos de desmonte y cal, continuada por una capa de 12 kilos de material hístico y como capa final 30 kilos de top soil, en 5 réplicas.



Figura 6. Réplica del tratamiento 1 y distribución de sus capas

Tratamiento 2: 60 kilos de desmonte y cal, una capa de 15 kilos de lodo y 30 kilos de top soil como capa final, en 5 réplicas.



Figura 7. Réplica del tratamiento 2 y distribución de sus capas

2.3.3.2. Cálculo de fertilizantes

A través del análisis de top soil en el INIA (Instituto nacional de investigación agraria), y según los resultados obtenidos, se calcula la cantidad necesaria de fertilizantes con las siguientes formulas.

- Cálculo de Nitrógeno (Urea)

Requerimiento de nitrógeno = 40 kg/ ha \rightarrow 0.004 kg/ m²

$$100 \text{ kg de úrea} \rightarrow 46 \text{ kg N}$$

$$100 \text{ kg } CO(NH_2)_2 \rightarrow 46 \text{ kg N}$$

$$X \rightarrow 0.004 \text{ kg N}$$

$$X = 0.008695 \text{ kg } CO(NH_2)_2$$

$$X = 8.695 \text{ gr } CO(NH_2)_2/m^2$$

En 25 cajas se necesita 217.375 gramos de Urea

- **Cálculo de Fósforo P (fosfato diamónico)**

Requerimiento de Fósforo = 75 kg/ ha → 0.0075 kg/ m²

$$100 \text{ kg de fosfato diamónico} \rightarrow 46 \text{ kg P}$$

$$100 \text{ kg } (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \rightarrow 46 \text{ kg P}$$

$$X \rightarrow 0.0075 \text{ kg P}$$

$$X = 0.01630 \text{ kg } (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$$

$$X = 16.30 \text{ gr } (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4/\text{m}^2$$

En 25 cajas se debe aplicar 407.5 de gramos de fosfato diamónico

- **Cálculo de Potasio K (sulfato de potasio)**

Requerimiento de Potasio = 50 kg/ ha → 0.005 kg/ m²

$$100 \text{ kg de sulfato de potasio} \rightarrow 50 \text{ kg k}$$

$$100 \text{ kg } \text{K}_2\text{SO}_4 \rightarrow 50 \text{ kg K}$$

$$X \rightarrow 0.005 \text{ kg K}$$

$$X = 0.01 \text{ kg } \text{K}_2\text{SO}_4$$

$$X = 10 \text{ gr } \text{K}_2\text{SO}_4/\text{m}^2$$

En 25 cajas necesitamos 250 gramos de sulfato de potasio

Posterior a la obtención de la cantidad de fertilizante, se procedió a disolver en 75 litros de agua; una vez disuelto el abono se procede a regar cada caja con 3 litros cada una.

2.3.3.3. Cantidad de semillas y siembra

Según el INIA 2017, por cada hectárea de terreno se coloca 25 kg de Rye Grass y 5 kg de trébol Rojo, es así que para cada caja se sembraron 350 semillas de Rye Grass y 150 semillas de trébol Rojo en forma de boleó por cada una.

2.3.4. Riego

Para determinar la cantidad de agua para cada caja se utilizó la prueba de saturación, la que indica que a partir de los 3 litros de agua se saturaba el sistema.

Para el riego homogéneo se utilizó un sistema de regadera.

Durante las 2 primeras semanas se realizó dejando un día; a partir de la tercera semana se procedió a regar con la misma cantidad de agua, pero cada dos días. Este riego se realizó por seis meses consecutivos.



Figura 8. Riego con 3 litros de agua potable por Caja

2.3.5. Obtención de drenaje

Se dispuso un recipiente para cada tratamiento debajo del tubo de drenaje, el agua se fue acumulando por el periodo de tres meses, la que fue recolectada y remitida al laboratorio Coimolache para su análisis correspondiente.



Figura 9. Recolección de drenaje en recipientes de Plástico

2.3.6. Biomasa

Al transcurrir 6 meses de haber sembrado las especies de rye Grass y trébol, se procedió a medirlas para obtener su referente crecimiento, luego de ello se realizó el corte de las mismas y fueron separadas por tratamientos y especies, para su posterior lavado con agua potable. Se dejó sECAr por el periodo de dos semanas y posterior a ello se realizó el pesaje para poder obtener los datos de biomasa de cada una de las especies.



Figura 10. Extracción de especies, separación y sECAdo para cálculo de Biomasa

2.3.7. Análisis de cantidad y calidad de agua de drenaje

Se obtuvieron los resultados del laboratorio Químico Coimolache

2.3.8. Data

Se elaboró una tabla en el programa Excel con todos los datos de tratamiento, germinación, crecimiento, biomasa, flujo, pH, y los metales presentes en las muestras de agua.

2.3.9. Análisis Estadístico

Los datos fueron procesados a través de métodos de estadística básica, en la cual se realizó pruebas de normalidad; se utilizó el método de graficas de control cox box, cuando la prueba de normalidad p fue menor a 0.005. Asimismo, se utilizó el método de Anova de una cola para poder obtener la varianza.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS MATERIALES

3.1.1. Desmonte

El desmonte proveniente de labores de explotación de la empresa minera presenta un color anaranjado – amarillento, está compuesto principalmente por material con granulometría ≤ 70 mm combinado por gravas y boleas angulosos, presentando una matriz arenosa.

El desmonte según el ensayo realizado en laboratorios J Ramón se reportó 31 metales: aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, boro, cadmio, calcio, cerio, cobalto, cobre, cromo, estaño, estroncio, fosforo, hierro, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel, plata, plomo, potasio, selenio, sodio, talio, titanio, vanadio, zinc. El hierro es el elemento con mayor concentración con 26375 mg/kg.

Los elementos que cumple con los ECA de suelo son el elemento bario, cadmio, cromo.

El arsénico con valor de 332,6 mg/ kg como máximo y mínimo de 150 mg/kg no se encuentra dentro de los estándares de la calidad ambiental para el suelo ya que se establece que debe contener como máximo 140 mg/ kg de arsénicos en suelos comercial/ industrial/ extractivos.

El ph según el estudio tiene un valor de 3.38 a 3.61

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del desmonte

TEXTURA	COLOR	FORMA	GRANULOMETRÍA	pH
Arenosa	Anaranjado – amarillento	Gravas y boleos angulosos	≤ 70 mm	3.47

Caracterización de desmonte proveniente de la unidad Minera Tantahuatay



Figura 11 Obtención de Material de desmonte en la Unidad Minera

Tabla 3. Análisis químico de suelo (Desmonte) vs ECA

METAL	ENSAYO DE LABORATORIO (mg/ Kg)	ECA DE SUELO (mg/ Kg)
Aluminio	7203	
Arsénico	332.6*	140.00
Bario	286.1	2000.00
Berilio	0.12	
Cadmio	0.69	22.00
Cobre	988.5	
romo	67.12	1000.00
Estaño	20.4	
Estroncio	66.08	
Hierro	26375	
Plomo	161.7	800.00

En la tabla, el arsénico supera dos veces a los ECA exigidos en Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Fuente: Laboratorio J Ramón

En la tabla 3 se puede observar una elevada concentración de arsénico con 332.6 mg/kg; el bario, cadmio, cromo y plomo con valores de 286.1, 0.69, 67.12 y 161.7 mg/kg se encuentran por debajo de los ECA del suelo.

3.1.2. Lodos

Los lodos son provenientes de la planta de tratamientos de aguas ácidas AWTP de la unidad minera Tantahuatay, presentan una forma de bloques compactados con humedad del 35%.

En la tabla 2. se observa que la textura del lodo es arcillosa. Finalmente, el porcentaje de humedad se debe que este material es proveniente de la planta de tratamientos de aguas ácidas AWTP.

Los elementos con mayor concentración son aluminio, arsénico, bario, calcio, cobre, hierro, magnesio y potasio. El elemento presente en mayor cantidad es el hierro con un valor de 17 546 mg/ kg; el arsénico siendo el más contaminante con valores que fluctúan entre 342,9 mg/ kg y 327,7 mg/kg. Teniendo en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del suelo, estas cantidades sobrepasan las establecidas. Dentro de ellas también está el Bario con mayor concentración, pero en la tabla de resultados de laboratorio J RAMÓN nos indica que es mucho menor a las establecidas por los ECA del suelo cumpliendo con los estándares.

A través del ensayo se obtuvo como resultado para lodos un valor de PH que varía de 7,53 a 7,6.

Tabla 4. *Caracterización fisicoquímica de los lodos.*

TEXTURA	COLOR	FORMA	% HUMEDAD	pH
Arcillosa	Rojizo – anaranjado	Bloques compactados	35	7.57

Caracterización de lodos proveniente de la planta AWTP de la unidad Minera Tantahuatay



Figura 12. Lodos

Tabla 5. *Análisis químico de suelo (Lodos) vs ECA*

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELO VS ECA		
	ENSAYO DE LABORATORIO (mg/ Kg)	ECA DE SUELO (mg/ Kg)
Aluminio	7313	
Arsénico	342.9*	140.00
Bario	286.0	2000.00
Berilio	0.11	
Cadmio	0.62	22.00
Cobre	88.40	
Cromo	3.01	1000.00
Estaño	1.4	
Estroncio	66.05	
Hierro	17546	
Plomo	95.0	800.00

En la tabla el arsénico supera dos veces a los ECA. El ECA de plomo supera 8 veces al plomo contenido en los lodos. Fuente: *Laboratorio J Ramón*

En la tabla 5. se puede observar una elevada concentración de arsénico con 342.9 mg/kg, el bario, cadmio, cromo y plomo con valores de 286.0, 0.62, 3.01 y 95 mg/kg se encuentran por debajo de los ECA del suelo.

3.1.3. Material Hístico (chufra)

El material hístico fue obtenido de la unidad minera Tantahuatay, con una textura granular, con color negro – plumizo, fue obtenido de bofedales de la empresa minera.

El ensayo realizado en laboratorios J Ramón, tiene la presencia de los siguientes 31 metales: aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, bismuto, boro, cadmio, calcio, cerio, cobalto, cobre, cromo, estaño, estroncio, fosforo, hierro, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel, plata, plomo, potasio, selenio, sodio, talio, titanio, vanadio, zinc.

El elemento presente en mayor cantidad es el hierro con un valor de 71 679 mg/ kg; el aluminio con valores que fluctúan entre 35 212 mg/ kg y 30268 mg/kg. Pero estos metales no se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del suelo. El cadmio con 5,82 mg/kg, arsénico con 76,20 mg/kg, bario con 128.8 mg/kg y cromo con 2,58 mg/kg. En donde el cadmio si cumple con los ECA del suelo extractivo ya que tiene un valor establecido de 22 mg/k y la chufra cuenta con una cantidad menor, en arsénico también cumple ya que el valor para los ECA de suelo de minería es de 140 mg/kg, el bario también cumple en los parámetros del ECA debido a que tiene un valor de 2000 mg/kg y los ECA de suelo para cobre es 1000 mg/kg debido a esto el cobre también cumple con dicho parámetro.

A través del ensayo se obtuvo como resultado para todos un valor de PH que varía de 7,27 a 3.71



Figura 13. Material hístico

Tabla 6. Análisis químico de suelo (Material Hístico) vs ECA

ANÁLISIS DE LABORATORIO J RAMÓN VS ECA		
	ENSAYO DE LABORATORIO (mg/ Kg)	ECA DE SUELO (mg/ Kg)
Aluminio	35212	
Arsénico	76.20	140.00
Bario	128.8	2000.00
Berilio	0.98	
Cadmio	5.62	22.00
Cobre	242.0	
chromo	2.58	1000.00
Estaño	1.4	
Estroncio	59.46	
Hierro	71 679	
Plomo	117.8	800.00

El ECA de arsénico establecido supera dos veces al arsénico en el material hístico. Fuente: Laboratorio J Ramón

En la tabla 6. Se puede observar el arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo con valores de 76.20, 128.8, 5.62, 2.58, 59.46 mg/kg se encuentran por debajo de los ECA del suelo.

3.1.4. Top Soil

El suelo orgánico presenta un color marrón oscuro, dicho material tiene una forma pulverizada.

Según el análisis de suelo elaborado en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) el suelo orgánico tiene 30.52 Ppm de fósforo siendo una cantidad alta y 280 Ppm de potasio siendo una cantidad media. Asimismo, nos indica un PH moderadamente ácido.

Según la cantidad de fósforo y potasio las recomendaciones de nutrientes para el cultivo de las especies de Rye Grass y Trébol son de 40 kg/ha de urea, 75 kg/ha de fósforo de amonio y 50 kg/ha de sulfato de potasio.



Figura 14. Top soil

Tabla 7. Resultados de análisis de suelo Orgánico

Nombre	Código	P	K		M.O
	Laboratorio	Ppm	Ppm	pH	%
Top soil	SU0375-EEB-18	30.52	280.0	6	5.12

Contenido de Nutrientes en el Top soil, potencial de Hidrógeno y Materia orgánica.

Fuente: *Instituto nacional de investigación agraria*

Tabla 8. *Interpretación de Resultados de suelo Orgánico*

Fósforo (P)	ALTO
Potasio (K)	MEDIO
pH (Reacción)	MODERADAMENTE ÁCIDO
(M.O)	ALTO
Clase Textural	-----

La interpretación indica que el top soil se encuentra en condiciones favorables para el desarrollo de Rye Grass y trébol. Fuente: *Instituto nacional de investigación agraria*

Tabla 9. *Recomendaciones de Nutrientes por Hectárea*

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES				
Cultivo a sembrar: RYE GRASS + TRÉBOL				
NUTRIENTES	N	P₂O₅	KO₂	Cal
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha
Cantidad	40	75	50	-----

Recomendaciones para el cálculo de fertilizantes del material Top Soil.

Fuente: *Instituto nacional de investigación agraria*

En las tablas 7 y 8, los resultados indican 30.52 ppm de fósforo, indicando un alto contenido de este nutriente, asimismo, indica una concentración media de potasio con 280 ppm. El potencial de hidrogeno está caracterizado como moderadamente ácido con un valor de 6 y presenta un alto contenido de materia orgánica con un porcentaje de 5.12. Asimismo, en la tabla 9, se indica que para cultivos de rye Grass y trébol se recomienda enmiendas de nitrógeno de 40 kg/ha, 75 kg/ha de fosforo y 50 kg/ha de potasio.

3.2. DESARROLLO DE LA VEGETACIÓN EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS

3.2.1. GERMINACIÓN

3.2.1.1. Rye Grass

Después de 4 semanas, se muestra que el tratamiento H compuesto por (Top soil + chufla + lodos + Desmonte), fue el que demostró un mejor desempeño para la germinación de Rye Grass, con el valor de 259.2 semillas germinadas, representando el 74% de semillas diseminadas inicialmente por el sistema. El tratamiento 1 (Top Soil, Lodos y Desmonte) y 2 (Top Soil, Chufla y Desmonte), muestran germinación del 44% con valores de 153.2 y 153.6 semillas germinadas respectivamente. Seguido del tratamiento CT (Top Soil), tuvo una germinación de 82.80 (24%). E tratamiento CD compuesto por Desmonte con enmiendas de cal, es el menos favorable para la variable, con media de germinación de 23.60 semillas de Rye Grass, representando el porcentaje más bajo de 7%.

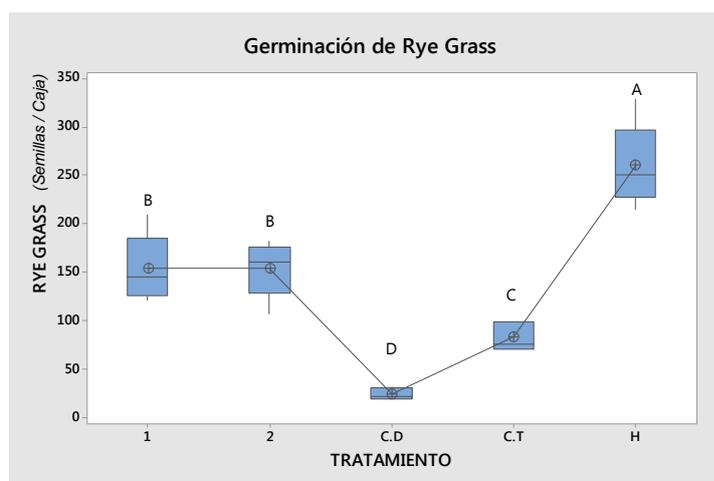


Figura 15. Diagrama de caja de Germinación de Rye Grass, El gráfico muestra que el tratamiento H compuesto por (Top soil + chufla + lodos + Desmonte), fue el que demostró un mejor desempeño para la germinación de Rye Grass. Fuente. *Minitab 2018*.

Tabla 10. *Análisis de Varianza de Germinación de Rye Grass*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	4	156181	39045.4	47.05	0.000
Error	20	16597	829.8		
Total	24	172778			

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 15 se observa que el tratamiento H, incluido en el grupo A, posee una media que es significativamente diferente a los demás tratamientos. Los tratamientos 1 y 2 no son significativamente diferentes entre sí ya que comparten el grupo B. CD y CT incluidas en los grupos D y C respectivamente, son consideradas significativamente diferentes.

3.2.1.2. Trébol Rojo

El tratamiento H (Top soil + chufla + lodos + Desmonte), demuestra un alto desempeño en esta variable, representando el 57% de semillas sembradas, con un valor de 79.4 semillas germinadas; consecutivamente, se visualiza al tratamiento 2 (Top Soil, Chufla y Desmonte), con una media de 59.40 (40%). Seguidos los tratamientos CT (Top Soil) y CD (Desmonte + Cal), con medias de germinación de 28.80 y 26.00 semillas, significando el 19% y 17%, respectivamente del total de semillas sembradas. El tratamiento que demostró menos germinación de trébol con 13%, fue el compuesto

por (top soil, chufra y Desmonte) con una media de 19.4 plantas de trébol rojo Germinadas.

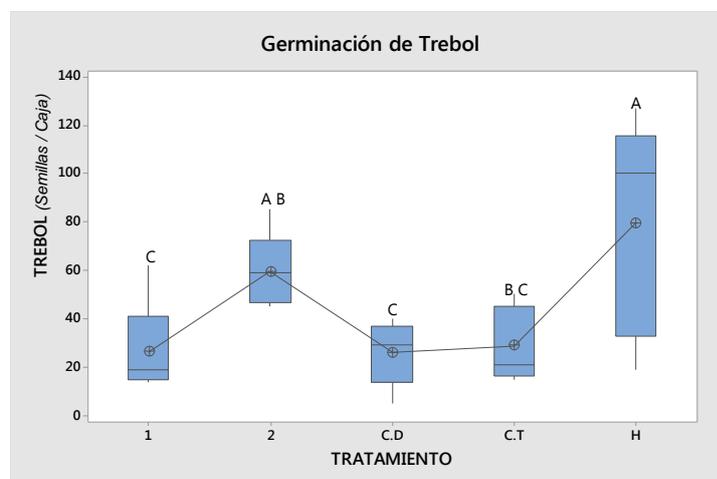


Figura 16. Diagrama de caja de Germinación de Trébol. La gráfica de caja para esta variable nos muestra que el tratamiento H con una mediana de 100 se encuentra visualmente muy sesgado con respecto a los demás, el cual asimismo fue el que demostró un mejor desempeño para la germinación de Rye Grass. Fuente. *Minitab 2018*.

Tabla 11. *Análisis de Varianza de Germinación de Trébol*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	11811	2952.7	4.81	0.007
Error	20	12280	614.0		
Total	24	24091			

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.007) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 16 se observa que los tratamientos H y 2 comparten la letra A, no considerándolos significativamente diferente entre sí. De igual manera 2 y CT al compartir la letra B, no son significativamente diferentes entre sí. Los tratamientos CT, CD y 1 incluidos en el grupo C no tienen medias consideradas significativamente diferentes.

3.2.2. CRECIMIENTO

3.2.2.1. Rye Grass

Los tratamientos H (Top soil + chufla + lodos + desmonte) y 2 (Top Soil + lodos + desmonte) demuestran un alto desempeño, con medias de 50 cm y 48.40 cm respectivamente. (CT) tiene una media de 38 cm. El tratamiento 1 tuvo un crecimiento bajo con 28.60 cm, sin embargo, el tratamiento que indica el más bajo crecimiento, fue el (CD) pues alcanzó una media de 4.400 cm.

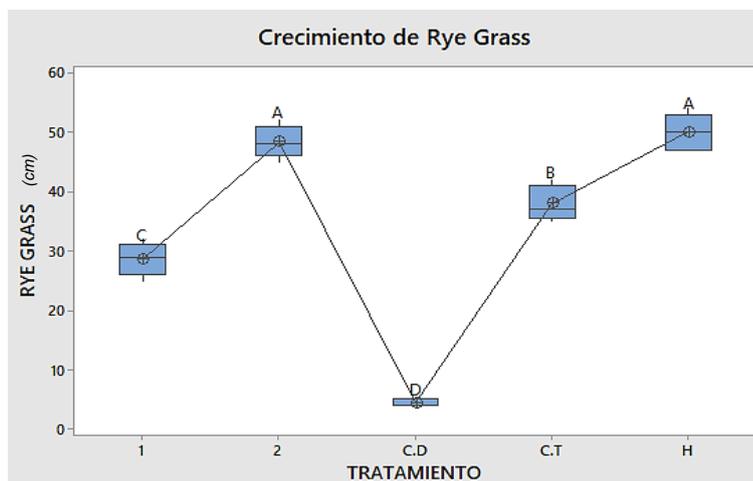


Figura 17. Diagrama de caja de Crecimiento de Rye Grass. El Diagrama muestra que los mejores tratamientos en crecimiento de Rye Grass son H y 2. Fuente. *Minitab 2018*.

Tabla 12. *Análisis de Varianza de Crecimiento de Rye Grass*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	6923.0	1730.76	263.03	0.000
Error	20	131.6	6.58		
Total	24	7054.6			

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 17, se muestra que los tratamientos H y 2 comparten la letra A, siendo considerados no significativamente diferentes entre sí. Los tratamientos CT, 1 y CD son significativamente diferentes incluidos en los grupos B, C y D respectivamente.

3.2.2.2. Trébol Rojo

El tratamiento H (Top soil + chufla + lodos + desmonte) con media de 23 cm y el 2 (Top Soil + lodos + desmonte) con media de 21.20 cm, son los que demuestran un mejor desempeño en Crecimiento de trébol Rojo. El tratamiento 1 y CT tienen medias de 16 cm y 15.20 cm respectivamente. El tratamiento C.D demuestra el menor desempeño con la media de 4.600 cm.

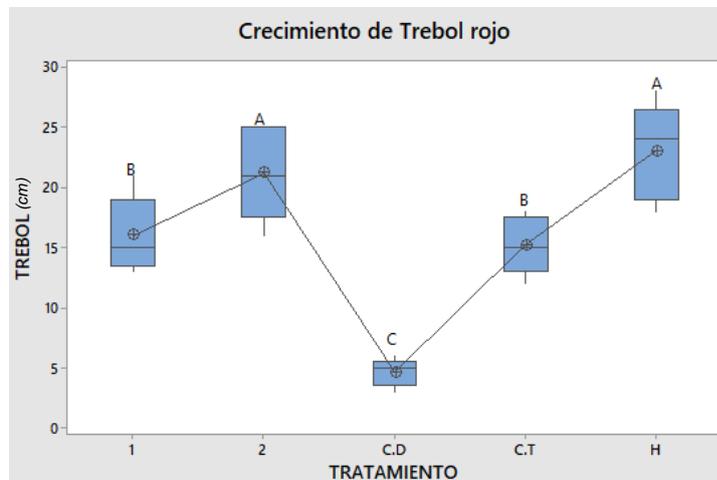


Figura 18. Diagrama de caja de Crecimiento de Trébol Rojo. Fuente. Minitab 2018.

Tabla 13. Análisis de Varianza de Crecimiento de Trébol Rojo

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
TRATAMIENTO	4	1033.2	258.300	26.79	0.000	

Error	20	192.8	9.640
Total	24	1226.0	

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 18, se muestra que los tratamientos H y 2 comparten la letra A, siendo considerados no significativamente diferentes entre sí, al igual que los tratamientos CT y 1 incluidos en grupo B. El tratamiento CD incluido en el grupo C, no comparte letra con ningún otro tratamiento.

3.2.3. BIOMASA

3.2.3.1. Rye Grass

El tratamiento H (Top soil + chufla + lodos + Desmonte), demuestra un alto desempeño en biomasa con media de 287 mg/Caja; consecutivamente, se visualiza al tratamiento 2 (Top Soil, Chufla y Desmonte) y 1 (Top Soil, Lodos y Desmonte) con medias de 178.8 mg/Caja y 162.6 mg/Caja respectivamente; seguidos del tratamiento CT con media de 106 mg. El tratamiento con menor desempeño, fue el CD con media de 3 mg/Caja.

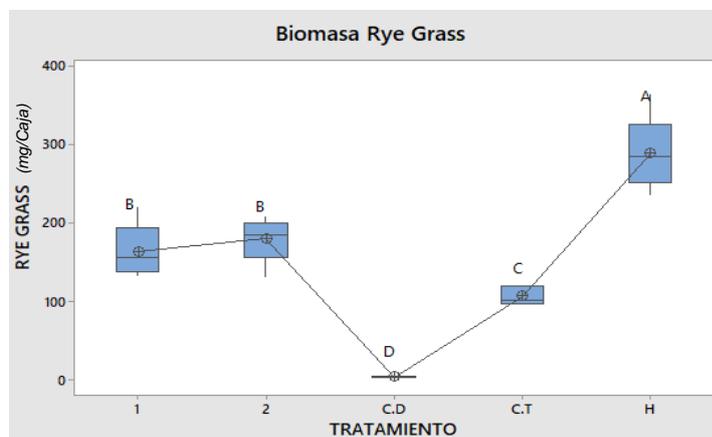


Figura 19. Diagrama de caja de Biomasa de Rye Grass. Fuente. *Minitab 2018*.

Tabla 14. *Análisis de Varianza de Biomasa de Rye Grass*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	4	216352	54088.1	63.06	0.000
Error	20	17154	857.7		
Total	24	233506			

El nivel de significancia es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 19, se muestra que el tratamiento H está incluido en el grupo A, no compartiendo letra con otro tratamiento, siendo así significativamente diferente. Los tratamientos 2 y 1, incluidos en el grupo B, son considerados no significativamente diferentes entre sí. Los tratamientos CT y CD incluidos en los grupos C y D, no comparten letras, siendo significativamente diferentes.

3.2.3.2. Trébol Rojo

Según el gráfico, el tratamiento H (Top soil + chufra + lodos + Desmonte), tiene los valores más altos junto con el tratamiento 2 (Top soil + lodos + Desmonte), con medias de 24.40 mg/Caja y 20.00 mg/Caja cada uno, seguidos de los tratamientos considerados estadísticamente semejantes 1 (Top soil + Chufra + Desmonte) y CT (Top soil) son estadísticamente semejantes al anterior, con medias que van de 8 mg/Caja y 9.20 mg/Caja respectivamente.

El tratamiento con menor biomasa es el CD (Desmonte + cal) con una media de 1 mg/Caja.

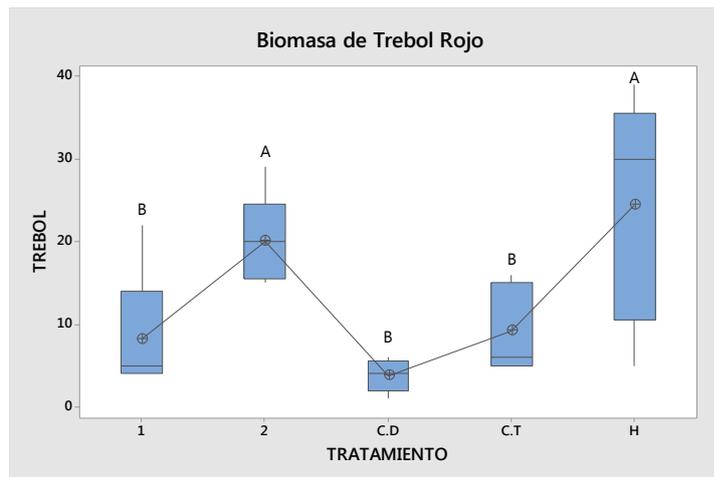


Figura 20. Diagrama de caja de Biomasa de Trébol Rojo. Fuente. *Minitab 2018*.

Tabla 15. Análisis de Varianza de Biomasa de Trébol Rojo

Análisis de Varianza						
E	Fuente	GL	SC	MC Ajust.	Valor F	Valor p
l			Ajust.			
v	Tratamiento	4	1505	376.26	6.06	0.002
a	Error	20	1242	62.08		
l	Total	24	2747			
o						

El nivel de significancia α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.02) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 20, se muestra que los tratamientos H y 2 comparten la letra A, siendo considerados no significativamente diferentes entre sí. CT, 1 y CD incluidos en grupo B no son significativamente diferentes estadísticamente.

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL DRENAJE EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS

3.3.1. CANTIDAD DE DRENAJE

3.3.1.1. FLUJO

Los resultados manifiestan que el tratamiento CD (Desmonte y cal), tiene la media más alta de flujo con 4012.0 ml de agua; Seguido por el tratamiento CT compuesto por Top soil únicamente, con una media de flujo de 3264.0 ml. Asimismo el tratamiento 1 (Top Soil, Chufla y Desmonte) incluido en el grupo C, y 2 (Top Soil, Lodos y Desmonte), tienen flujos de 568.0 ml, 448.00 ml respectivamente. El tratamiento que demuestra la más baja cantidad de drenaje es el H (Top Soil, Chufla, lodos y Desmonte) con una media de 369.0 ml.

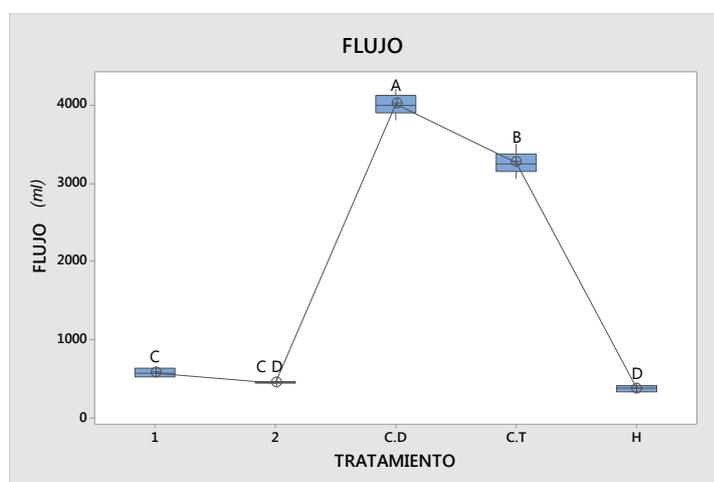


Figura 21. Diagrama de caja de Flujo de Drenaje. Fuente. Minitab 2018.

Tabla 16. *Análisis de Varianza de Flujo de Drenaje*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	62033724	15508431	1554.50	0.000
Error	20	199530	9976		
Total	24	62233254			

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 21, se muestra que los tratamientos CD y CT, incluido en los grupos A y B respectivamente, son significativamente diferentes entre sí. 1 y 2 comparten letra (C) al igual que 2 y H comparten letra D, siendo considerados no significativamente diferentes estadísticamente.

3.3.2. CALIDAD DEL DRENAJE EN LAS COBERTURAS

3.3.2.1. pH

Los tratamientos H (Top soil + chufla + lodos + desmonte y cal), 2 (Top Soil + lodos + desmonte y cal) y CT (top soil) indican las medias más elevadas de 7.1720, 7.060 y 6.9400 respectivamente. El tratamiento 1 (Top soil + chufla + desmonte y cal) y CD (desmonte) tienen medias de 6.491 y 6.4040 siendo los valores más bajos con respecto a la variable.

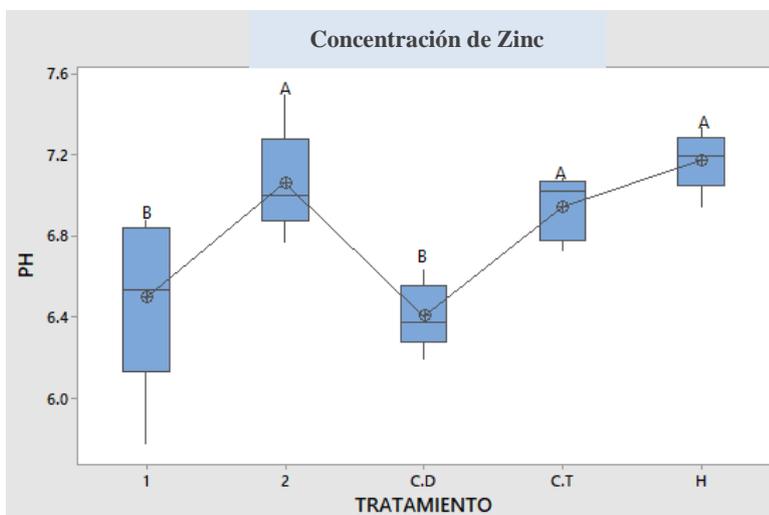


Figura 22. Diagrama de caja de Flujo de Drenaje. Fuente. *Minitab 2018*.

Tabla 17. *Análisis de Varianza de pH*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	2.384	0.59591	9.07	0.000
Error	20	1.314	0.06572		
Total	24	3.698			

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 22, se muestra que los tratamientos H, 2 y CT comparten la letra A, siendo considerados no significativamente diferentes entre sí. 1 y CD incluidos en grupo B no son significativamente diferentes estadísticamente.

3.3.3. METALES PRESENTES EN EL DRENAJE

La caracterización de metales se ejecutó a través del Método de ICP masa en el laboratorio químico Coimolache.

3.3.3.1. Arsénico

El tratamiento que contiene mayor cantidad de arsénico es el CD con una media de 2.130 mg/L. Seguido de los tratamientos 1, H y 2 con medias de 1.892 mg/L, 1.292 mg/L y 0.841 mg/L respectivamente.

La figura 23 nos indica que el tratamiento con menor cantidad de arsénico es el CT con una media de 0.00917 mg/L.

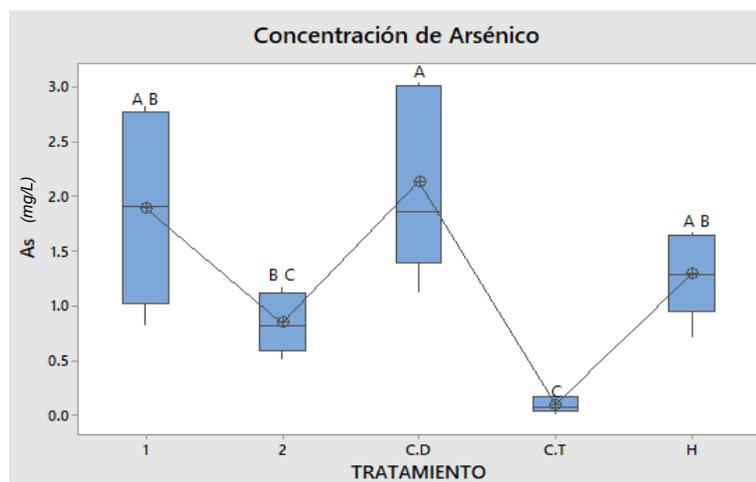


Figura 23. Diagrama de caja de concentración de Arsénico. Fuente. *Minitab 2018*.

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Tratamiento	4	13.482	3.3704	9.73	0.000	
Error	20	6.927	0.3464			
Total	24	20.409				

Tabla 18. *Análisis de Varianza de concentración de Arsénico*

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 23, se observa que el tratamiento CD está incluido en el grupo A, el que a su vez comparte letra con los tratamientos 1 y H siendo significativamente no diferentes entre sí estadísticamente. De la misma forma CT y 2 comparten la letra C no reportando diferencias significativas.

3.3.3.2. Cadmio

Los resultados para el elemento cadmio no fueron procesados ya que no fueron detectados por el laboratorio químico Coimolache debido

a que el elemento se encontraba por debajo del mínimo de detección de 0.002.

3.3.3.3. Cobre

Según la Figura 24, los tratamientos que demuestran una mayor concentración de Cobre son CD (Desmonte y cal) y 1 (Top soil + chufla + desmonte y cal) con medias de 3.193 mg/L y 2.857 mg/L respectivamente. H (Top soil + chufla + lodos + desmonte y cal) y 2 (Top Soil + lodos + desmonte y cal) tienen medias de 1.375 y 0.8616 respectivamente.

El tratamiento CT presenta la menor cantidad de concentración de cobre con media de 0.02070 mg/L. En concentración de cobre no se cumple con los LMP ya que se demanda que debe contener 0.5 mg/l.

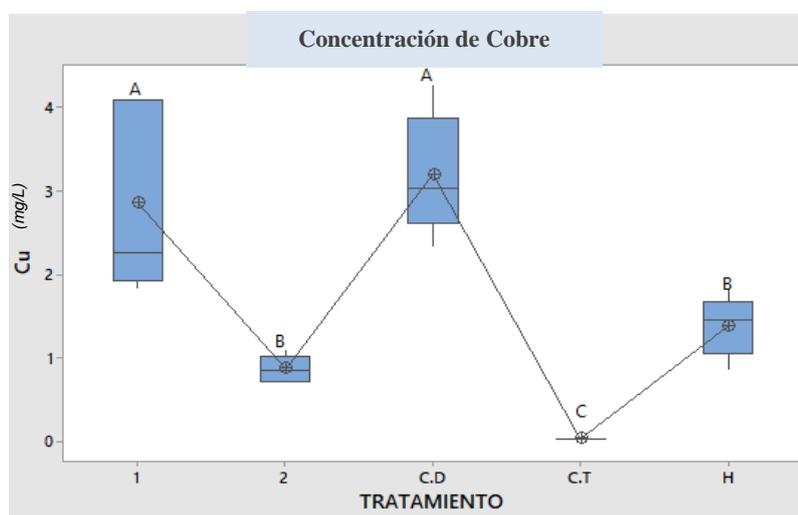


Figura 24. Diagrama de caja de concentración de Cobre. Fuente: Minitab 2018.

Tabla 19. Análisis de Varianza de concentración de Cobre

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	

Tratamiento	4	35.941	8.9852	22.82	0.000
E Error	20	7.874	0.3937		
I Total	24	43.815			

v

valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente: *Minitab 2018*.

En la figura 24, se muestra que los tratamientos 1 y CD comparten la letra A, considerados no significativamente diferentes entre sí, al igual que los tratamientos 2 y H incluidos ambos en el grupo B. El tratamiento CT está incluido por su parte en el grupo C, siendo significativamente diferentes estadísticamente.

3.3.3.4. Plomo

La mayor presencia de ese elemento es en el tratamiento CD (Desmonte + cal), con el valor de 0.2794 mg/L; siendo así el menos favorable respecto a la variable. Seguido el tratamiento 1 con concentración media de plomo de 0.2236 mg/ y el tratamiento H (Top soil + Chufla + lodos + Desmonte), con media de 0.1885 mg/l. El tratamiento CT (Top soil) presenta menor concentración de plomo (0.00816 mg/l), revelando que es el tratamiento más favorable; sin embargo, ya que este es considerado sistema de control, su sucesivo el tratamiento 2 ocupa su lugar como el más favorable, con una media de concentración de 0.1200 mg/L. De los 5 tratamientos, el tratamiento H, 2 y el sistema de control, cumplen con los LMP exigido por el MINAM, el cual indica un valor de 0.2 mg/L como límite de descarga de plomo en cualquier momento.

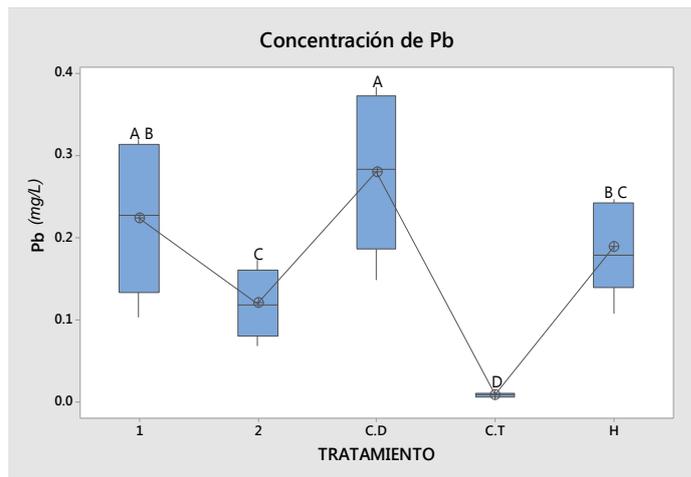


Figura 25. Diagrama de Caja de Concentración de Plomo. Fuente. *Minitab 2018*.

Tabla 20. *Análisis de Varianza de concentración de Plomo*

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	0.21850	0.054625	11.88	0.000
Error	20	0.09194	0.004597		
Total	24	0.31044			

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 25, se observa que el tratamiento CD está incluido en el grupo A, el que a su vez comparte letra con el tratamiento 1 siendo significativamente no diferentes entre sí estadísticamente. De la misma forma 1 y H comparten la letra B, al igual que 2 y H comparten letra C, no reportando los tratamientos que comparten letra, diferencias significativas entre sí. El tratamiento CD, es incluido en el grupo D, siendo significativamente diferente los demás.

3.3.3.5. Zinc

El tratamiento CD (Desmonte y cal), presenta la media más alta de concentración de zinc con 0.3818 mg/L, lo que le distingue estadísticamente como el tratamiento menos favorable. Los tratamientos 1 (Desmonte y cal + Chufla + Top soil) y H (Desmonte y cal + lodos + Chufla y Top soil), con valores de 0.2551 mg/L y 0.2052 mg/L respectivamente. Asimismo, el tratamiento 2 (Desmonte y cal + lodos y Top soil), antecediendo al CT (Top soil), presenta una media de concentración de zinc de 0.1229 mg/L. El tratamiento CT presenta menor concentración de Zinc con 0.01224 mg/L, siendo un valor esperado por ser el sistema de control.

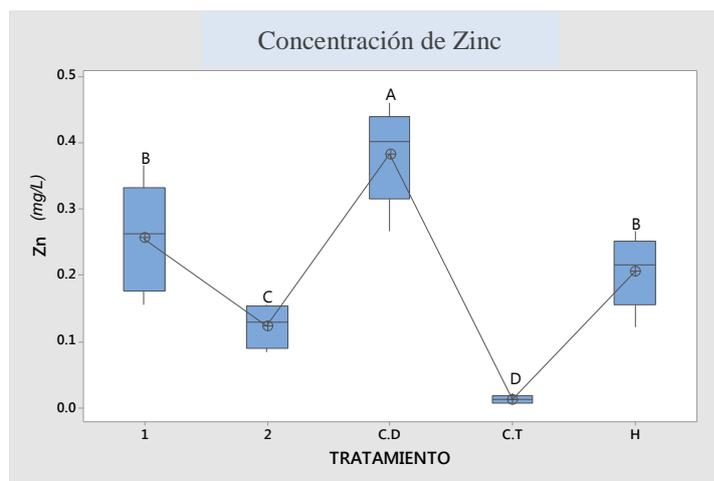


Figura 26. Diagrama de Caja de Concentración de Zinc. Fuente. Minitab 2018.

Tabla 21. Análisis de Varianza de concentración de zinc

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TRATAMIENTO	4	0.38614	0.096534	29.64	0.000
Error	20	0.06514	0.003257		
Total	24	0.45127			

El valor α es (0.05), y el valor de P en el resultado de varianza es menor (0.000) indicando que las diferencias entre algunas de las medias de los tratamientos son estadísticamente significativas y que no todas las medias de población son iguales. Fuente. *Minitab 2018*.

En la figura 26 el tratamiento CD incluido en el grupo A, es significativamente diferente a los demás. Los tratamientos 1 y 2 comparten la letra B, no siendo significativamente diferentes. Los tratamientos 2 y CT incluidos en los grupos C y D, respectivamente son estadísticamente diferentes.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 DISCUSIÓN

4.1.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS MATERIALES

4.1.1.1. Desmonte

La caracterización del desmonte demuestra ser un material ácido con potencial de hidrógeno que varía de 3.38 a 3.61, valores que destacan su alto nivel de oxidación. En general, los suelos de mina son ácidos o extremadamente ácidos con valores de pH inferiores a 4 (Fernández, 2008). Asimismo, al evaluar la presencia de metales, el desmonte muestra una importante concentración de Hierro con un valor de 26 375 mg/ kg; siendo esto esperado ya que el material de desmonte está compuesto principalmente por fragmentos de mineral de pirita, calcopirita, limonitas y diversos óxidos (Dirección General de Asuntos Ambientales, 2001). Asimismo hay presencia relevante de arsénico, con valores de 332,6 mg/ kg como máximo y mínimo de 150 mg/kg , confirmando lo que indica Fernández (2008) en su libro Suelos contaminados por actividades mineras, en la que se revela que: Los suelos directamente relacionados con residuos minero metalúrgicos, presentan concentraciones anómalas de As y metales pesados (sobre todo Cu, Pb, Zn y Cd) que exceden ampliamente los valores del fondo geoquímico regional y los umbrales críticos a partir de los cuales pueden existir problemas de ecotoxicidad.

El arsénico presente en el material de desmonte obtenido de la unidad minera Tantahuatay no se encuentra dentro de los estándares de la calidad ambiental para el suelo, ya que como se establece en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, se debe contener como máximo 140 mg/ kg de arsénicos en suelos comercial/ industrial/ extractivos. Los resultados de Oxidación del suelo y concentración de

metales demuestran que se trata de un suelo con potencial de producir drenaje ácido de mina.

Al caracterizar el desmonte, el cual es el material de interés para analizar en el sistema de coberturas, se observó que presenta un color anaranjado – amarillento debido a que son rocas con contenido metálico por eso se torna de ese color (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2008). Asimismo, el material de desmonte está compuesto principalmente por material con granulometría ≤ 70 mm combinado por gravas y boleos angulosos, presentando una matriz arenosa. Esto se debe a que son residuos obtenidos de la remoción de la tierra para el desarrollo del tajo abierto y están compuestos por polvo y rocas de tamaño regular (SNMPE, 2008).

Finalmente, de estos resultados se determinó que sobre este suelo de desmonte no se puede establecer vegetación y se vio necesario aplicar coberturas utilizando materiales que ayuden a controlar la toxicidad del suelo y evitar producir drenaje ácido de mina.

4.1.1.2. Lodos

Los lodos de la planta de tratamiento AWTP presentan un PH que varía de 7,53 a 7,6 por lo que pueden ser clasificados como neutros y ligeramente alcalinos; variando desde un rango ácido a alcalino; presentando valores de neutro (pH=6,5-7,5) a alcalino (pH>7,5) (Rojas, 2007).

Además, se presenta una elevada concentración de arsénico, siendo este elemento, el más contaminante con valores que fluctúan entre 342,9 mg/ kg y 327,7 mg/kg superando el valor del ECA. Mientras que los demás metales evaluados no superan los ECA (MINAM ,2017) y Límites Máximos Permisibles de la USEPA (Norma

503-40 CFR/1993). Los demás metales evaluados no superan los estándares establecidos en el ECA de Suelo: Bario (279.78 mg/kg), Cadmio (0.56 mg/kg), Cromo (2.85 mg/kg), Plomo (93.68 mg/kg). Según la Agencia de Protección Ambiental Estados Unidos (Norma 503-40 CFR/1993), la cual establece que los Límites Máximos Permisibles de metales pesados en lodos son: Arsénico 75 mg/kg, Cadmio 85 mg/kg, Cobre 4300 mg/kg, Mercurio 75 mg/kg, Niquel 75 mg/kg, Plomo 420 mg/kg, Selenio 100 mg/kg, Zinc 7500 mg/kg, Cromo 3000 mg/kg y Molibdeno 57 mg/kg.

El elemento presente en mayor cantidad es el hierro con un valor de 17 546 mg/ kg. Alvitez y Bravo (2016), demuestran en su investigación, aprovechamiento del sedimento proveniente de la planta de tratamiento de aguas ácidas, mezclado con arena limosa y arcilla en la obtención de un suelo de baja permeabilidad para el cierre del sector este del depósito de material inadecuado de minera la zanja; en donde indican que los lodos minero metalúrgicos, están formados principalmente de hidróxidos de Fe que en condiciones atmosféricas y al contacto con agua de pH neutral, son bastante estables, transformándose con el tiempo y en condiciones de humedad elevadas en fases más cristalinas y estables, como goethita y gibsitita, respectivamente. Esta información es clave para considerar a este material como material usado en coberturas de depósitos mineros. La composición química y mineralógica del lodo puede generar oportunidades tanto en la optimización del sistema de tratamiento de los efluentes como en la optimización de la propia generación de lodos para su uso como material impermeabilizante (Alvitez y Bravo, 2016).

Al realizar la caracterización de los lodos provenientes de la planta de tratamientos de aguas ácidas AWTP, el cual es uno de los materiales de algunos tratamientos de

los sistemas de coberturas, presentan una forma de bloques compactados con humedad del 35%. Asimismo, definen un color rojizo anaranjado por la cantidad de hidróxido de hierro presente observados en los resultados del reporte del laboratorio J Ramon. También se observó que la textura del lodo es arcillosa, debido que el término arcilla se emplea para definir a la roca sedimentaria dispersa y compuesta de partículas de minerales hojosos compuestos esencialmente de silicatos de aluminio hidratados, y que, en su mayor parte, se hallan como fracción de tamaños de 1 a 0.1 micras, e impurezas de otros minerales acompañantes (Avgustinik ;et,al 1983).

El porcentaje de humedad se debe a que los lodos son provenientes de la planta de tratamientos de aguas ácidas de la unidad minera, hay que tener en cuenta que la Empresa Minera ya se tiene un filtro prensa con el cual se disminuye hasta en un 80% de humedad (Sánchez, 2019 comunicación personal).

Debido a que los lodos son materiales impermeables se considera apto para utilizarse en una capa del sistema de coberturas.

4.1.1.3. Material Hístico

Los resultados manifiestan que el material Hístico presenta un pH promedio de 3.56, por lo que se le clasifica como extremadamente ácido. Esto debido a la imponente concentración de Hierro de 63 456 mg/kg en su composición química, así como e aluminio 35 212 mg/kg, zinc 1041 mg/kg y cobre con 242 mg/kg; valores que sobrepasan a los estimados en los materiales de lodos y desmonte.

Los elementos con mayor concentración son el cadmio con 5,82 mg/kg, arsénico con 76,20 mg/kg, bario con 128.8 mg/kg y cromo con 2,58 mg/kg. En donde el

cadmio si cumple con los ECA del suelo extractivo ya que tiene un valor establecido de 22 mg/k. En arsénico también cumple ya que el valor para los ECA de suelo de minería es de 140 mg/kg, el bario también cumple en los parámetros del ECA debido a que tiene un valor de 2000 mg/kg y los ECA de suelo para cromo es 1000 mg/kg debido a esto el cromo también cumple con el parámetro. No hay más estudios del material hístico utilizado en cierre de minas.

Pero analizando que este material cumple con los metales según los ECA de suelo y al contener 45 % de materia orgánica se decidió utilizar en algunas capas de los sistemas de coberturas a estudiar. Ibañez (2006), el horizonte hístico fue el primero empleado en las taxonomías modernas de suelos. El vocablo procede del término griego “hísticos” que significa tejido. Se trata de un horizonte superficial o cercano a esta última, está constituido por material orgánico probablemente airado, es decir mal drenado y probablemente encharcado durante casi todo el año. Contiene el 60 % de arcilla.

4.1.1.4. Top soil

Al caracterizar el suelo orgánico, el cual es un material indispensable en nuestros sistemas de cobertura, ya que este sirve como capa superior para llevar a cabo la revegetación de los tratamientos, presenta un color marrón oscuro, esto es justificado por la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (2009), debido a que el color del suelo refleja la composición, así como las condiciones pasadas y presentes de oxido-reducción del suelo. Está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de fierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, o puede ser debido al color de la roca

parental. La materia orgánica del suelo se caracteriza por una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas, que condicionan a su vez las propiedades del suelo.

La materia orgánica humificada proporciona un color oscuro al suelo.

Su mineralización proporciona elementos minerales solubles, asimilables por las plantas. El suelo orgánico Favorece el desarrollo y formación de las raíces principales y secundarias (acción rizógena). (López, 2005).

A partir de los resultados obtenidos de la caracterización de Top Soil se revela que este suelo orgánico podría ser usado en los tratamientos de cierre de depósitos de desmonte, debido a que presenta condiciones favorables para el sembrío de especies. Su contenido de fósforo es de 30.52 Ppm, siendo una cantidad considerablemente alta y buena para el desarrollo de la vegetación; puesto que, es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los vegetales, siendo considerado uno de los macronutrientes más importantes (Rodríguez *Et al.*, 2000).

El top soil presenta valores de fósforo de 280 Ppm, lo que indica una cantidad media de concentración, razón por la que se hace una enmienda para el Ry Grass y trébol de 40 kg /ha ya que este macronutriente cumpliría con las funciones vitales en la fisiología vegetal y por lo tanto su deficiencia originaría importantes mermas en el rendimiento y/o calidad de los cultivos.

Asimismo, se indica un Ph moderadamente Acido, el cual se encuentra entre el rango de 5.6–6.0, intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos (Casas, 2011).

4.1.2. DESARROLLO DE LA VEGETACIÓN EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS

4.1.2.1. GERMINACIÓN

4.1.2.1.1. Rye Grass

Los resultados de la germinación de Rye Grass demuestran la variabilidad del tratamiento H con respecto a los otros tratamientos, los cuáles a su vez, nos permiten indicar es el más adecuado para esta variable, con el valor de 259.2 semillas germinadas.

Sin embargo, resulta interesante al ver el porcentaje de germinación del tratamiento 2, en el cual los lodos se antecedían, y siendo este material considerado estéril, los resultados fueron considerablemente adecuados para la germinación con un valor de 153.6 semillas. La explicación a partir de la observación en campo podría sugerir, que los lodos tienen alta capacidad de contención de agua, humedeciendo en cierta proporción a la base de la materia orgánica, esto permitiendo que las raíces de la especie tengan suficientemente agua para su germinación y crecimiento.

EL tratamiento CD, muestra germinación de Rye Grass con un valor de media de 24 semillas germinadas, esto debido a las enmiendas de cal que se colocaron al inicio del estudio, comprobando que la germinación de especies si se puede lograr en desmonte con enmiendas de cal, sin embargo, con un crecimiento significativamente mínimo que varía hasta los 5 cm, haciéndole el tratamiento menos favorable para la germinación de esta especie.

El sistema de control demostró una alta germinación de Rye Grass al inicio del estudio con un valor de 82.80 semillas, sin embargo, este fue superado en aproximadamente tres veces por el tratamiento con mayor valoración (H).

4.1.2.1.2. Trébol Rojo

En general para los 5 tratamientos, los resultados demuestran una baja germinación de trébol rojo. El tratamiento H, estadísticamente demuestra un mayor desempeño en relación a los demás tratamientos, siendo esto una simetría significativamente baja, teniendo en cuenta que viene a ser una que soporta suelos ligeramente ácidos como el usado como materia orgánica.

La predominancia de una baja germinación y mantenimiento de esta especie en los tratamientos, puede deberse a la composición de las capas de coberturas. Ya que esta especie crece en suelos de ph neutro. El top soil se caracteriza por tener una ligera acidez, sin embargo, sus condiciones si permiten la germinación de esta especie, no obstante, teniendo la caracterización de los materiales que componen las capas que le anteceden, algunos cuentan con Ph menor a 4, lo que indica un ambiente con probabilidad de producción de la especie. Asimismo, como indica la revista Forratec (2018), el trébol rojo se adapta a suelos fértiles, bien drenados y con alta capacidad de retención de agua. Prospera mejor en suelos relativamente pesados en comparación con suelos de textura gruesa. EL pH adecuado para su crecimiento se encuentra en un rango de 6,5-7,5.

La presencia de esta variable en el tratamiento CD, representó el 13% de semillas sembradas. Sin embargo, estas plantas alcanzaron como máximo 5 centímetros de altura y distribuidas de manera dispersa, con raíces poco estables; variable desfavorable tomando en cuenta la propagación y calidad de la vegetación.

4.1.2.2. CRECIMIENTO

Según el análisis de campo al menos en 4 de los tratamientos la germinación fue homogénea hasta aproximadamente las 8 semanas de estudio, a partir de ese intervalo las plantas en algunos tratamientos fueron secándose en ciertas proporciones. Esto debido, a que a medida que la planta profundizaba sus raíces iban teniendo contacto con el material que antecedió al Top soil.

El mejor sistema de cobertura con respecto al crecimiento en las especies de Rye Grass, son los tratamientos H (Top soil + chufla + lodos + desmonte) y 2 (Top Soil + lodos + desmonte), los cuales cumplen con las mismas características en crecimiento de la planta, con medias de 50 cm y 48.40 cm respectivamente y de trébol son el tratamiento H (Top soil + chufla + lodos + desmonte) con media de 23 cm y el tratamiento 2 (Top Soil + lodos + desmonte) con media de 21.20 cm, debido a que ambos tratamientos están compuestos por una capa de lodos, material que podrían contener humedad para mantener el crecimiento de la especie. Contando así los dos tratamientos H y 2 con las especies en Rye Grass y trébol con más crecimiento. Pero el trébol tiene un crecimiento menor con respecto a la especie de Rye Grass, pues el crecimiento de la especie de trébol rojo es más lento, sobre todo en el primer periodo de su vida (Catañon, 1952). Mientras que el Rye Grass es una especie exigente en humedad, pero no soporta el encharcamiento ni exceso de humedad en el suelo. En los suelos muy húmedos se restringe el desarrollo de las raíces y las plantas mueren tempranamente, con un buen manejo cada planta individual puede alcanzar hasta 60 – 90 cm de altura al culminar su época de crecimiento (Ruiz, 2007).

4.1.2.3. BIOMASA

4.1.2.3.1. Rye Grass

De los resultados se obtiene que la fracción más abundante de biomasa la adquirió el tratamiento H (Top soil + chufla + lodos + Desmonte) con media de 287 mg/Caja; esto debido a la composición y/o distribución de los materiales provenientes de la planta AWTP, que le podrían ceder al suelo orgánico cierta humedad al retener el agua de infiltración, permitiendo mayor crecimiento y muy buen macollamiento en la especie y por consecuencia mayor biomasa de la especie. Consecutivamente, se visualiza al tratamiento 2 (Top Soil, Chufla y Desmonte) y 1 (Top Soil, Lodos y Desmonte) con medias de 178.8 mg/Caja y 162.6 mg/Caja respectivamente pertenecientes al grupo B. Seguidos del tratamiento CT con media de 106 mg/Caja, no siendo considerado estadísticamente diferente al tratamiento 2 y 1. El tratamiento menos favorable en biomasa de Rye Grass, fue el CD con una menor media de 3 mg/Caja, esto debido a que en este tratamiento el crecimiento de las plantas no se desarrolló eficientemente, por estar compuesto solo de desmonte, careciendo de suelo que le brinde materia orgánica y nutrientes a la especie.

4.1.2.3.2. Trébol Rojo

El tratamiento H (Top soil + chufla + lodos + Desmonte), puntúa los valores más altos junto con el tratamiento 2 (Top soil + lodos + Desmonte), con medias de 24.40 mg/Caja y 20.00 mg/Caja, cada una, considerados estadísticamente semejantes y con la valoración más alta de biomasa debido a que tuvo mayor crecimiento y muy buena germinación esto podría ser debido a las condiciones

favorables que presentan los lodos y a la chufla por tener alto contenido de materia orgánica brindando sus nutrientes a las plantas.

Estadísticamente los tratamientos 1 (Top soil + Chufla + Desmonte) y CT (Top soil) con medias de 8.20 mg/Caja y 9.20 mg/Caja respectivamente, son proporcionales a los resultados de germinación y crecimiento

Según los resultados, el tratamiento con menor valoración de biomasa de trébol es el CD (Desmonte + cal) con una media de 3.80 mg/Caja, esto debido al bajo desarrollo de las plantas germinadas.

4.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL DRENAJE EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE COBERTURAS

4.1.3.1. CANTIDAD DE DRENAJE

4.1.3.1.1. FLUJO DE DRENAJE

Para la Valoración de la cantidad del drenaje en los sistemas de coberturas, el análisis estadístico expone resultados de medias significativamente diferentes en cada uno de los tratamientos, esto debido a que se presentaron diferentes volúmenes de drenaje para cada cual. El tratamiento CD y CT compuestos únicamente por material de desmonte y Top soil respectivamente, indican mayor cantidad de agua por el drenaje, esto debido a su composición física y a la baja permeabilidad que poseen, permitiendo una considerable capacidad de transmisión del agua a través de los granos que los componen.

Durante la evaluación de campo se ha podido observar que el material de desmonte está compuesto principalmente por material granular, por gravas y rocas angulosas con poca humedad, lo cual indica que se trata de un material con baja permeabilidad.

El tratamiento 1 está compuesto por los dos materiales antes descritos, combinados por una capa intermedia de material Hístico conocido como chufla. Al ser este poseedor de dos capas, los resultados muestran que la infiltración disminuye a un valor de 568 ml, en relación a los valores de 3264 ml y 4012 ml correspondiente al tratamiento CT y CD. Sin embargo, no se cumple totalmente el principio de capilaridad en el sistema, esto debido a que el material intermedio esta asimismo compuesto por material granular que no impide la infiltración del agua hacia el desecho minero. Estos materiales permiten el paso del agua a través de él, bajo la aplicación de una presión hidrostática, esto implica una posibilidad de recorrido y exige la existencia de vacíos o huecos continuos. El agua ejerce una presión sobre el suelo poroso a través del cual circula, esta presión se conoce como presión de filtración, esto es como un roce que produce el agua con las paredes de los granos o componentes sólidos del suelo que conforman los canalillos por los que el agua se mueve (Manual de Drenaje USBR). Para lograr un suelo compactado y de baja permeabilidad, el suelo deberá estar uniforme y lograr que su densidad sea mínima 95% según norma ASTM D 698. De esta manera el suelo será idóneo respecto a sus propiedades de permeabilidad, plasticidad y resistencia (Alvitez y Bravo, 2016). Esto reflejado en los tratamientos 2 y H, que contienen lodos de la planta AWTP, el cual al estar homogenizado y tener características de alta densidad, cumplen con la función de capilaridad en los sistemas. Asimismo, los resultados obtenidos se sustentan técnicamente a través de la correcta distribución alterna de materiales finos y gruesos en los tratamientos H y 2, evitando la percolación significativa de agua al drenaje, esto ratificando que las funciones de las curvas de conductividad hidráulica de los materiales gruesos

son mayores que los materiales finos, esto es debido a que la permeabilidad saturada de los materiales gruesos es mayor (Durand, 2014),

Para la estadística, los resultados determinan que el tratamiento más adecuado para control de infiltración de agua al drenaje, es el compuesto por Top soil (Materia orgánica), material hístico, Lodos y Desmonte. Este resultado asimismo es respaldado por un apartado anterior de la discusión, ya que este tratamiento manifestó una mayor vegetación en sus resultados, la cual, al haber tenido un alto grado de germinación y crecimiento de las especies, representó una mayor escorrentía superficial en el regadío. Esto mantenido por la investigación de Mend (2000), el cual sostiene, que la vegetación es un componente principal de los sistemas de cubierta que proporcionan dos funciones principales: 1) para fomentar la transpiración y minimizar la filtración; y 2) para ayudar a estabilizar la superficie del suelo controlando de este modo la erosión.

4.1.3.2.CALIDAD DEL DRENAJE EN LAS COBERTURAS

4.1.3.2.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Los sistemas de coberturas con potencial de Hidrogeno cercano a 7 (Ph neutro), son los tratamientos H (Top soil + chufla + lodos + desmonte), 2 (Top Soil + lodos + desmonte) y CT (top soil), estos perteneciendo estadísticamente al mismo grupo, los cual nos conlleva a afirmar que son técnicamente iguales con medias de 7.1720, 7.060 y 6.9400 respectivamente. El CT no es considerado como un mejor sistema debido a que es un tratamiento de control con respecto a las demás coberturas.

Los resultados obtenidos en Ph se relacionan proporcionalmente con respecto a las demás variables. Asimismo, se obtienen estos valores debido a las enmiendas de cal aplicadas inicialmente al material de Desmonte, esto reafirmando la investigación de Alcantara (2016) en la que indica que la muestra N° 2 correspondiente a su estudio, con una enmienda del 5% de cal elevó su PH a 6.85, valorándose en un rango de ligeramente ácido, y la muestra N° 3 con un incremento del 10% de enmienda con cal viva (cao) el suelo se neutralizó en su PH, con el que se consiguió favorecer la adsorción y absorción de las bases intercambiables, caso no percibido en la muestra N.º 1 en la cual no se hicieron enmiendas de cal, indicando al final de la investigación un PH fuertemente ácido (PH=5.89). La aplicación superficial de cal en el suelo eleva el PH en una profundidad restringida en el perfil (5 – 10) cm que en ocasiones coincide con la zona donde se encuentra la mayor actividad radicular (Espinoza, 1999). Según Sequeira (1987) el encalado es la operación por la cual se aplica al suelo compuesto de calcio y magnesio, los que son capaces de reducir la acidez e incrementar el PH.

4.1.3.2.2. METALES PRESENTES EN EL DRENAJE

4.1.3.2.2.1. Arsénico

El mejor tratamiento con respecto al metal arsénico es el tratamiento 2 que está conformado (Top Soil + lodos + desmonte y cal), esto debido a que contiene menor cantidad de concentración de este metal con una media de 0.841 mg/l, sin embargo, este no cumple con los Límites Máximos Permisibles establecidos para la descarga de efluentes de actividades minero metalúrgicas, en donde el arsénico total tiene un límite en cualquier momento de un valor de 0.1 mg/l.

Esto se debe a que a mayor PH el arsénico se precipita; La cantidad de arsénico y de hierro lixiviado puede atribuirse tanto a procesos de disolución de los minerales menos resistentes, como a mecanismos de adsorción o desorción que están influidos por los valores del pH. Las similitudes en los perfiles de lixiviado del arsénico y del hierro sugieren una fuerte asociación entre ambos metales (Mataix, 1995).

El tratamiento medio para el metal arsénico son 1 (Top soil + chufla + desmonte y cal) y H (Top soil + chufla + lodos + desmonte y cal) pertenecientes a los grupos A y B son semejantemente iguales con medias de 1.892 mg/l y 1.292 mg/l respectivamente.

El peor tratamiento para el elemento arsénico es el de control de desmonte (C.D) del grupo A albergando mayor cantidad de concentración de este elemento; esto debido a que al estar constituido únicamente de desmonte, estuvo más expuesto a los elementos de generación de drenaje ácido, demostrando asimismo niveles bajos de Ph, asimismo teniendo en cuenta el análisis inicial plasmado en el reporte de laboratorio J Ramón, en donde se evidencia que el material de desmonte presenta elevada concentración de arsénico.

4.1.3.2.2.2.Cadmio

La baja concentración de cadmio, se cumple en todos los tratamientos de la investigación, presentando cantidades menores a 0.002 mg/l, valor considerado como mínimo de detección en el análisis de las muestras de agua realizadas en el Laboratorio Coimolache. Además, también se cumple con los límites Máximos Permisibles establecidos para la descarga de efluentes de actividades

minero metalúrgicas en donde el cadmio tiene un límite de descarga en cualquier momento de 0.05 mg/l.

4.1.3.2.2.3.Cobre

El tratamiento que presenta menor concentración de cobre es el CT (Top Soil) con una media de 0.02070 mg/l, sin embargo, al representar este a un tratamiento de control, se considera estadísticamente como mejores tratamientos a H (Top soil + chufla + lodos + Desmonte) y 2 (Top Soil + lodos + desmonte y cal) con medias de 1.375 mg/l y 0.8616 mg/l respectivamente. No obstante, no se cumple con los LMP ya que se demanda que debe contener 0.5 mg/l para descarga en cualquier momento.

Los tratamientos CD Y 1 (Top soil + chufla + desmonte y cal) incluidos en el grupo A, tiene mayor cantidad de cobre, siendo considerados no favorables. Esto es debido a que al presentar menor potencial de hidrogeno, hubo menor precipitación de este metal.

4.1.3.2.2.4.Plomo

En la caracterización de plomo, resultan favorables los tratamientos 2 (Top Soil + Lodos + Desmonte) y H (Top Soil + Lodos + Desmonte), al comparar sus valores de (0.12 mg/L y 0.1885 mg/L) con los límites máximos permisibles, en donde se exige una concentración máxima de 2 mg/L como límite de descarga en cualquier momento. De igual manera estos dos tratamientos cumplen con los estándares de calidad ambiental solicitados por el MINAM, no superando el valor de 0.2 mg/L para Riego de vegetales y bebida de animales. Esto debido a

que estos tratamientos tienen valores de pH mayores en relación a los demás, Baretino y Loredó (2005) siendo respaldados al considerar que el plomo es un metal que precipita a medida que va elevándose los niveles de potencial de Hidrogeno con niveles mínimos de 6.5.

El tratamiento H con un valor de 0.1885 mg/L está por encima del valor del tratamiento 2 cuya media es 0.1200 mg/L, dando un juicio de valor, estos tratamientos son diferentes, sin embargo, la estadística nos demuestra, que no existen diferencias significativas por pertenecer al mismo grupo. La probabilidad de que estos dos tratamientos sean los más aptos para la variable plomo, radica en que ambos están compuestos por material residual proveniente de la planta AWTP; este material por su composición química y mineralógica puede generar oportunidades tanto en la optimización del sistema de tratamiento de los efluentes como en la optimización de la propia generación de lodos para su uso como material impermeabilizante (Alvitez y Bravo, 2016).

La característica impermeabilizante evita la infiltración de agua hacia el desecho minero y el lixiviado de metales presentes en él. Asimismo, los resultados de concentración de este metal en los lodos, es en promedio 129.3 mg/kg, un valor significativamente menor, relacionado al Estándar de calidad de Suelo Comercial, Industrial y Extractivo que exige valores de 800 mg/kg de concentración como máximo.

La mayor concentración de plomo se obtuvo en el tratamiento contenido de desmonte puro y el que posee material histórico; esto debido a que no podrían cumplir con el principio de capilaridad, el cual depende de muchos factores, tales como el material o las partículas que posea un suelo, de las fuerzas de

adhesión y cohesión existentes entre el fluido y el otro material (Montoya, 2016).

El suelo puede inmovilizarlo gracias a la materia orgánica y la arcilla, pero si hay pH ácido el Pb es móvil y será tomado por las plantas (Barrio, 2015).

4.1.3.2.2.5. Zinc

El resultado de Ph para los tratamientos varía en un rango de 5.78 a 7.49, valores considerados neutros a relativamente neutros. El Ph en este estudio es un indicador que sustenta la baja movilización de zinc, esto respaldando la afirmación de Zauner et., al (1999), el que afirma que: la solubilidad del zinc es baja, a pH ácido predomina la forma Zn^{2+} alcanzando concentraciones de 10^{-4} M mientras que a pH alcalino esta concentración disminuye considerablemente (10^{-8} M) ya que precipita como $Zn(OH)_2$. La movilidad del zinc decrece con el incremento de los valores de pH (Zauner, G., Monn, L., Stahr, K.; 1999).

El zinc puede ser considerado, junto con el cadmio, como un metal muy móvil y biodisponible (Kiekens, L., 1995). El zinc se correlaciona positivamente con cadmio y plomo; estos dos últimos, a su vez, también establecen relación directa entre sí, de manera que los tratamientos que presentan los mayores contenidos de uno de ellos también poseen los mayores contenidos de los otros. Solano (2005), esta afirmación respalda este estudio, ya que los metales de plomo y cadmio se encuentran en bajas proporciones en al menos 3 de los tratamientos.

Al cotejar las medias de los tratamientos con los valores de ECA y LMP nos indican que todos los tratamientos son adecuados para el control de

concentración de Zinc, sin embargo, estadísticamente a través del diagrama de caja, análisis de varianza y comparación de medias, se ultima, que el tratamiento que permite menor concentración de Zinc, es el compuesto por Top soil, lodos y desmonte, correspondientes al tratamiento 2.

4.2 CONCLUSIONES

La caracterización del material hístico (chufra), lodos y Top soil nos permitieron identificar que pueden ser materiales potenciales para coberturas. El material Hístico debido a que presenta elevada concentración de materia orgánica de 60 %, la que cumpliría una función de capa que provee nutrientes; el lodo por sus altos valores de pH y textura puede lograr neutralizar e impermeabilizar. Finalmente, el top soil al contener nutrientes sirve como capa final para el desarrollo de la vegetación.

De los tratamientos evaluados, los que pueden ser utilizados para mejorar la condición de germinación, crecimiento y biomasa son los tratamientos H y 2, los que alcanzaron valores de 74% y 44% de semillas germinadas de Rye Grass, 57% y 40% semillas germinadas de trébol Rojo. Asimismo, con medias de crecimiento de Rye Grass de (50 y 48.40) cm y (23 y 21.20) cm en trébol rojo. Finalmente, con biomasa de Rye Grass, con valores de (287 y 162.6) mg/caja y biomasa de trébol rojo de (24.20 y 20) mg/caja respectivamente.

Los tratamientos que mostraron menor cantidad de drenaje fueron 2 y H, lo que significa que podemos utilizar estas coberturas para disminuir drenaje ácido de mina, así mismo se comprueba que el remanente del drenaje posee características que cumplen en su mayoría con los límites máximos permisibles, lo cual hace de estos sistemas una solución potencial para ser usado en el cierre de mina.

REFERENCIAS

Alcántara Trujillo, M.C. (2016). Recuperación de suelos de relaves mineros para convertirlos en áreas verdes en la planta piloto metalúrgica de yauris. Perú. Universidad nacional del centro del Perú-

Alvitez, S. y Bravo, R. (2016). Aprovechamiento del sedimento proveniente de la planta de tratamiento de aguas ácidas, mezclado con arena limosa y arcilla en la obtención de un suelo de baja permeabilidad para el cierre del sector este del depósito de material inadecuado de minera la zanja. Perú. Repositorio universidad Privada del Norte.

Agroware. (2017). Manejo de suelos ácidos: Datos y recomendaciones. México. Recuperado el 25 de mayo del 2019 de <http://sistemaagricola.com.mx/blog/manejo-de-suelos-acidos-recomendaciones/>.

Arauzo. M. Rivera, M. Valladolid, M. Noreña.C , Cedenilla. O. (2003). Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama” <http://hdl.handle.net/10261/35521>

Barrio vega. N. (2015). Metales pesados en suelos y sus efectos sobre la salud. España. Universidad complutense.

Basualdo.G.J y Ycila. J.D. (2015). Determinación de arsénico y cadmio en aguas del río Rímac y habas cultivadas en el distrito de San Mateo de Huánchor de la región de lima. Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Casas Flores. R. (2011). El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. España. Ediciones paraninfo S.A

Castañon. G. (1952). Hojas divulgadoras-El trébol Rojo. España. Ministerio de agricultura.

Cunningham, S. D., & Berti, W. R. (2000). Phytoextraction and phytostabilization: technical, economic and regulatory considerations of the soil-lead issue. Phytoremediation of contaminated soil and water.

Dirección General de Asuntos Ambientales. (2001). Estudio de minas inactivas en el departamento de Arequipa. Perú. Sistema de información ambiental.

Durand Pacheco, P. (2014). Aplicación numérica para las coberturas de los depósitos de residuos mineros. Perú. Universidad Nacional de Ingeniería.

Espinosa, J. y Molina, E. (1999). Acidez y enclavado de suelos, libro por J Espinosa y E nutrition institute.

Fernández. J.C y Barba, C. (2009). Geología de Huelva, Suelos contaminados por actividades mineras. España. Universidad de Huelva Editores.

Hinojosa, O., Salas, A, Zamora, G. (2011). Restauración de Sitios Mineros Mediante Coberturas de Efecto SDR. Bolivia. Universidad Técnica de Oruro

Ibáñez, J.J. (2006). Clasificación de los Horizontes Orgánicos de los Suelos Hidromorfos o Anegados de Agua. Recuperado el 25 de mayo del 2019 de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/08/17/37690>.

Madrid Blogs. (2015). Contaminación del agua con cromo. Recuperado el 26 de mayo del 2019 de <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2015/12/09/132418>

Lawrence, R. W., y Wang, Y. (1997). Determination of neutralization potential in the prediction of acid rock drainage. In Proceedings of the fourth international conference on acid rock drainage (Vol. 1, pp. 451-464).

Leigh, M. B., Prouzová, P., Macková, M., Macek, T., Nagle, D. P., & Fletcher, J. S. (2006). Polychlorinated biphenyl (PCB)-degrading bacteria associated with trees in a PCB-contaminated site. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72(4), 2331-2342.

Oré Yllescas, G. A. y Parodi Palacios M.A. (2008). Evaluaciones y modelamientos geotécnicos para la ampliación de depósitos de relaves. Perú. Universidad Ricardo Palma.

Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (2009). Guía para la descripción de suelos. Italia. Fao.

Pautasso, J.M. (2013). Eficiencia agronómica de Fosforo: Efecto de fuentes líquidas y sólidas en suelos con presencia de Calcáreo de entre ríos. Argentina. Universidad de Buenos Aires.

Rimarachín, P y Huaranga, F. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. Perú universidad nacional de Trujillo.

Rivasplata Aguirre, R. J. (2013). Efecto de dosis creciente de nitrógeno sobre la producción de materia seca, valor nutritivo y evaluación de consumo voluntario de Rye Grass Italiano. Perú. Universidad Nacional de Trujillo.

Sevillano, R.L. (2017). Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio. Perú. Universidad César Vallejo

Sociedad nacional de minería petróleo y energía. (2008). Desmontes y relaves mineros. Perú. Recuperado el 26 de mayo del 2019 de <https://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/informes-quincenales/sector-minero/1828-desmontes-y-relaves-mineros-publicado-octubre-de-2008.html>

Vega, N. B. (2009). Trabajo fin de grado título: Metales pesados en suelos y sus efectos sobre la salud (Doctoral dissertation, Universidad complutense).

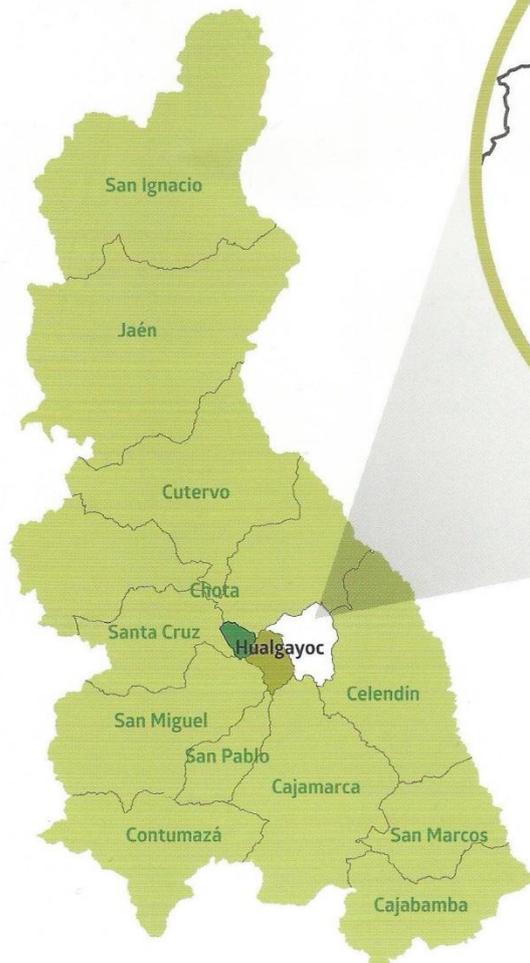
ANEXOS

ANEXO N° 1. Ubicación de la Unidad Minera Tantahuatay



UBICACIÓN

Cía. Minera Coimolache S.A.
Unidad productiva Tantahuatay
Ubicación: Entre distritos de Hualgayoc y Chugur
Distancia: 85 km al nor-oeste de Cajamarca
Altitud: 3950 msnm



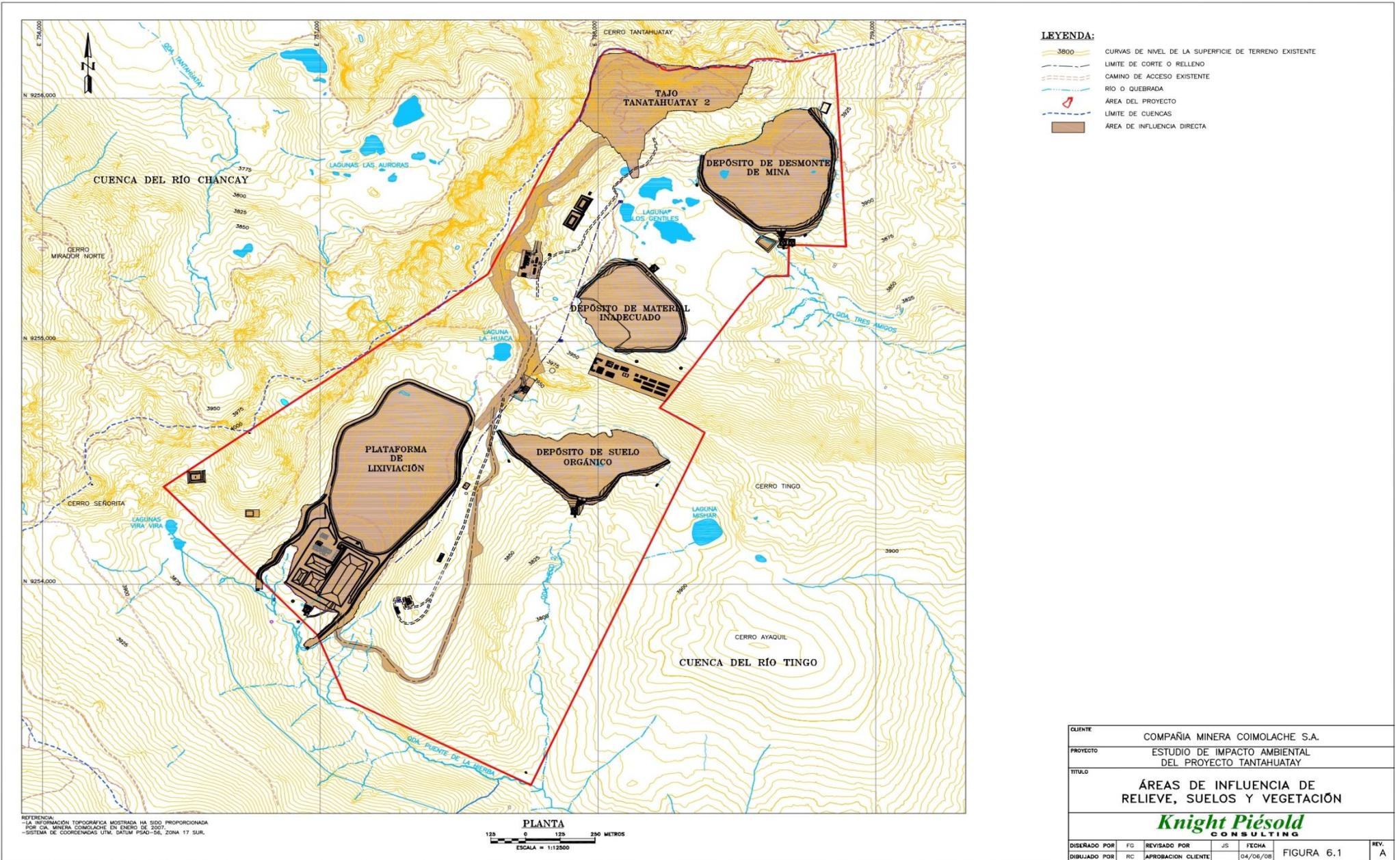
Leyenda

-  Vías Asfaltadas
-  Todas las vías Afirmadas
-  Ríos, Quebradas
-  Capital de Distrito
-  Caserío
-  Proyecto Minera Coimolache
-  Límite Provincial

Distritos de Chugur y Hualgayoc, provincia de Hualgayoc
Departamento de Cajamarca

FUENTE: Cía. Minera Coimolache S.A

“Evaluación de sistemas de coberturas para el control de drenaje ácido de mina en depósitos de desmonte en la unidad minera Tantahuatay – Cajamarca”



ANEXO N° 3. Análisis de metales en el desmante



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 028



INFORME DE ENSAYO N° MA16020023 CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	ME-1	ME-2	ME-3	ME-4	ME-5
Cod. Lab.	1600867	1600868	1600869	1600963	1600964
Tipo de Producto	Suelo; Desmante	Suelo; Desmante	Suelo; Desmante	Suelo; Desmante	Suelo; Desmante
Fecha de Muestreo	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016
Hora de Muestreo	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30
Cadena de Custodia	36100	36100	36100	36100	36100

Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
METALES ICP (*)							
Aluminio	mg/kg	1,69	5 143	7 203	5 940	6 393	5 670
Antimonio	mg/kg	0,6	8,2	14,7	3,4	3,3	4,0
Arsenico	mg/kg	0,92	316,6	332,6	150,0	203,0	177,6
Bario	mg/kg	0,13	122,1	286,1	117,8	129,2	125,9
Berilio	mg/kg	0,03	0,12	0,10	0,08	0,08	0,07
Bismuto	mg/kg	0,8	1,2	1,9	1,2	2,0	4,4
Boro	mg/kg	0,16	7,87	2,58	6,25	8,39	6,83
Cadmio	mg/kg	0,15	0,69	0,61	0,57	0,62	0,61
Calcio	mg/kg	4,6	300,4	43 392	165,6	244,0	152,5
Cerio	mg/kg	0,44	6,15	3,00	7,82	6,98	5,41
Cobalto	mg/kg	0,28	2,65	1,59	1,83	1,55	1,49
Cobre	mg/kg	0,14	988,5	87,60	137,3	161,1	141,4
Cromo	mg/kg	0,16	67,12	2,77	66,41	58,99	56,89
Estaño	mg/kg	1,4	20,4	<1,4	18,4	13,8	15,0
Estroncio	mg/kg	0,12	40,30	66,08	44,69	53,99	51,57
Fósforo	mg/kg	2,43	167,4	273,3	173,1	197,7	179,2
Hierro	mg/kg	0,83	24 926	17 228	21 269	26 375	23 136
Litio	mg/kg	0,2	1,6	2,0	1,9	1,8	1,7
Magnesio	mg/kg	1,3	431,5	1 554	557,9	604,8	451,0
Manganeso	mg/kg	0,1	13,0	105,8	12,8	12,7	11,5
Molibdeno	mg/kg	0,34	17,15	23,93	15,60	17,56	17,41
Niquel	mg/kg	0,46	2,85	<0,64	2,43	2,03	1,01
Plata	mg/kg	0,1	2,7	2,1	2,2	2,8	3,6
Plomo	mg/kg	0,4	129,3	91,3	118,8	161,7	137,4
Potasio	mg/kg	3	1 520	756	1 697	1 821	1 687
Selenio	mg/kg	1	3	<1	<1	<1	2
Sodio	mg/kg	2,8	170,9	108,1	180,2	192,3	201,1
Talio	mg/kg	1,5	<1,3	<1,3	2,3	<1,3	<1,3
Titanio	mg/kg	0,09	17,07	46,22	16,69	22,16	17,58
Vanadio	mg/kg	0,18	11,91	17,38	11,19	13,76	12,17
Zinc	mg/kg	0,75	35,46	53,36	31,30	29,78	30,56

ANEXO N°4. Análisis químico para el ABA test



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 028



INFORME DE ENSAYO N° MA16020023
CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	ME-1	ME-2	ME-3	ME-4	ME-5		
Cod. Lab.	1600867	1600868	1600869	1600963	1600964		
Tipo de Producto	Suelo; Desmonte	Suelo; Desmonte	Suelo; Desmonte	Suelo; Desmonte	Suelo; Desmonte		
Fecha de Muestreo	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016		
Hora de Muestreo	11:30	11:30	11:30	11:30	11:30		
Cadena de Custodia	36100	36100	36100	36100	36100		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
Azufre extraíble en agua (*)	%S	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
Azufre extraíble en HCl (*)	%S	0,01	0,10	0,11	0,10	0,11	0,13
Azufre extraíble en HNO ₃ (*)	%S	0,01	0,32	0,17	0,24	0,17	0,17
Azufre residual (*)	%S	0,01	2,48	2,18	2,25	2,13	2,69
Azufre total (*)	%S	0,01	2,80	2,35	2,49	2,30	2,86
Efervescencia (*)	---	N.A.	1	1	1	1	1
pH - pasta (*)	Und. pH	r	3,44	3,29	3,22	3,27	3,19
pH (*)	Und. pH	r	3,61	3,43	3,45	3,47	3,38
PN/PAM (*)	---	---	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00
Potencial de acidez máximo (*)	KgCaCO ₃ /T	---	84,38	70,00	74,69	68,44	85,31
Potencial de neutralización (*)	KgCaCO ₃ /T	---	-0,50	0,00	-0,25	-0,50	-0,25
Potencial neto de neutralización (*)	KgCaCO ₃ /T	---	-84,88	-70,00	-74,94	-68,94	-85,56
Requerimiento de cal (*)	KgCaCO ₃ /T	---	5,00	5,23	6,03	5,86	6,86

ANEXO N° 5. Análisis de metales en lodos



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 028



INFORME DE ENSAYO N° MA16020023
CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	LD-1	LD-2	LD-3	LD-4	LD-5
Cod. Lab.	1600965	1600966	1600967	1600968	1600969
Tipo de Producto	Suelo; lodo				
Fecha de Muestreo	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016
Hora de Muestreo	11:40	11:40	11:40	11:40	11:40
Cadena de Custodia	36100	36100	36100	36100	36100

Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
METALES ICP (*)							
Aluminio	mg/kg	1,69	6 996	7 017	7 070	7 201	7 313
Antimonio	mg/kg	0,6	15,5	15,6	16,0	14,7	16,1
Arsenico	mg/kg	0,92	330,7	334,0	342,9	332,5	327,7
Bario	mg/kg	0,13	275,9	274,9	279,4	286,0	282,7
Berilio	mg/kg	0,03	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11
Bismuto	mg/kg	0,8	3,2	1,9	2,4	1,9	1,6
Boro	mg/kg	0,16	4,05	2,41	2,67	2,58	2,45
Cadmio	mg/kg	0,15	0,58	0,62	0,52	0,61	0,48
Calcio	mg/kg	4,6	42 759	43 454	42 463	43 379	43 272
Cerio	mg/kg	0,44	4,33	4,01	4,33	4,00	3,92
Cobalto	mg/kg	0,28	1,91	1,18	1,89	1,59	1,53
Cobre	mg/kg	0,14	86,81	85,72	88,40	87,57	86,19
Cromo	mg/kg	0,16	2,83	2,65	3,00	2,76	3,01
Estaño	mg/kg	1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4
Estroncio	mg/kg	0,12	63,77	63,91	65,17	66,05	64,29
Fósforo	mg/kg	2,43	272,5	294,9	309,5	273,2	285,7
Hierro	mg/kg	0,83	17 213	16 770	17 546	17 223	17 123
Litio	mg/kg	0,2	1,7	1,4	1,6	2,0	1,7
Magnesio	mg/kg	1,3	1 553	1 557	1 575	1 554	1 625
Manganeso	mg/kg	0,1	104,6	105,6	108,1	105,7	109,7
Molibdeno	mg/kg	0,34	23,85	23,84	23,69	23,92	24,00
Niquel	mg/kg	0,46	<0,64	<0,64	<0,64	<0,64	<0,64
Plata	mg/kg	0,1	1,9	2,0	1,9	2,1	2,3
Plomo	mg/kg	0,4	93,0	96,4	95,0	91,2	92,8
Potasio	mg/kg	3	747	724	748	756	767
Selenio	mg/kg	1	<1	<1	<1	<1	<1
Sodio	mg/kg	2,8	116,5	158,9	111,6	108,1	117,0
Talio	mg/kg	1,5	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3
Titanio	mg/kg	0,09	47,01	49,68	50,65	46,20	47,47
Vanadio	mg/kg	0,18	17,23	17,39	17,54	17,38	17,44
Zinc	mg/kg	0,75	54,34	61,65	54,26	53,35	54,14

ANEXO N° 6. Análisis de Potencial de Hidrógeno de Lodos



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 028



**INFORME DE ENSAYO N° MA16020023
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	LD-1	LD-2	LD-3	LD-4	LD-5	
Cod. Lab.	1600965	1600966	1600967	1600968	1600969	
Tipo de Producto	Suelo; lodo					
Fecha de Muestreo	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	29/01/2016	
Hora de Muestreo	11:40	11:40	11:40	11:40	11:40	
Cadena de Custodia	36100	36100	36100	36100	36100	
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados			
	pH (*)	r	7,55	7,6	7,59	7,59

ANEXO N° 7. Análisis de metales en el Material Hístico.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 028



INFORME DE ENSAYO N° MA16020023
CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	CH-1	CH-2	CH-3	CH-4	CH-5
Cod. Lab.	1600970	1600971	1600972	1600973	1600974
Tipo de Producto	Suelo; sedimentos	Suelo; sedimentos	Suelo; sedimentos	Suelo; sedimentos	Suelo; sedimentos
Fecha de Muestreo	29/01/2016	30/01/2016	31/01/2016	01/02/2016	02/02/2016
Hora de Muestreo	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00
Cadena de Custodia	36100	36100	36100	36100	36100

Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
METALES ICP							
Aluminio	mg/kg	1,69	33 424	30 268	30 903	35 212	31 550
Antimonio	mg/kg	0,6	2,3	2,5	0,6	1,2	1,0
Arsenico	mg/kg	0,92	76,20	68,25	48,74	57,88	48,58
Bario	mg/kg	0,13	128,8	122,4	98,81	104,5	121,3
Berilio	mg/kg	0,03	0,98	0,92	0,66	0,98	0,70
Bismuto	mg/kg	0,8	2,4	0,9	2,2	<0,8	1,0
Boro	mg/kg	0,16	19,24	22,11	14,90	19,02	13,34
Cadmio	mg/kg	0,15	5,62	5,45	4,67	4,93	4,60
Calcio	mg/kg	4,6	2 252	2 032	2 024	1 892	2 351
Cerio	mg/kg	0,44	25,30	22,31	20,90	23,69	21,91
Cobalto	mg/kg	0,28	29,94	27,18	26,24	28,13	25,19
Cobre	mg/kg	0,14	242,0	209,3	148,7	198,9	171,8
Cromo	mg/kg	0,16	2,03	2,53	2,51	2,58	2,39
Estaño	mg/kg	1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4	<1,4
Estroncio	mg/kg	0,12	59,46	58,28	50,06	50,41	55,70
Fósforo	mg/kg	2,43	1 236	1 682	1 051	1 434	1 170
Hierro	mg/kg	0,83	63 045	71 679	51 922	63 456	48 451
Litio	mg/kg	0,2	4,5	5,4	4,5	5,1	4,8
Magnesio	mg/kg	1,3	2 448	2 854	2 768	2 639	2 875
Manganeso	mg/kg	0,1	84,5	106,5	97,1	93,3	106,3
Molibdeno	mg/kg	0,34	8,07	7,19	5,33	6,11	5,14
Niquel	mg/kg	0,46	17,10	14,93	16,23	15,80	13,63
Plata	mg/kg	0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Plomo	mg/kg	0,4	117,8	84,9	81,7	81,8	75,6
Potasio	mg/kg	3	553	539	535	535	558
Selenio	mg/kg	1	<1	<1	<1	<1	<1
Sodio	mg/kg	2,8	122,0	107,5	123,1	107,9	112,4
Talio	mg/kg	1,5	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3
Titanio	mg/kg	0,09	27,04	24,66	25,26	27,40	28,98
Vanadio	mg/kg	0,18	31,37	40,71	28,83	33,82	30,79
Zinc	mg/kg	0,75	980,8	1 011	870,0	841,4	1 041

ANEXO N° 8. Análisis geoquímicos de desmonte



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 028



INFORME DE ENSAYO N° MA16020023
CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	CH-1	CH-2	CH-3	CH-4	CH-5		
Cod. Lab.	1600970	1600971	1600972	1600973	1600974		
Tipo de Producto	Suelo; sedimentos	Suelo; sedimentos	Suelo; sedimentos	Suelo; sedimentos	Suelo; sedimentos		
Fecha de Muestreo	29/01/2016	30/01/2016	31/01/2016	01/02/2016	02/02/2016		
Hora de Muestreo	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00		
Cadena de Custodia	36100	36100	36100	36100	36100		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados				
Acidez intercambiable (*)	meq/100g	0,10	7,92	8,66	12,38	18,56	6,93
Calcio intercambiable (*)	meq/100g	0,01	10,67	9,75	7,79	7,48	9,00
Capacidad intercambio cationico (*)	meq/100g	0,01	32,35	24,10	27,13	29,37	26,98
Magnesio intercambiable (*)	meq/100g	0,01	2,29	1,66	1,61	1,40	1,71
pH (*)	Und. pH	r	3,62	3,63	3,52	3,27	3,71
Porcentaje de saturacion de bases (*)	%	N.A.	41,70	48,92	36,12	31,56	41,92
Potasio intercambiable (*)	meq/100g	0,01	0,19	0,18	0,17	0,18	0,33
Sodio intercambiable (*)	meq/100g	0,01	0,34	0,20	0,23	0,21	0,27
Suma de bases (*)	meq/100g	N.A.	13,49	11,79	9,80	9,27	11,31
Suma de cationes (*)	meq/100g	N.A.	21,41	20,45	22,18	27,83	18,24

Leyenda: L.D = Limite de detección r = Resolución N.A. = No aplica

ANEXO N° 9. Reporte de Análisis de Nutrientes en el Top Soil



Decenario de Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : **EDINSON ESPINOZA IDROGO**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K Ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
	SU0375-EEBI-18	30.52	280.0	6.0	5.12	--				

INTERPRETACIÓN

Fósforo (P) : ALTO
 Potasio (K) : MEDIO
 pH (reacción) : **MODERADAMENTE ACIDO**
 Materia orgánica (M.O) : ALTO
 Clase textural : --

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a Sembrar: RYE GRASS+TREBOL

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton /ha
Cantidad	40	75	50	--								

Recomendaciones y Observaciones Especiales:



ANEXO N° 10. Reporte de Concentración de metales y pH en muestras de Drenaje



REPORTE DE ENSAYO

FP-TAN-LA-31.01-01 V-02

Laboratorio Químico Coimolache

Despacho Laboratorio: LCRC1900877 **Fecha de Recepción:** 04/04/2019
Cliente : Relaciones Comunicarias **Fecha de reporte:** 06/04/2019
No. Muestras : 25
Referencia Cliente: NP
Producto descrito como: Muestras Líquidas de aguas
Descripción del estado: En frascos
Condición de la muestra: Líquida
Comentario Adicional : Son muestras líquidas

Método	ICPAMT	pH							
Analito	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	pH
Unidad	ppm								
Min.Detección	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
Max.Detección									

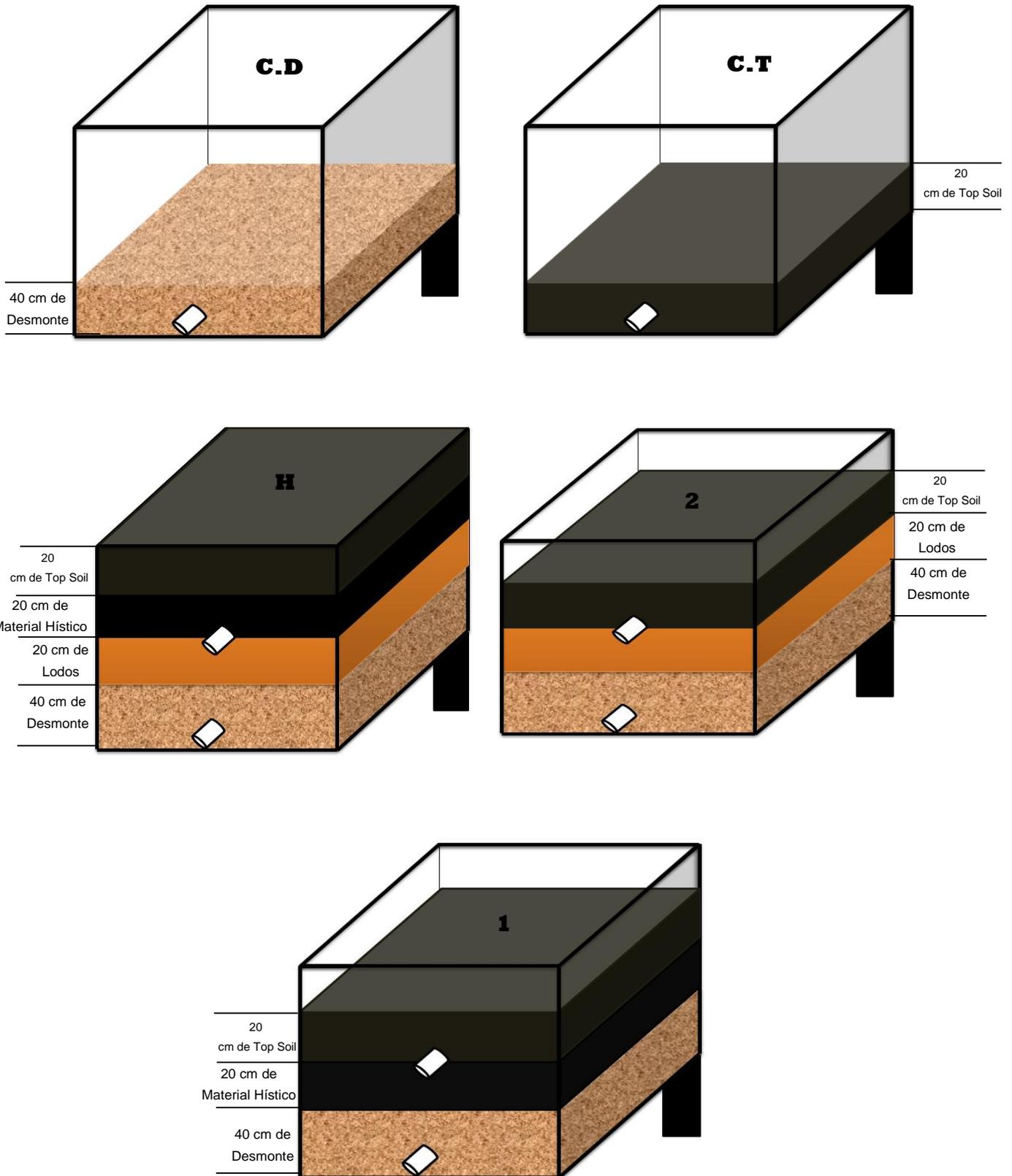
Nro.	CODIGO MUESTRA	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	pH
1	H1	1.621	<0.002	0.008	1.448	20.743	0.194	0.239	0.235	7.33
2	H2	0.716	<0.002	0.004	0.866	13.731	0.161	0.107	0.121	6.94
3	H3	1.284	<0.002	0.006	1.212	19.555	0.264	0.179	0.189	7.24
4	H4	1.172	<0.002	0.008	1.536	23.806	0.258	0.172	0.216	7.19
5	H5	1.665	<0.002	0.011	1.813	30.946	0.302	0.246	0.265	7.16
6	C.T.1	0.166	<0.002	<0.002	0.023	3.541	0.190	0.011	0.007	7.08
7	C.T.2	0.063	<0.002	<0.002	0.016	2.721	0.134	0.007	0.012	7.02
8	C.T.3	0.005	<0.002	<0.002	0.014	0.454	0.141	0.004	0.015	6.73
9	C.T.4	0.068	<0.002	<0.002	0.030	2.581	0.120	0.010	0.021	6.82
10	C.T.5	0.156	<0.002	<0.002	0.020	3.119	0.174	0.009	0.007	7.05
11	C.D.1	2.984	<0.002	0.008	3.029	46.169	1.187	0.382	0.266	6.63
12	C.D.2	1.652	<0.002	0.003	3.474	22.032	1.028	0.222	0.420	6.37
13	C.D.3	1.853	<0.002	0.006	2.343	42.133	1.413	0.282	0.365	6.47
14	C.D.4	3.037	<0.002	0.006	4.261	36.185	0.774	0.362	0.459	6.19
15	C.D.5	1.122	<0.002	0.012	2.857	44.274	1.137	0.149	0.401	6.36
16	1.1	0.825	<0.002	0.004	1.833	12.379	0.420	0.103	0.196	6.48
17	1.2	2.720	<0.002	0.012	4.083	41.636	0.372	0.307	0.298	6.53
18	1.3	1.198	<0.002	0.004	2.256	16.965	0.351	0.163	0.262	5.78
19	1.4	2.811	<0.002	0.014	4.104	47.255	0.557	0.319	0.365	6.80
20	1.5	1.905	<0.002	0.008	2.009	25.420	0.381	0.227	0.156	6.87
21	2.1	1.057	<0.002	0.005	0.960	13.069	0.125	0.150	0.151	6.98
22	2.2	0.813	<0.002	0.004	0.843	10.507	0.102	0.117	0.129	7.00
23	2.3	1.164	<0.002	0.004	1.072	14.569	0.155	0.172	0.156	7.06
24	2.4	0.514	<0.002	0.002	0.703	9.181	0.122	0.069	0.084	6.77
25	2.5	0.654	<0.002	0.002	0.730	10.928	0.153	0.093	0.094	7.49

ICPAMT : Método Determinación de metales Totales por Emisión Atómica
 ICPAMD : Método Determinación de metales Disueltos por Emisión Atómica
 pH : Determinación de pH

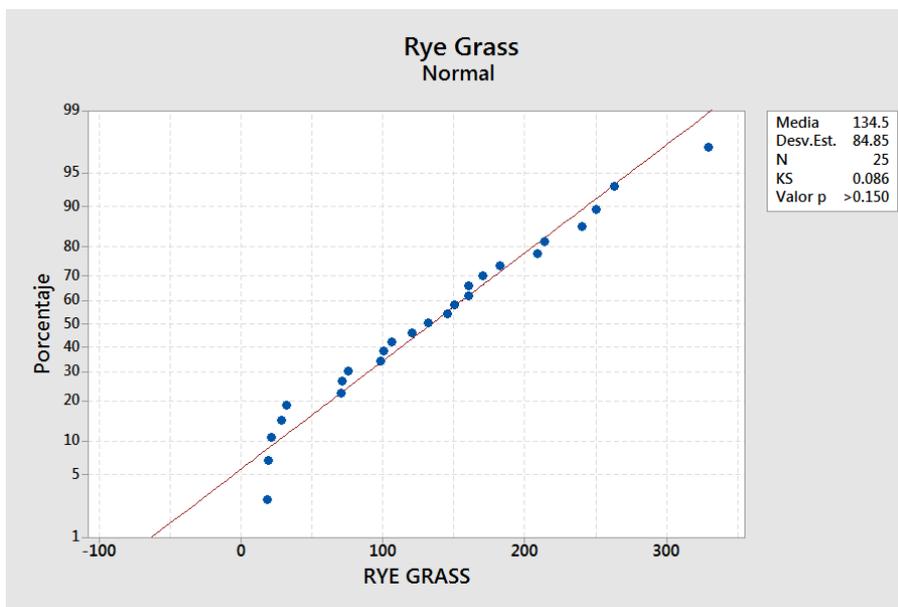
ANEXO N° 11. Base De Datos

RESULTADOS													
TRATAMIENTO	GERMINACIÓN (Semillas/caja)		CRECIMIENTO (Cm)		BIOMASA (mg/caja)		FLUJO (ml)	PH	As (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)
	RYA GRASS	TREBOL	RYA GRASS	TREBOL	RYA GRASS	TREBOL							
C.T	70	40	37	15	95	14	3500	7.08	0.166	<0.002	0.023	0.011	0.007
C.T	75	50	35	12	100	16	3060	7.02	0.063	<0.002	0.016	0.007	0.012
C.T	98	18	40	17	117	5	3250	6.73	0.005	<0.002	0.014	0.004	0.015
C.T	71	21	36	14	98	6	3260	6.82	0.068	<0.002	0.030	0.010	0.021
C.T	100	15	42	18	120	5	3250	7.05	0.156	<0.002	0.020	0.009	0.007
C.D	32	29	5	6	4	4	4060	6.63	2.984	<0.002	3.029	0.382	0.266
C.D	28	34	5	4	4	5	4000	6.37	1.652	<0.002	3.474	0.222	0.420
C.D	18	5	4	3	2	1	4200	6.47	1.853	<0.002	2.343	0.282	0.365
C.D	19	22	4	5	2	3	4000	6.19	3.037	<0.002	4.261	0.362	0.459
C.D	21	40	4	5	3	6	3800	6.36	1.122	<0.002	2.857	0.149	0.401
H	240	47	54	18	265	16	315	7.33	1.621	<0.002	1.448	0.239	0.235
H	263	19	50	28	288	5	375	6.94	0.716	<0.002	0.866	0.107	0.121
H	214	104	52	25	236	32	405	7.24	1.284	<0.002	1.212	0.179	0.189
H	250	127	47	20	284	39	400	7.19	1.172	<0.002	1.536	0.172	0.216
H	329	100	47	24	362	30	350	7.16	1.665	<0.002	1.813	0.246	0.265
1	120	19	27	15	133	5	500	6.48	0.825	<0.002	1.833	0.103	0.196
1	132	62	30	14	140	22	560	6.53	2.720	<0.002	4.083	0.307	0.298
1	209	16	25	21	219	4	530	5.78	1.198	<0.002	2.256	0.163	0.262
1	160	20	32	17	166	6	625	6.80	2.811	<0.002	4.104	0.319	0.365
1	145	14	29	13	155	4	625	6.87	1.905	<0.002	2.009	0.227	0.156
2	160	85	48	25	184	29	450	6.98	1.057	<0.002	0.960	0.150	0.151
2	150	45	45	25	180	15	425	7.00	0.813	<0.002	0.843	0.117	0.129
2	182	59	50	16	206	20	450	7.06	1.164	<0.002	1.072	0.172	0.156
2	106	48	52	19	131	16	455	6.77	0.514	<0.002	0.703	0.069	0.084
2	170	60	47	21	193	20	460	7.49	0.654	<0.002	0.730	0.093	0.094

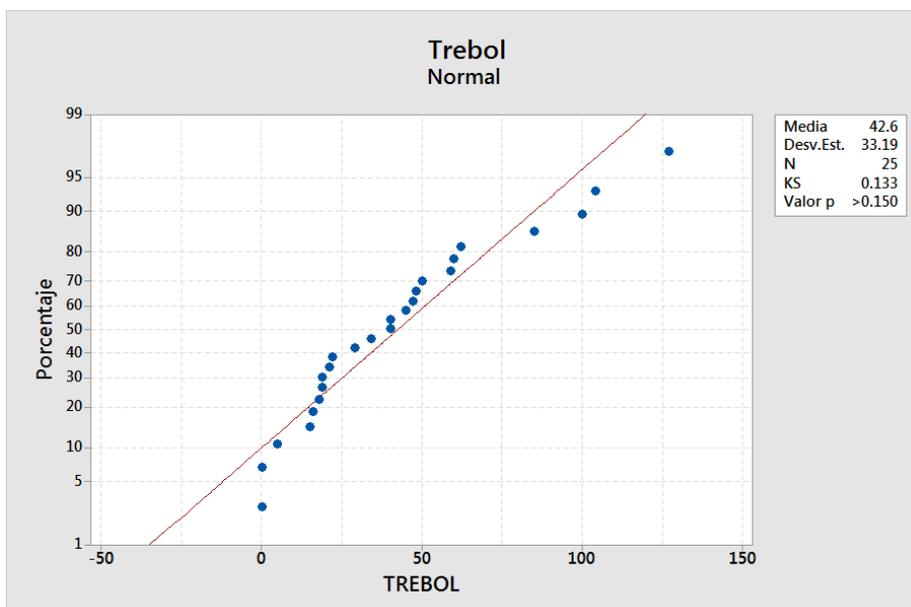
ANEXO N° 13. Diseño de distribución de capas en caja para la evaluación de Coberturas



ANEXO N° 14. Gráficos de Normalidad de Desarrollo de Germinación

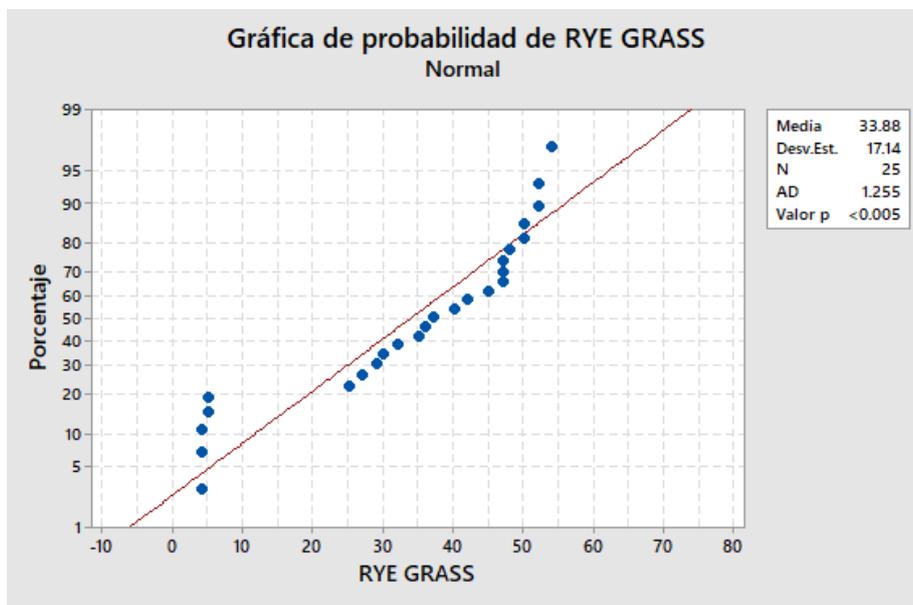


Fuente: MINITAB 2018

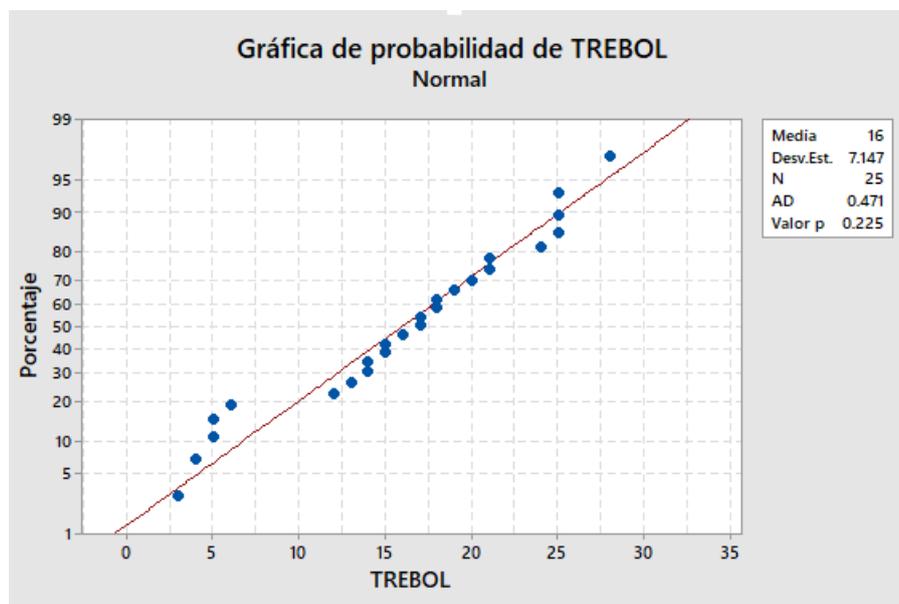


Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 15. Gráficos de Normalidad de Crecimiento

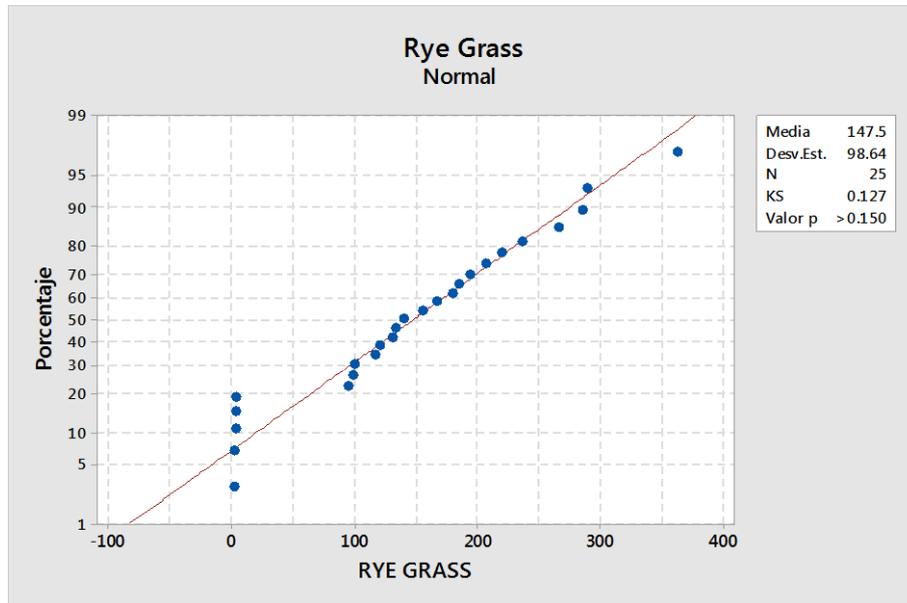


Fuente: MINITAB 2018

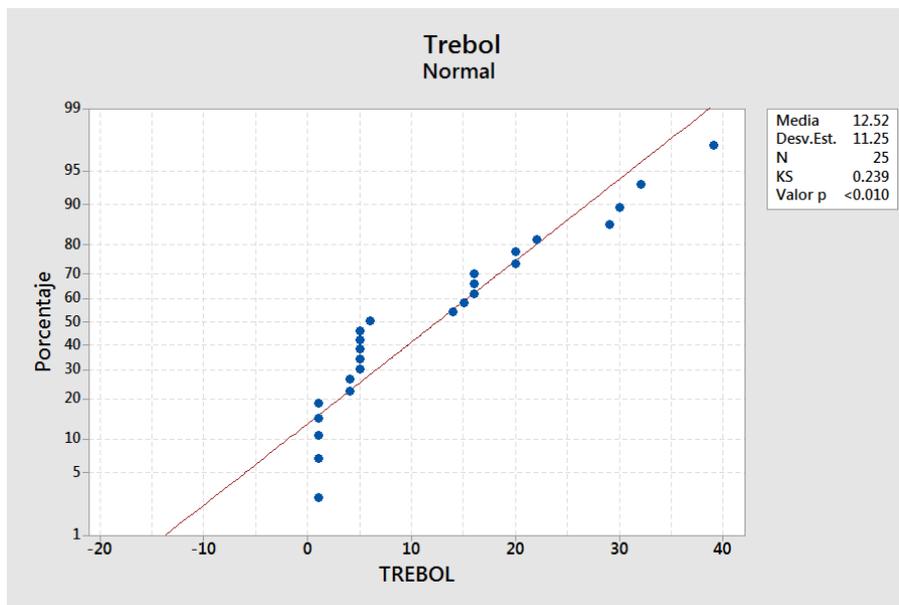


Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 16. Gráficos de Normalidad de Biomasa

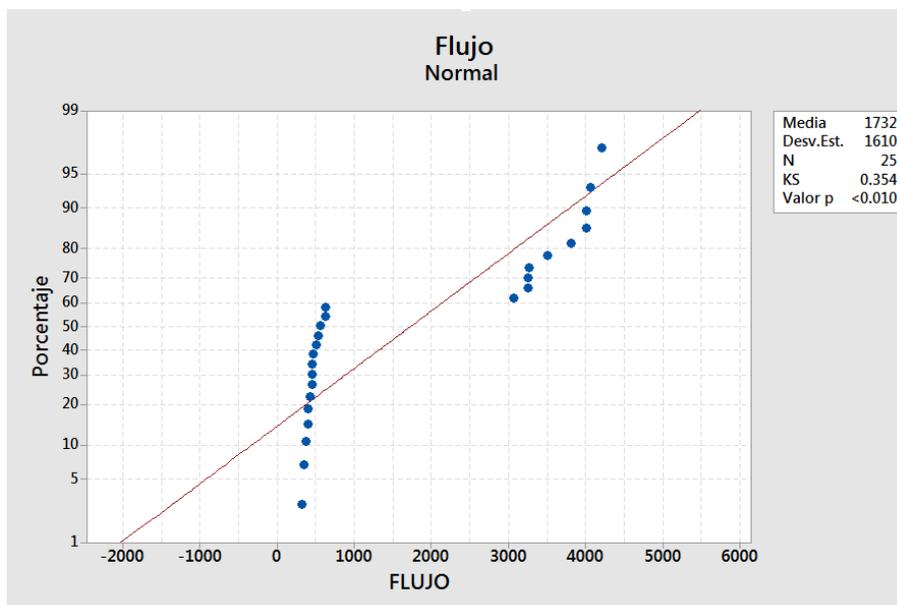


Fuente: MINITAB 2018

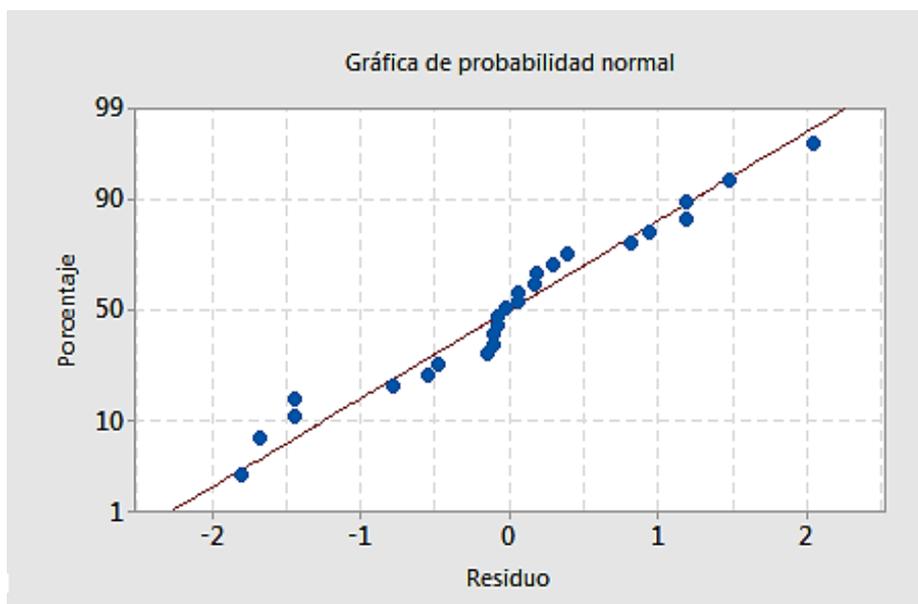


Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 17. Gráficos de Normalidad de Cantidad de drenaje

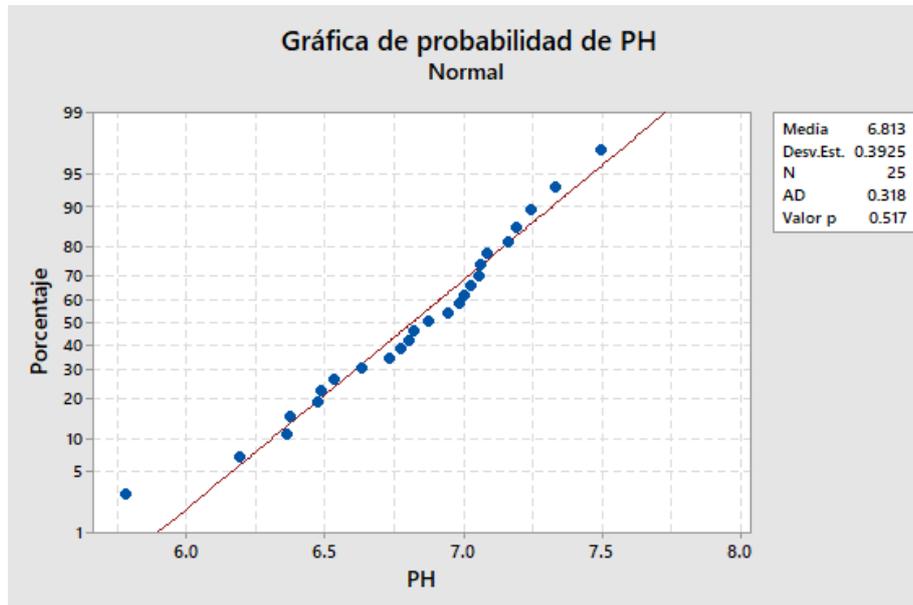


Fuente: MINITAB 2018



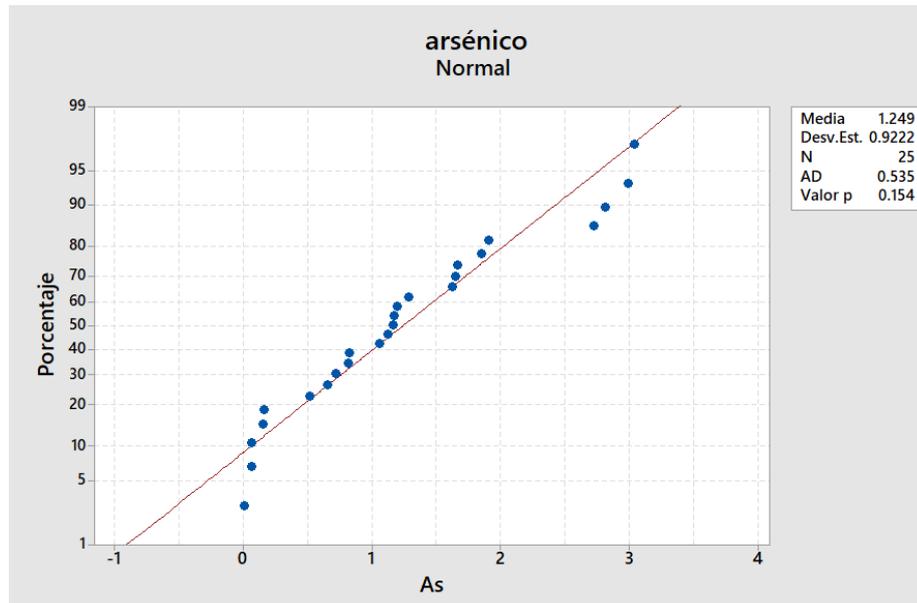
Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 18. Gráficos de Normalidad de Potencial de Hidrógeno



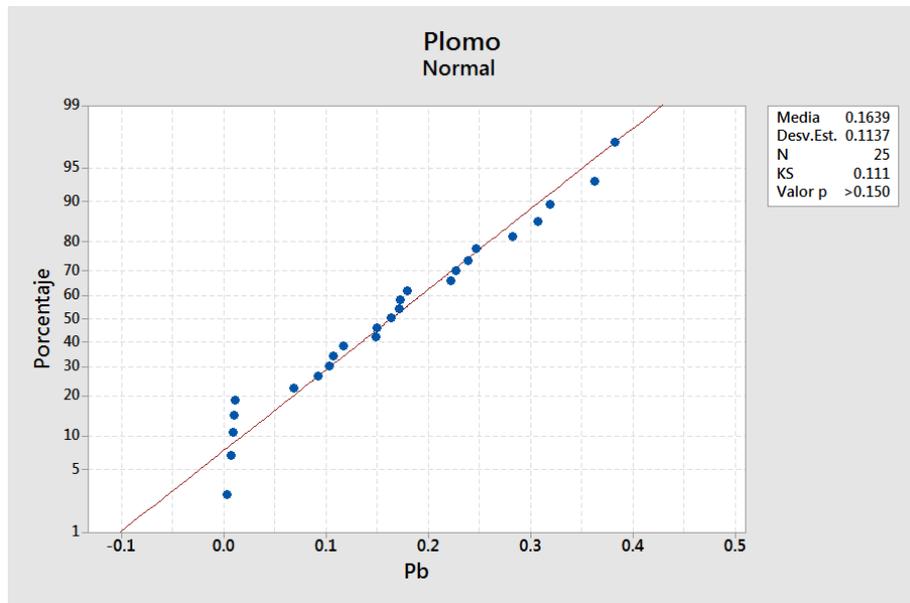
Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 19. Gráfica de Normalidad de Concentración de arsénico



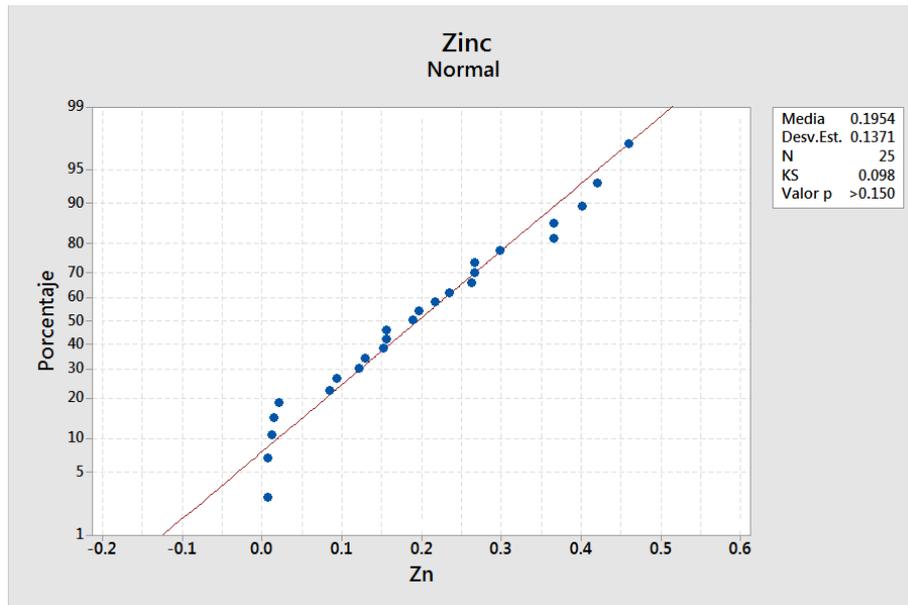
Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 20. Gráfica de Normalidad de Concentración de plomo



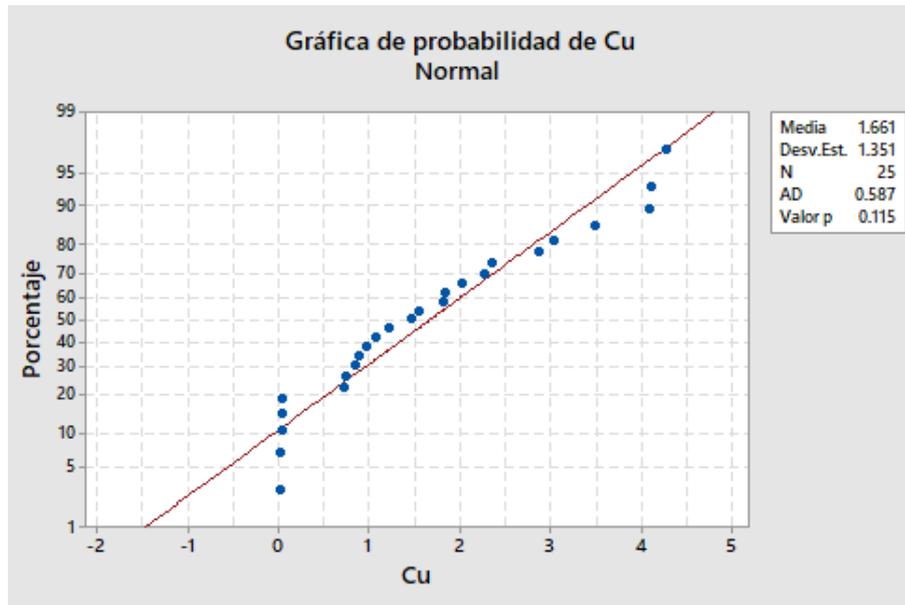
Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 21. Gráfica de Normalidad de Concentración de Zinc



Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 22. Gráfica de Normalidad de Concentración de Cobre



Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 23. Comparación de Medias de Germinación

Germinación de Rye Grass			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
H	5	259.2	A
2	5	153.6	B
1	5	153.2	B
C.T	5	82.80	C
C.D	5	23.60	D

Fuente: MINITAB 2018

Germinación de Trébol Rojo			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
H	5	79.4	A
2	5	59.40	A B
C.T	5	28.80	B C
C.D	5	26.00	B C
1	5	19.4	C

Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 24. Comparación de Medias de Crecimiento

Crecimiento de Rye Grass			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
H	5	50.00	A
2	5	48.40	A
C.T	5	38.00	B
1	5	28.60	C
C.D	5	4.400	D

Fuente: MINITAB 2018

Crecimiento de Trébol Rojo			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
H	5	23.00	A
2	5	21.20	A
1	5	16.00	B
C.T	5	15.20	B
C.D	5	4.600	C

Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 25. Comparación de Medias de Biomasa

Biomasa de Rye Grass			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
H	5	287.0	A
2	5	178.8	B
1	5	162.6	B
C.T	5	106.00	C
C.D	5	3.000	D

Fuente: MINITAB 2018

Biomasa de Trébol Rojo			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
H	5	287.0	A
2	5	178.8	B
1	5	162.6	B
C.T	5	106.00	C
C.D	5	3.000	D

Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 26. Comparación de Medias de Flujo y pH

Flujo			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
C.D	5	4012	A
C.T	5	3640	B
1	5	568	C
2	5	448	CD
H	5	369	D

Fuente: MINITAB 2018

pH			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
H	5	7.1720	A
2	5	7.060	A
C.T	5	6.9400	A
1	5	6.491	B
C.D	5	6.4040	B

Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 27. Comparación de medias de metales

Arsénico			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
C.D	5	2.130	A
1	5	1.892	A B
H	5	1.292	A B
2	5	0.841	B C
C.T	5	0.0917	C

Plomo			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
C.D	5	0.2794	A
1	5	0.2236	A B
H	5	0.1885	B C
2	5	0.1200	C
C.T	5	0.00816	D

Cobre			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
C.D	5	3.193	A
1	5	2.857	A
H	5	1.375	B
2	5	0.8616	B
C.T	5	0.02070	C

Zinc			
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
C.D	5	0.3818	A
1	5	0.2551	B
H	5	0.2052	B
2	5	0.1229	C
C.T	5	0.01224	D

Fuente: MINITAB 2018

ANEXO N° 28. ECA de agua para Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

Fuente: MINAM 2017

ANEXO N° 29. ECA de suelo

ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽⁵⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽³⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	

INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

Fuente: MINAM 2017

ANEXO N° 30. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
Ph		6 – 9	6 – 9
Sólidos totales en suspensión	mg/l	50	25
Aceites y Grasas	mg/l	20	16
Cianuro Total	mg/l	1	0,8
Arsénico Total	mg/l	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/l	0,05	0,04
Cromo Hexavalente (*)	mg/l	0,1	0,08
Cobre Total	mg/l	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/l	2	1,6
Plomo Total	mg/l	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/l	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/l	1,5	1,2

Fuente. MINAM 2010

ANEXO N° 31. Distribución y encalado del Desmonte



Fuente: *Elaboración propia, 2018.*

ANEXO N° 32. Distribución de Materiales según tratamiento



Fuente: *Elaboración propia, 2018.*

ANEXO N° 33. Replicas con Capa Final de Top Soil



Fuente: *Elaboración propia, 2018.*

ANEXO N° 34. Desarrollo de la Vegetación a las 6 semanas de Estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2018.*

ANEXO N° 35. Desarrollo de Vegetación a las 8 semanas de estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2018.*

ANEXO N° 36. Recolección de Drenaje



Fuente: *Elaboración propia, 2018.*

ANEXO N° 37. Desarrollo de la Vegetación a las 16 semanas de Estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 38. Desarrollo de la Vegetación a las 24 semanas de Estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 39. Replica 1.1 del tratamiento 1 a las 24 semanas de Estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 40. Replica 2.1 del tratamiento 2 a las 24 semanas de Estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 41. Replica C.D.1. del tratamiento C.D a las 24 semanas de Estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 42. Replica C.T.1 del tratamiento C.T a las 24 semanas de Estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 43. Replica H.1 del tratamiento H a las 24 semanas de Estudio



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 44. Medición del crecimiento de especies



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 45. Cosecha de Especies en replica 2.4



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 46. Cosecha de Especies en replica 2.3



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 47. Separación de Rye Grass y Trébol rojo



Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 48. Separación de especies para su posterior secado



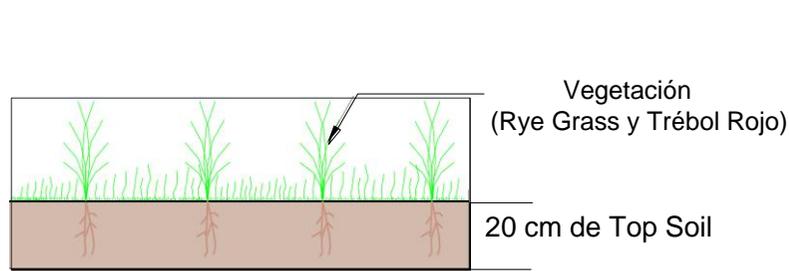
Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

ANEXO N° 49. Separación de especies para su posterior secado

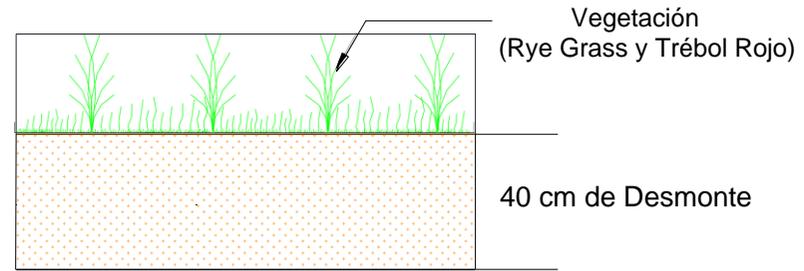
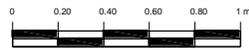


Fuente: *Elaboración propia, 2019.*

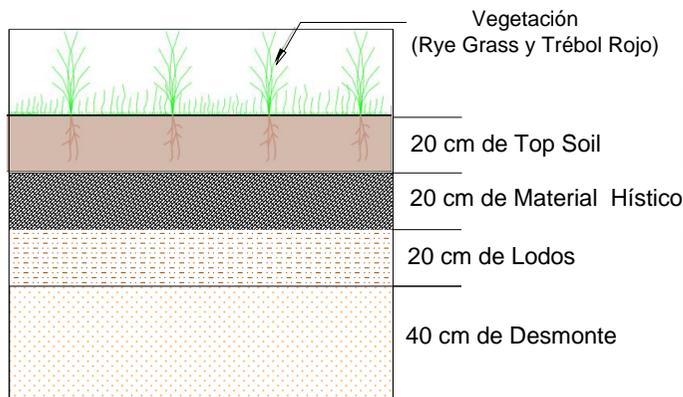
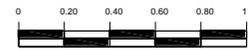
ANEXO N° 50. Secciones y detalles de Coberturas



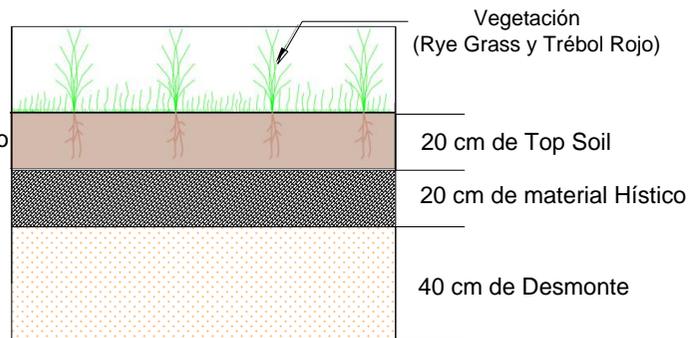
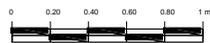
COBERTURA C.T



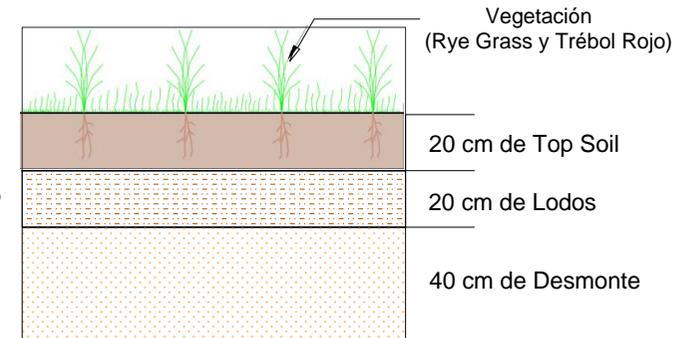
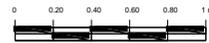
COBERTURA C.D



COBERTURA H



COBERTURA 1



COBERTURA 2

