


**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL



TOXICIDAD DE DIFERENTES SUSTRATOS RESULTANTES  
DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DE LA MINA MARLIN, SAN MARCOS  
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

**HÉCTOR DARÍO CASTELLANOS RODRÍGUEZ**  
CARNET 23721-09

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2015  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

TOXICIDAD DE DIFERENTES SUSTRATOS RESULTANTES  
DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DE LA MINA MARLIN, SAN MARCOS  
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**HÉCTOR DARÍO CASTELLANOS RODRÍGUEZ**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2015  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS  
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

MGTR. HAYRO OSWALDO GARCÍA GARCÍA

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN  
MGTR. MARÍA DEL PILAR NEGREROS PRATDESABA  
MGTR. VIRGINIA MOSQUERA SALLES

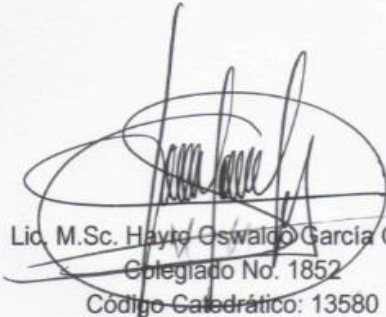
Guatemala 08 de octubre del 2014

Consejo de Facultad  
Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Presente

Estimados Miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Héctor Darío Castellanos Rodríguez, carné 23721-09, titulado "Evaluación de la toxicidad en diferentes tipos de sustratos (lodos, colas y óxidos) utilizando un kit ecotoxicológico, en Mina Marlin, San Marcos". El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Lic. M.Sc. Hayte Oswaldo García García  
Colegiado No. 1852  
Código Catedrático: 13580



Universidad  
Rafael Landívar  
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
No. 06331-2015

### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Sistematización de Práctica Profesional del estudiante HECTOR DARIO CASTELLANOS RODRIGUEZ, Carnet 23721-09 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 0668-2015 de fecha 28 de agosto de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

TOXICIDAD DE DIFERENTES SUSTRATOS RESULTANTES  
DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DE LA MINA MARLIN, SAN MARCOS

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 25 días del mes de septiembre del año 2015.

  
ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios: Por brindarme la oportunidad de lograr un triunfo personal, darme salud, sabiduría y entendimiento para lograr esta meta.

A mis padres, Paula Rodríguez y Héctor Castellanos Por darme la oportunidad de lograr una formación universitaria y apoyarme en mis decisiones.

A mis hermanos, Cristel y Javier Castellanos Rodríguez Por apoyarme y ser soporte en todo momento.

A Montana Exploradora de Guatemala, por permitirme desarrollar mi práctica profesional y abrirme las puertas en la investigación e implementación de mi proyecto.

A mi asesor, Lic. Hayro García por el seguimiento brindado a mi trabajo de graduación.

## **DEDICATORIA**

A Dios, porque no se mueve la hoja de un árbol sin su voluntad.

A todas las personas que formaron parte de mi formación académica, a mi familia por estar presente en cada etapa, a mis amigos y compañeros con los que me forme profesionalmente.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>SUMMARY</b> .....	ii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>2.1 Revisión de la Literatura</b> .....	3
2.1.1 Importancia del Agua .....	3
2.1.2 Importancia del Suelo .....	3
2.1.3 Phytotoxkit .....	4
2.1.4 Minería en Guatemala .....	6
2.1.5. Parámetros de evaluación de calidad del agua.....	8
2.1.6 Normativa Nacional Aplicable.....	14
2.1.7 Normativa Internacional Aplicable .....	14
<b>2.2 Localización</b> .....	14
<b>2.3 Descripción de la Actividad de la Mina Marlin</b> .....	15
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	17
<b>3.1 General</b> .....	17
<b>3.2 Específicos</b> .....	17
<b>IV. PLAN DE TRABAJO</b> .....	18
<b>4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO ESPECÍFICA</b> .....	18
<b>4.2 .PROGRAMA A DESARROLLAR (EJE DE SISTEMATIZACIÓN)</b> .....	20
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	27
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	41
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	42
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	43
<b>IX. ANEXOS</b> .....	46



## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b> Impactos ambientales generados por la minería. ....	7
<b>Cuadro 2</b> Requerimientos para análisis y almacenamiento de muestras de agua. ....	12
<b>Cuadro 3</b> Tratamientos evaluados para Fase 1.....	21
<b>Cuadro 4</b> Tratamientos Evaluados para Fase 2.....	23

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Phytotoxkit y sus partes. (Biohidrica, 2009).....	5
<b>Figura 2</b> Planta de tratamiento de aguas residuales (Durman) (Quezada, 2013). ....	11
<b>Figura 3</b> Ubicación Visual de la Mina Marlin y área de influencia. (Quezada, 2013). ....	15
<b>Figura 4</b> Organigrama del departamento de Ambiente, Mina Marlin. (Quezada, 2013). ....	18
<b>Figura 5</b> Esquema general del experimento. ....	25
<b>Figura 9</b> Resultados agua de salida Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. ....	28
<b>Figura 10</b> Inhibición de germinación de <i>Lepidium sativum</i> por sustrato.....	29
<b>Figura 11</b> Inhibición de germinación de <i>Sinapis alba</i> por sustrato.....	30
<b>Figura 12</b> Inhibición de germinación de <i>Sorghum saccharatum</i> por sustrato.....	30
<b>Figura 13</b> Desarrollo de raíz de <i>Lepidium sativum</i> por cada tratamiento.....	31
<b>Figura 14</b> Desarrollo de raíz de <i>Sinapis alba</i> por cada tratamiento.....	32
<b>Figura 15</b> Desarrollo radicular de <i>Sorghum saccharatum</i> por cada sustrato evaluado.....	33
<b>Figura 16</b> Germinación inhibida de <i>Lepidium sativum</i> por efecto de los tratamientos.....	34
<b>Figura 17</b> Inhibición de germinación de <i>Sinapis alba</i> por tipo de sustrato mezclado con lodo... ..	35
<b>Figura 18</b> Inhibición de germinación de <i>Sinapis alba</i> obtenida por cada concentración de lodos en la mezcla de sustrato.....	36
<b>Figura 19</b> Inhibición de germinación de <i>Sorghum saccharatum</i> por cada tratamiento.....	37
<b>Figura 20</b> Desarrollo radicular de <i>Lepidium sativum</i> por efecto de los tratamientos.....	38
<b>Figura 21</b> Desarrollo radicular de <i>Sinapis alba</i> observado por cada concentración de lodos en la mezcla con sustratos.....	39
<b>Figura 22</b> Desarrollo radicular de <i>Sorghum saccharatum</i> observado por cada tratamiento evaluado.....	40

# **TOXICIDAD DE DIFERENTES SUSTRATOS RESULTANTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA MINA MARLIN, SAN MARCOS**

## **RESUMEN**

La sistematización de práctica profesional realizada en Montana Exploradora de Guatemala tuvo como objetivo evaluar la toxicidad de los lodos (colas) del proceso de extracción de mineral, los suelos originales del área (óxidos) y los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales “Durman” utilizando un kit ecotoxicológico. Para los dos ensayos se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo combinatorio bifactorial. En el primer experimento se evaluó la combinación del tipo de suelo o sustrato (óxidos, Colas, Lodos y un testigo) con el agua residual (agua residual y agua desmineralizada). En el segundo experimento se evaluó la combinación del tipo de suelo o sustrato (óxidos y colas) con un porcentaje de lodos de la planta de aguas residuales (65%, 75%, 85% y 95%). En ambos experimentos se midió la inhibición de la germinación y el desarrollo radicular de las plantas indicadoras del kit ecotoxicológico. Al analizar los parámetros del reglamento de aguas residuales 236-2006 al agua de salida de la planta de tratamiento se determinó que no cumple en coliformes fecales y DQO, el tipo de agua utilizada no afecta la germinación, pero si beneficia en la longitud de raíz al aplicar agua residual. El sustrato que tuvo mejor desarrollo radicular fue el óxido, esto es debido a que es suelo de la región y desarrolla mejor la longitud de la raíz en las pruebas; en relación a las mezclas, la mejor mezcla es la de óxidos-lodos al 95%.

# **TOXICITY OF DIFFERENT SUBSTRATA RESULTING FROM THE PROCESS OF EXTRACTION AND WASTEWATER TREATMENT PLANT IN THE MARLIN MINE, SAN MARCOS**

## **SUMMARY**

The objective of the professional practice systematization carried out in Montana Exploradora de Guatemala was to evaluate the mud toxicity (tailing) of the mining extraction process, the area's original soils (rust) and mud from the wastewater treatment plant, using an eco-toxicological kit. For both trials, a complete randomized block design in a combined bifactorial arrangement was used. In the first experiment, the soil type or substrata combination (rust, tailings, mud and a check) was evaluated with wastewater (wastewater and demineralized water). In the second experiment, the soil type or substrata combination (rust and tailing) was evaluated with a mud percentage from the wastewater treatment plant (65%, 75%, 85%, and 95%). In both trials, the germination inhibition and root development of the sample plants from the eco-toxicological kit were measured. When analyzing the parameters of the wastewater regulations 236-2006 for the water that comes from the treatment plant, it was determined that it does not satisfy the fecal coliform and COD requirements, as well as that the type of water used does not affect the germination, but it benefits the root length when applying wastewater. The substratum that showed the best root development was rust, because it uses the region's soil and develops a better root length in the trials. Regarding the mixtures, the best was the rust-mud combination at 95%.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente documento dará a conocer el proyecto que se realizó en la Sistematización de la Práctica Profesional que se llevó a cabo en Montana Exploradora de Guatemala (Mina Marlin), en San Miguel Ixtahuacán, San Marcos. La cual se dedica a la extracción de oro y plata desde de finales del año 2005. La Mina Marlin opera por medio de Montana Exploradora de Guatemala, subsidiaria de Goldcorp, de origen canadiense.

Tanto el agua como el suelo y su interacción, son de los recursos naturales básicos para el desarrollo de ecosistemas e interacciones entre ellos. El agua es el compuesto químico más abundante del planeta y afronta problemas de contaminación luego de ser utilizada en los procesos industriales, agrícolas o domésticos. En Guatemala se producen aproximadamente 380 millones de metros cúbicos de aguas residuales anuales y solamente 19 millones son tratadas por algún proceso (Morales, 2009).

Guatemala tiene un alto potencial de explotación de minerales y la gran mayoría se encuentran inexplorados, para el 2003 la explotación mineral aportaba solamente el 0.6% del PIB (Producto Interno Bruto) (MEM, 2004), por lo que la actividad minera es una actividad que puede generar ingresos al país por medio de impuestos y regalías otorgadas de manera regular como autorización de la explotación. La Mina Marlin utiliza como recurso principal el agua y el suelo, donde por medio de varios procesos sufren alteraciones y como gestión ambiental es necesario lograr la menor alteración hacia el ambiente al momento de descartarlos. Es por esto, que es necesario e importante evaluar la toxicidad de los suelos que han sido alterados por la explotación minera y encontrar la mejor manera de aprovecharlos, para generar el menor impacto posible al momento del cierre del proyecto minero aproximadamente en 2 años.

La práctica profesional tuvo como componente principal la evaluación de la toxicidad en diferentes tipos de sustratos, las colas, óxidos y lodos. Las colas, son el residuo del proceso de extracción del mineral, los óxidos, son el nombre común a los suelos característicos en el lugar de color rojizo y poco arcilloso, los cuales se encuentran de manera natural en la mina, y los lodos, son los obtenidos como producto del tratamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico (Durman) que opera

en el campamento de la Mina Marlin. Para evaluar la toxicidad de los sustratos se utilizó el paquete toxicológico "Phytotoxkit" de MicroBioTest.Inc. Para la evaluación de los sustratos se utilizó agua desmineralizada y agua de la fase de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinarias (Durman) luego de haber recibido todo el tratamiento, a la cual se le hicieron evaluaciones utilizando normativa nacional para este tipo de aguas. Todo esto para determinar si existe toxicidad en los diferentes componentes y determinar la dosificación de la mezcla para que se dé un mejor desarrollo de la flora aplicado a técnicas futuras como recuperación de suelos en la fase de cierre de la mina.

## **II. ANTECEDENTES**

### **2.1 Revisión de la Literatura**

#### **2.1.1 Importancia del Agua**

El recurso hídrico es de gran importancia ya que está presente en la gran mayoría de las actividades humanas y, a raíz de esto es necesario tener herramientas y procesos que permitan acciones en torno a la gestión ambiental sostenible de este recurso para que no escasee en cantidad y calidad. En Guatemala la mayor cantidad de agua se utiliza en las actividades agrícolas como en la producción de la caña de azúcar, cereales y el café. Se estima que el consumo de agua per cápita diario es mayor en las áreas urbanas del país que en las áreas rurales. El departamento de Guatemala muestra la mayor demanda de agua para uso doméstico, duplicando muy por encima a los demás departamentos, también los departamentos del área de occidente muestran mayores niveles de uso doméstico de agua en relación con el norte y el oriente del país. (Barrios y Carrera 2009).

El agua es un elemento esencial para la vida y es parte del funcionamiento de los ecosistemas, es un insumo indispensable e insustituible para una amplia gama de actividades económicas. La producción agrícola y animal depende completamente de este recurso. Según los datos reportados, el riego ocupa el 11% de las tierras agrícolas en fincas censales y el 24% de las áreas aptas para riego del país. En relación a la actividad minera y explotación de canteras, solamente el 0.02% de la utilización nacional de agua pertenece a esta actividad. (URL-IARNA, 2009).

#### **2.1.2 Importancia del Suelo**

El uso que se le da a un suelo es de importancia ecológica y económica, ya que inciden directamente en la formación de paisajes naturales y el ingreso económico en la gran mayoría del área rural del país y de la región. El uso correcto y su alteración son de carácter social al momento de aplicar prácticas de conservación y planeación de los recursos naturales. La región de la mina Marlin y sus alrededores presentan un clima semicalido y semifrío, es propio para los cultivos de maíz, trigo, frijol, hortalizas, manzanas y duraznos en las partes altas, mientras que en las partes bajas se produce tomate, hortalizas, limas, limones, banano, café y sandía. En relación al uso actual del

suelo, la tierra se encuentra generalizada en la siembra de cultivos anuales, agroforestería de pino de bosque natural asociado con cultivos anuales y pastos, actualmente se encuentra en sobre uso. Existe un gran porcentaje de erosión en los municipios. (Hernández, 2009).

### **2.1.3 Phytotoxkit**

El Phytotoxkit es un kit ecotoxicológico, la cual mediante una prueba de laboratorio con condiciones de temperatura y luminosidad se determina la toxicidad de un sustrato deseado utilizando la germinación y la longitud de la raíz como método de evaluación luego de 3 días de siembra. Utiliza 3 diferentes tipos de semillas *Sorghum saccharatum*, *Lepidium sativum* y *Sinapis alba*, las cuales son expuestas a diferentes tipos de contaminación comparándolas con una prueba control utilizando un sustrato estándar no contaminado. En cada kit se proveen instrucciones sencillas de seguir con ilustraciones detalladas para efectuar estos ensayos prácticos, semillas calibradas de alta calidad de 3 especies seleccionadas de plantas de ensayo se incluyen en el kit para las pruebas de germinación y crecimiento temprano. (MicroBioTest Inc. 2010).

Los beneficios del kit es que su montaje es rápido y permite manejar diferentes pruebas al mismo tiempo, la observación de las semillas germinadas y la medición de las raíces es sencilla debido a los recipientes que son utilizados y los análisis de las raíces son realizadas en computadora por un software especializado. (MicroBioTest Inc. 2010).

En la figura 1 se observa el kit ecotoxicológico utilizado para llevar a cabo el estudio y sus diferentes componentes.



**Figura 1** Phytotoxkit y sus partes. (Biohidrica, 2009).

- **Especies a utilizar en el Phytotoxkit**

**Sorgo (*Sorghum saccharatum*):** El sorgo es una planta de la familia de las Poaceae, se cultiva como planta anual, aunque es perenne y se puede cosechar varias veces al año; puede llegar a medir entre 1 y 2 metros o en extremos hasta 5 metros. Tiene un sistema radicular fasciculado lo cual logra que se desarrolle bien en condiciones de sequía o heladas, las raíces pueden llegar hasta los 2 metros de profundidad. Su tallo es de forma cilíndrica, las hojas son verdes, alternas, lanceoladas de 60 cm de longitud y entre 1 y 7 cm de ancho. La semilla es un fruto cariósido de 3 a 4 mm de diámetro y esférico de colores negros, rojo y amarillo. (Barnola, *et al*, 2013).

En especial el *Sorghum saccharum* es particularmente rico en azúcar o sacarosa, se le conoce como sorgo dulce o azucarero, este es un cultivo muy rústico que se propaga bien en lugares áridos y zonas salinas; se utiliza para forraje y ofrece altos rendimientos energéticos a través de la obtención de alcohol y biocarburantes. En lo que refiere a toxicidad del sorgo, esta solo recae sobre sus partes verdes, tallos y hojas, por lo que el consumo de su grano no representa riesgo a la salud en relación a la toxicidad. (Barnola, *et al*, 2013).



**Berro de Jardín (*Lepidium sativum*):** Esta planta pertenece a la familia de la mostaza (Brassicaceae); su crecimiento es anual o bianual, llega a una altura de 20 a 40 cm y la parte superior del tallo es ramificada de color verde azulado. Su flor es de color rosado de aproximadamente 0.5 cm, con 4 pétalos de 2 a 3 mm de largo; posee 4 sépalos, 6 estambres generalmente. Sus hojas son alternas, lobuladas, y su fruto es una vaina con 2 semillas aplanadas, recortada, gris de aproximadamente 6 mm de largo, el pedúnculo de la vaina es bastante recto de 5 a 8 mm de largo. Su hábitat es bastante extensa, en basureros, terrenos deshabitados, orillas de caminos, patios, jardines, y demás. Es una planta de crecimiento rápido y de fácil cultivo (Lehmuskallio. 2008).

**Mostaza (*Sinapis alba*):** Es una planta anual con dimensiones entre los 30 y 70 ml de altura, su tallo es recto y erguido. Comúnmente es llamada mostaza blanca. Sus flores son amarillas, dispuestas en ramilletes o racimos, el fruto es una vaina que se encuentra en forma perpendicular al tallo, en su interior se encuentran las semillas entre 4 y 6 por vaina y las vainas están recubiertas generalmente por pelitos cortos y ásperos (Ecured, 2013).

#### **2.1.4 Minería en Guatemala**

La minería es la actividad económica con la explotación de yacimientos minerales donde se da un arranque y tratamiento de los minerales, esta incluye operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas. Esta actividad supone la explotación de bienes naturales no renovables y que, por lo tanto, en un momento determinado estas se agotarán. Además de que genera flujos de residuos que se devuelven al medio ambiente como desechos, y causa impactos en el entorno (Cuadro 1). (URL-IARNA, 2009).

En el caso de los minerales metálicos preciosos, las estimaciones indican la existencia de 63 toneladas métricas de oro. Entre los años 2005 y 2008, el proyecto Marlin, de la empresa Montana Exploradora de Guatemala, S.A reportó la producción de 653,500 onzas troy de oro y plata (20.33 t). Las estimaciones de Montana están basadas en una producción anual de 6.75 toneladas y con los rendimientos se estima que las menas de oro tendrán una duración de seis años y las de plata nueve años. (URL-IARNA 2009).

**Cuadro 1** Impactos ambientales generados por la minería.

Tipo de Impacto	Características
<b>Contaminación atmosférica por emisión de polvo</b>	Las operaciones de explotación de las canteras originan impactos sobre la composición atmosférica a causa de la emisión de polvo. Las explotaciones mineras generan además, otros contaminantes por combustión, entre ellas, partículas sólidas, CO <sub>2</sub> , CO y NO <sub>x</sub> .
<b>Contaminación sonora</b>	Se genera por las obras de desbroce, construcción de caminos y el ruido procedente de las operaciones de explotación. A esto se suma el ruido procedente de la circulación de vehículos pesados y livianos en las parcelas mineras, en actividades de carga, descarga y cuando se entra y sale de las áreas de explotación.
<b>Impacto por la eliminación de flora</b>	La puesta en marcha de las canteras conlleva la eliminación total de la vegetación en los espacios que serán ocupados por el hueco de la explotación, por lo caminos de acceso y otras infraestructuras necesarias. Este proceso puede afectar áreas y especies vegetales protegidas, con las que debe tenerse consideraciones especiales.
<b>Impacto en la fauna</b>	Las operaciones de la cantera alejan a la fauna del entorno durante el periodo de explotación. Los impactos causados se producen por factores tales como la ocupación de la zona, los ruidos y el trasiego de maquinaria y vehículos, entre otros.
<b>Impacto en el Paisaje</b>	La actividad minera afecta el paisaje debido a la modificación fisiográfica de la zona y por el cambio de color de ésta al extraer el material. El paisaje visual de la cuenca en la zona minera también cambia.
<b>Impacto por eliminación de suelo</b>	El desarrollo de la cantera conlleva la eliminación de suelo fértil en la parcela que ésta ocupa.

<b>Impacto en el recurso hídrico</b>	Modificación de los caudales de aguas superficiales, principalmente en periodos de invierno. Los residuos sólidos finos del área de explotación pueden llegar a sedimentar los ríos de la zona. Alteración de la red de drenajes dentro de las cuencas hídricas subterráneas. Alteración de la calidad del recurso por la presencia de contaminantes utilizados en el proceso minero.
<b>Impacto por el beneficiado de materiales</b>	El beneficiado del mineral se realiza mediante trituraciones. Los impactos dependen de la naturaleza de las instalaciones, aunque caben resalta: impactos atmosféricos por emisión de polvo, incluidos los gases contaminantes en el caso de los hornos cerámicos; contaminación de aguas debido al aserrado de mármol, generación de residuos y lodos en los procesos industriales; generación de depósitos de materiales estériles; e impactos visuales debido a instalaciones poco integradas con el entorno y , generalmente, fuera de polígonos industriales y dentro de zonas naturales, cercanas a los propios centros de extracción.

Fuente: URL-IARNA, 2009.

Como se observa en el cuadro no. 1, entre los impactos negativos de la actividad minera al subsistema social, son la alteración y contaminación del entorno ambiental, que conlleva a la disminución o pérdida de servicios ambientales locales y nacionales y la pérdida de bienes naturales que no podrán ser utilizados por las generaciones futuras. Para el 2008 la relación de gramos de oro producidos por cantidad de mineral molido era de 6.49 gramos de oro por cada tonelada de roca molido, y para la plata la relación es de 80 gramos de plata por cada tonelada de roca. (URL-IARNA, 2009).

### **2.1.5. Parámetros de evaluación de calidad del agua**

Para medir la calidad del recurso hídrico existen varios parámetros que determinan si existe alteración en la calidad del agua. Los parámetros de calidad de agua se dividen en 4 grandes grupos los cuales son: Físicos, Químicos, Biológicos y Radiológicos. (Payeras, 2011). En este estudio solamente se tomarán en cuenta los primeros tres.

### Parámetros Físicos:

Los parámetros físicos son los más sencillos de evaluar ya que solamente se hace una evaluación visual del estado del recurso o con un espectrofotómetro, se anotan características fundamentales de cada parámetro para luego complementarlas con los demás parámetros para tener un buen análisis. (Jiménez, 2008).

- Organolépticas: Estas son determinadas por los sentidos, su evaluación es evidencia de que un efluente no tiene buena calidad, se evalúa observando con los sentidos el sabor, olor y color del agua. El color se evalúa colocando la muestra sobre un fondo blanco o mediante un espectrofotómetro visible. El olor se determina por sucesivas diluciones de la muestra original con agua inodora hasta que el olor se vuelva indetectable, pero este ensayo es muy subjetivo. El sabor generalmente está asociado al olor, este parámetro se evalúa por dilución hasta que el umbral de percepción desaparezca, pero estas pruebas no se pueden hacer con muestras que no sean aptas para consumo. (Jiménez, 2008).

### Parámetros Químicos

Estos parámetros tiene la características que la gran mayoría requieren de equipo de laboratorio y procedimientos específicos para poder tomarlos, de la misma manera existen parámetros in situ (en el lugar) y ex situ (en laboratorio).

- Temperatura: El aumento de la temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, además de afectar la temperatura del cuerpo receptor. Esta se evalúa mediante un termómetro realizado in situ (Jiménez, 2008).
- Oxígeno Disuelto: Es un parámetro in situ, mediante un electrodo que se introduce en la muestra de agua y determina la cantidad de oxígeno en mg en un volumen de agua expresado en litro (Jiménez, 2008).
- DBO: La demanda biológica de oxígeno (DBO) expresa la cantidad de oxígeno necesaria para la materia orgánica. Se evalúa la cantidad de carbono orgánico biodegradable existente en la muestra por 5 días a temperatura de 20 °C (Jiménez, 2008).

- DQO: La demanda química de oxígeno (DQO) expresa la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica. Esta prueba generalmente se evalúa en 2 horas determinando la cantidad de oxígeno que fue necesario para poder oxidar toda la materia orgánica e inorgánica (Jiménez, 2008).
- Aceites y grasas: Estos líquidos generan problemas al momento de la depuración de las aguas residuales impidiendo la sedimentación de los sólidos en suspensión y formando una película que recubre los microorganismos encargados de la biodegradación. Se evalúa extrayendo en caliente o con un disolvente orgánico no miscible con el agua, a partir de un volumen conocido del agua a analizar acidulada a un pH menor a 2 (Jiménez, 2008).
- pH: Es la concentración de iones de hidronio en la disolución, se determina mediante la electrometría de un electrodo selectivo llamado pHmetro (Jiménez, 2008).
- Nitrógeno: Este parámetro generalmente se evalúa utilizando el método Kjeldhal la cual analiza la suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (Jiménez, 2008).
- Dureza: Esta indica el contenido iónico de una muestra de agua, haciendo referencia a la concentración de iones de calcio, magnesio, estroncio y bario. Se evalúa por medio de la compleximetría con EDTA (Jiménez, 2008).
- Fósforo total: Junto con el nitrógeno son los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, la determinación se efectúa por medio de espectrofotometría (Jiménez, 2008).
- Metales pesados: Entre estos se incluyen arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y zinc. Para su determinación se emplea la muestra acuosa bruta, si está no contiene materia en suspensión, en caso contrario se somete a digestión con ácido nítrico y se determina la cantidad de metales totales, hallando la cantidad de cada metal por espectroscopia de absorción atómica de llama o electrotérmica (Jiménez, 2008).

## Parámetros Biológicos

- Microorganismos: Se miden los coliformes totales y fecales (Jiménez, 2008).

Como complemento en el anexo 1 se puede observar un cuadro que resume las normas y las técnicas para la determinación de los parámetros descritos anteriormente (Jiménez, 2008).

En la figura 2 se observa la planta de tratamiento de aguas residuales tipo doméstico que será muestreada, se encuentra marcada la posición del patio de secado de lodos el cual será muestreado para realizar el estudio.



**Figura 2** Planta de tratamiento de aguas residuales (Durman) (Quezada, 2013).

Esta planta inicia con un pretratamiento conformado por un cribado, desarenador y trampa de grasas, la planta no cuenta con una medición de caudal, su diseño es para 100 m<sup>3</sup>/d pero actualmente trabaja sobre su capacidad, a más de 130 m<sup>3</sup>/d. Se le incorporó un tanque para regular el caudal. En relación a la carga orgánica, la planta se diseñó para una carga de 30 kg DBO<sub>5</sub>/d, pero se observa que la carga orgánica promedio

es de 70 kg DBO<sub>5</sub>/d. Es por esto que la planta esta sobrecargada hidráulica y orgánicamente. De manera general la planta trabaja mediante un sistema de lodos activados, con aireadores y agitadores que oxigenan el agua para degradar contaminantes y mejorar la calidad del agua. Este tratamiento de lodos activador puede considerarse como tratamiento primario, luego la clarificación es un proceso secundario y un proceso terciario para la remoción de nutrientes y otros compuestos químicos y un dosificador de cloro para reducir coliformes fecales y totales (Mejia y Díaz, 2013).

En el anexo No. 2 se observan imágenes y diagrama de la planta “Durman” para observar cómo funciona y algunas partes de la planta.

**Cuadro 2** Requerimientos para análisis y almacenamiento de muestras de agua.

<b>Parámetro a analizar</b>	<b>Conservación</b>	<b>Máximo almacenamiento Recomendado</b>
Alcalinidad total	Refrigeración	24h/14d
Cloruros	No requiere	28d
Color	Refrigeración	48h/48h
Cianuro total	Adicionar NaOH a pH >12, refrigerar en oscuridad	24h/14 d; 24 h si hay sulfuro presente
Dureza	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH < 2	6 meses/6 meses
Aceites y grasas	Adicionar HCl a pH < 2.0, refrigerar	28d/28d
DBO	Refrigeración	6h/48h
DQO	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	7d/28d
Conductividad	Refrigeración	28 d/28 d
Metales en general	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2	6 meses/6 meses
Cromo VI	Refrigerar	24h/24h
Mercurio	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH<2, refrigerar	28 d/28 d

Amonio	Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<2, refrigerar	7 d/28 d
Nitrato	Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar	48 h/48 h
Nitrito	Refrigerar	Ninguno/48 h
Nitrógeno orgánico, Kjeldahl	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	7 d/28 d
Grasas y aceites	Adicionar HCl ó H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	28 d/28 d
Oxígeno disuelto, electrodo	Analizar inmediatamente	0.25 h/ 0.25 h
pH	Analizar inmediatamente	0.25 h/0.25 h
Fósforo total	Adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	28 d
Sólidos	Refrigeración	7 d/ 2-7 d
Sulfatos	Refrigeración	28 d /28 d
Sulfuros	Refrigerar, adicionar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL muestra; adicionar NaOH a pH > 9.0	28d/7d
Temperatura	Analizar inmediatamente	0.25 h/ 0.25 h
Turbiedad	Analizar el mismo día, guardar en oscuridad hasta 24 horas; refrigerar	24 h/48 h

Fuente: Responsabilidad Integral, 2007.



### **2.1.6 Normativa Nacional Aplicable**

En la Mina Marlin trabajan con el Reglamento de la Descarga y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo Número 236-2006. Este reglamento aplica a todos los entes generadores de aguas residuales y las personas que deseen utilizar agua para reúso (Anexo 3).

El reglamento maneja 20 parámetros entre los que están los físicos, químicos y biológicos para poder determinar la calidad del agua, para estos parámetros existen diferentes máximos permisibles con tablas elaboradas, tiene modelos de reducción de DBO de manera progresiva cada 5 años.

En relación a la reutilización de las aguas, esta no aplica a ellos debido a que ellos manejan el reúso para la industria y los diferentes tipos del reglamento no toma en cuenta este tipo de reutilización.

### **2.1.7 Normativa Internacional Aplicable**

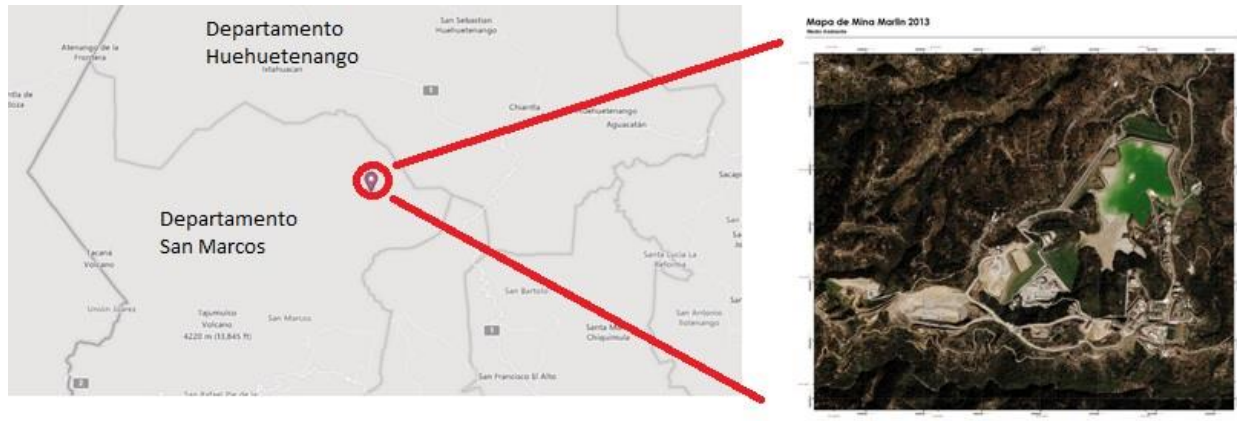
La normativa internacional que aplica la Mina Marlin es la Guía del Banco Mundial para Efluentes de Minería Metálica. Se presentan los límites máximos permisibles para el U.S Code of Federal Regulations Title 40 de los Estados Unidos de América, y los límites para Canadá según el Metal Mining Effluent Discharge en 2002 (Anexo 4) (Brantes, 2008). La normativa internacional muestra algunos parámetros similares a la normativa nacional, pero en algunos puntos es más exigente, por lo que al cumplir con el Banco Mundial se estaría cumpliendo con la nacional.

## **2.2 Localización**

La Práctica Profesional se llevó a cabo en el proyecto Marlin que pertenece a la empresa minera Montana Exploradora de Guatemala S.A, que es subsidiaria de Goldcorp, ubicada en el municipio de San Miguel Ixtahuacán y el municipio de Sipacapa en el departamento de San Marcos. Ubicado a 15° 13' 26.61" Norte y 91°41'43.76" Oeste, a una elevación de 1,950 msnm. (Google Earth, 2013). A los alrededores se encuentran varias aldeas como San Jose Ixcaniche, San Jose Nueva Esperanza, Siete Platos, Salem y Salitre. El acceso por tierra de la ciudad de Guatemala es por la carretera CA1 y 9N. El clima es

templado con 13°C la mínima y 30°C la máxima, la dirección del viento es variada, las comunidades vecinas hablan tres idiomas: español, mam y sipacapense, predomina la religión evangélica y católica (Mejía, Díaz. 2013).

En la figura 3 se encuentra la ubicación de la Mina en el departamento de San Marcos, cerca del límite departamental con Huehuetenango y su área de influencia.



**Figura 3** Ubicación Visual de la Mina Marlin y área de influencia. (Quezada, 2013).

### **2.3 Descripción de la Actividad de la Mina Marlin**

Montana Exploradora de Guatemala es una empresa con capital de inversión internacional, que se dedica a la extracción y exportación de oro y plata por medio de técnicas avanzadas en minería de superficie y subterránea. Subsidiaria de la compañía Goldcorp a partir de 2009, empresa de origen canadiense y está suscrita a los mercados bursátiles más importantes del mundo (Quezada, 2013).

La producción anual promedio de la mina Marlin se estima en 250,000 onzas de oro y más de 3.5 millones de onzas de plata al año aproximadamente. Marlin evolucionó hasta convertirse en la empresa exportadora de oro más importante de Guatemala y Centro América. Las reservas actuales sobrepasan los 2.5 millones de onzas de oro y 36 millones de onzas de plata (Quezada, 2013).

Como parte del sector ambiental, su misión previo, durante y después de la producción minera, de acuerdo al Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, Montana Exploradora promueve y asegura una estrategia ambiental que aborda riesgos e impactos de forma

responsable para transformar la cultura forestal de los vecinos con planes de manejo específicos conforme la legislación ambiental local y dentro de las guías políticas desarrolladas por el Banco Mundial, entre ellas: el tratamiento de aguas residuales, manejo de aguas superficiales, planes de contingencia, programas de vigilancia ambiental, monitoreos continuos y permanentes de agua, aire, ruido y otros (Quezada, 2013).

Los programas de manejo ambiental aseguran la continuidad de las medidas de recuperación de suelos por medio de la reforestación, re-vegetación, control de erosión y vivero para la re inserción de la flora y fauna silvestre nativa del lugar para mejorar las condiciones del medio ambiente en las áreas aledañas a la mina. (Quezada, 2013).

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 General**

- Evaluar el nivel de toxicidad de tres tipos de sustratos y del agua de la planta de tratamiento de aguas residuales en la Mina Marlín

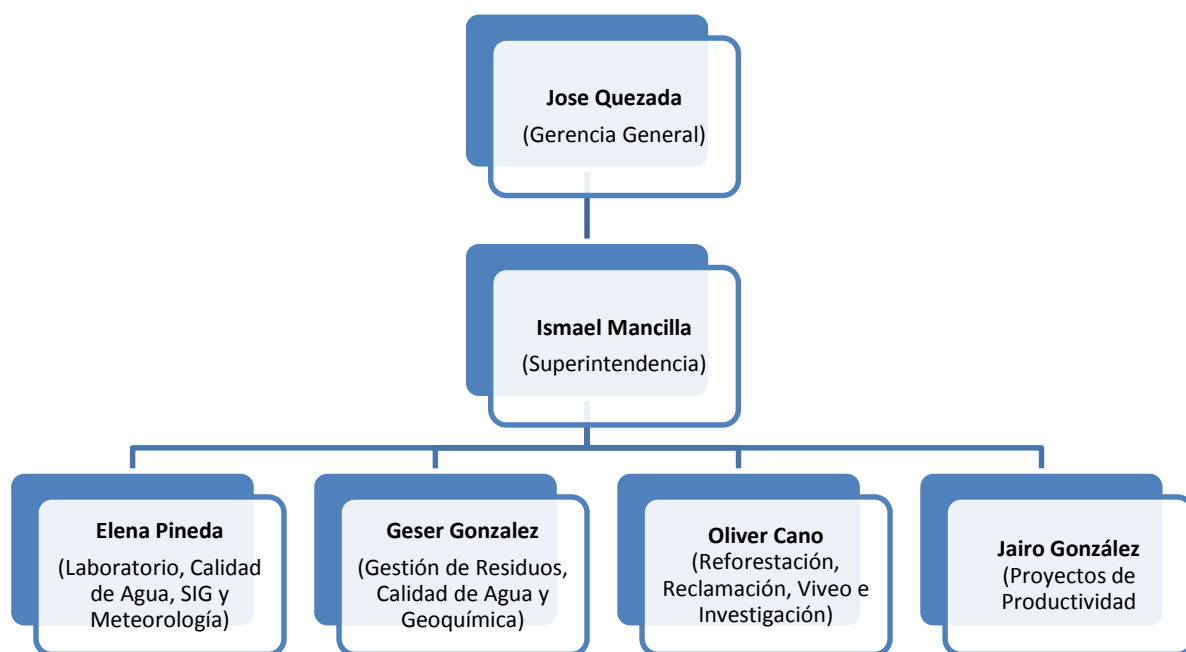
#### **3.2 Específicos**

- Describir la calidad del agua de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales utilizando diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos.
- Cuantificar la inhibición de germinación de plantas indicadoras por efecto de la toxicidad de sustratos, aguas residuales y mezcla de sustratos (colas-lodos, óxidos-lodos) en diferentes porcentajes.
- Medir el desarrollo radicular de las plantas indicadoras para establecer la toxicidad de los sustratos, aguas residuales y mezcla de sustratos (colas-lodos, óxidos-lodos) en diferentes porcentajes.

## IV. PLAN DE TRABAJO

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO ESPECÍFICA

Se realizaron las prácticas en el departamento de ambiente de la Mina Marlin (Figura 4). Este departamento colabora con la Gerencia de Ambiente para evaluar el trabajo que se debe hacer de gestión ambiental. (Quezada, 2013).



**Figura 4** Organigrama del departamento de Ambiente, Mina Marlin. (Quezada, 2013).

#### 4.1.1 Calidad de Agua, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Meteorología

Esta área se encarga de velar por el monitoreo de aguas superficiales, subterráneas, y descargas. Dentro de sus atribuciones está velar por el pleno cumplimiento de los análisis químicos, microbiológicos, ecotoxicológico, hidrología del área, sedimentos, etc. para el cumplimiento ambiental de las guías y normativas nacionales MARN, Banco Mundial y USEPA. Trabaja directamente con el laboratorio ambiental y consultores externos, nacionales e internacionales.

Tiene a su cargo también la organización y comunicación comunitaria de los monitoreos realizados con la Asociación AMAC (Asociación de Monitoreo Ambiental Comunitario) asesorados por la Universidad San Carlos de Guatemala, y organizaciones de apoyo

extranjeras para el cumplimiento ambiental. Así mismo, tiene a cargo comunicación y preparación de informes de cumplimiento ambiental para el MARN, MEM y Banco Mundial, así como otras instituciones como el Instituto Internacional del Cianuro.

El laboratorio ambiental tiene a su cargo el análisis de muestras de agua, suelos, aire, bioensayos, y provee la información instantánea para la toma de decisiones. También tiene a su cargo la investigación ambiental y analítica le da servicio a todas las áreas y está en comunicación con laboratorios extranjeros y nacionales plenamente certificados.

La práctica profesional se realizó en el área de calidad de agua y en el laboratorio ambiental debido a que envuelve ambos temas al momento de hacer los análisis

#### **4.1.2. SIG: Sistemas de Información Geográfica**

Esta área tiene a su cargo el análisis SIG, modelamientos estadísticos, y preparación de mapas y geobases de datos de la Mina en General, desde archivos de metadatos, imágenes satelitales multiespectrales, GPS, y ordenamiento.

#### **4.1.3. Meteorología**

Tiene a su cargo el manejo de la Estación Meteorológica Mina Marlin, pluviómetros, balances hídricos de la zona, y le da soporte a todas las unidades operativas.

#### **4.1.4. Gestión de Residuos, Calidad de Aire y Geoquímica**

Esta área está encargada de velar por los programas de gestión de desechos sólidos, manejo de desechos, recolección, bioremediación ambiental, reciclaje, incineración, etc. También vela por los monitoreo de calidad aire en la zona, material particulado, polvos, gases, etc.

Otra de sus atribuciones es el control geoquímico de mineral y estériles, análisis de potencial de drenajes ácidos, potencial de neutralización, columnas de lixiviados in-situ y manejo ambiental en áreas operativas, y manejo de estos desechos.

#### **4.1.5 Reforestación y Reclamación Ambiental**

Esta área tiene a su cargo las actividades de reforestación con especies nativas de la zona en las áreas operativas y no operativas, compromisos con el INAB, incentivos forestales, vivero, educación ambiental tanto a trabajadores de la Mina, como a escuelas y comunidades cercanas.

Tiene a su cargo las labores de revegetación y reclamación ambiental, restauración de flora en áreas minadas, y control ambiental y de cierres técnicos ambientales en áreas alteradas u operativas.

También tiene a su cargo la dirección de proyectos productivos, así como la investigación de usos de la tierra en área, hidroponía, piscicultura, agronomía, suelos, monitoreos biológicos, terrestres, e investigación de producción de lácteos y otras formas de uso ambiental orgánico de la tierra.

#### **4.1.6 Proyectos Productivos**

Esta área tiene a su cargo efectuar los proyectos productivos agrícolas y de buenas prácticas ambientales en la agricultura con las comunidades aledañas. Su función es elevar la calidad de vida y la seguridad alimentaria en la zona cumpliendo con las mejores prácticas ambientales para un desarrollo sostenible y sustentable.

### **4.2.PROGRAMA A DESARROLLAR (EJE DE SISTEMATIZACIÓN)**

La finalidad del estudio es determinar la dosificación de los sustratos colas-lodos y óxidos-lodos que mejor respondan a la germinación y la interacción con un kit ecotoxicológico que utiliza plantas indicadoras para medición, para poder replicarlo a gran escala al momento del cierre de la mina o de proyectos de recuperación de suelos y de esta manera lograr un menor impacto hacia el ecosistema. Para poder lograr esto se desarrollaron varios programas dentro de los que están el muestre y análisis de agua de la planta de tratamiento de aguas residuales, recolección de óxidos, lodos y colas.

El estudio se dividió en dos fases:

**Fase 1:** Evaluación de cuatro sustratos combinados con aguas residuales

Para este experimento se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo combinatorio 4x2, donde el factor A: Tipo de sustrato y Factor B: Tipo de agua. Los tratamientos evaluados fueron:

**Cuadro 3** Tratamientos evaluados para Fase 1

<b>Código tratamiento</b>	<b>Tipo de sustrato</b>	<b>Tipo de agua</b>
Oxidos:AD	Óxidos	Desmineralizada
Óxidos:AR		Residual
Lodos:AD	Lodos	Desmineralizada
Lodos:AR		Residual
Colas:AD	Colas	Desmineralizada
Colas:AR		Residual
Blanco:AD	Blanco (control)	Desmineralizada
Blanco:AR		Residual

**Procedimiento del experimento**

Se siguió la metodología según Phytotoxkit para generar la información. El kit tiene 4 pasos principales, los resultados pueden obtenerse en 3 días. Se detallan los pasos a continuación: Primero se procede a hacer el cálculo de la capacidad de campo del sustrato (WHC) y luego con la misma metodología se realiza para los sustratos experimentales (MicroBioTest Inc. 2010).

Para calcular la capacidad de campo se procedió a tamizar el sustrato con un tamiz de 2mm, se llenó una probeta con 50 ml de agua desmineralizada, en un beaker se colocaron 90 ml de sustrato, se colocaron los 50 ml de agua en el beaker, se esperó hasta que se saturara el sustrato de agua, si era necesario se colocaba más agua. Se esperó 5 minutos hasta que todo el sustrato sedimentara y cuidadosamente se colectó el sobrenadante en una probeta para que el sustrato quedara saturado con agua sin



sobrenadante. Luego se calculó el volumen de saturación ( $V_{sat}$ ). El volumen en la probeta es la cantidad de agua que el suelo no absorbió; por lo que la fórmula para calcular la saturación  $V_{sat} (ml) = 50 - S$ , donde “S” es la cantidad de agua que quedó en la probeta.

### **Vertido en placa**

Ya con la capacidad de campo conocida se procedió a colocar 90 ml de sustrato en una placa y verter con una jeringa el volumen de la capacidad de campo de manera uniforme para que se hidrate todo el sustrato. Con una espátula se esparció el suelo por toda la placa para llenarla de manera uniforme, se colocó el papel filtro negro encima procurando no dejar burbujas. Luego de ver que el papel filtro este completamente mojado se colocó en la parte superior 10 semillas esparcidas uniformemente en una fila a lo ancho del papel filtro. Se realizó el mismo procedimiento para las 3 semillas con 3 repeticiones de cada experimento. Se colocaron las tapaderas hasta que los sellos hicieran “click” a la orilla de toda la placa. Se colocaron en la incubadora a 25° C y en oscuridad por 3 días de manera vertical con el sustrato en la parte de abajo. (MicroBioTest Inc. 2010).

### **Evaluación de las placas**

Cuidadosamente se sacaron las placas de la incubadora, se colocaron sobre una parte firme con el papel filtro hacia enfrente, se tomó una fotografía de cada placa con una cámara digital y se transfirieron las fotos a una computadora. (MicroBioTest Inc. 2010).

### **Se midieron las siguientes variables de respuesta:**

- **Inhibición de Germinación:** Esta se calcula utilizando el blanco con agua desmineralizada que es el suelo de referencia utilizando la siguiente formula:

$$\text{Inhibición de Germinación (\%)} = \left( \frac{\text{Blanco} - \text{Experimento}}{\text{Blanco}} \right) * 100$$

Al tener porcentajes lejanos a 100 indica que hubo mayor inhibición de la germinación, si los porcentajes son negativos indica que el experimento se desarrolló mejor que el blanco.

- **Longitud de raíz:** Esta se obtuvo mediante un software especializado que indicaba en milímetros (mm) la longitud de cada raíz de manera individual, luego se realizaba un promedio de la placa observada y se anotaba el dato
- **Análisis de agua residual** Se tomó una muestra puntual de la planta de tratamiento de aguas residuales, se colocó en frascos certificados previamente certificados y fueron enviados a un laboratorio nacional para que se analizaran el cumplimiento del reglamento de descarga nacional 236-2006.

**Fase 2:** Evaluación de dos sustratos en cuatro concentraciones combinadas con Lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales

Para este experimento se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo combinatorio 2x4, donde el factor A: Tipo de sustrato y Factor B: Concentración en combinación con Lodos. Los tratamientos evaluados fueron:

**Cuadro 4** Tratamientos Evaluados para Fase 2

Código tratamiento	Tipo de sustrato	Concentración
Óxidos-Lodos:65%	Óxidos	65%
Óxidos-Lodos:75%		75%
Óxidos-Lodos:85%		85%
Óxidos-Lodos:95%		95%
Colas-Lodos:65%	Colas	65%
Colas -Lodos:75%		75%
Colas -Lodos:85%		85%
Colas -Lodos:95%		95%

**Procedimiento:** Se prepararon bolsas con las mezclas indicadas en el cuadro 4, donde siempre la concentración menor fue de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales en todos los experimentos, se procedió a calcular la capacidad de campo para cada bolsa, con los datos obtenidos se realizó el vertido en placa y la evaluación de la placa luego de 3 días de incubación. Se utilizó otro blanco al momento de realizar la fase 2 que se realizó en conjunto con los demás experimentos.

**Se midieron las siguientes variables de respuesta:**

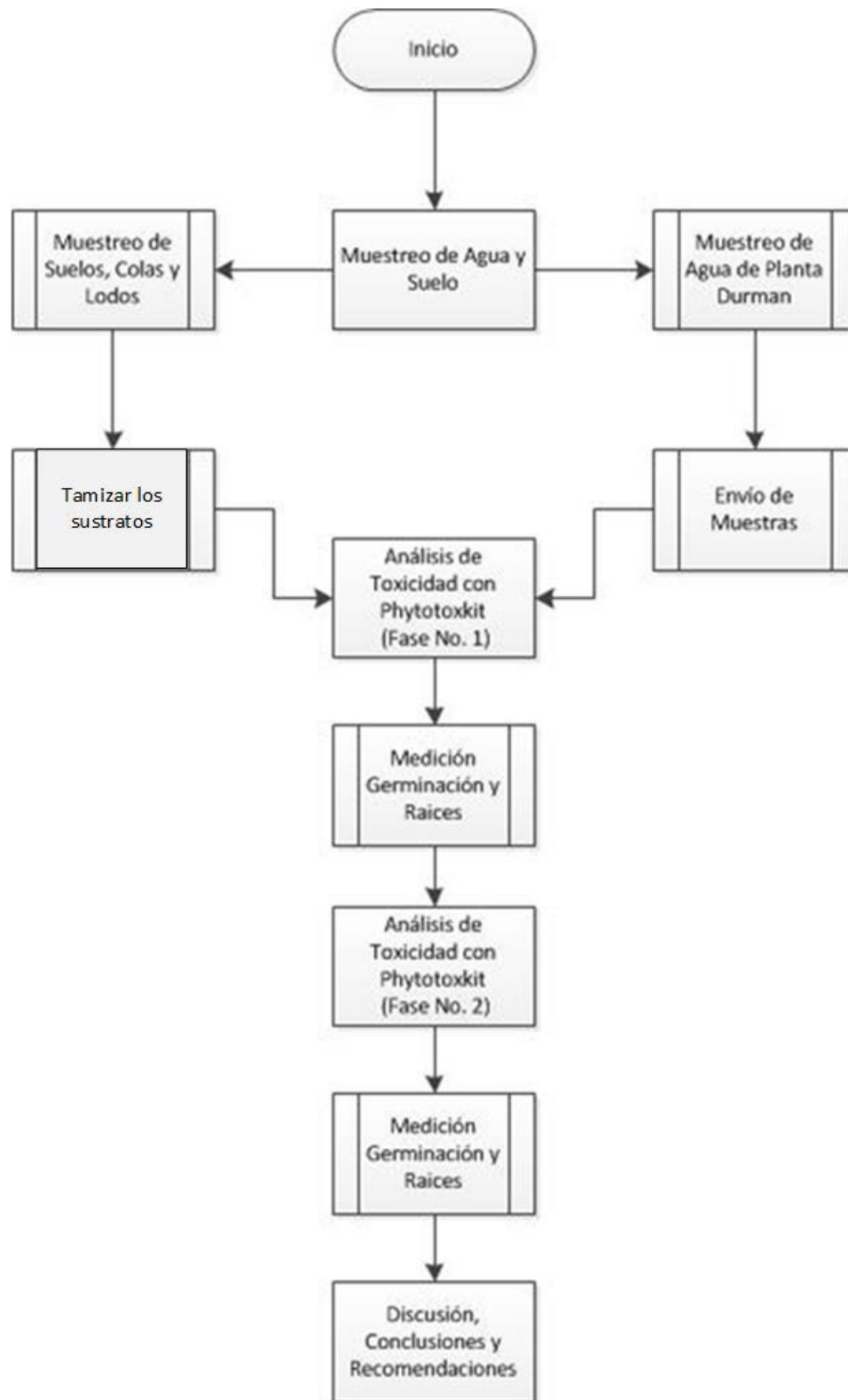
- **Inhibición de Germinación:** Esta se calcula utilizando el blanco con agua desmineralizada que es el suelo de referencia utilizando la siguiente formula:

$$\text{Inhibición de Germinación (\%)} = \left( \frac{\text{Blanco} - \text{Experimento}}{\text{Blanco}} \right) * 100$$

Al tener porcentajes lejanos a 100 indica que hubo mayor inhibición de la germinación, si los porcentajes son negativos indica que el experimento se desarrolló mejor que el blanco.

- **Longitud de raíz:** Esta se obtuvo mediante un software especializado que indicaba en milímetros (mm) la longitud de cada raíz de manera individual, luego se realizaba un promedio de la placa observada y se anotaba el dato

En la figura 5 se muestra una metodología general de la realización del proyecto, desde el muestreo de agua y suelo, la utilización del kit para las dos fases, los resultados, discusiones y conclusiones.



**Figura 5** Esquema general del experimento.

**Análisis de la información:**

Para el análisis de las variables calculadas se utilizó un Análisis de Varianza al 5% de nivel de significancia utilizando el modelo estadístico correspondiente al diseño experimental y arreglo utilizado. En los casos donde existieron diferencias significativas se procedió a utilizar una prueba de medias de Tukey al 5% para análisis posterior.

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1. FASE 1: EVALUACIÓN DE CUATRO SUSTRATOS COMBINADOS CON AGUAS RESIDUALES**

#### **5.1.1. Evaluación de la calidad de agua de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

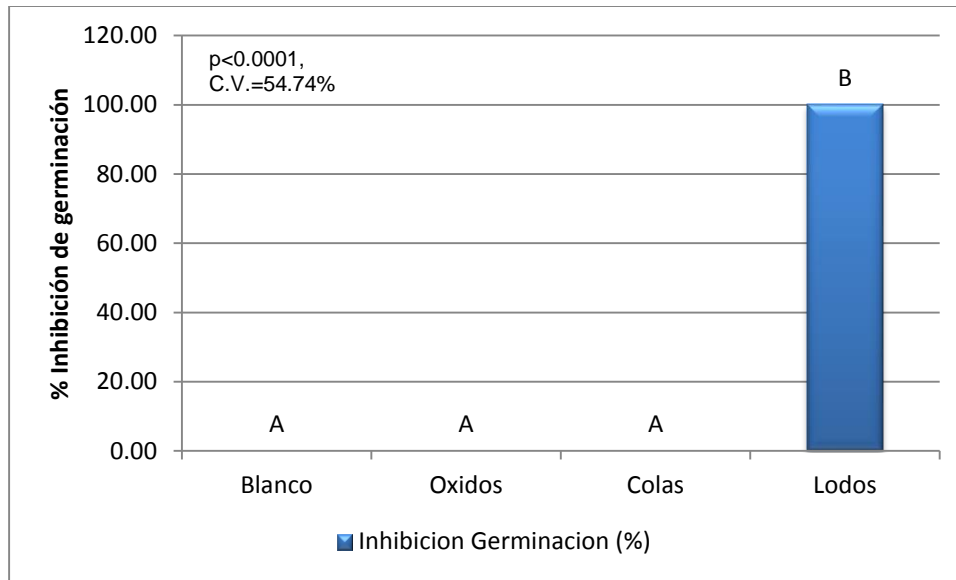
Para poder evaluar la calidad de agua de salida de Durman se tienen los resultados analizados en un laboratorio externo “Ecosistemas” la muestra fue tomada de manera puntual el día 09 de marzo de 2014 y los resultados comparados con el artículo no. 20 del anexo 3, esto es debido a que el proyecto es un ente generador antiguo, en el anexo se compara con la primera fecha máxima de cumplimiento debido a que la muestra fue tomada durante el primer trimestre del 2014 donde los resultados muestran el DQO y los coliformes fecales están sobre el límite máximo permisible, actualmente la planta de tratamiento descarga su agua hacia la represa de colas ubicada dentro del proyecto, pero se está evaluando mejorar la calidad de la planta para poder descargar a un cuerpo receptor al momento de realizar el cierre minero. En la figura 9 se pueden observar los resultados, el DQO es elevado debido a que la planta está trabajando sobre su capacidad de diseño por lo que reduce mucho su eficiencia, además de una excesiva carga de nutrientes que ingresan lo cual genera problemas para que la planta trabaje con normalidad, en relación a los coliformes fecales es debido a que no existe una fase de cloración en el ciclo de la planta para poder eliminarlos.

Parámetro	Dimensional	Resultado	Reglamento 236-2006
pH Laboratorio	unidades	7.64	6 a 9
Aceites y Grasas	mg/L	N.D	100
Materia Flotante	***	ausente	ausente
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5 **	mg/L	58	Ingreso a Planta 600
Demanda Química de Óxigeno (DQO)	mg/L	154	No esta regulado por ser ente generador antiguo
Solidos Suspendedos	mg/L	154	600
Solidos Sedimentables	mg/L	493	
Nitrógeno Total	mg/L	10	100
Fósforo Total	mg/L	64	75
Arsénico As	mg/L	6.15	0.5
Cadmio Cd	mg/L	0.018	0.4
Cianuros	mg/L	N.D	3
Cobre Cu	mg/L	N.D	4
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/L	N.D	0.5
Mercurio Hg	mg/L	N.D	0.1
Niquel Ni	mg/L	N.D	4
Plomo Pb	mg/L	N.D	1
Zinc Zn	mg/L	0.28	10
Color Aparente	UC Hz equiv. Unid. Pt-Co	3015	
Color Real	UC Hz equiv. Unid. Pt-Co	61	1300
Coliformes Fecales	NMP/100mL	5.4 x 10 <sup>6</sup>	< 1 x 10 <sup>6</sup>

Ingreso a la planta 110 metros cúbicos al día.

**Figura 6** Resultados agua de salida Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

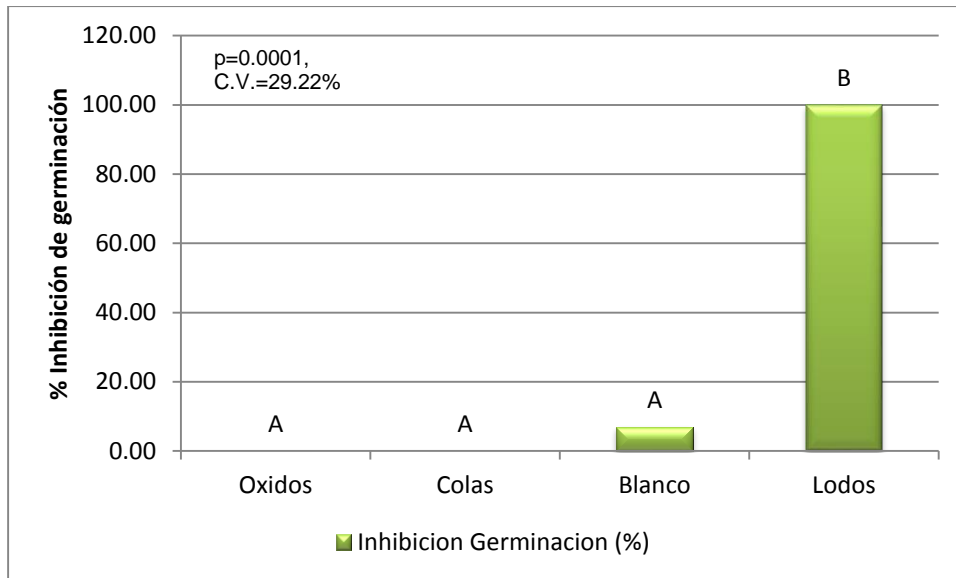
### 5.1.2. Inhibición de Germinación



**Figura 7** Inhibición de germinación de *Lepidium sativum* por sustrato.

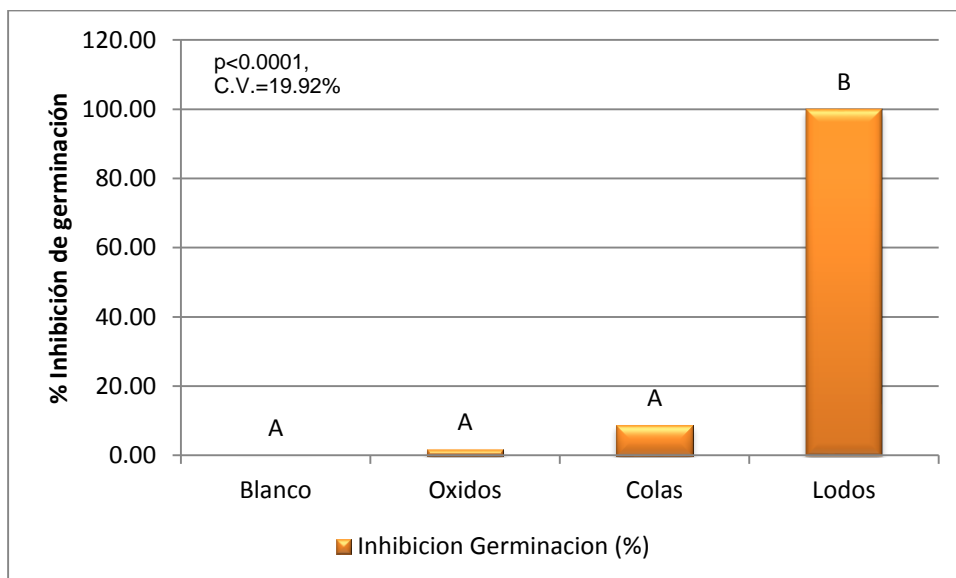
Al realizar el ANDEVA de *Lepidium sativum* se determinó que no existió interacción de factores, el único factor significativo fue el sustrato, sobre la germinación de la semilla. Las semillas colocadas en los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales no germinaron, en la figura 10 se observa que los lodos tienen el mayor porcentaje de inhibición y que los demás sustratos no aparecen graficados ya que tienen porcentajes negativos, es decir que germinaron más que el sustratos de comparación, entonces al realizar la prueba de Tukey coloca dos grupos de medias donde los lodos están en el grupo A y el blanco, las colas y los óxidos están en el grupo B, es decir que las medias de los demás sustratos son similares entre ellas.





**Figura 8** Inhibición de germinación de *Sinapis alba* por sustrato

Los resultados de ANDEVA para *Sinapis alba* muestran que la única variable significativa en la germinación es el tipo de sustrato, al observar la figura 11 es notorio la diferencia de los lodos con los demás sustratos, y al realizar la prueba de Tukey con las medias de los sustratos se coloca en un grupo a los lodos ya que tiene un alto porcentaje de inhibición de la germinación y en otro grupo coloca al blanco, los óxidos y las colas por tener medias similares con germinación de semillas muy parecidas



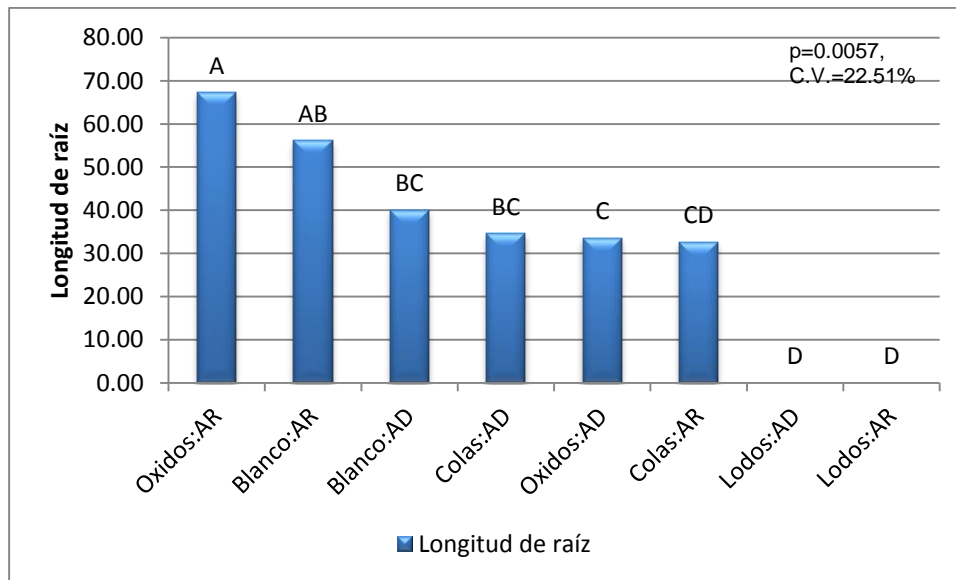
**Figura 9** Inhibición de germinación de *Sorghum saccharatum* por sustrato

Con *Sorghum saccharatum* el ANDEVA muestra los mismos resultados que las semillas anteriores, la única variable significativa es el tipo de sustrato, en la figura 12 se muestran los porcentajes de inhibición de los diferentes sustratos, se observa que los lodos tienen el 100% de inhibición en germinación, y los demás no están arriba del 10% de inhibición. Al realizar la prueba de medias de Tukey nuevamente coloca a los lodos en un grupo por su alto porcentaje de inhibición y a los demás sustratos los coloca en un grupo por sus medias similares.

Luego de realizar la fase 1 en relación a inhibición de germinación, se determinó que tanto la interacción del agua con el sustrato y el factor Tipo de Agua no afectan la germinación de las semillas, pero el sustrato sí afecta la germinación, siendo los lodos en todos los casos que poseen el más alto porcentaje de inhibición, el 100% de inhibición en todos los casos y los demás sustratos poseen medias similares de germinación sin importar la semilla.

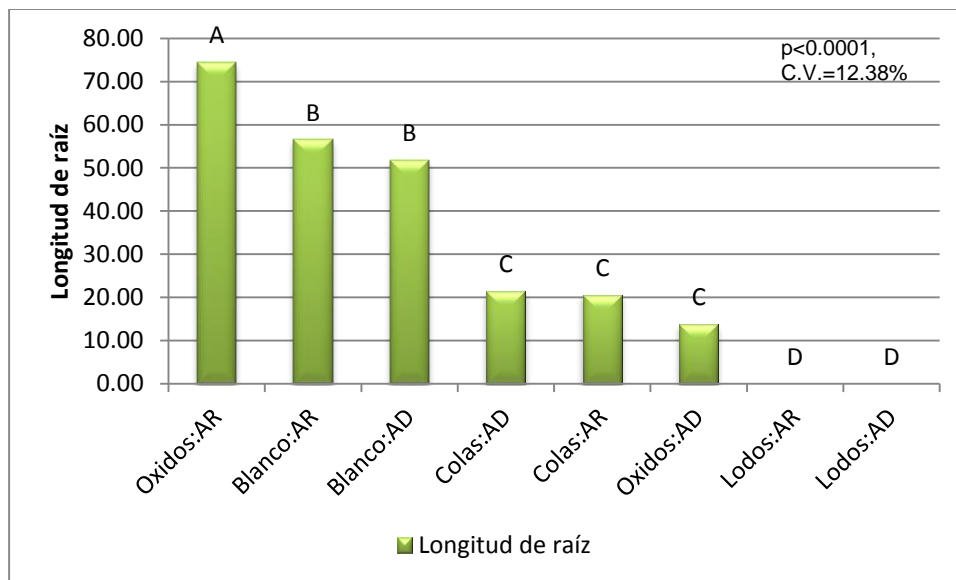
### 5.1.2. Longitud de raíz

Luego de la germinación se hizo una evaluación por longitud de raíz de las semillas germinadas, evaluando primero la interacción del sustrato con el tipo de agua (desmineralizada o residual), luego se evaluó el sustrato y el tipo de agua por separado.



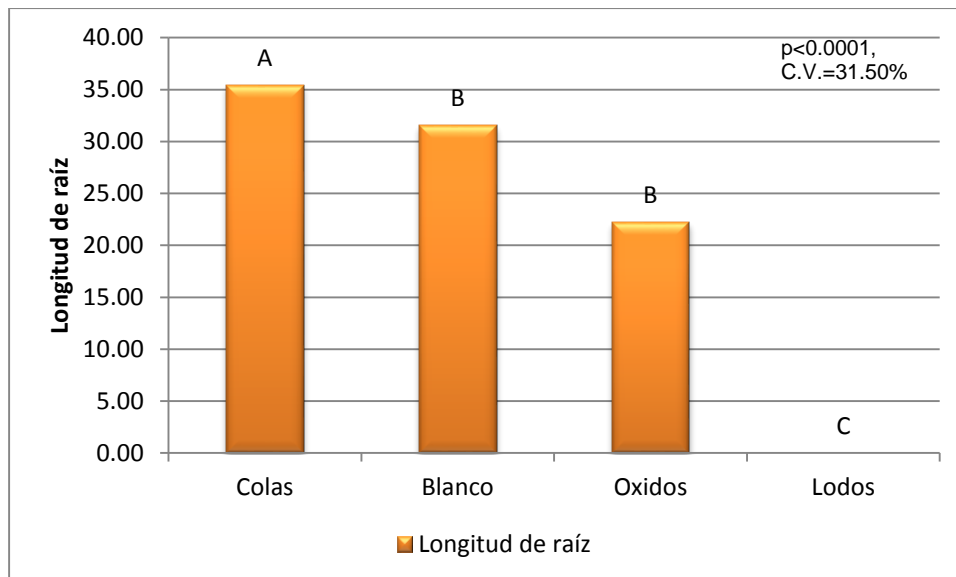
**Figura 10** Desarrollo de raíz de *Lepidium sativum* por cada tratamiento

Luego de realizar el ANDEVA se observa que existe interacción entre sustrato y tipo de agua, en la figura 13 se observa que el que mejor desarrollo radicular posee son los óxidos con agua residual, al realizar la prueba de medias de Tukey los agrupa junto con el blanco con agua residual ya que su desarrollo es similar entre ellos y diferente de los demás tratamientos. La combinación de óxidos con agua residual genera mayor crecimiento de raíz debido al aporte importante de nutrientes que posee el agua residual, a diferencia del agua desmineralizada que no posee aportes nutricionales extras al que puede aportar el sustrato individualmente. Los lodos al no mostrar germinación no poseen longitud radicular por lo que en todos los experimentos quedan en el último grupo. Es importante mencionar para interpretación que mientras menos desarrollo de raíz posea la semilla se determina que aumenta su toxicidad.



**Figura 11** Desarrollo de raíz de *Sinapis alba* por cada tratamiento

Al realizar el ANDEVA se observa que la interacción de ambos tiene significancia en los resultados, en la figura 14 se observa que a medida que disminuye la longitud de raíz entonces va aumentando la toxicidad, hasta llegar a los lodos que no tienen longitud de raíz debido a que no germinaron. El agua residual se observa que desarrolla mejor la raíz para los óxidos y el blanco, y que para las colas tiene desarrollo similar, el mejor sustrato nuevamente es el óxido con agua residual. La prueba de medias de Tukey coloca a los óxidos con agua residual en un grupo como mejor tratamiento.



**Figura 12** Desarrollo radicular de *Sorghum saccharatum* por cada sustrato evaluado

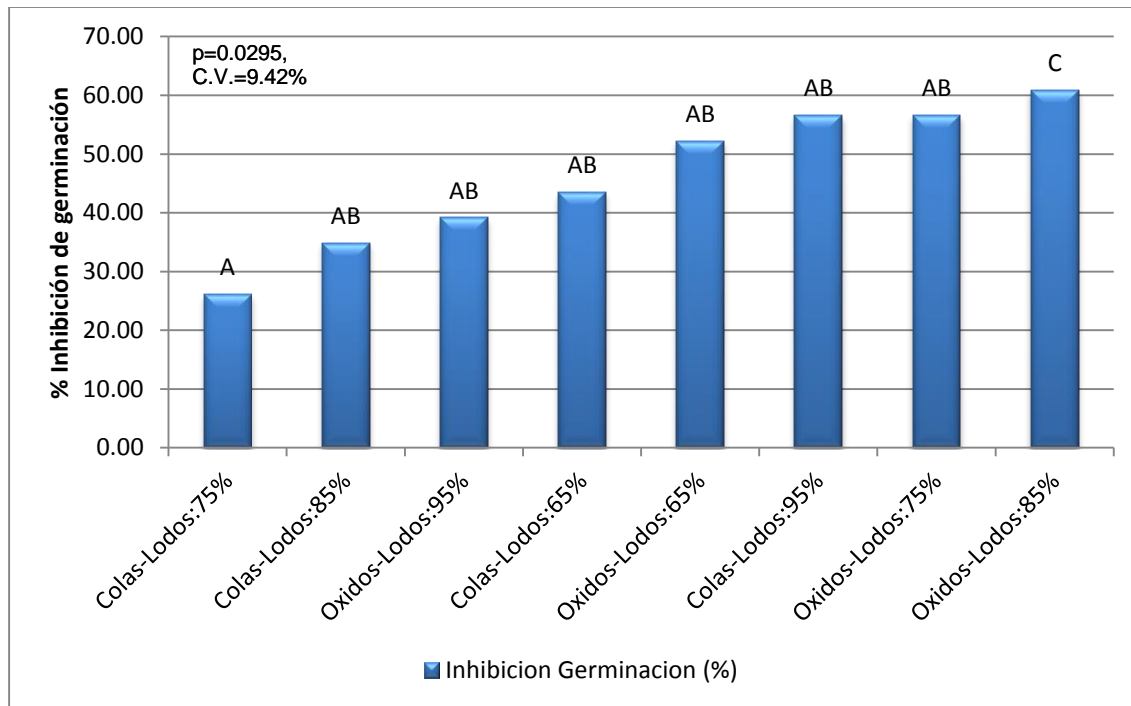
Para *Sorghum saccharatum* no se muestra interacción de factores, hay significancia estadística solamente el tipo de sustrato pero esto es debido al porcentaje de inhibición de los lodos (100%) que no lograron germinar, en relación al tipo de agua no muestra significancia los resultados, no importa el tipo de agua que coloquemos porque los resultados no tendrán diferencias significativas, los lodos son los que menor porcentaje de inhibición poseen ya que poseen mejor desarrollo radicular. En la figura 15 se observa que el mejor desarrollo lo poseen las colas, mientras que los óxidos están por debajo del blanco de comparación.

## 5.2. FASE 2: EVALUACIÓN DE DOS SUSTRATOS EN CUATRO CONCENTRACIONES COMBINADAS CON LODOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En esta fase se procedió a mezclar los sustratos con los lodos, los que se creían que por su alto contenido de nutrientes iban a hacer germinar de mejor manera las semillas, pero luego de observar que al aplicarlos al 100% no se logró la germinación entonces los resultados se muestran en concentraciones de 65%, 75%, 85% y 95%, teniendo como mezcla el lodo con las colas y el lodo con los óxidos, ya que los lodos son el tipo de sustrato con el que en menor cantidad se cuenta al momento de desear replicar este

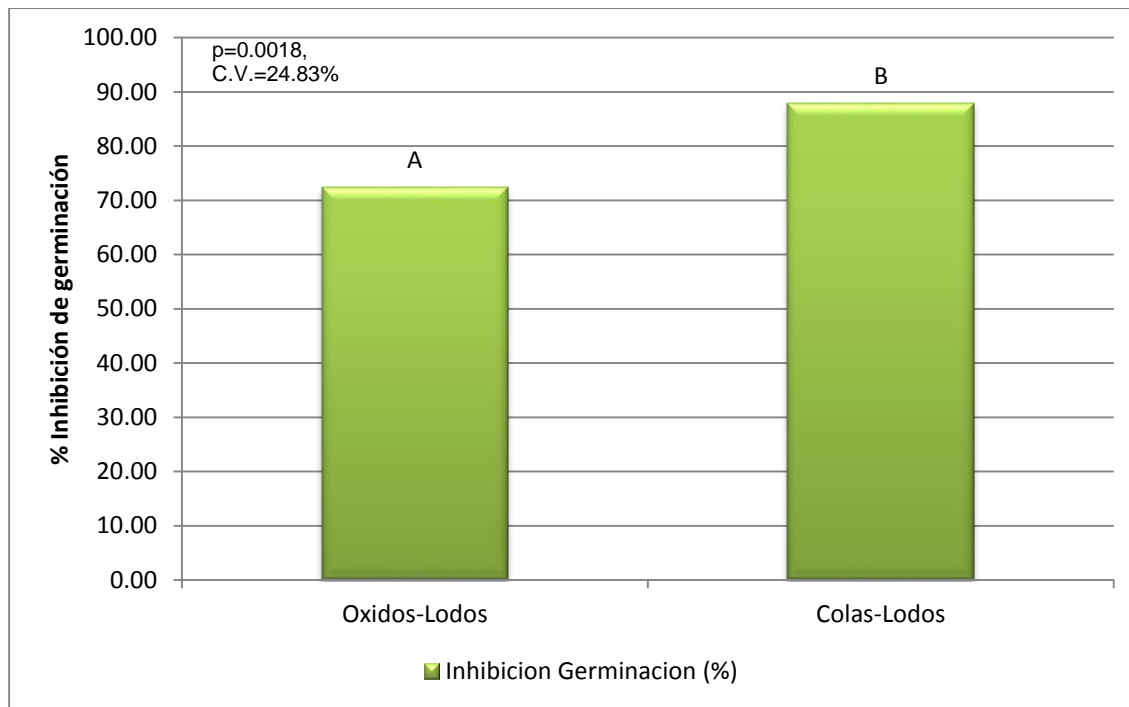
experimento en mayores proporciones y en el campo. Todos los experimentos fueron realizados con agua desmineralizada

### 5.2.1. Inhibición de Germinación



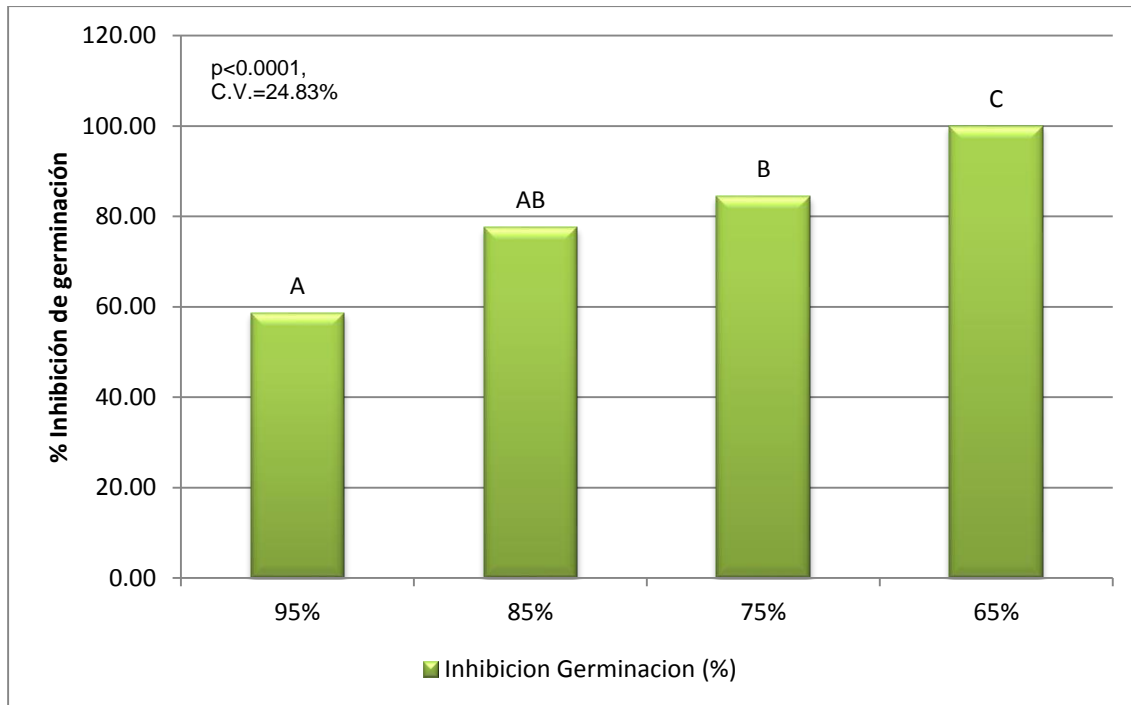
**Figura 13** Germinación inhibida de *Lepidium sativum* por efecto de los tratamientos

Al realizar el ANDEVA se determina la significancia lo poseen la interacción del sustrato y el porcentaje de mezcla, en la figura 16 se observa que en todos los experimentos se obtienen porcentajes de inhibición superiores al 20%, el rango de semillas germinadas fue de 5 a 3 semillas por experimento, es decir que de 100 semillas aproximadamente 25 semillas germinarían, esto se debe al porcentaje de toxicidad que poseen los lodos para hacer germinar la semilla en cualquier concentración, al realizar la prueba de medias de Tukey se observa que las colas-lodos 75% son el tratamiento menos tóxico para la germinación de las semillas.



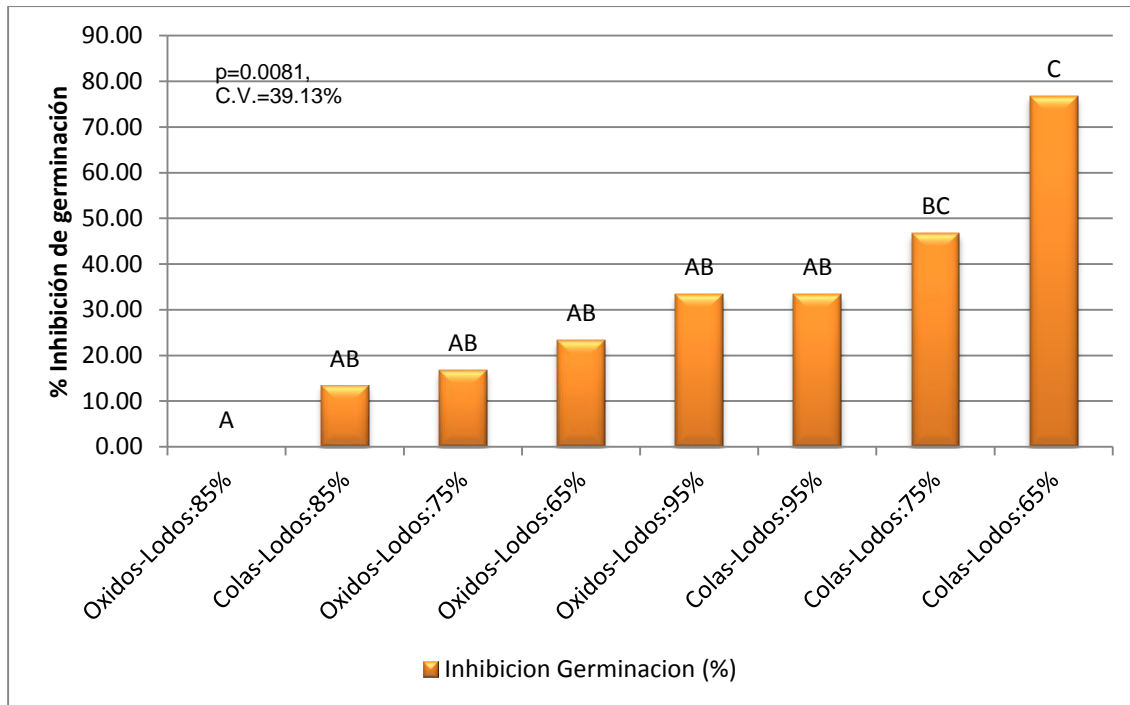
**Figura 14** Inhibición de germinación de *Sinapis alba* por tipo de sustrato mezclado con lodo

La inhibición de germinación de *Sinapis alba* resultó influenciada únicamente por el sustrato y el porcentaje de mezcla. En la figura 17 se observa que el sustrato con menor porcentaje de inhibición son los óxidos-lodos, sin importar la concentración, pero ambos son superiores al 70% de inhibición, es decir que son tóxicos ambos sustratos al mezclarlos con los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales aunque exista diferencia significativa entre ellos.



**Figura 15** Inhibición de germinación de *Sinapis alba* obtenida por cada concentración de lodos en la mezcla de sustrato.

En la figura 18 se muestran los porcentajes de inhibición según la mezcla que se realizó, la mezcla con el menor porcentaje de inhibición es 95%, todas las mezclas muestran porcentajes altos, por lo que no existen un mejor tratamiento, pero se observa que mientras se diluye el porcentaje de lodos de la planta se logra una mayor germinación de semillas, entonces partiendo de la fase 1 donde los lodos inhiben el 100% de la germinación, tiene sentido pensar que son el sustrato que no permite mayor germinación en las mezclas.

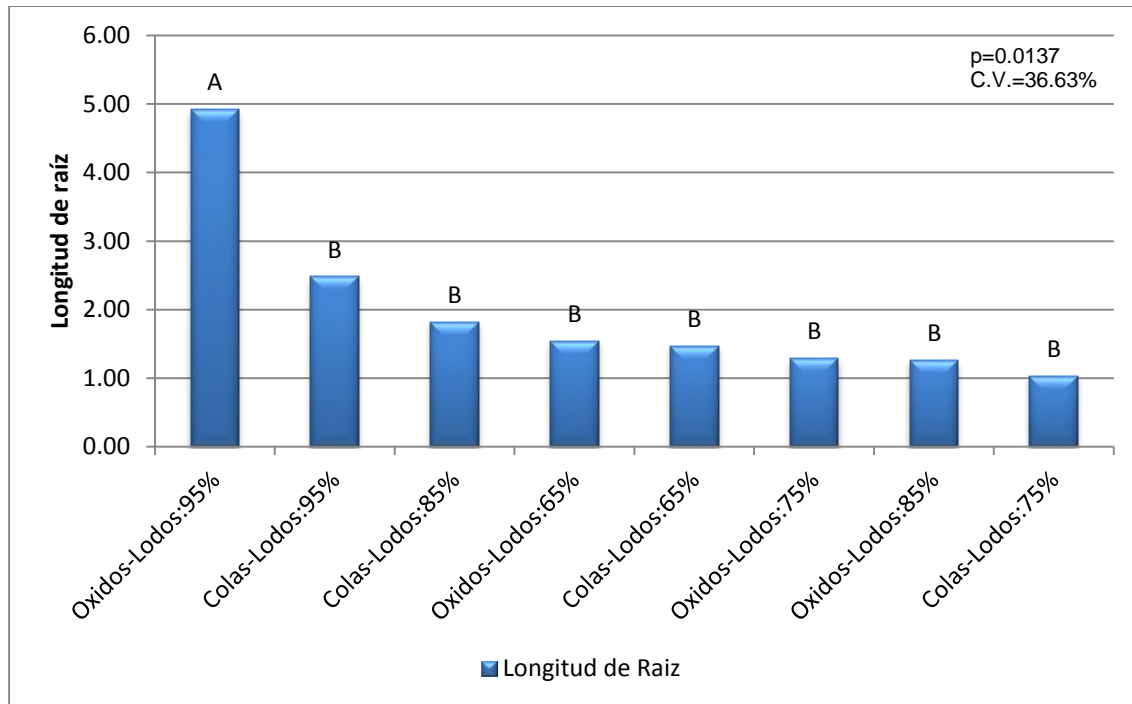


**Figura 16** Inhibición de germinación de *Sorghum saccharatum* por cada tratamiento.

En la figura 19 se muestra que el mejor tratamiento para germinación son los óxidos-lodos en un porcentaje de 85%, esta es la combinación con menor porcentaje de inhibición, la prueba de Tukey lo coloca en un grupo con un porcentaje del 0% de inhibición, es decir que germino la misma cantidad de semillas que el suelo control, este sería un porcentaje idóneo para mezclar en grandes proporciones y aprovechar de mejor manera los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales.

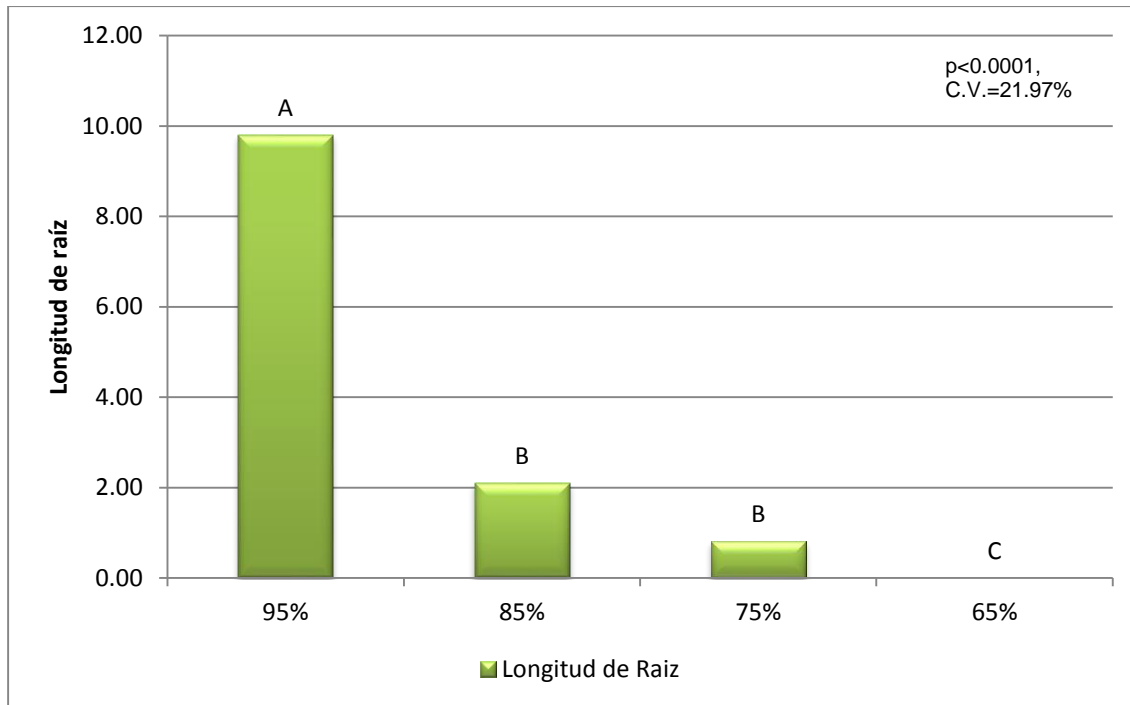


### 5.2.2. Desarrollo radicular



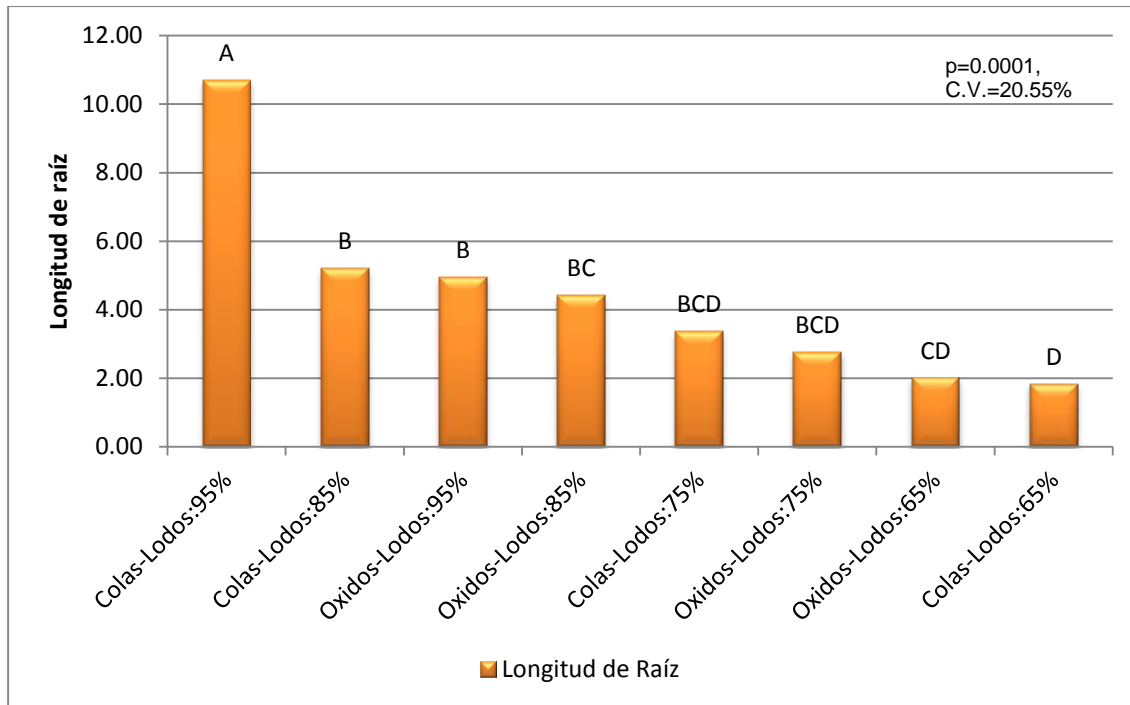
**Figura 17** Desarrollo radicular de *Lepidium sativum* por efecto de los tratamientos

En la figura 20 se observa que el mejor tratamiento para desarrollar la raíz fueron los óxidos-lodos en concentración de 95%, la prueba de medias de Tukey muestra a este tratamiento en un grupo y los demás los coloca en otro grupo, si nos vamos a un porcentaje de mezcla se observa que la mejor mezcla es el 95% para ambos sustratos ya que desarrollaron una raíz más larga que en los otros porcentajes del mismo sustrato, la mezcla con menos desarrollo es la de colas-lodos al 75%.



**Figura 18** Desarrollo radicular de *Sinapis alba* observado por cada concentración de lodos en la mezcla con sustratos

En el ANDEVA se determinó que para esta especie no existe interacción de factores, únicamente el porcentaje de mezcla presenta diferencias significativas y al realizar la prueba de Tukey se determinó que la mejor mezcla es lodos al 95%. En la figura 21 se puede observar las diferentes longitudes de raíz en los 4 porcentajes de mezcla de los experimentos, se observa que la mejor longitud la posee el 95% y mientras el porcentaje de mezcla va disminuyendo entonces la longitud es menor hasta llegar a una longitud nula en la mezcla del 65%.



**Figura 19** Desarrollo radicular de *Sorghum saccharatum* observado por cada tratamiento evaluado

De los tratamientos evaluados se determina que para *Sorghum saccharatum* el mejor tratamiento es la mezcla de colas-lodos al 95% de concentración el cual la prueba de Tukey la coloca individualmente en un grupo, se puede observar en la figura 22 que es el tratamiento que mejor longitud de raíz obtuvo, al observar los porcentajes de inhibición se determina que todos los tratamientos están por encima del 40% de inhibición en longitud de raíz, entonces a medida que colocamos menos lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales se logra una mayor longitud de raíz.

## VI. CONCLUSIONES

- La caracterización del agua de la planta de tratamiento de agua residual no cumple con los parámetros de coliformes fecales y DBO.
- En la germinación de las semillas de las plantas indicadoras el agua residual no tiene efectos significativos, sin embargo en la planta *Lepidium sativum* la combinación de óxidos con 85% de lodos inhibe mayormente la germinación al igual que la combinación de colas con lodos en *Sinapsis alba* y *Sorgum saccharatum*
- Los óxidos en combinación con aguas residuales son los que mayor desarrollo radicular presentaron en las plantas indicadoras. En la evaluación de los sustratos, predomina en todas las plantas indicadoras que los lodos al 95% son los que presentan mejor desarrollo radicular.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar los óxidos solos o en combinación con lodos a una concentración baja como sustrato para germinación de semillas de plantas. En el desarrollo de las mismas puede utilizarse aguas residuales como complemento para mejorar el desarrollo vegetativo.
- Se recomienda hacer un análisis de varias muestras de la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales para determinar caudales máximos, así como tendencia de los parámetros en ciertas horas del día.
- Se recomienda evaluar los lodos sobre plantas ya desarrolladas o germinadas para establecer inhibición en el desarrollo.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Barnola, P, Alarcón, P y Maza, M. (2013). Cultivo de Sorgo. España. Recuperado el 15 de junio de 2013. Disponible en: [http://www.botanical-online.com/sorgo\\_variedades.htm](http://www.botanical-online.com/sorgo_variedades.htm)
- Barrios, J. y Carrera, J. (2009). El Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada. Guatemala. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA). Universidad Rafael Landívar.
- Brantes, R. (2008). Análisis Comparativo de Normativas de Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales de /007/08. Chile. Recuperado el 17 de febrero de 2013. Disponible en: [http://www.cochilco.cl/productos/pdf/Analisis\\_comparativo\\_de\\_normativas\\_de\\_descarga\\_de\\_residuos.pdf](http://www.cochilco.cl/productos/pdf/Analisis_comparativo_de_normativas_de_descarga_de_residuos.pdf)
- Biohidrica. (2009). Phytotestkit protocol. Chile. Recuperado el 15 de junio de 2013. Disponible en: [http://www.biohidrica.cl/assay\\_phytotestkit.htm](http://www.biohidrica.cl/assay_phytotestkit.htm)
- Ecured. (2013). Mostaza Blanca. Cuba. Recuperado el 15 de junio de 2013. Disponible en: [http://www.ecured.cu/index.php/Mostaza\\_blanca](http://www.ecured.cu/index.php/Mostaza_blanca)
- Google Earth. (2013). Mina Marlin, San Marcos. Guatemala. Visualización de la Mina en Satélite. Recuperado el 17 de febrero de 2013.
- Hernández, F. (2009). Diagnóstico. Manejo Familiar y Escolar de Desechos Sólidos y Uso y Aprovechamiento del Agua, Bosque y Suelo. Fundación Sierra Madre. Guatemala. Recuperado el 15 de junio de 2013. Disponible en: [http://www.fundacionsierramadre.org/pdf/DIAGNOSTICOS\\_AGUA, BOSQUE, SUELO\\_Y\\_DESECHOS.pdf](http://www.fundacionsierramadre.org/pdf/DIAGNOSTICOS_AGUA, BOSQUE, SUELO_Y_DESECHOS.pdf)

Jiménez, A. (2008). Determinación de los Parámetros Físico-Químicos de Calidad de las Aguas. España. Universidad Carlos III. Recuperado el 23 de febrero de 2013. Disponible en: [www.ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/at\\_download/file](http://www.ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/at_download/file)

Lehmuskallio J. (2008). Berro de Jardín. Nature Gate. Finlandia. Recuperado el 15 de junio de 2013. Disponible en: <http://www.luontoportti.com/suomi/es/kukkakasvit/berro-de-jardin>

Medina, H. Hermitaño, S. Morán, E. (2008). Calidad del Agua. Perú. Recuperado el 24 de febrero de 2013. Disponible: <http://geco.mineroartesanal.com/tiki-index.php>

Mejía, J. Díaz, D. (2013). Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica por lodos activados en la mina Marlin, ubicada en el departamento de San Marcos. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS-.

MEM. Ministerio de Energía y Minas. (2004). Caracterización de la Minería en Guatemala. Guatemala. Primer Foro Nacional de la Minería en Guatemala. Recuperado el 10 de febrero. Disponible en: <http://www.cadep.ufm.edu.gt/naturalezahumana/Lecturas/JGC%20Caracterizacion%20de%20la%20Mineria%20en%20Guatemala.pdf>

MicroBioTest Inc. (2010). Phytotoxkit. Procedimiento Estándar de Operación. Bélgica. Documento disponible en el kit.

Morales, J. (2009). El Agua. Guatemala. Recuperado el 17 de febrero de 2013. Disponible en red en: <http://www.slideshare.net/josuemoralesorellana/importancia-del-agua-1504330>

Payeras, A. (2011). Parámetro de la Calidad de las Aguas. España. Recuperado el 24 de febrero de 2013. Disponible: <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>

Quezada, J. (2013). Departamento Ambiental. Guatemala. Entrevista a trabajador de la mina, encargado de área de calidad de agua. Recuperado el 13 de febrero.

Responsabilidad Integral. (2007). Toma de Muestras de Aguas Residuales. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Colombia. Grupo Laboratorios de Calidad Ambiental. Recuperado el 17 de febrero de 2013. Disponible en: [http://responsabilidadintegral.org/administracion/circulares/archivos/TI0187\\_Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf](http://responsabilidadintegral.org/administracion/circulares/archivos/TI0187_Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf)

URL, IARNA. (2009). Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: Las señales ambientales y críticas y su relación con el desarrollo. Guatemala. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA). Universidad Rafael Landívar.

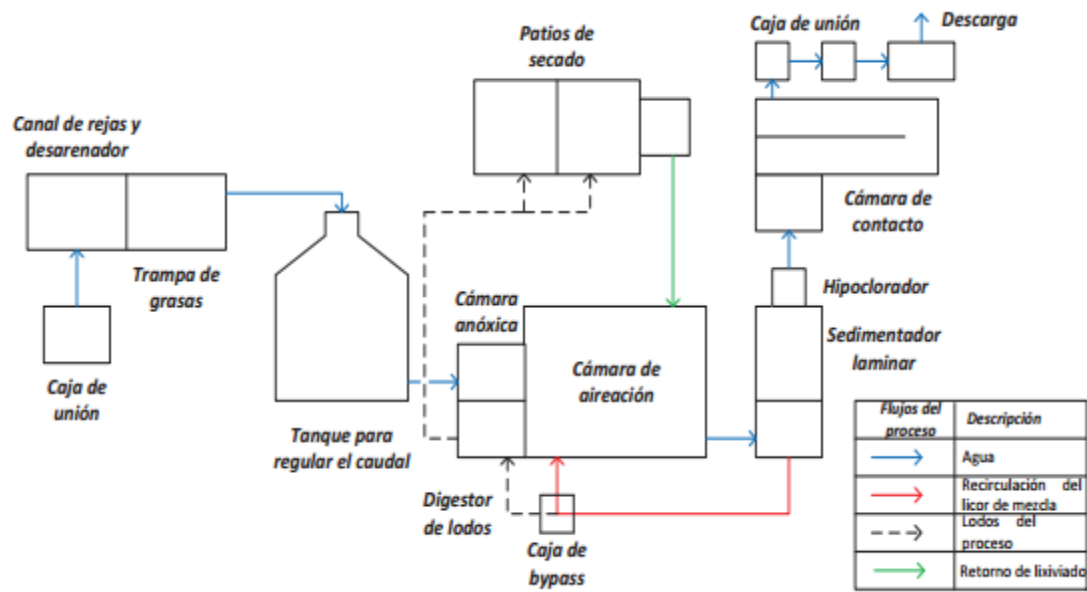


## IX. ANEXOS

### ANEXO 1 Parámetros físico-químicos en aguas y su técnica de evaluación.

Parámetro	Norma	Técnica
Aceites y grasa	UNE 77037:1983 UNE 77038:1983	Extracción Soxhlet Extracción embudo separación
Alcalinidad	UNE-EN ISO 9963-1:1996 UNE-EN ISO 9963-2:1996	Valoración
Aluminio (Al)	UNE 77059:1989	Espectrofotometría
Amonio (NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> )	UNE 77028:1983 UNE-EN 25663:1994	Destilación (método Kjeldahl)
Aniones	UNE-EN ISO 10304:1997 UNE-EN ISO 11969:1997	Cromatografía
Arsénico (As)	UNE-EN 26595:1994 UNE-EN ISO 11969:1997	Espectrofotometría Absorción atómica
Cadmio (Cd)	UNE-EN ISO 5961:1995	Absorción atómica
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	UNE-EN ISO 9963-1:1996 UNE-EN ISO 9963-2:1996	Valoración
Carbono orgánico total (COT)	ISO 8245:1987	Analizador
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	UNE 77029:1983	Espectrofotometría
Cloro libre y combinado	UNE 77064:1990	Espectrofotometría
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	UNE 77042:1983 UNE 77041:1983	Potenciometría
Color	UNE-EN ISO 7887:1995	Varias
Conductividad	UNE-EN 27888:1994	Electrometría
Cromo (Cr)	UNE-EN 1233:1997 UNE 77061:1989	Absorción atómica Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub>	UNE 77003:1989	Incubación
Detergentes	UNE EN 903:1994	Espectrofotometría
DQO	UNE 77004:1989	Reflujo y valoración
Dureza	UNE 77040:1983	Valoración
Fenoles	UNE 77053:1983	Espectrofotometría
Fluoruros (F <sup>-</sup> )	UNE 77044:1983	Espectrofotometría
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	UNE 77047:1983 UNE-EN 1189:1997	Espectrofotometría
Índice de permanganato	UNE-EN ISO 8467:1995	Valoración
Manganeso (Mn)	UNE 77060:1989	
Mercurio (Hg)	UNE 77057:1983	Vapor frío
Metales	UNE 77056:1983	Absorción atómica
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	UNE 77027:1982 UNE-EN ISO 13395:1997	Espectrofotometría
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	UNE-EN 26777:1994 UNE-EN ISO 13395:1997	Espectrofotometría
Oxígeno disuelto	UNE-EN 25813:1994 UNE-EN 25814:1994	Yodometría Electrometría
pH	UNE 77035:19883	Electrometría, indicadores
Sólidos disueltos	UNE 77031:1982	Filtración y desecación
Sólidos en suspensión	UNE-EN 872:1996	Filtro de fibra de vidrio
Sólidos en suspensión fijos y volátiles	UNE 77034:1983	Filtración y calcinación
Sólidos en suspensión sedimentables	UNE 77032:1982	Cono Imhoff
Sólidos totales	UNE 77030:1982	Gravimetría
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	UNE 77048:1983 UNE 77049:1983	Gravimetría Turvimetría
Sulfuro (S <sup>2-</sup> )	UNE 77043:1983	Espectrofotometría
Turbidez	UNE-EN 27027:1995	Varias

Anexo 2 Diagrama de “Durman” e imágenes de los tratamientos. (Mejía y Díaz, 2013).



(Tratamiento Primario y Tanque Regulador de Caudal)



(Sedimentador Laminar)

**ANEXO 3** Acuerdo Gubernativo Número 236-2006, el cual genera el Reglamento de la Descarga y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. (Extracto de artículos relevantes para este estudio).

**Artículo 2. APLICACIÓN.** El presente Reglamento debe aplicarse a:

- a) Los entes generadores de aguas residuales;
- c) Las personas que produzcan aguas residuales para reúso;
- d) Las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales; y
- e) Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

**Artículo 4. DEFINICIONES.** Para los efectos de la aplicación e interpretación de este Reglamento, se entenderá por:

**AFLUENTE:** el agua captada por un ente generador.

**AGUAS RESIDUALES:** las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

**AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL:** las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.

**AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO:** las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

**CARACTERIZACIÓN DE UNA MUESTRA:** la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.

**CARACTERIZACIÓN DE UN EFLUENTE O UN AFLUENTE:** la determinación de características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, de los parámetros requeridos en el presente Reglamento.

**CARGA:** el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día.

**CAUDAL:** el volumen de agua por unidad de tiempo.

**COLIFORMES FECALES:** el parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

**CUERPO RECEPTOR:** embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO:** la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO:** la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

**EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES:** las aguas residuales descargadas por un ente generador.

**ENTES GENERADORES:** la persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.

**ENTES GENERADORES EXISTENTES:** los entes generadores establecidos previo a la vigencia del presente Reglamento.

**INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL:** los documentos técnicos definidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Acuerdo Gubernativo No. 23-2003 y sus reformas, contenidos en los Acuerdos Gubernativos No. 424-2003 y 704-2003; los cuales permiten realizar una identificación y evaluación sistemática de los impactos ambientales de un proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad, desde la fase de construcción hasta la fase de abandono.

**LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE:** el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas

**META DE CUMPLIMIENTO:** la determinación numérica de los valores que deben alcanzarse en la descarga de aguas residuales al final de cada etapa de cumplimiento. En el caso de los entes generadores nuevos y de las personas nuevas que descargan al alcantarillado público, al iniciar operaciones.

**MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA:** el régimen de cumplimiento de valores de parámetros en cargas, con parámetro de calidad asociado, en distintas etapas.

**MONITOREO:** el proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reúso y lodos.

**MUESTRA:** la parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.

**PARÁMETRO:** la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.

**REUSO:** el aprovechamiento de un efluente, tratado o no.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:** cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

**Artículo 16. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES.** Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- a) Temperatura,
- b) Potencial de hidrógeno,
- c) Grasas y aceites,
- d) Materia flotante,
- e) Sólidos suspendidos totales,
- f) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- g) Demanda química de oxígeno,
- h) Nitrógeno total,
- i) Fósforo total,
- j) Arsénico,
- k) Cadmio,
- l) Cianuro total,
- m) Cobre,
- n) Cromo hexavalente,
- o) Mercurio,
- p) Níquel,
- q) Plomo,
- r) Zinc,
- s) Color y
- t) Coliformes fecales.

**Artículo 17. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.** Los entes generadores existentes deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales que descarguen a un cuerpo receptor, conforme a los valores y etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

<b>Etapa</b>	<b>Uno</b>				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil once				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
<b>Etapa</b>	<b>Dos</b>				
Duración, años	4				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil quince				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50
<b>Etapa</b>	<b>Tres</b>				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinte				
Duración, años	5				
Carga, kilogramos por día	3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
<b>Etapa</b>	<b>Cuatro</b>				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración, años	4				
Carga, kilogramos por día	3000<EG<4000			4000≤EG<7000	
Reducción porcentual	40			60	

EG = carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

Para efectos de la aplicación del presente modelo, el valor inicial de descarga estará determinado en el Estudio Técnico. Dicho valor inicial, se refiere a la carga expresada en kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Para los porcentajes de reducción de la etapa uno, se utilizará el valor inicial de descarga del Estudio Técnico y para cada una de las etapas siguientes, la carga inicial será el resultado obtenido de la reducción porcentual de la etapa anterior.

**Artículo 18. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.** Los entes generadores, en el Estudio Técnico, deberán incluir la determinación de la demanda química de oxígeno, a efecto de establecer su relación con la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la siguiente fórmula: demanda química de oxígeno dividido entre la demanda bioquímica de oxígeno.

**Artículo 20. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS DE AGUAS**

**RESIDUALES A CUERPOS RECEPTORES.** Los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de mil once	Dos de mayo de mil quince	Dos de mayo de mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.



**Artículo 23. DEDUCCIÓN ESPECIAL DE VALORES EN PARÁMETROS.** A los entes generadores de aguas residuales de tipo especial que registren en sus afluentes valores mayores a los límites máximos permisibles de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos, se aplicará el concepto de deducción especial. Dicha deducción especial consiste en restar el valor de cada parámetro del efluente del valor registrado en el afluente. El resultado que se obtenga se utilizará como base para establecer si el ente generador cumple con los límites máximos permisibles del presente Reglamento.

**Artículo 34. AUTORIZACIÓN DE REUSO.** El presente Reglamento autoriza los siguientes tipos de reúso de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan.

**TIPO I: REUSO PARA RIEGO AGRÍCOLA EN GENERAL:** uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Se exceptúa de este reúso los cultivos considerados en el tipo II.

**TIPO II: REUSO PARA CULTIVOS COMESTIBLES:** con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del artículo 35. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.

**TIPO III: REUSO PARA ACUACULTURA:** uso de un efluente para la piscicultura y camaricultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

**TIPO IV: REUSO PARA PASTOS Y OTROS CULTIVOS:** con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

**TIPO V: REUSO RECREATIVO:** con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

#### **Artículo 35. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA REUSO.**

El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente cuadro:

<b>Tipo de reuso</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro</b>	<b>Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros</b>
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
Tipo V	200	$< 1 \times 10^3$

**Artículo 36. METALES PESADOS Y CIANUROS.** Los límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros en las aguas para reuso son los presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento.

**Artículo 37. RECIRCULACIÓN INTERNA DE AGUA.** Todo ente generador podrá recircular las aguas residuales antes de que las mismas se viertan al cuerpo receptor.

Dicha recirculación no se considerará como reuso ni estará sujeta a las disposiciones del presente Reglamento.

**Artículo 39. APLICACIÓN.** Los lodos que se regulan en el presente Reglamento son aquéllos generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario o especial.

## **Artículo 42. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LODOS.**

Para poder efectuar la disposición final de lodos de acuerdo a las formas descritas en el artículo 41 del presente Reglamento, los valores de sus propiedades fisicoquímicas no deben exceder los límites máximos permisibles descritos en el siguiente cuadro:

<b>Disposición Final</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Aplicación al suelo</b>	<b>Disposición en rellenos sanitarios</b>	<b>Confinamiento o aislamiento</b>
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	> 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	> 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	> 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	> 1000

Los expresados en el cuadro anterior son los límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. En los suelos que posean potencial de hidrógeno mayor o igual que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.

**Artículo 52. CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS.** Los entes generadores deberán contar, en todos los puntos de descarga, con un dispositivo para facilitar la toma de muestras y la medición de caudales; dichos dispositivos deberán estar ubicados en lugares accesibles para la inspección. En el caso de los entes generadores a los cuales se aplique el artículo 22 y 23 contarán con el dispositivo para la toma de muestras del afluyente.

**ANEXO 4** Límites máximos permisibles para descarga de aguas residuales en normativa internacional (USA, Canadá, Banco Mundial). (Brantes, 2008).

Elemento (mg/l)	Estados Unidos <sup>1</sup>	Canadá (MMER) <sup>2</sup>	Banco Mundial <sup>3</sup>
Aluminio	1		
Amonio			
Arsénico	0,5	0,5	0,1
Bario			
Boro			
Cadmio	0,05		0,1
Cianuro Libre			0,1
Cianuro Total		1	1
Cobalto			
Cobre Total	0,15	0,3	0,5
Indice de Fenol			
Cromo Hexavalente			0,1
Cromo Total			
Demanda Química de Oxígeno	100-500		150
Estaño			
Fósforo			
Fosfatos			
Fluoruro			
Hidrocarburos Fijos			
Hidrocarburos Totales			
Hidrocarburos Volátiles			
Hierro	0,5-1		3,5
Litio			
Manganeso			
Mercurio	0,001		0,01
Molibdeno			
Níquel	0,1	0,5	0,5
Nitrógeno Total			
Pentaclorofenol			
PH	6,0-9,0	6,0-9,5	6,0-9,0
Plata			
Plomo	0,3	0,2	0,2
Poder Espumógeno			
Radio 226 (Bq/L)	0,37	0,37	
Radio 228 (Bq/L)			
Selenio			
Sólidos Sedimentables			
Sólidos Suspendidos Totales	20-30	15	50
Sulfatos			
Sulfuros			
Tetracloroetano			
Tolueno			
Triclorometano			
Vanadio			
Uranio	2		
Uranio 238 (Bq/L)			
Xileno			
Zinc	0,5-0,75	0,5	2

## Anexo 5 Análisis del agua residual de la Planta de Tratamiento Durman



Ref 538-14

Pág 1/2

### REG 016 Resultados de Análisis

Muestra: 1 muestra de agua

Análisis solicitado por: Montana Exploradora de Guatemala S. A.

Procedencia de la muestra: Mina Marlin San Miguel Ixtahuacán, San Marcos.

Dirección: 5a. Ave. 5-55 zona 14 Torre 1 Nivel 6 oficina 601 Europlaza

Fecha y hora de muestreo: 090314 17:00 horas

Fecha de ingreso de muestra: 100314

Fecha de análisis: 100314-190314

Fecha del informe: 190314

Identificación de la muestra: D-DURMAN

Correlativo Ecosistemas: 664

Acuerdo Gubernativo 236-2006

PARAMETRO	DIMENSIONAL	LIMITE DE DETECCION	RESULTADO	METODOLOGIA
* Potencial de Hidrogeno				
pH (Laboratorio)	unidades	1	7.64	SMWW 4500H-B
* Aceites y Grasas	mg/L	5	N.D.	EPA 1664
Materia Flotante	---	---	ausente	Visual
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	mg/L	10	58	Oxitop-Merck Análogo SMWW 5210D
* Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	25	154	Reflujo Cerrado, Merck, análogo SMWW 5220D
* Sólidos Suspendidos	mg/L	10	493	SMWW 2540D
* Sólidos Sedimentables	ml/L	0.1	10	SMWW 2540F
Nitrógeno Total	mg/L	1	64	Digestión alcalina persulfato colorimétrico HACH
Fósforo Total	mg/L	0.05	6.15	Spectroquant Merck Análogo EPA 365.2+3, SMWW 4500-P E, ISO 6978/1, DIN EN 1189 D11
* Arsénico As	mg/L	0.002	0.018	UNICAM AN40177_E10/03C
* Cadmio Cd	mg/L	0.02	N.D.	SMWW 3111B
Cianuros	mg/L	0.03	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo ISO 14403
* Cobre Cu	mg/L	0.03	N.D.	SMWW 3111B
Cromo Hexavalente Cr(VI)	mg/L	0.03	N.D.	Colorimétrico Merck, análogo SMWW 3500-Cr-D
* Mercurio Hg	mg/L	0.002	N.D.	UNICAM AN40181_E10/03C
* Niquel Ni	mg/L	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Plomo Pb	mg/L	0.05	N.D.	SMWW 3111B
* Zinc Zn	mg/L	0.01	0.28	SMWW 3111B
Color Aparente	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	3015	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
Color Real	UC HZ equiv. Unid. Pt-Co	1	61	Colorimétrico Merck, análogo APHA 2120B, DIN 53409
** Coliformes Fecales	NMP/100mL	2	5.4 x 10 <sup>6</sup>	NMP

## ANEXO 6 Resultados de experimento en sustratos al 100%

Germinación de semillas de fase no. 1

	Semillas Germinadas							
	Blanco	Blanco	Colas	Colas	Óxidos	Óxidos	Lodos	Lodos
	AD*	AR	AR	AD	AR	AD	AR	AD
<i>Sorghum saccharatum</i>	9.67	9.33	9.33	8.33	9.33	9.67	0.00	0.00
<i>Sinapis alba</i>	9.67	8.67	10.00	9.33	9.67	9.67	0.00	0.00
<i>Lepidium sativum</i>	8.00	8.67	10.00	9.33	9.00	9.33	0.00	0.00

\* Suelo Control

Porcentaje de Inhibición de fase no. 1 (Germinación).

	Porcentaje de Inhibición (Semillas Germinadas)						
	Blanco	Colas	Colas	Óxidos	Óxidos	Lodos	Lodos
	AR	AR	AD	AR	AD	AR	AD
<i>Sorghum saccharatum</i>	3.52	3.52	13.86	3.52	0.00	100.00	100.00
<i>Sinapis alba</i>	10.34	-3.41	3.52	0.00	0.00	100.00	100.00
<i>Lepidium sativum</i>	-8.38	-25.00	-16.63	-12.50	-16.63	100.00	100.00

Longitud de raíz de fase 1.

	Longitud de Raíz (mm)							
	Blanco	Blanco	Colas	Colas	Óxidos	Óxidos	Lodos	Lodos
	AD*	AR	AR	AD	AR	AD	AR	AD
<i>Sorghum saccharatum</i>	91.15	32.67	35.89	34.90	16.48	27.93	0.00	0.00
<i>Sinapis alba</i>	51.72	56.50	20.54	64.30	74.45	13.69	0.00	0.00
<i>Lepidium sativum</i>	40.03	56.15	33.60	32.64	67.27	34.56	0.00	0.00

\*Suelo control

Porcentaje de inhibición de fase 1 (Longitud de raíz).

	<b>Porcentaje de Inhibición (Longitud de Raíz)</b>						
	<b>Blanco AR</b>	<b>Colas AR</b>	<b>Colas AD</b>	<b>Óxidos AR</b>	<b>Óxidos AD</b>	<b>Lodos AR</b>	<b>Lodos AD</b>
<i>Sorghum saccharatum</i>	64.16	60.63	61.71	81.92	69.36	100.00	100.00
<i>Sinapis alba</i>	-9.24	60.29	-24.32	-43.95	73.53	100.00	100.00
<i>Lepidium sativum</i>	-40.27	16.06	18.46	-68.05	13.66	100.00	100.00

**ANEXO 7 ANDEVA y Tukey de Sustratos al 100%**

			<i>Sorghum saccharatum</i>	<i>Sinapis alba</i>	<i>Lepidium sativum</i>	<i>Sorghum saccharatum</i>	<i>Sinapis alba</i>	<i>Lepidium sativum</i>	<i>Sorghum saccharatum</i>	<i>Sinapis alba</i>	<i>Lepidium sativum</i>	<i>Sorghum saccharatum</i>	<i>Sinapis alba</i>	<i>Lepidium sativum</i>
			Germinación			Inhibición de Germinación			Longitud Raíz			Inhibición de Longitud Raíz		
Sustrato	Tipo de Agua	Rep	Y1	Y2	Y3	IG1	IG2	IG3	L1	L2	L3	IL1	IL2	IL3
Óxidos	AD	1	10	9	10	-3.41	6.93	-25.00	29.95	12.85	35.74	1.42	75.15	10.72
Óxidos	AD	2	9	10	9	6.93	-3.41	-12.50	27.65	14.89	32.2	8.99	71.21	19.56
Óxidos	AD	3	10	10	9	-3.41	-3.41	-12.50	26.19	13.34	35.77	13.79	74.21	10.64
Óxidos	AR	1	8	9	8	17.27	6.93	0.00	21.69	69.67	67.44	28.60	-34.71	-68.47
Óxidos	AR	2	10	10	9	-3.41	-3.41	-12.50	12.78	74.08	65.63	57.93	-43.23	-63.95
Óxidos	AR	3	10	10	10	-3.41	-3.41	-25.00	14.97	79.59	68.73	50.72	-53.89	-71.70
Colas	AD	1	8	10	10	17.27	-3.41	-25.00	35.17	20.01	36.15	-15.77	61.31	9.69
Colas	AD	2	9	9	10	6.93	6.93	-25.00	47.65	20.22	37.8	-56.85	60.90	5.57
Colas	AD	3	8	9	8	17.27	6.93	0.00	21.89	24.07	23.97	27.95	53.46	40.12
Colas	AR	1	9	10	10	6.93	-3.41	-25.00	39.6	20.06	35.57	-30.35	61.21	11.14
Colas	AR	2	10	10	10	-3.41	-3.41	-25.00	35.53	18.45	36.92	-16.95	64.33	7.77
Colas	AR	3	9	10	10	6.93	-3.41	-25.00	32.55	23.12	28.25	-7.14	55.30	29.43
Lodos	AD	1	0	0	0	100.00	100.00	100.00	0	0	0	100.00	100.00	100.00
Lodos	AD	2	0	0	0	100.00	100.00	100.00	0	0	0	100.00	100.00	100.00
Lodos	AD	3	0	0	0	100.00	100.00	100.00	0	0	0	100.00	100.00	100.00
Lodos	AR	1	0	0	0	100.00	100.00	100.00	0	0	0	100.00	100.00	100.00
Lodos	AR	2	0	0	0	100.00	100.00	100.00	0	0	0	100.00	100.00	100.00
Lodos	AR	3	0	0	0	100.00	100.00	100.00	0	0	0	100.00	100.00	100.00
Blanco	AD	1	10	10	8				42.36	51.36	30.75			
Blanco	AD	2	10	10	10				18.32	51.47	44.42			
Blanco	AD	3	9	9	6				30.47	52.33	44.93			
Blanco	AR	1	9	8	10	6.93	17.27	-25.00	25.11	58.9	58.51	17.35	-13.88	-46.17
Blanco	AR	2	9	10	8	6.93	-3.41	0.00	34.67	47.08	61.78	-14.12	8.97	-54.33
Blanco	AR	3	10	8	8	-3.41	17.27	0.00	38.24	63.51	48.16	-25.87	-22.80	-20.31
Blanco	AD	Prom	9.67	9.67	8				30.38	51.72	40.03			



## Análisis de la varianza

### Inh\_Ger (%) **Lepidium**

Planta	Ind	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Lepidium	Inh Ger (%)		21	0.98	0.97	54.74

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	57961.31	6	9660.22	108.19	<0.0001
Sustrato	57831.10	3	19277.03	215.90	<0.0001
Tipo de Agua	8.68	1	8.68	0.10	0.7598
Sustrato*Tipo de Agua	121.53	2	60.76	0.68	0.5223
Error	1250.00	14	89.29		
Total	59211.31	20			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=17.72824

Error: 89.2857 gl: 14

Sustrato Medias n E.E.

Lodos	100.00	6	3.86	A
Blanco	-10.42	3	13.91	B
Oxidos	-14.58	6	3.86	B
Colas	-20.83	6	3.86	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Long\_Raiz **Lepidium**

Planta	Ind	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Lepidium	RANG Long Raiz		24	0.89	0.84	22.51

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1005.83	7	143.69	18.15	<0.0001
Sustrato	769.00	3	256.33	32.38	<0.0001
Tipo de Agua	92.04	1	92.04	11.63	0.0036
Sustrato*Tipo de Agua	144.79	3	48.26	6.10	0.0057
Error	126.67	16	7.92		
Total	1132.50	23			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=7.95374

Error: 7.9167 gl: 16

Sustrato Tipo de Agua Medias n E.E.

Oxidos	AR	23.00	3	1.62	A
Blanco	AR	20.00	3	1.62	A B
Blanco	AD	14.67	3	1.62	B C
Colas	AD	12.33	3	1.62	B C
Oxidos	AD	11.67	3	1.62	C
Colas	AR	11.33	3	1.62	C D
Lodos	AD	3.50	3	1.62	D
Lodos	AR	3.50	3	1.62	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Inh\_Ger (%) **Sinapis**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RANG Inh Ger (%)	21	0.79	0.70	29.22

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	542.33	6	90.39	8.75	0.0004
Sustrato	514.17	3	171.39	16.59	0.0001
Tipo de Agua	9.39	1	9.39	0.91	0.3567
Sustrato*Tipo de Agua	18.78	2	9.39	0.91	0.4256
Error	144.67	14	10.33		
Total	687.00	20			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.03108**

Error: 10.3333 gl: 14

Sustrato Medias n E.E.

Lodos	18.50	6	1.31	A
Blanco	9.17	3	4.73	B
Oxidos	7.17	6	1.31	B
Colas	7.17	6	1.31	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### Long\_Raiz Sinapis

Planta Ind Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sinapis Long Raiz	24	0.99	0.98	12.38

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16133.14	7	2304.73	169.48	<0.0001
Sustrato	10561.28	3	3520.43	258.88	<0.0001
Tipo de Agua	1566.87	1	1566.87	115.22	<0.0001
Sustrato*Tipo de Agua	4004.99	3	1335.00	98.17	<0.0001
Error	217.58	16	13.60		
Total	16350.72	23			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.42434**

Error: 13.5987 gl: 16

Sustrato Tipo de Agua Medias n E.E.

Oxidos	AR	74.45	3	2.13	A
Blanco	AR	56.50	3	2.13	B
Blanco	AD	51.72	3	2.13	B
Colas	AD	21.43	3	2.13	C
Colas	AR	20.54	3	2.13	C
Oxidos	AD	13.69	3	2.13	C
Lodos	AR	0.00	3	2.13	D
Lodos	AD	0.00	3	2.13	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Inh\_Ger (%) **Sorghum**

Planta Ind	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sorghum	Inh Ger (%)	21	0.99	0.98	19.92

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	39118.90	6	6519.82	160.08	<0.0001
Sustrato	38940.71	3	12980.24	318.69	<0.0001
Tipo de Agua	23.76	1	23.76	0.58	0.4577
Sustrato*Tipo de Agua	154.43	2	77.22	1.90	0.1868
Error	570.22	14	40.73		
Total	39689.12	20			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=11.97376

Error: 40.7298 gl: 14

Sustrato Medias n E.E.

Lodos	100.00	6	2.61	A
Colas	8.65	6	2.61	B
Oxidos	1.76	6	2.61	B
Blanco	0.04	3	9.39	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Long\_Raiz **Sorghum**

Planta Ind	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sorghum	Long Raiz	24	0.86	0.79	31.50

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4730.15	7	675.74	13.71	<0.0001
Sustrato	4524.16	3	1508.05	30.60	<0.0001
Tipo de Agua	25.03	1	25.03	0.51	0.4863
Sustrato*Tipo de Agua	180.96	3	60.32	1.22	0.3333
Error	788.40	16	49.27		
Total	5518.54	23			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=11.59504

Error: 49.2747 gl: 16

Sustrato Medias n E.E.

Colas	35.40	6	2.87	A
Blanco	31.53	6	2.87	A B
Oxidos	22.21	6	2.87	B
Lodos	0.00	6	2.87	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## ANEXO 8 Resultados de la Fase de Mezclas

Germinación de semillas en las mezclas de fase no. 2

	Germinación								
	Blanco	65%		75%		85%		95%	
		Colas	Óxidos	Colas	Óxidos	Colas	Óxidos	Colas	Óxidos
<i>Sorghum saccharatum</i>	10	2.33	7.67	5.33	8.33	8.67	9.67	6.67	6.67
<i>Sinapis alba</i>	9.67	0	0	1	2	1.33	3	2.33	5.67
<i>Lepidium sativum</i>	7.67	4.33	3.67	5.67	3.33	5	3	3.33	4.67

Porcentaje de inhibición en la germinación de semillas de fase no. 2

	Porcentaje de Inhibición (Germinación)							
	Colas				Óxidos			
	65%	75%	85%	95%	65%	75%	85%	95%
<i>Sorghum saccharatum</i>	76.70	46.70	13.30	33.30	23.30	16.70	3.30	33.30
<i>Sinapis alba</i>	100.00	89.66	86.25	75.90	100.00	79.32	68.98	41.37
<i>Lepidium sativum</i>	43.55	26.08	34.81	56.58	52.15	56.58	60.89	39.11

Longitud de raíz de las mezclas de fase 2.

	Longitud de raíz									
	Blanco	65%		75%		85%		95%		
		Colas	Óxidos	Colas	Óxidos	Colas	Óxidos	Colas	Óxidos	
<i>Sorghum saccharatum</i>	19.58	1.89	2.07	3.41	2.8	5.24	4.39	10.73	5.09	
<i>Sinapis alba</i>	34.41	0	0	1.09	0.92	1.16	2.9	5.42	13.52	
<i>Lepidium sativum</i>	30.47	1.48	1.67	1.03	1.37	1.8	1.26	2.4	4.74	

Porcentaje de inhibición de las mezclas en la longitud de raíz.

	Porcentaje de Inhibición (Longitud de raíz)							
	Colas				Óxidos			
	65%	75%	85%	95%	65%	75%	85%	95%
<i>Sorghum saccharatum</i>	90.35	82.18	73.24	45.20	89.43	85.70	77.58	74.00
<i>Sinapis alba</i>	100.00	96.83	96.63	84.25	100.00	97.33	91.57	60.71
<i>Lepidium sativum</i>	95.14	96.62	94.09	92.12	94.52	95.50	95.86	84.44

**ANEXO 9 ANDEVA y Tukey de mezclas**

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Repetición	Sorghum S	Sinapis A	Lepidium S	Sorghum S	Sinapis A	Lepidium S	Sorghum S	Sinapis A	Lepidium S	Sorghum S	Sinapis A	Lepidium S
			Germinación			Inhibición de Germinación			Longitud Raíz			Inhibición de Longitud Raíz		
			Y1	Y2	Y3	IG1	IG2	IG3	L1	L2	L3	IL1	IL2	IL3
Colas-Lodos	65.00%	1	3	0	4	70.00	100.00	47.85	2.25	0	1.75	88.51	100.00	94.26
Colas-Lodos	65.00%	2	2	0	5	80.00	100.00	34.81	2.04	0	1.58	89.58	100.00	94.81
Colas-Lodos	65.00%	3	2	0	4	80.00	100.00	47.85	1.19	0	1.09	93.92	100.00	96.42
Colas-Lodos	75.00%	1	5	1	5	50.00	89.66	34.81	3.08	1.15	1.18	84.27	96.66	96.13
Colas-Lodos	75.00%	2	4	0	5	60.00	100.00	34.81	3.38	0	0.95	82.74	100.00	96.88
Colas-Lodos	75.00%	3	7	2	7	30.00	79.32	8.74	3.66	1.06	0.97	81.31	96.92	96.82
Colas-Lodos	85.00%	1	8	1	6	20.00	89.66	21.77	4.59	1.97	1.66	76.56	94.27	94.55
Colas-Lodos	85.00%	2	9	1	4	10.00	89.66	47.85	5.04	0.92	1.91	74.26	97.33	93.73
Colas-Lodos	85.00%	3	9	2	5	10.00	79.32	34.81	6.00	0.88	1.88	69.36	97.44	93.83
Colas-Lodos	95.00%	1	6	2	3	40.00	79.32	60.89	9.73	10.04	3.86	50.31	70.82	87.33
Colas-Lodos	95.00%	2	5	3	3	50.00	68.98	60.89	11.37	2.95	1.92	41.93	91.43	93.70
Colas-Lodos	95.00%	3	9	2	4	10.00	79.32	47.85	11.04	4.52	1.66	43.62	86.86	94.55
Oxidos-Lodos	65.00%	1	7	0	3	30.00	100.00	60.89	0.82	0	1.36	95.81	100.00	95.54
Oxidos-Lodos	65.00%	2	8	0	3	20.00	100.00	60.89	2.80	0	0.99	85.70	100.00	96.75
Oxidos-Lodos	65.00%	3	8	0	5	20.00	100.00	34.81	2.42	0	2.26	87.64	100.00	92.58

Oxidos-Lodos	75.00%	1	8	1	3	20.00	89.66	60.89	2.01	0.73	0.67	89.73	97.88	97.80
Oxidos-Lodos	75.00%	2	10	3	3	0.00	68.98	60.89	3.26	1.01	1.16	83.35	97.06	96.19
Oxidos-Lodos	75.00%	3	7	2	4	30.00	79.32	47.85	3.03	0.89	2.05	84.53	97.41	93.27
Oxidos-Lodos	85.00%	1	10	2	3	0.00	79.32	60.89	4.19	3.73	0.89	78.60	89.16	97.08
Oxidos-Lodos	85.00%	2	10	4	3	0.00	58.63	60.89	3.94	3.51	0.50	79.88	89.80	98.36
Oxidos-Lodos	85.00%	3	10	3	3	0.00	68.98	60.89	5.13	1.54	2.40	73.80	95.52	92.12
Oxidos-Lodos	95.00%	1	6	6	4	40.00	37.95	47.85	3.00	13.54	5.37	84.68	60.65	82.38
Oxidos-Lodos	95.00%	2	6	5	5	40.00	48.29	34.81	5.64	18.06	3.97	71.20	47.52	86.97
Oxidos-Lodos	95.00%	3	8	6	5	20.00	37.95	34.81	6.23	9.71	5.41	68.18	71.78	82.24
Blanco	100.00%	1	10	9	7				15.62	36.39	29.65			
Blanco	100.00%	2	10	10	8				26.34	30.53	25.46			
Blanco	100.00%	3	10	10	8				16.77	36.31	36.3			
Blanco	100%	(1+2+3)/3	10	9.67	7.67				19.58	34.41	30.47			

## Análisis de la varianza

### LN\_Germinación (%) **Lepidium**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LN Germinación (%)	24	0.68	0.53	12.89

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.06	7	0.15	4.77	0.0046
Sustrato	0.29	1	0.29	9.04	0.0084
Porcentaje Mezcla	0.05	3	0.02	0.48	0.7030
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	0.73	3	0.24	7.65	0.0022
Error	0.51	16	0.03		
Total	1.57	23			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.50402

Error: 0.0318 gl: 16

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.
Colas-Lodos	75.00%	1.72	3	0.10 A
Colas-Lodos	85.00%	1.60	3	0.10 A B
Oxidos-Lodos	95.00%	1.54	3	0.10 A B
Colas-Lodos	65.00%	1.46	3	0.10 A B
Oxidos-Lodos	65.00%	1.27	3	0.10 A B
Oxidos-Lodos	75.00%	1.19	3	0.10 B
Colas-Lodos	95.00%	1.19	3	0.10 B
Oxidos-Lodos	85.00%	1.10	3	0.10 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### LN\_Inh\_Ger (%) **Lepidium**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LN Inh Ger (%)	24	0.55	0.35	9.42

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.46	7	0.35	2.80	0.0415
Sustrato	0.67	1	0.67	5.34	0.0345
Porcentaje Mezcla	0.34	3	0.11	0.89	0.4669
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	1.46	3	0.49	3.87	0.0295
Error	2.01	16	0.13		
Total	4.47	23			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.00164

Error: 0.1256 gl: 16

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.
Oxidos-Lodos	85.00%	4.11	3	0.20 A
Colas-Lodos	95.00%	4.03	3	0.20 A B
Oxidos-Lodos	75.00%	4.03	3	0.20 A B
Oxidos-Lodos	65.00%	3.92	3	0.20 A B
Colas-Lodos	65.00%	3.76	3	0.20 A B
Oxidos-Lodos	95.00%	3.66	3	0.20 A B
Colas-Lodos	85.00%	3.50	3	0.20 A B
Colas-Lodos	75.00%	3.09	3	0.20 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



**Long\_Raiz *Lepidium***

Planta Ind.	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Lepidium	Long Raiz	24	0.80	0.71	36.63

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	33.71	7	4.82	9.19	0.0001
Sustrato	1.83	1	1.83	3.48	0.0804
Porcentaje Mezcla	24.23	3	8.08	15.41	0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	7.65	3	2.55	4.86	0.0137
Error	8.39	16	0.52		
Total	42.09	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.04656**

Error: 0.5241 gl: 16

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.	
Oxidos-Lodos	95.00%	4.92	3	0.42	A
Colas-Lodos	95.00%	2.48	3	0.42	B
Colas-Lodos	85.00%	1.82	3	0.42	B
Oxidos-Lodos	65.00%	1.54	3	0.42	B
Colas-Lodos	65.00%	1.47	3	0.42	B
Oxidos-Lodos	75.00%	1.29	3	0.42	B
Oxidos-Lodos	85.00%	1.26	3	0.42	B
Colas-Lodos	75.00%	1.03	3	0.42	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Inh\_Long *Lepidium***

Planta Ind.	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Lepidium	Inh Long	24	0.80	0.71	2.54

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	363.04	7	51.86	9.19	0.0001
Sustrato	19.67	1	19.67	3.48	0.0804
Porcentaje Mezcla	261.01	3	87.00	15.41	0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	82.36	3	27.45	4.86	0.0137
Error	90.33	16	5.65		
Total	453.37	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.71664**

Error: 5.6455 gl: 16

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.	
Colas-Lodos	75.00%	96.61	3	1.37	A
Oxidos-Lodos	85.00%	95.85	3	1.37	A
Oxidos-Lodos	75.00%	95.76	3	1.37	A
Colas-Lodos	65.00%	95.16	3	1.37	A
Oxidos-Lodos	65.00%	94.96	3	1.37	A
Colas-Lodos	85.00%	94.04	3	1.37	A
Colas-Lodos	95.00%	91.86	3	1.37	A
Oxidos-Lodos	95.00%	83.86	3	1.37	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**RANG\_Germinación (%) Sinapis**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RANG Germinación (%)	24	0.86	0.80	24.83

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	942.83	7	134.69	13.98	<0.0001
Sustrato	135.38	1	135.38	14.05	0.0018
Porcentaje Mezcla	758.33	3	252.78	26.23	<0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	49.12	3	16.38	1.70	0.2072
Error	154.17	16	9.64		
Total	1097.00	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.68643***Error: 9.6354 gl: 16*

Sustrato	Medias	n	E.E.	
Oxidos-Lodos	14.88	12	0.90	A
Colas-Lodos	10.13	12	0.90	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.12738***Error: 9.6354 gl: 16*

Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.	
95.00%	19.50	6	1.27	A
85.00%	14.67	6	1.27	A B
75.00%	11.83	6	1.27	B
65.00%	4.00	6	1.27	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***RANG\_Inh\_Ger (%) Sinapis**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RANG Inh Ger (%)	24	0.86	0.80	24.83

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	942.83	7	134.69	13.98	<0.0001
Sustrato	135.38	1	135.38	14.05	0.0018
Porcentaje Mezcla	758.33	3	252.78	26.23	<0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	49.12	3	16.38	1.70	0.2072
Error	154.17	16	9.64		
Total	1097.00	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.68643***Error: 9.6354 gl: 16*

Sustrato	Medias	n	E.E.	
Colas-Lodos	14.88	12	0.90	A
Oxidos-Lodos	10.13	12	0.90	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.12738**

Error: 9.6354 gl: 16

Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.	
65.00%	21.00	6	1.27	A
75.00%	13.17	6	1.27	B
85.00%	10.33	6	1.27	B C
95.00%	5.50	6	1.27	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**RANG\_Long\_Raiz Sinapis**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RANG Long Raiz	24	0.89	0.85	21.97

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1001.33	7	143.05	18.97	<0.0001
Sustrato	24.00	1	24.00	3.18	0.0934
Porcentaje Mezcla	945.00	3	315.00	41.77	<0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	32.33	3	10.78	1.43	0.2711
Error	120.67	16	7.54		
Total	1122.00	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.53622**

Error: 7.5417 gl: 16

Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.	
95.00%	21.17	6	1.12	A
85.00%	14.67	6	1.12	B
75.00%	10.17	6	1.12	B
65.00%	4.00	6	1.12	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**RANG\_Inh\_Long Sinapis**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RANG Inh Long	24	0.89	0.85	21.97

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1001.33	7	143.05	18.97	<0.0001
Sustrato	24.00	1	24.00	3.18	0.0934
Porcentaje Mezcla	945.00	3	315.00	41.77	<0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	32.33	3	10.78	1.43	0.2711
Error	120.67	16	7.54		
Total	1122.00	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.53622**

Error: 7.5417 gl: 16

Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.	
65.00%	21.00	6	1.12	A
75.00%	14.83	6	1.12	B
85.00%	10.33	6	1.12	B
95.00%	3.83	6	1.12	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Germinación (%) Sorghum**

Planta Ind.	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sorghum	Germinación (%)	24	0.84	0.77	17.11

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	116.29	7	16.61	11.73	<0.0001
Sustrato	35.04	1	35.04	24.74	0.0001
Porcentaje Mezcla	57.46	3	19.15	13.52	0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	23.79	3	7.93	5.60	0.0081
Error	22.67	16	1.42		
Total	138.96	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.36461**

Error: 1.4167 gl: 16

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.
Oxidos-Lodos	85.00%	10.00	3	0.69 A
Colas-Lodos	85.00%	8.67	3	0.69 A B
Oxidos-Lodos	75.00%	8.33	3	0.69 A B
Oxidos-Lodos	65.00%	7.67	3	0.69 A B
Oxidos-Lodos	95.00%	6.67	3	0.69 A B
Colas-Lodos	95.00%	6.67	3	0.69 A B
Colas-Lodos	75.00%	5.33	3	0.69 B C
Colas-Lodos	65.00%	2.33	3	0.69 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Inh\_Ger (%) Sorghum**

Planta Ind.	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sorghum	Inh Ger (%)	24	0.84	0.77	39.13

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11629.17	7	1661.31	11.73	<0.0001
Sustrato	3504.17	1	3504.17	24.74	0.0001
Porcentaje Mezcla	5745.83	3	1915.28	13.52	0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	2379.17	3	793.06	5.60	0.0081
Error	2266.67	16	141.67		
Total	13895.83	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=33.64606**

Error: 141.6667 gl: 16

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.
Colas-Lodos	65.00%	76.67	3	6.87 A
Colas-Lodos	75.00%	46.67	3	6.87 A B
Colas-Lodos	95.00%	33.33	3	6.87 B C
Oxidos-Lodos	95.00%	33.33	3	6.87 B C
Oxidos-Lodos	65.00%	23.33	3	6.87 B C
Oxidos-Lodos	75.00%	16.67	3	6.87 B C
Colas-Lodos	85.00%	13.33	3	6.87 B C
Oxidos-Lodos	85.00%	0.00	3	6.87 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Long\_Raiz Sorghum**

Planta Ind.	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sorghum	Long Raiz	24	0.93	0.90	20.55

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	170.59	7	24.37	29.68	<0.0001
Sustrato	18.20	1	18.20	22.16	0.0002
Porcentaje Mezcla	119.34	3	39.78	48.45	<0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	33.05	3	11.02	13.42	0.0001
Error	13.14	16	0.82		
Total	183.73	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.56160**

Error: 0.8212 gl: 16

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.	
Colas-Lodos	95.00%	10.71	3	0.52	A
Colas-Lodos	85.00%	5.21	3	0.52	B
Oxidos-Lodos	95.00%	4.96	3	0.52	B
Oxidos-Lodos	85.00%	4.42	3	0.52	B C
Colas-Lodos	75.00%	3.37	3	0.52	B C D
Oxidos-Lodos	75.00%	2.77	3	0.52	B C D
Oxidos-Lodos	65.00%	2.01	3	0.52	C D
Colas-Lodos	65.00%	1.83	3	0.52	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Inh\_Long Sorghum**

Planta Ind.	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Sorghum	Inh Long	24	0.93	0.90	5.97

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4449.12	7	635.59	29.68	<0.0001
Sustrato	474.64	1	474.64	22.16	0.0002
Porcentaje Mezcla	3112.43	3	1037.48	48.44	<0.0001
Sustrato*Porcentaje Mezcla..	862.05	3	287.35	13.42	0.0001
Error	342.65	16	21.42		
Total	4791.78	23			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=13.08181**

Error: 21.4158 gl: 16

Sustrato	Porcentaje Mezcla	Medias	n	E.E.	
Colas-Lodos	65.00%	90.67	3	2.67	A
Oxidos-Lodos	65.00%	89.72	3	2.67	A B
Oxidos-Lodos	75.00%	85.87	3	2.67	A B C
Colas-Lodos	75.00%	82.77	3	2.67	A B C
Oxidos-Lodos	85.00%	77.43	3	2.67	B C
Oxidos-Lodos	95.00%	74.69	3	2.67	C
Colas-Lodos	85.00%	73.39	3	2.67	C
Colas-Lodos	95.00%	45.29	3	2.67	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**ANEXO 10 MEMORIA FOTOGRÁFICA DEL EXPERIMENTO**



