

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



“EVALUACION DEL POTENCIAL DE VETIVER *Vetiveria
zizanioides (L.) Nash.* PARA ESTABLECERSE
EN SUELOS DE ZONAS MINERAS EN
MADRE DE DIOS”

Tesis presentada por:

Bachiller PONCE DE LEON PEREZ

ALBELA, Rosa Andrea

Para optar al Título Profesional de
Ingeniera Forestal y Medio Ambiente

Asesor: Dr. NIETO RAMOS Carlos

PUERTO MALDONADO, 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE
DIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



“EVALUACION DEL POTENCIAL DE VETIVER *Vetiveria
zizanioides (L.) Nash.* PARA ESTABLECERSE
EN SUELOS DE ZONAS MINERAS EN
MADRE DE DIOS”

Tesis presentada por:

Bachiller PONCE DE LEON PEREZ

ALBELA, Rosa Andrea

Para optar al Título Profesional de
Ingeniera Forestal y Medio Ambiente

Asesor: Dr. NIETO RAMOS Carlos

PUERTO MALDONADO, 2020

DEDICATORIA

A mis padres, Manuel y Hortensia, quienes han sido mi apoyo incondicional y mi motivación más grande. A ellos quienes me apoyaron en todo momento y sin dudar en cada decisión que tomé en la vida, incluyendo la de seguir mis sueños de luchar por la Amazonía aun cuando esto significó alejarme de ellos. Gracias a ellos por haberme dado la dicha de vivir en este pequeño paraíso, donde aprendí a amar la naturaleza sintiéndome parte de ella, donde pude aprender que las cosas que realmente importan están dentro de uno mismo y se pueden sentir en el corazón.

A mi esposo Alfredo y mis hijos Nicolás, Catarina y Santiago, quienes agregaron un propósito a mi vida, por quienes vivo, me esfuerzo por ser mejor y con quienes seguiré mis sueños siempre.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD, por haber sido el alma máter que me brindó durante cinco años, las herramientas, conocimientos y experiencias que hoy me conducen a cumplir una de mis más grandes metas.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana – IIAP, por abrirme las puertas de su institución y permitirme hacer uso de sus viveros, laboratorios y material vegetal con el fin de realizar la presente tesis.

A mi asesor Dr. Carlos Nieto Ramos, al Ing. Mishari García y PhD. Francisco Román, por su invaluable apoyo, sus acertadas observaciones y recomendaciones para lograr esta tesis.

Al Ing. Ronald Corvera, por su gran apoyo y orientación técnica en la planificación y realización del trabajo de campo de la presente tesis.

A mis docentes, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias regidos por la gran vocación de formar profesionales competentes, además por brindarme su amistad y confianza.

A mis compañeros de aula, por compartir juntos una nueva experiencia de compañerismo y colaboración, tanto en las aulas como en el campo.

PRESENTACIÓN

La presente tesis tiene como objetivo evaluar el potencial de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash para establecerse en suelos de zonas mineras del departamento de Madre de Dios, comparando la sobrevivencia y el desarrollo de brotes y macollos de la especie en 4 sustratos diferentes, siendo dos de ellos suelo resultante de la minería aurífera de la zona minera de Huepetue. Asimismo, la presente investigación busca estimar la biomasa producida por esta especie durante los 2 primeros meses de su desarrollo. La especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash es una gramínea proveniente de la India usada alternativamente como fitorremediadora, gracias a su cualidad de absorber metales pesado del suelo mediante sus raíces y almacenarlos en sus hojas (kahn, 2004).

La presente investigación a su vez, busca incentivar la realización de nuevos estudios para determinar los porcentajes de concentraciones de mercurio que la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es capaz de absorber de los suelos de zonas mineras de Madre de Dios para su futuro uso como fitorremediadora en estas zonas.

RESUMEN

La actividad minera en Madre de Dios ha generado 50 000 hectáreas deforestadas (Ráez, E. 2013). Estos suelos degradados contienen altas concentraciones de mercurio (Álvarez, J. 2011), y el porcentaje de materia orgánica es mínimo e insuficiente para la adaptación de cultivos dificultando la recuperación de dichos suelos. (Álvarez, J. 2011). Existen muy pocas experiencias de estudios en Madre Dios sobre la adaptabilidad de especies en suelos de áreas degradadas por minería; por ello, el presente estudio es uno de los primeros que se realiza para la especie fitorremediadora *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash en el cual se utilizó 800 plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash.

La metodología comprende de un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 tratamientos diferentes, la selección de las plantas madres se realizó al azar, seleccionando 12 plantas madres, las cuales se extrajeron del suelo enteras (con raíz) con la finalidad de obtener los 800 macollos elegidos al azar, el mantenimiento fue estrictamente de riego con regadora y de limpieza de maleza realizada manualmente.

Los resultados de la investigación concluyen en que la sobrevivencia de las plántulas es altamente exitosa en los sustratos de arena con piedras residuales de las zonas mineras de Madre de Dios, además que la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. desarrolla brotes y hojas eficazmente adaptándose a los escasos nutrientes del sustrato de arena con piedras y la capacidad de propagación de esta especie es alta en cuanto al desarrollo de macollos en suelo con sustrato de arena residual, por lo que el potencial de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. para establecerse en suelos de zonas mineras es exitoso.

INTRODUCCION

La especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es conocida mundialmente por sus propiedades fitorremediadoras (Torres, D. 2010), acumulando mercurio en las hojas de esta gramínea. Así mismo la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. se utiliza en la fabricación de aceites esenciales, obtenidos de la raíz de dicha planta (Salvador. 2003), motivo por el cual esta especie puede ser una esperanza para darle un uso a estas áreas degradadas.

Está demostrado en otros países que la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. ha dado buenos resultados como fitorremediadora en zonas mineras (Roongtanakiat, N. 2007). Además, el aceite de vetiver posee un buen precio (10ml/11 euros) en el mercado y una alta demanda (Biocomercio sostenible. 2003). Siendo una alternativa económica para la población.

Esta investigación estudia del potencial de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash.. para establecerse en suelos pobres obtenidos luego de su explotación en las zonas mineras de Madre de Dios, planteando como hipótesis que el potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es alto, superando el 50% de sobrevivencia en alguno de los sustratos o variables independientes: Suelo de terraza alta, suelo de zona minera 1 (arena), suelo de zona minera 2 (arena y piedras) y suelo preparado. Para lo cual se realiza la medición de las variables dependientes: Sobrevivencia, desarrollo de macollos, desarrollo de macollos y brotes, desarrollo de brotes y biomasa, con el fin de evaluar el potencial de establecimiento y de desarrollo de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en suelos de zonas mineras de Madre de Dios.

Índice

| | |
|---|------------------|
| <u>Capítulo I. Problema de Investigación</u> | 10 |
| 1.1. Descripción del Problema..... | <u>10</u> |
| 1.2. Formulación del Problema..... | <u>10</u> |
| 1.3. Objetivos | <u>11</u> |
| 1.4. Variables | <u>12</u> |
| 1.5. Operacionalización de variables | <u>12</u> |
| 1.6. Hipotesis | <u>13</u> |
| 1.7. Consideraciones éticas | <u>14</u> |
| Capítulo II. Marco Teórico | <u>15</u> |
| 2.1. Ubicación | <u>15</u> |
| 2.2. Antecedentes de estudio | <u>16</u> |
| 2.3. Marco Teórico | <u>18</u> |
| 2.4. Definición de Términos..... | <u>24</u> |
| Capítulo III. Metodología de Investigación | 27 |
| 3.1. Tipo de Estudio | 27 |
| 3.2. Diseño del Estudio | 27 |
| 3.3. Población y muestra..... | 28 |
| 3.4. Métodos y Técnicas | 29 |
| Capítulo IV. Resultados del Trabajo de Investigación | 36 |
| 4.1. Supervivencia de vetiver | 36 |
| 4.2. Desarrollo de brotes | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3. Desarrollo de brotes y macollos | 43 |
| 4.4. Desarrollo de macollos | 47 |
| 4.5. Evaluacion de la biomasa..... | 51 |
| Conclusiones | 53 |
| | |
| <u>Sugerencias</u> | 54 |
| <u>Referencias bibliograficas</u> | 55 |
| <u>Anexos</u> | 61 |

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Descripción del problema

La actividad minera en Madre de Dios ha generado 50 000 hectáreas deforestadas (Ráez, E. 2013) debido principalmente al aumento del precio del oro (Ráez, E. 2013) y a la superposición de áreas causando conflictos sociales (Pachas, V. 2013.) generados por un problema de saneamiento físico legal de estas áreas.

Estos suelos degradados contienen altas concentraciones de mercurio (Álvarez, J. 2011), por lo que no se puede sembrar ningún producto agrícola puesto a que serían contaminados. En estos suelos degradados el porcentaje de materia orgánica es mínimo e insuficiente para la adaptación de cultivos debido a esas condiciones, dificultando la recuperación de dichos suelos. (Álvarez, J. 2011),

Existen muy pocas experiencias de estudios en Madre Dios sobre la adaptabilidad de especies en suelos de áreas degradadas por minería.

1.2. Formulación del problema

La necesidad hoy existente en el departamento de Madre de Dios de recuperar suelos degradados y contaminados por insumos residuales de la actividad minera, demanda la búsqueda de alternativas de solución. La más promisoría es la fitorremediación, para lo cual es necesaria la realización de estudios sobre el potencial adaptativo de plantas fitorremediadoras en zonas mineras de Madre de Dios.

Esta investigación propone el estudio del potencial de la especie *Vetiveria zizanioides* L. para establecerse en suelos pobres obtenidos luego de su explotación en las zonas mineras de Madre de Dios.

La especie *Vetiveria zizanioides* L. es conocida mundialmente por sus propiedades fitorremediadoras (Torres, D. 2010), acumulando mercurio en las hojas de esta gramínea. Así mismo la especie *Vetiveria zizanioides* L. se utiliza en la fabricación de aceites esenciales, obtenidos de la raíz de dicha planta (Salvador. 2003), motivo por el cual esta especie puede ser una esperanza, para darle un uso a estas áreas degradadas.

Está demostrado en otros países que la especie *Vetiveria zizanioides* L. ha dado buenos resultados como fitorremediadora en zonas mineras (Roongtanakiat, N. 2007). Además, el aceite de vetiver posee un buen precio (10ml/11 euros) en el mercado y una alta demanda (Biocomercio sostenible. 2003). Siendo una alternativa económica para la población.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el potencial de establecimiento y de desarrollo de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en suelos de zonas mineras de Madre de Dios.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar y comparar la sobrevivencia de las plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en los diferentes sustratos.
- Evaluar y comparar el desarrollo de brotes en las plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en los diferentes sustratos.
- Evaluar y comparar el desarrollo de brotes y macollos en las plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en los diferentes sustratos.

- Evaluar y comparar el desarrollo de macollos en las plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en los diferentes sustratos.

1.4. Variables

1.4.1 Variables independientes

Tipo de sustrato. (1: Suelo de terraza alta (suelo común); 2: suelo de zona minera 1 (arena); 3: suelo de zona minera 2 (arena y piedras); 4: suelo preparado).

1.4.2 Variables dependientes

- Supervivencia
- Desarrollo de macollos
- Desarrollo de macollos y brotes
- Desarrollo de brotes
- Biomasa

1.5. Operacionalización de variables

| VARIABLES INDEPENDIENTES | VARIABLES DEPENDIENTES |
|---|-------------------------------|
| Sustrato de terraza alta (suelo común) | Supervivencia |
| Sustrato de zona minera 1 (arena) | Desarrollo de macollos |
| Sustrato de zona minera 2 (arena + piedras) | Desarrollo de brotes |
| Sustrato de suelo preparado | Biomasa |

1.6. Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

- H1.- El potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en suelos de zonas mineras es alto (> 50%).
- H0.- El potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en suelos de zonas mineras es bajo (<50%).

1.6.2 Hipótesis específicas

- H1.- EL potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es alto (>50%) en el sustrato de suelo de terraza alta (suelo común).
- H0.1.- EL potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es bajo (<50%) en el sustrato de suelo de terraza alta (suelo común).
- H2.- EL potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es alto (>50%) en el sustrato de suelo de zona minera 1 (arena).
- H0.2.- EL potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es bajo (<50%) en el sustrato de suelo de zona minera 1 (arena).
- H3.- EL potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es alto (>50%) en el sustrato de suelo de zona minera 2 (arena + piedras).
- H0.3.- EL potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es bajo (<50%) en el sustrato de suelo de zona minera 2 (arena + piedras).

- H4.- EL potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es alto (>50%) en el sustrato de suelo preparado.
- H0.4.- EL potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es bajo (<50%) en el sustrato de suelo preparado.

1.7. Consideraciones éticas

La presente investigación se encuentra respaldada por bibliografías consultadas, Así como también, está dentro del marco legal de la Ley Forestal y Fauna Silvestre y cumple con las normas y reglamentos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Además, tiene como virtud, evaluar una alternativa para remediar suelos degradados por actividades ilegales, recuperando así, suelos que pueden ser usados por la población para actividades económicas amigables con el ambiente.

2.2. Antecedentes de estudio

En Madre de Dios existen pocos estudios relacionados al presente trabajo de investigación; Existen publicaciones de estudios e investigaciones realizadas en Perú y otros países, los cuales se mencionan a continuación:

- **Paez de Casares. J. (2006). informe preliminar sobre la introducción de 10 ecotipos de vetiver (Vetiveria Zizanioides y Vetiveria Nemoralis) introducidos a Venezuela. 2007. Sitio web: <http://goo.gl/cYzdWj>**

Se usaron 10 ecotipos de vetiver con el objetivo de aumentar el recurso vegetal de esta especie y poder crear un banco de germoplasma, que ayudará además a otros estudios morfológicos y de adaptación a otros ambientes, poder aportar con otros países de Latinoamérica. Debido a la gran producción agrícola, es necesario cuidar el suelo, sobre todo de la erosión, es por ello que las barreras de vetiver tienen una buena capacidad de mitigación de sedimentos en zonas erosionables, además se adapta muy bien a un gran rango de condiciones agroecológicas y es de fácil adaptación.

- **Briceño, L. y & Bolivar, F. (2007). Evaluación de la eficiencia del Vetiver (Vetiveria Zizanioides) en la conservación de suelos de laderas en parcelas yuqueras de macapo edo. Cojedes. Sitio web: <http://goo.gl/tgQ3ON>**

Para mostrar la eficiencia en las barreras de la especie vetiver, se realiza una investigación por dos años; se evalúa la erosión hídrica superficial en los suelos (inseptisoles) de un terreno de 2100 m² y 12% de pendiente plantada con yuca, la metodología fue el Altimétrico. El resultado de la diferencia de suelos erosionados fue de 65 tn por hectárea lo que significa la disminución en la pérdida de suelos de un (35,5%) ocasionada por barreras vivas de vetiver.

- **Gomis. C. (1997). Estudio del comportamiento del vetiver (*Vetiveria zizanioides*, (L) Nash) en diferentes condiciones agroclimáticas y de manejo. 1997, de UCV. Sitio web: http://www.vetiver.com/LAVN_bolet**

Por medio de un estudio comparativo, se analizó el proceder de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en tres zonas de diferentes agroclimas: bosque seco tropical, bosque húmedo montano bajo y bosque húmedo premontano. Se estableció la atribución de los tratamientos: presiembra, poda, fertilización y número de plántulas sembradas, teniendo en cuenta los indicadores agronómicos: altitud del ejemplar, diámetro de macollo, cantidad de hijuelos, sobrevivencia y el peso seco de raíces y follaje para biomasa. El ciclo del estudio fue de 150 días. Los resultados mostraron que las probabilidades en la ejecución de barreras de vetiver resultan bastante exitosa.

- **Arrigoni Blank M. (2013). Produção de mudas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) COM USO DE DIFERENTES SUBSTRATOS. de Departamento de Engenharia Agrônômica – UFS, São Cristóvão, SE, Brasil. Sitio web: <https://goo.gl/OsG05b>**

El fin de la investigación fue evaluar las dosis de piedra caliza y de fertilizante en diferentes sustratos para la producción de plántulas de vetiver. El primer ensayo constara de dos sustratos (polvo de coco y polvo de coco + arena – 3:1). El segundo ensayo constara de sustrato de polvo de coco (lavado y no lavado) y dos dosis de NPK. Las variables evaluadas fueron el porcentaje de sobrevivencia, altitud de la planta (cm), masa seca (gr), de hojas y raíz por ejemplar. Para la producción de plántulas resultó que UFS-VET001 y UFS-VET003 de vetiver puede ser usado el sustrato de polvo de coco lavado + 12mg dm⁻³ de NPK 3-12-6 y 1g dm⁻³ de piedra caliza.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Revisión Bibliográfica

a. De la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash.

- Clasificación científica según Cronquis

Reino: Plantae

Division: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Liliidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogoneae

Subtribu: Andropogoniae

Género: *Vetiveria*

Especie: *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash.

- Descripción

La especie vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash..) pertenece a las gramíneas, que se desarrolla en exposición del sol y el origen se encuentra en las planicies inundables del norte de la India, Bangladesh y Birmania (Alegre, 2002). Se han encontrado dos cultivares principales. El silvestre del norte de la India, capaz de producir semillas viables encontrándose en su hábitat natural, es decir, en zonas pantanosas. Sin embargo, en condiciones agrícolas es estéril y este es el que se ha difundido mundialmente. Su inflorescencia está conformada por varios racimos delgados. La panícula crece entre 15 a 40 cm. de largo y es rosado o púrpura (Alegre, 2002).

- Usos

Usos tradicionales según Salvador et. al. (2003):

- Raíces

Su uso principal es para esencias, la fragancia del vetiver es reconocido desde hace mucho tiempo en Oriente y su fragancia es materia prima base para fabricar perfumes. Tiene cualidades de fijación, ayuda a la duración prologada de los efectos del producto en el que se usa.

- Hojas

Son útiles para realizar sombreros y hacer techos de casas rústicas.

- Planta

Es usada por su magnífica aptitud como fijadora de tierras sueltas.

Uso alternativo: Fitorremediación.

La gramínea vetiver *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. resiste altos niveles de metales, nitratos, fosfatos, pesados y productos agrícolas, tiene una extraordinaria capacidad de absorber y tolerar diversos materiales pesados como el As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn. Por ello la fitorremediación, se considera como un uso alternativo para *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. (kahn, 2004).

- Propiedades adaptativas

La *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. es una gramínea altamente adaptable a distintos tipos de suelo y temperaturas, también posee varias características que lo hacen ser una buena alternativa para conservar el suelo y agua, estabilizar taludes, controlar erosiones, absorber metales pesados y purificar aguas (Alegre, 2002). Es por ello que el vetiver se ha utilizado como barrera natural para controlar la erosión del suelo y ya se están desarrollando experiencias con el

objetivo de utilizar vetiver como fijador de metales pesados en las aguas contaminadas por la minería (Khan, 2004).

Esta especie puede llegar a vivir 100 años, es muy resistente a condiciones Adversas como sequías, soporta toda gradación de pH, cantidad de lluvias y temperaturas extremas, no necesita mantenimiento, no es invasiva ya que vuelve maleza debido a que no desarrolla semilla viable. Suelos altamente contaminados con minerales y metales pesado ha sido recurados con el uso de vetiver en países como Venezuela, China, Chile, México y Nicaragua que lo comprueban. (Rodríguez, 1997).

La propagación se realiza mediante división de macollos. Se escogen las plantas madres mayores de un año y medio, se separan los hijuelos y se recortan de 15-20 cm. de largo, se colocan líneas paralelas y distanciadas, dejando de 0,80 a 1,00 m. entre cada hijuelo. (Salvador, 2003).

- Ventajas de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. según Mentaberry (2011)
 - Su alta adaptación a distintos climas, desde tropicales hasta templados y áridos, así como también a distintos suelos existentes.
 - Su rápida y fácil propagación vegetativa mediante macollos, los cuales son capaces de multiplicar cincuenta veces su número en medio año.
 - No necesita gran cantidad de nutrientes ni de agua, en cambio, el vetiver mediante sus profundas raíces es capaz de añadir nutrientes y humedad al suelo.
 - Posee gran versatilidad para tratar diferentes materiales peligrosos.

- Es usada de manera exitosa para descontaminar grandes superficies o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.
- Desventajas de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. según Mentaberry (2011):
 - La descontaminación de limita al tamaño de las raíces.
 - La fitotoxicidad es un restrictivo en áreas muy contaminadas.
 - El proceso de descontaminación puede durar periodos prolongados.

b. De la fitorremediación

- Definición

En un grupo de metodologías que tiene la finalidad de metabolizar o mitigar metales pesados mediante el uso de plantas (Chacón, 2010).

La fitorremediación es una técnica de descontaminación que consiste en las propiedades que poseen algunas plantas para absorber y almacenar concentraciones altas de componentes radioactivos, compuestos orgánicos y metales pesados entre otros (Delgadillo, 2011).

- Fitorremediación de suelos con vetiver.

El vetiver, proveniente de la India, es una gramínea que se perfila como una nueva esperanza para recuperar suelos contaminados por metales pesados de la minería (Delgadillo, 2011).

c. De la biomasa

- Definición según Silva et. al. (2010):

La biomasa es la unión de los recursos forestales, vegetales de tierra o de agua y de residuos y subproductos ganaderos, agrícolas, industriales y urbanos. Las metodologías de conversión de la biomasa en combustible son bioquímica y termoquímica. De la primera, se obtiene etanol y metano por medio de la fermentación alcohólica y digestión anaerobia. De la segunda, se obtiene gas pobre, carbón y jugos piroleñosos por medio de la gasificación y pirolisis.

- Clases de biomasa

La biomasa es toda materia orgánica originada de vegetales o animales, conteniendo también la materia procedente de su transformación natural o artificial. Clasificándola de la siguiente manera: (Silva, 2010)

- a. Biomasa natural: Se produce naturalmente sin la mano del hombre.
- b. Biomasa residual: Los residuos de las actividades del hombre como la agricultura, ganadería, etc (Silva, 2010).
- b. Biomasa producida: Es la cultivada con el fin de obtener biomasa que pueda transformarse en combustible, en lugar de alimentos, por ejemplo, la caña de azúcar en Brasil, usada en la producción de etanol (Silva, 2010).

d. Del suelo

- Definición Según Porta et. al. (1999):

El suelo conforma la “epidermis” del planeta tierra, se compone por la interacción de las rocas del sustrato y la atmósfera. El suelo es afectado directamente por la actividad minera: 1) es removido para realizar la minería a cielo abierto; 2) es afectado por las actividades de transporte; 3) sobre el suelo se colocan las escombreras; y 4) sobre el suelo se infiltran los líquidos efluentes, entre otras perturbaciones. (Porta, 1999).

Durante muchos años se pensó que el suelo “podía aguantar todo”, por lo que se vertía todo lo que se deseaba, se creía que tiene la cualidad de absorber y purificar infinitamente. Sin embargo, esto no es del todo cierto, ya que la cualidad depuradora de los suelos actúa a muy largo plazo y es justo pensar que la regeneración del suelo no se realiza a ritmo suficiente para evitar graves problemas de contaminación. Es necesario y urgente aplicar políticas preventivas y así prevenir y mitigar la contaminación, como también implementar medidas correctivas que ayuden a recuperar rápidamente los suelos impactados (Porta, 1999).

Normalmente las áreas cercanas a la actividad minera, presenta diferentes grados de contaminación por metales pesados y otros contaminantes como hidrocarburos y aceites, es importante identificar si dicho impacto representa algún riesgo a la salud pública o al medioambiente. Es clave, manejar el impacto según el uso final del área: agricultura, ganadería, expansión urbana, esparcimiento, etc. (Porta, 1999).

- Contaminación del suelo con mercurio en Madre de Dios

Estudios demuestran preocupantes niveles de contaminación por mercurio y otros metales pesados en agua, peces y personas en la Región Madre de Dios desde años atrás. Una investigación del Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente (IMA) en 1994 demostró que existe contaminación por mercurio en peces grandes en el río Madre de Dios. Tres muestras de “puma zúngaro” y de “zúngaro negro” demostraron que existe mercurio en los tejidos superiores en 58,30.4 y 11.2% a los máximos permisibles. (ITGE, 1995)

En 1995 el Instituto de Manejo del Agua y Medio ambiente hizo una investigación con los mineros del área, los resultados son bastante alarmantes: 78% de las 45 personas estudiadas presentaron concentraciones de mercurio por encima de los máximos permisibles.

2.4. Definición de términos

Propagación vegetativa: Es la proliferación de la especie por medio de estacas, donde es requerido que se desarrolle un nuevo sistema de raíces, debido a que la estaca contiene yemas potenciales al desarrollo de nuevos hijuelos (Hartmann et al., 1992).

Esqueje: Es una fracción de la planta, de donde se puede obtener un nuevo individuo idéntico genéticamente a la planta madre (Stevens, P. F., 2001).

Macollo: Es la unidad estructural de casi todas las especies de gramíneas, su formación se da por las yemas axilares o secundarias del meristema basal del eje principal (Consoli, 2012). Los brotes secundarios o macollos, aparecen en

cuanto las plantas poseen dos o tres hojas. Los macollos generan sus primeras hojas y posteriormente sus raíces. (Stevens, P. F., 2001).

Fitorremediación: Es la mitigación de la contaminación a través del uso de plantas y/o algas u hongos, ya sea en el suelo, en aguas residuales o el aire en ambientes interiores, además en ecosistemas donde existen especies de plantas con esta cualidad (Par S.C. McCutcheon et J.L. Schnoor. 2003).

Sustrato: Superficie en donde vive y se desarrolla la flora y fauna, además contiene nutrientes que estos necesitan. El sustrato puede contener materia viva o inerte (Gallardo, 2003).

Biomasa: Es el total de materia que contienen los seres vivos en un determinado lugar, se expresa en peso por unidad de área o de volumen (Real Academia Española, 2001).

Lixiviación de suelos: Es el proceso de disminución de nutrientes que sufre el suelo debido al exceso de infiltración de agua de lluvia o de riego (Gallardo, 2003).

Quelante: Es una sustancia química con la propiedad de adherirse a los iones metálicos. Se usa para desechar metales pesados del organismo (Kark, R y Poskanzer, D. 1971).

Materia orgánica: Llamada también componente orgánico del suelo, está formada por residuos animales o vegetales, además estos componentes contribuyen a la fertilidad del suelo, lo cual la hace necesaria para el adecuado crecimiento de las plantas (Martínez Rodríguez. 2003).

Regeneración natural de bosques: Se refiere a la renovación de un ecosistema que previamente se ha cosechado o que ha sufrido alteraciones (FAO, 2009). La

renovación por semillas o por reproducción vegetativa es bastante rápida bajo condiciones tropicales (MDSP, 1999).

CAPITULO III: METODOLOGIA DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de estudio

La investigación es de tipo experimental, de nivel explicativo, ya que explica una variable en función de otras y por ser un estudio de causa - efecto.

3.2. Diseño del estudio

- Diseño experimental

El diseño experimental será de bloques completos al azar con 20 repeticiones por cada tratamiento distribuidos aleatoriamente, cada repetición o unidad experimental, representa el promedio de 10 observaciones o individuos de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. De esta manera se evaluarán 200 plántulas por cada tratamiento haciendo un total de 800 observaciones.

Grafico 1: Diseño experimental.

BLOQUES TRATAMIENTOS

| | | | | |
|------|----|----|----|----|
| I | T3 | T1 | T4 | T2 |
| II | T1 | T4 | T2 | T3 |
| III | T2 | T3 | T1 | T4 |
| IV | T4 | T2 | T3 | T1 |
| V | T3 | T4 | T1 | T2 |
| VI | T1 | T2 | T3 | T4 |
| VII | T4 | T3 | T1 | T2 |
| VIII | T3 | T1 | T2 | T4 |
| IX | T4 | T2 | T3 | T1 |
| X | T3 | T1 | T2 | T4 |

| | | | | |
|-------|----|----|----|----|
| XI | T2 | T1 | T3 | T4 |
| XII | T4 | T1 | T2 | T3 |
| XIII | T3 | T4 | T1 | T2 |
| XIV | T1 | T4 | T2 | T3 |
| XV | T4 | T3 | T1 | T2 |
| XVI | T3 | T1 | T2 | T4 |
| XVII | T4 | T2 | T1 | T3 |
| XVIII | T3 | T1 | T4 | T2 |
| XIX | T2 | T3 | T1 | T4 |
| XX | T1 | T4 | T2 | T3 |

T1: Tratamiento 1 (suelo de terraza alta o suelo común)

T2: Tratamiento 2 (arena)

T3: Tratamiento 3 (arena y piedra)

T4: Tratamiento 4 (suelo preparado)

3.3. Población y muestra

La población total es de 800 plántulas de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. repartidas en cuatro tratamientos, de tal manera se evaluarán 200 plántulas por cada tratamiento, cada repetición o unidad experimental representa el promedio de 10 observaciones o individuos, necesitando un total de 20 repeticiones para evaluar las 200 plántulas por tratamiento.

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Metodología

- Tratamientos

Se realizaron 4 tratamientos donde la variable independiente es el sustrato y las variables dependientes que se evaluaron son: sobrevivencia, desarrollo de brotes, desarrollo de brotes y macollos y desarrollo de macollos.

Tratamiento 1

Se establecieron las plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en bolsas de almacigo donde el sustrato es el suelo de terraza alta o suelo común, sustrato donde las plantas madres se desarrollaron en el vivero “Castañal” del Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana – IIAP

Tratamiento 2

Se establecieron las plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en bolsas de almacigo donde el sustrato fue extraído de la zona minera de Huepetue, en el distrito de Huepetue, la provincia de Manu, suelo compuesto por arena residual de la actividad minera.

Tratamiento 3

Se establecieron las plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en bolsas de almacigo donde el sustrato fue extraído de la zona minera de Huepetue, en el distrito de Huepetue, la provincia de Manu, suelo compuesto de arena en 70 % y piedras en 30% aprox.

Tratamiento 4

Se establecieron las plántulas de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en bolsas de almacigo donde el sustrato es el suelo preparado obtenido de la mezcla de materia orgánica descompuesta, cenizas, aserrín y limo o tierra negra. Debido a

su contenido de nutrientes, este sustrato significaría la condición óptima para su establecimiento.

En los 4 tratamientos se realizó el deshierbe y riego de manera equitativa cada 15 días durante su evaluación.

- Recolección de los sustratos:

Suelo de terraza alta (suelo común)

El suelo de terraza alta es el suelo en el que están establecidas las plantas madres en el vivero “Castañal” del Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana – IIAP. Este suelo fue recogido con la utilización de pala y pico de manera manual y llevado a la zona de trabajo para luego ser vertido en las bolsas de almacigo en las que se instalaron los macollos.

Suelo de minería 1 (arena)

El suelo de minería que contiene solo arena en su composición, fue extraído de la zona minera de Huepetue, en el distrito de Huepetue, la provincia de Manu, en el departamento de Madre de Dios; se colectó de la misma manera que se extraerá el suelo de terraza alta (suelo común).

Suelo de minería 2 (arena y piedras)

El suelo de minería que contiene arena al 70% y piedras al 30% aprox. en su composición, fue extraído de la zona minera de Huepetue, en el distrito de Huepetue, la provincia de Manu, en el departamento de Madre de Dios; la extracción se realizó de la misma manera que se recolectará el suelo de terraza alta (suelo común).

Suelo preparado

El suelo preparado se obtuvo de la mezcla de materia orgánica descompuesta (50%), cenizas (10%), aserrín (10%) y limo (30%) o tierra negra, para luego ser cernido y vertido en las bolsas de almacigo en las que se establecieron las plántulas.

- Acondicionamiento del vivero

El vivero “Castañal”, ubicado en el km 23 de la carretera Puerto Maldonado - Cusco (ver anexo 2), cuenta con instalaciones adecuadas donde se llevó a cabo el presente proyecto de investigación, de manera que el acondicionamiento consto en acomodar las bolsas de almacigo conteniendo los diferentes tratamientos en las instalaciones bajo un techo de malla raschel que permite la radiación solar a un 75% y se tuvo que deshierbar la zona de instalación del estudio de investigación.

- Establecimiento del experimento

Selección de plantas a propagar

Las plantas madres se encuentran en el vivero “Castañal” del Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana – IIAP. Donde se realizó la selección de las plantas madres al azar, seleccionando 12 plantas madres, las cuales fueron extraídas enteras (con raíz) con la finalidad de obtener las 800 plántulas elegidas al azar.

Poda

Las 800 plántulas obtenidas a partir de las plantas madres, se podaron de tal manera que tengan 10cm de tallo y 10cm de raíz. Después de su poda, se sumergieron en agua durante 24 horas y posteriormente se establecieron las plántulas en las bolsas de almacigo que contienen los sustratos previamente

preparados. Las plántulas fueron distribuidas aleatoriamente en 200 bolsas de almacigo que contienen sustrato 1 (suelo de terraza alta o suelo común); 200 bolsas de almacigo que contienen sustrato 2 (suelo de minería compuesto de arena); 200 bolsas de almacigo que contienen sustrato 3 (suelo de minería compuesto por arena y piedras), y 200 bolsas de almacigo que contienen sustrato 4 (suelo preparado).

Selección de plántulas

La selección de plántulas se realizó al azar, obteniéndolas a partir de las plantas madres previamente escogidas también al azar, el número total de plántulas fue de 800 unidades; distribuidas equitativamente y aleatoriamente en los 4 tratamientos.

Llenado de bolsas

Las bolsas de almacigo se llenaron manualmente, uno por uno de los sustratos ya mencionados, siendo 200 bolsas de almacigo por cada tratamiento. Las bolsas utilizadas fueron de 1kg. de sustrato, el cual fue vertido en las bolsas de almacigo hasta llenarlas completamente, de tal manera que no queden espacios vacíos.

Repique

El repique o sembrado, se llevó a cabo utilizando las 800 plántulas ya seleccionadas y podadas, estas plántulas se introdujeron al centro de las bolsas de almacigo de manera que la base quede sobre tierra y los 10cm de raíces queden completamente introducidos dentro de los sustratos correspondientes.

Mantenimiento

El mantenimiento que se realizó al ensayo fue estrictamente de riego y de limpieza de maleza, realizándose el riego cada 15 días para simular el suelo de poca humedad que existe en las zonas mineras abandonadas. El riego fue durante las mañanas, utilizando una regadera de goteo y la limpieza de malezas se realizó manualmente arrancándolas de raíz para evitar su nueva aparición cada vez que fue necesario.

- Evaluación

Después de 15 días de la instalación de las plántulas en sus respectivas bolsas de almacigo en el vivero, se procedió a realizar la primera evaluación de sobrevivencia en los 4 tratamientos, desarrollo de brotes (nuevas hojas) y de macollos (nuevas plantas, producto de la reproducción vegetativa). A partir de esta evaluación, se realizaron las demás evaluaciones de seguimiento cada 15 días, evaluando las mismas variables.

Medición de biomasa

Las mediciones de biomasa se realizaron a las plántulas estudiadas después de 4 meses de su siembra, escogiendo 30 muestras al azar de cada tratamiento, haciendo un total de 120 muestras a las que se les realizó el estudio de biomasa con el uso de una balanza analítica y una estufa de secado de laboratorio. Las muestras recién extraídas, se pesaron en la balanza analítica, seguidamente se envolvieron en papel craft individualmente para ser introducidas a la estufa de secado en el laboratorio, a una temperatura de 65°C, por un periodo de 24 horas (1 día); Luego del secado, las muestras se desvolvieron del papel craft para ser nuevamente pesadas en la balanza analítica individualmente. De esta manera obtuvimos los datos de peso húmedo y los datos de peso seco, para poder estimar la biomasa.

Toma de datos

Los datos se registraron en una libreta de campo (VER ANEXO 3), tomándose cada 15 días, debido a su rápido crecimiento, típico de una gramínea, la toma de datos debe hacerse en periodos cortos, tomándose en este trabajo de investigación cada 15 días, haciendo seguimiento a variables de supervivencia, crecimiento de brotes (nuevas hojas) y macollos (nuevas plantas, producto de la reproducción vegetativa).

3.4.2. Materiales, equipos y herramientas

- Materiales:
 - Suelo de zona minera 1 (arena).
 - Suelo de zona minera 2 (arena y piedras).
 - Suelo de terraza alta (suelo común).
 - Suelo preparado
 - 800 Macollos de *Vetiveria zizanioides (L.) Nash*.
 - Bolsas de almacigo.
 - Regla.
 - Baldes.
 - Libreta de campo.
 - Lapicero.
 - Papel craft.
 - Sacos.
 - Plumón indeleble.

- Equipos:
 - Balanza analítica marca AND de 210 g con precisión de $\pm 0.1\text{Mg}$
 - Estufa de secado de laboratorio marca Memmert de hasta 220°C .
 - Cámara fotográfica digital, marca Panasonic de 16 pixeles.
 - Computadora marca Sony y accesorios.

- Herramientas:
 - Pico
 - Pala
 - Tijeras podadoras
 - Pinzas

CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

4.1. Sobrevivencia de Vetiver

La evaluación de la sobrevivencia de la especie *Vetiveria Zizanioides* se realizó después de 15 días de su instalación en el vivero, a partir de esta primera evaluación, las demás se realizaron cada 15 días.

En la primera fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 23.13%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 01)

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Paez de Casares J. (2006) en su investigación "Informe Preliminar sobre la introducción de Vetiver a Venezuela" donde concluye en que la especie *Vetiveria* se adapta muy bien a un amplio rango de condiciones agroecológicas y es de fácil adaptación.

Estos resultados coinciden también con los obtenidos por Gomis C. (1997) en su investigación "Estudio del comportamiento de Vetiver en diferentes condiciones agroclimáticas y de manejo" donde concluye en que las posibilidades reales en la implementación de barreras de vetiver resultan particularmente provechosas por su fácil establecimiento en distintos sustratos.

Tabla 1: Análisis de variancia de la primera evaluación para la sobrevivencia de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|----------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 49.05 | 16.35 | 7.399 | 0.000286 | ** |
| <i>Bloques</i> | 19 | 78.55 | 4.134 | 1.871 | 0.035824 | * |
| <i>Error</i> | 57 | 125.95 | 2.21 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | | 23.13% | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 1 (suelo de terraza alta o suelo común) presentó un mayor porcentaje de sobrevivencia que los tratamientos 2

(suelo de minería compuesto por arena), 3 (suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 4(suelo preparado). (Tabla 2).

Tabla 2: Prueba de Tukey de la primera evaluación para la sobrevivencia de

| <i>Vetiver</i> | | | |
|----------------------------------|-------------|-----------------------------|-------|
| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (sobrevivencia) | Grupo |
| 1 | T1 | 7.70 | a |
| 2 | T2 | 6.35 | b |
| 3 | T3 | 6.05 | b |
| 4 | T4 | 5.60 | b |
| <i>Valor crítico de Tukey W:</i> | | 1.244 | |

En la segunda fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que no existen diferencias significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 30.74% (tabla 03)

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Paez de Casares J. (2006) en su investigación "Informe Preliminar sobre la introducción de Vetiver a Venezuela" donde concluye en que la especie Vetiveria se adapta muy bien a un amplio rango de condiciones agroecológicas y es de fácil adaptación.

Estos resultados coinciden también con los obtenidos por Gomis C. (1997) en su investigación "Estudio del comportamiento de Vetiver en diferentes condiciones agroclimáticas y de manejo" donde concluye en que las posibilidades reales en la implementación de barreras de vetiver resultan particularmente provechosas por su fácil establecimiento en distintos sustratos.

Tabla 3: Análisis de varianza de la segunda evaluación para la sobrevivencia de

| <i>Vetiver</i> | | | | | | |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 4.05 | 1.35 | 0.544 | 0.6542 | |
| <i>Bloques</i> | 19 | 85.25 | 4.487 | 1.808 | 0.0443 | * |
| <i>Error</i> | 57 | 141.45 | 2.482 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | | 30.74% | | | | |

En la tercera fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que no existen diferencias significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 30.54% (tabla 04)

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Paez de Casares J. (2006) en su investigación “Informe Preliminar sobre la introducción de Vetiver a Venezuela” donde concluye en que la especie Vetiveria se adapta muy bien a un amplio rango de condiciones agroecológicas y es de fácil adaptación.

Estos resultados coinciden también con los obtenidos por Gomis C. (1997) en su investigación “Estudio del comportamiento de Vetiver en diferentes condiciones agroclimáticas y de manejo” donde concluye en que las posibilidades reales en la implementación de barreras de vetiver resultan particularmente provechosas por su fácil establecimiento en distintos sustratos.

Tabla 4: Análisis de variancia de la tercera evaluación para la sobrevivencia de Vetiver

| <i>Fuente de Variación</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 4.64 | 1.546 | 0.68 | 0.568 | |
| <i>Bloques</i> | 19 | 74.44 | 3.918 | 1.723 | 0.0589 | |
| <i>Error</i> | 57 | 129.61 | 2.274 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | | | | | | 30.54% |

En la cuarta fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que no existen diferencias significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 32.50% (tabla 05)

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Paez de Casares J. (2006) en su investigación “Informe Preliminar sobre la introducción de Vetiver a Venezuela” donde concluye en que la especie Vetiveria se adapta muy bien a un amplio rango de condiciones agroecológicas y es de fácil adaptación.

Estos resultados coinciden también con los obtenidos por Gomis C. (1997) en su investigación “Estudio del comportamiento de Vetiver en diferentes condiciones agroclimáticas y de manejo” donde concluye en que las posibilidades reales en

la implementación de barreras de vetiver resultan particularmente provechosas por su fácil establecimiento en distintos sustratos.

Tabla 5: Análisis de varianza de la cuarta evaluación para la sobrevivencia de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 4.44 | 1.479 | 0.58 | 0.63 | |
| <i>Bloques</i> | 19 | 74.64 | 3.928 | 1.541 | 0.106 | |
| <i>Error</i> | 57 | 145.31 | 2.549 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | 32.50% | | | | | |

4.2. Desarrollo de brotes

La evaluación del desarrollo de brotes en la especie *Vetiveria Zizanioides* se realizó después de 15 días de su instalación en el vivero, a partir de esta primera evaluación, las demás se realizaron cada 15 días.

En la primera fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 35.91%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 06)

Tabla 6: Análisis de varianza de la primera evaluación para el desarrollo de brotes de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|------------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 118.5 | 39.5 | 12.008 | 0.00000337 | *** |
| <i>Bloques</i> | 19 | 93.8 | 4.94 | 1.501 | 0.12 | |
| <i>Error</i> | 57 | 187.5 | 3.29 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | 35.91% | | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 2 (suelo de minería compuesto por arena) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de brotes que los

tratamientos 1 (suelo de terraza alto o suelo común), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 4(suelo preparado). (Tabla 7).

Tabla 7: Prueba de Tukey de la primera evaluación para el desarrollo de brotes de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con brotes) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|---|-------|
| 1 | T2 | 7.00 | a |
| 2 | T3 | 4.85 | b |
| 3 | T1 | 4.70 | b |
| 4 | T4 | 3.65 | b |
| <i>Valor crítico de Tukey W:</i> | 1.5178 | | |

En la segunda fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 46.08%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 08)

Tabla 8: Análisis de varianza de la segunda evaluación para el desarrollo de brotes de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 51.94 | 17.313 | 6.333 | 0.00088 | *** |
| <i>Bloques</i> | 19 | 67.64 | 3.56 | 1.302 | 0.21848 | |
| <i>Error</i> | 57 | 155.81 | 2.734 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | | 46.09% | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 2 (suelo de minería compuesto por arena) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de brotes que los tratamientos 1 (suelo de terraza alto o suelo común), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 4(suelo preparado). (Tabla 9).

Tabla 9: Prueba de Tukey de la segunda evaluación para el desarrollo de brotes de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con brotes) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|---|-------|
| 1 | T2 | 4.55 | a |
| 2 | T3 | 3.95 | a |
| 3 | T1 | 3.50 | ab |
| 4 | T4 | 2.35 | b |
| <i>Valor critico de Tukey W:</i> | 1.38366 | | |

En la tercera fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 51.30%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 10)

Tabla 10: Análisis de varianza de la tercera evaluación para el desarrollo de brotes de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|------------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 76.34 | 25.446 | 13.136 | 0.00000125 | *** |
| <i>Bloques</i> | 19 | 65.64 | 3.455 | 1.783 | 0.0481 | * |
| <i>Error</i> | 57 | 110.41 | 1.937 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | | 51.30% | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 2 (suelo de minería compuesto por arena) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de brotes que los tratamientos 1 (suelo de terraza alto o suelo común), 3 (suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 4 (suelo preparado). (Tabla 11).

Tabla 11: Prueba de Tukey de la tercera evaluación para el desarrollo de brotes de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con brotes) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|---|-------|
| 1 | T2 | 4.00 | a |
| 2 | T1 | 2.85 | ab |
| 3 | T3 | 2.75 | b |
| 4 | T4 | 1.25 | c |
| <i>Valor critico de Tukey W:</i> | 1.1647 | | |

En la cuarta fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 79.83%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 12)

Tabla 12: Análisis de varianza de la cuarta evaluación para el desarrollo de brotes de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|------------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 55.5 | 18.5 | 11.339 | 0.00000618 | *** |
| <i>Bloques</i> | 19 | 20.7 | 1.089 | 0.668 | 0.834 | |
| <i>Error</i> | 57 | 93 | 1.632 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | | | 79.83% | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 2 (suelo de minería compuesto por arena) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de brotes que los tratamientos 1 (suelo de terraza alto o suelo común), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 4(suelo preparado). (Tabla 13).

Tabla 13: Prueba de Tukey de la cuarta evaluación para el desarrollo de brotes de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con brotes) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|---|-------|
| 1 | T2 | 2.40 | a |
| 2 | T1 | 2.25 | a |
| 3 | T3 | 1.45 | a |
| 4 | T4 | 0.30 | b |
| <i>Valor critico de Tukey W:</i> | 1.0689 | | |

4.3. Desarrollo de brotes y macollos

La evaluación del desarrollo de brotes y macollos en la especie *Vetiveria Zizanioides* se realizó después de 15 días de su instalación en el vivero, a partir de esta primera evaluación, las demás se realizaron cada 15 días.

En la primera fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 115.00%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 14)

Tabla 14: Análisis de variancia de la primera evaluación para el desarrollo de brotes y macollos de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 12.55 | 4.183 | 8.097 | 0.00014 | *** |
| <i>Bloques</i> | 19 | 10.75 | 0.566 | 1.095 | 0.38013 | |
| <i>Error</i> | 57 | 29.45 | 0.517 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | 115.00% | | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 4 (suelo preparado) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de brotes y macollos que los tratamientos 1

(suelo de terraza alto o suelo común), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 2(suelo de minería compuesto por arena). (Tabla 15).

Tabla 15: Prueba de Tukey de la primera evaluación para el desarrollo de brotes y macollos de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con brote y macollo) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|--|-------|
| 1 | T4 | 1.25 | a |
| 2 | T1 | 0.55 | b |
| 3 | T3 | 0.55 | b |
| 4 | T2 | 0.15 | b |
| <i>Valor critico de Tukey W:</i> | | 0.6015 | |

En la segunda fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 117.71%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 16)

Tabla 16: Análisis de varianza de la segunda evaluación para el desarrollo de brotes y macollos de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|----------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 17.1 | 5.7 | 10.028 | 0.000021 | *** |
| <i>Bloques</i> | 19 | 9.3 | 0.489 | 0.861 | 0.629 | |
| <i>Error</i> | 57 | 32.4 | 0.568 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | 107.71% | | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 4 (suelo preparado) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de brotes y macollos que los tratamientos 1 (suelo de terraza alto o suelo común), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 2(suelo de minería compuesto por arena). (Tabla 17).

Tabla 17: Prueba de Tukey de la segunda evaluación para el desarrollo de brotes y macollos de Vetiver

| Nro de orden | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con brote y macollo) | Grupo |
|---------------------------|-------------|--|-------|
| 1 | T4 | 1.45 | a |
| 2 | T3 | 0.70 | b |
| 3 | T1 | 0.40 | b |
| 4 | T2 | 0.25 | b |
| Valor crítico de Tukey W: | | 0.6309612 | |

En la tercera fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 87.40%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 18)

Tabla 18: Análisis de variancia de la tercera evaluación para el desarrollo de brotes y macollos de Vetiver

| Fuente de Variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-------------|-----------|---------------|
| Tratamientos | 3 | 35.84 | 11.946 | 9.81 | 0.0000259 | *** |
| Bloques | 19 | 24.24 | 1.276 | 1.048 | 0.426 | |
| Error | 57 | 69.41 | 1.218 | | | |
| Coeficiente de variabilidad CV: | | 87.40% | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 4 (suelo preparado) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de brotes y macollos que los tratamientos 1 (suelo de terraza alto o suelo común), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 2(suelo de minería compuesto por arena). (Tabla 19).

Tabla 19: Prueba de Tukey de la tercera evaluación para el desarrollo de brotes y macollos de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con brote y macollo) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|--|-------|
| 1 | T4 | 2.20 | a |
| 2 | T3 | 1.55 | ab |
| 3 | T1 | 0.85 | bc |
| 4 | T2 | 0.45 | c |
| <i>Valor critico de Tukey W:</i> | 0.9235 | | |

En la cuarta fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 64.48%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 20)

Tabla 20: Análisis de variancia de la cuarta evaluación para el desarrollo de brotes y macollos de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|--|--------------------|-------------------|----------------|-------------|----------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 45.1 | 15.033 | 6.546 | 0.000701 | *** |
| <i>Bloques</i> | 19 | 40.2 | 2.116 | 0.921 | 0.560762 | |
| <i>Error</i> | 57 | 130.9 | 2.296 | | | |
| <i>Coeficiente de variabilidad CV:</i> | | 64.48% | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 4 (suelo preparado) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de brotes y macollos que los tratamientos 1 (suelo de terraza alto o suelo común), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 2(suelo de minería compuesto por arena). (Tabla 21)

Tabla 21: Prueba de Tukey de la cuarta evaluación para el desarrollo de brotes y macollos de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con brote y macollo) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|--|-------|
| 1 | T4 | 3.35 | a |
| 2 | T3 | 2.65 | a |
| 3 | T2 | 2.10 | ab |
| 4 | T1 | 1.30 | b |
| <i>Valor critico de Tukey W:</i> | 1.2682 | | |

4.4. Desarrollo de macollos

La evaluación del desarrollo macollos en la especie *Vetiveria Zizanioides* se realizó después de 15 días de su instalación en el vivero, a partir de esta primera evaluación, las demás se realizaron cada 15 días.

En la primera fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que no existe diferencias significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 107.42%. (tabla 22)

Tabla 22: Análisis de varianza de la primera evaluación para el desarrollo de macollos de Vetiver

| <i>Fuente de Variacion</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 3.5 | 1.1667 | 1.797 | 0.158 | |
| <i>Bloques</i> | 19 | 16.5 | 0.8684 | 1.338 | 0.197 | |
| <i>Error</i> | 57 | 37 | 0.6491 | | | |
| <i>Coficiente de variabilidad CV:</i> | 107.42% | | | | | |

En la segunda fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 105.63%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 23)

Tabla 23: Análisis de varianza de la segunda evaluación para el desarrollo de macollos de Vetiver

| <i>Fuente de Variación</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 6.64 | 2.2125 | 2.827 | 0.0466 | * |
| <i>Bloques</i> | 19 | 13.64 | 0.7178 | 0.917 | 0.5655 | |
| <i>Error</i> | 57 | 44.61 | 0.7827 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | 105.63% | | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 1 (suelo de terraza alta o suelo común) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de macollos que los tratamientos 4 (suelo preparado), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 2(suelo de minería compuesto por arena). (Tabla 24).

Tabla 24: Prueba de Tukey de la segunda evaluación para el desarrollo de macollos de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con macollos) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|---|-------|
| 1 | T1 | 1.25 | a |
| 2 | T4 | 0.95 | ab |
| 3 | T3 | 0.65 | ab |
| 4 | T2 | 0.50 | b |
| <i>Valor critico de Tukey W:</i> | 0.7403864 | | |

En la tercera fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 94.35%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 25)

Tabla 25: Análisis de varianza de la tercera evaluación para el desarrollo de macollos de Vetiver

| <i>Fuente de Variación</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 7.74 | 2.5792 | 3.127 | 0.0327 | * |
| <i>Bloques</i> | 19 | 18.14 | 0.9546 | 1.157 | 0.3247 | |
| <i>Error</i> | 57 | 47.01 | 0.8248 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | 94.35% | | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 1 (suelo de terraza alta o suelo común) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de macollos que los tratamientos 4 (suelo preparado), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 2(suelo de minería compuesto por arena). (Tabla 26).

Tabla 26: Prueba de Tukey de la tercera evaluación para el desarrollo de macollos de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con macollos) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|---|-------|
| 1 | T1 | 1.35 | a |
| 2 | T4 | 1.10 | ab |
| 3 | T3 | 0.90 | ab |
| 4 | T2 | 0.50 | b |
| <i>Valor crítico de Tukey W:</i> | 0.76 | | |

En la cuarta fecha de evaluación, de acuerdo al Análisis de variancia se encontró que existe diferencias altamente significativas, con un 99% de certeza, entre los tratamientos, siendo el coeficiente de variabilidad 107.66%, lo que nos indica que los datos están dentro de la distribución normal. (tabla 27)

Tabla 27: Análisis de varianza de la cuarta evaluación para el desarrollo de macollos de Vetiver

| <i>Fuente de Variación</i> | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F calculado | P-valor | Significación |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------|---------|---------------|
| <i>Tratamientos</i> | 3 | 11.54 | 3.846 | 3.581 | 0.0192 | * |
| <i>Bloques</i> | 19 | 14.14 | 0.744 | 0.693 | 0.8102 | |
| <i>Error</i> | 57 | 61.21 | 1.074 | | | |
| <i>Coefficiente de variabilidad CV:</i> | 107.66% | | | | | |

Haciendo la comparación de promedios entre los tratamientos, y de acuerdo a la prueba de Tukey, se encontró que el tratamiento 1 (suelo de terraza alta o suelo común) presentó un mayor porcentaje de desarrollo de macollos que los tratamientos 4 (suelo preparado), 3(suelo de minería compuesto por arena y piedras) y 2(suelo de minería compuesto por arena). (Tabla 28).

Tabla 28: Prueba de Tukey de la cuarta evaluación para el desarrollo de macollos de Vetiver

| <i>Nro de orden</i> | Tratamiento | Promedio (numero de plantas con macollos) | Grupo |
|----------------------------------|-------------|---|-------|
| 1 | T1 | 1.45 | a |
| 2 | T3 | 1.10 | ab |
| 3 | T4 | 0.90 | ab |
| 4 | T2 | 0.40 | b |
| <i>Valor critico de Tukey W:</i> | 0.8672 | | |

4.5. Evaluación de la biomasa

Tabla N° 29. Evaluación de los promedios del peso seco o biomasa (g) de las plántulas después de cuatro meses de estudio en los cuatro tratamientos. (ANOVA, Prueba de Tukey, $P < 0.05$).

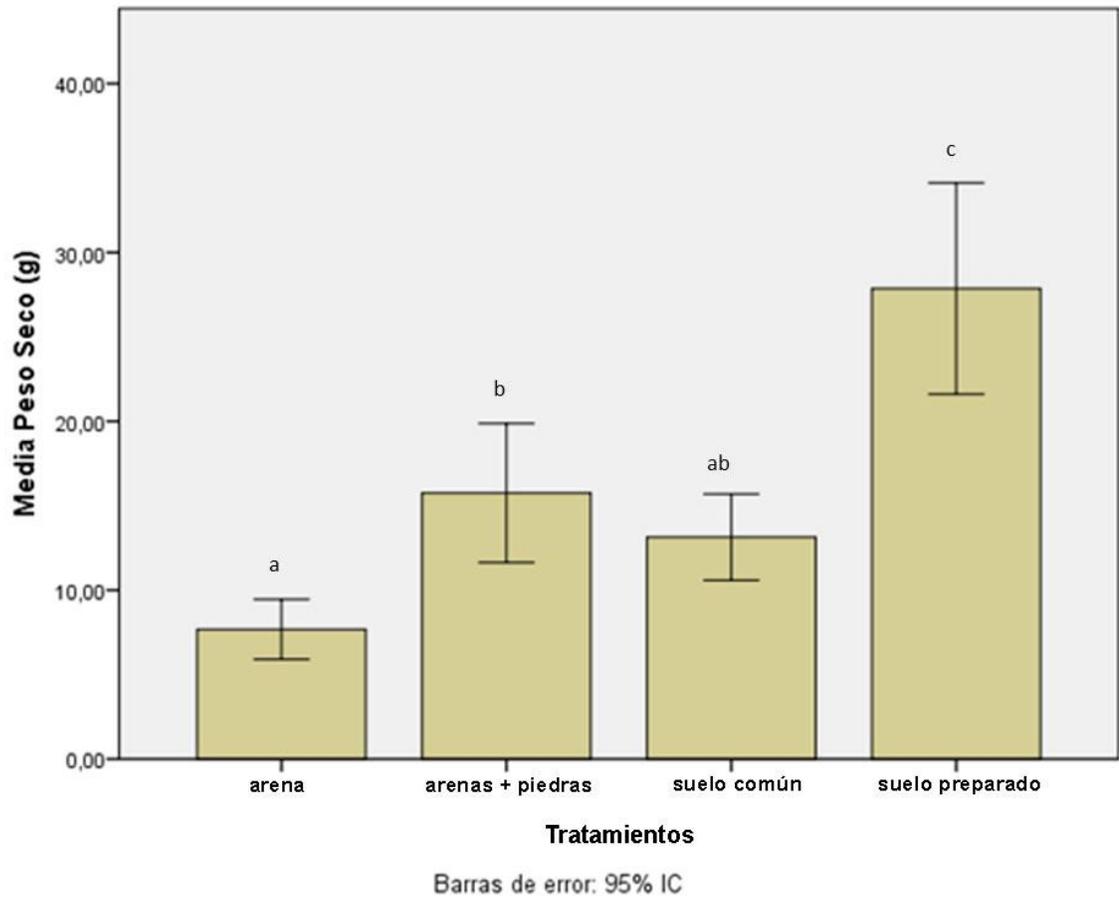
Tabla 29: Peso seco o biomasa (Promedio \pm desviación estándar)

| ARENA | | | | ANOVA | |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------------|--------|--------|
| | ARENA + PIEDRAS | SUELO COMUN | SUELO PREPARADO | F | P |
| 7.67 \pm 4.75 | 15.75 \pm 11.03 | 13.14 \pm 6.85 | 27.87 \pm 16.77 | 18.494 | <0.001 |

La Tabla N°29, muestra los resultados de la evaluación de los promedios del peso Seco o biomasa (g) de las plántulas de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. después de cuatro meses de estudio en los cuatro tratamientos. Obteniendo un p-valor 0.001 inferior al nivel de significancia del 0.05, lo que indica la presencia de diferencias significativas respecto a la variable en estudio peso en seco, resultando el tratamiento 4 (suelo preparado) con mayor biomasa con una variación estándar respecto a su media (27.87 \pm 16.77) y el tratamiento 2 (arena) con menor biomasa, con una variación estándar respecto a su media (7.67 \pm 4.745)

Los resultados también se pueden apreciar en la figura N° 1.

Figura N° 1: Evaluación de los promedios del peso seco o biomasa (g) de las plántulas después de cuatro meses de estudio en los cuatro tratamientos.



CONCLUSIONES

- El potencial de establecimiento y de desarrollo de la especie *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* en suelos de zonas mineras es alto (>50%)
- El potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* es alto (>50%) en el sustrato de suelo de terraza alta (suelo común).
- El potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* es alto (>50%) en el sustrato de suelo de zona minera 1 (arena).
- El potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* es alto (>50%) en el sustrato de suelo de zona minera 2 (arena + piedras).
- El potencial de establecimiento de *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* es alto (>50%) en el sustrato de suelo preparado

SUGERENCIAS

- Continuar con la investigación sobre otras especies fitorremediadoras y su adaptabilidad a los suelos residuales de la minería en Madre de Dios.
- Realizar investigaciones de las concentraciones de Mercurio antes y después de la utilización de la especie *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* en suelos de zonas mineras.
- Utilizar la especie *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* como fitorremediadora en las zonas degradadas por la minería en Madre de Dios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, J. (2002). Síntesis de los estudios de investigación y desarrollo con la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. en Perú - Ing. Agrónomo, M.S, PhD. Profesor Principal Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú, Presidente de la Sociedad Peruana de la Ciencia del Suelo.

Alegre, J. (2007). MANUAL SOBRE EL USO Y MANEJO DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides* L).

Álvarez, J; Sotero, V; Brack, A; Ipenza, C. (2011). MINERÍA AURÍFERA EN MADRE DE DIOS Y CONTAMINACIÓN CON MERCURIO, UNA BOMBA DE TIEMPO. Informe preparado por el Instituto de la Amazonía Peruana - IIAP y el Ministerio del Ambiente. Lima – Perú.

Arce, S; Azuaje, J; Hernández, Á. (2013). Uso de *Chrysopogon zizanioides* para la fitorremediación de suelos contaminados por As y Hg.

Arrigoni, M; Fitzgerald, A; Carvalho, T. (2013). Produção de mudas de vetiver (*chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) com uso de diferentes substratos = production of vetiver (*chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) plantlets using different substrates.

Ascorra, C. (2009). Diagnóstico integral de la actividad minera y sus impactos en Madre de Dios: Conclusiones y alternativas de solución. Puerto Maldonado. Madre de Dios. Perú.

Ascorra, C. (2006). Minería ilegal aurífera en el departamento de Madre de Dios y su contaminación con mercurio. Madre de Dios, Perú.

Biocomercio Sostenible (2003). Estudio del mercado colombiano de aceites esenciales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá.

Brandt, R; Merkl, N; Schultze-Kraft, R; Infante, C; Broll, G. (2006). Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils in Venezuela. *International journal of phytoremediation*.

Briceño, L; Bolívar, F. (2007). Evaluación de la eficiencia del vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash.) en la conservación de suelos de laderas en parcelas Yuqueras de Macapo Edo. Cojedes

Colombo, P. (2002). La fitorremediación como método natural de disminución de hidrocarburos en suelos de Santa Bárbara (estado Monagas). Tesis de Postgrado. Universidad Católica Andrés Bello. Dirección general de estudios de Postgrado. Área de Ingeniería. Postgrado de Ingeniería Ambiental. Caracas. Venezuela.

Colombo, P; Figueras, J. (2010). Establecimiento de experimento a escala de campo empleando fitorremediación de suelos impactados con cortes de perforación (ripios) de la fase productora en san tomé, estado Anzoátegui. Venezuela.

Danh, L; Truong, P; Mammucari, R; Tran, T; Foster, N. (2009). Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides* L.: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International journal of phytoremediation*.

De Andrade, L; De Andrade, L; Motta, M; Pereira, R. (2011). Avaliação da Sobrevivência e do Desenvolvimento de Mudas de Capim Vetiver (*Vetiveria*

zizanioides L.) em Raízes Nuas e Produzidas em Saquinhos de Polietileno Plantadas em Diferentes Espaçamentos.

Detrinidad, S; Carballo, R; Palma, R. (2003). Efecto del tiempo de inmersión en agua en el desarrollo radical y foliar de la gramínea vetiver (*Vetiveria zizanioides L.*) Universidad nacional agraria, facultad de agronomía, departamento de producción vegetal. Trabajo de diploma. Managua, Nicaragua.

Delgadillo, A; González; C; Prieto, F; Villagómez, J; Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*.

Doadrio, A. (2009). Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio. Académico de Número de la Real Academia Nacional de Farmacia.

Gallardo, C. (2003). Sustratos para plantas, tipos y principales características. Universidad Nacional Entre Ríos. Argentina.

Gomis, C. (2010). Estudio del comportamiento del vetiver (*Vetiveria zizanioides (L.) Nash.*) en diferentes condiciones agroclimáticas y de Manejo. Venezuela.

Hartmann, H; Kester, D; Davies, F. (1992). Plant Propagation. Principles and Practices. Fifth.

ITGE. (1995). Contaminación y depuración de suelos. Publicaciones del ITGE.

Khan, A. (2004). El Pasto vetiver como el Fitosimbionte Ideal para el Hongo *Glomus* en la Restauración Ecológica de Tierras Contaminadas con Metales Pesados. School of Science. Food and Horticulture, University of Western Sidney. New South.

Kark, R; Poskanzer, C. (1971). Envenenamiento por mercurio y su tratamiento con N-acetil-D, L - penicilamina.

Llosa, R. (1995). ECOSISTEMAS, FLORA Y FAUNA. Cuencas de los ríos Colorado, Inambari, Malinowsky y Tambopata. Madre de Dios. Perú.

Núñez, R; Meas, V; Ortega, R; Olgúin, E. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y Aplicaciones. Mexico.

Maini, J. (1992). Desarrollo Sostenible de los Bosques, In Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales Vol. 43 Ed. La Sostenibilidad. Canadá (USA).

MDSP. (2010). Análisis de opciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal. Programa Nacional de Cambios Climáticos. La paz, Bolivia.

Malavé,A. (2011). El ser humano y el ambiente. Universidad nacional Experimental Politecnica de las Fuerzas Armadas Nacionales. Republica Bolibariana de Venezuela.

Mendioroz, S. (2010). Mercurio. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC. Cantoblanco. Madrid.

Mentaberry, A. (2011). Fitorremediación. Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina.

Pachas, V. (2013). Conflictos sociales en Madre de Dios.

Páez de Cásares, J. (2010). Informe preliminar sobre la introducción de 10 Ecotipos de vetiver (*Vetiveria zizanioides L.* y *Vetiveria nemoralis*) Introducidos a Venezuela. Profa. de Laboratorio de Propagación de Plantas. Unidad de Apoyo del Laboratorio de Cultivo de Tejidos y Área de Propagación Controlada, Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (UCV).

Porta, J.; López-Acevedo, M.; Roquero, C. (1999). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa.

Ráez, E (2013). Se duplicó área de bosques devastados por minería ilegal. Diario gestión.

Roongtanakiat, N; Tangruangkiat, S; Meesat, R. (2007). Utilization of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides L.*) for removal of heavy metals from industrial wastewaters in Sri Lanka. *Science Asia*.

Rosales, B; Sanchez, R; Solange, M. (2012). Estudio piloto para la recuperación del morro de Moravia: Fase I, Capítulo III, Flora, fitorremediación y fauna. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN. Colombia.

Ruiz, C. (2006). Desarrollo de un sistema de tratamiento para la remoción de flúor del agua mediante el uso de vetiver *Vetiveria zizanioides (L.) Nash.* en Guarataro, Yaracuy, Venezuela”. Postgrado Ingeniería Agrícola, Universidad Central de Venezuela.

Silva, F; Sanz, J. (2010). Tecnología industrial I. Editorial McGrawHill.

Stevens, P. (2001). Angiosperm Phylogeny.

Torres, D; Cumana, A; Torrealba, O; Posada, D. (2010). Uso del vetiver para la fitorremediación de cromo en lodos residuales de una tenería. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.

Vargas, C; Pérez-Esteban, J; Masaguer A; Moliner, A. (2013). Comportamiento de la Vetiveria (*Chrysopogon zizanioides* L. *Roberty*) como extractora de metales pesados en suelos contaminados.

Yufra, S. (2011). Identificación de macrófitas de uso con potencial fitorremediador de contaminación ambiental. Docente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Perú.

ANEXOS

ANEXO 1: FORMATO DE CAMPO.

| TRATAMIENTO | FECHA | SOBREVIVENCIA (PROPORCION) | PLANTAS CON BROTES | PLANTAS CON BROTES Y MACOLLOS | PLANTAS CON MACOLLOS | PESO HUMEDO | PESO SECO |
|-------------|-------|----------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|-------------|-----------|
| 1 | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |

ANEXO 2: FOTOGRAFIAS



Foto 1: Planta madre establecida en el vivero del IIAP, de donde se obtuvieron las plántulas utilizadas en la investigación.



Foto 2: Arena extraída de la zona minera (Huepetue), para el llenado de las bolsas del tratamiento 1.



Foto 3: Sustrato de arena y piedra extraída de la zona minera (Huepetue), para el llenado de las bolsas del tratamiento 2.



Foto 4: Plántulas de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. separadas aleatoriamente para los 4 diferentes tratamientos.



Foto 5: Medición de las plántulas de la especie *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. al inicio del experimento.



Foto 6: Poda de las plántulas al inicio del experimento (10cm).



Foto 7: Repique de las plántulas al primer día del experimento en sustrato arena.



Foto 8: Medición de las plántulas a las 24 horas de ser plantadas.



Foto 9: Primera fecha de evaluación, a los 15 días de su establecimiento en sustrato arena.



Foto 10: Primera fecha de evaluación, a los 15 días de su establecimiento en sustrato arena y piedra.



Foto 11: Primera fecha de evaluación, a los 15 días de su establecimiento en sustrato suelo común.



Foto 12: Primera fecha de evaluación, a los 15 días de su establecimiento en sustrato suelo preparado.



Foto 13: Segunda fecha de evaluación, a los 30 días de su establecimiento en sustrato arena.



Foto 14: Segunda fecha de evaluación, a los 30 días de su establecimiento en sustrato arena y piedras



Foto 15: Segunda fecha de evaluación, a los 30 días de su establecimiento en sustrato suelo común.



Foto 16: Segunda fecha de evaluación, a los 30 días de su establecimiento en sustrato suelo preparado.



Foto 17: Tercera fecha de evaluación, a los 45 días de su establecimiento en sustrato arena.



Foto 18: Tercera fecha de evaluación, a los 45 días de su establecimiento en sustrato arena y piedras.



Foto 19: Tercera fecha de evaluación, a los 45 días de su establecimiento en sustrato suelo común.



Foto 20: Tercera fecha de evaluación, a los 45 días de su establecimiento en sustrato suelo preparado.



Foto 21: Cuarta fecha de evaluación, a los 60 días de su establecimiento en sustrato arena.



Foto 22: Cuarta fecha de evaluación, a los 60 días de su establecimiento en sustrato arena y piedras



Foto 23: Cuarta fecha de evaluación, a los 60 días de su establecimiento en sustrato suelo común.



Foto 24: Cuarta fecha de evaluación, a los 60 días de su establecimiento en sustrato suelo preparado.



Foto 25: Plántulas de los 4 tratamientos al finalizar experimento



Foto 26: Plántulas seleccionadas aleatoriamente al final del experimento para la medición de la biomasa.



Foto 27: Obtención del peso húmedo de las plántulas.



Foto 28: Horno de secado.



Foto 29: Plántulas envueltas en papel craft para secado en horno.



Foto 30: Plántulas envueltas en papel craft dentro del horno para iniciar secado de 24 horas



Foto 31: Obtención del peso seco de las plántulas.