



**MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

CÓDIGO: AAAR113 02
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 1 de 7

FECHA Viernes, 1 de diciembre de 2017

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
BIBLIOTECA
GIRARDOT

UNIDAD REGIONAL

Seccional Girardot

TIPO DE DOCUMENTO

Trabajo De Grado

FACULTAD

Ciencias Agropecuarias

**NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN
O PROCESO**

Pregrado

PROGRAMA ACADÉMICO

Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
CAMPOS LOZANO	PAULA FERNANDA	1.026.580.352
LEÓN DIAZ	MILY YURANI	1.106.895.507

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APPELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
PRÍAS MÁRQUEZ	CÉSAR AUGUSTO

TÍTULO DEL DOCUMENTO

EVALUACIÓN DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) PARA LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO EROSIONADO EN LA FINCA EL LIMONAR, VEREDA ALTO DE LA PALMA, MELGAR (TOLIMA)

SUBTÍTULO

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO AMBIENTAL

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO

22/11/2017

NÚMERO DE PÁGINAS

51

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL

INGLÉS

1. Erosión	Erosion
2. Pasto Vetiver	Vetiver Grass
3. Compactación	Compaction
4. Humedad	Humidity
5. Fertilidad	Fertility
6. Suelo	Soil



RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Los suelos erosionados presentan afectaciones en su estructura, así como pérdida de su capa superficial, donde se encuentra la mayor cantidad de nutrientes que son aprovechados por las plantas para su crecimiento y productividad. Las coberturas vegetales son usadas para mitigar este tipo de impactos, ayudando en la recuperación de ciertas propiedades del suelo. Para evaluar el efecto de la implementación del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) sobre las características físicas y químicas de un suelo erosionado, se realizó un estudio experimental en la finca El Limonar, ubicada en zona rural del municipio de Melgar (Tolima). Las características químicas del suelo fueron determinadas al inicio de la etapa experimental (antes de la siembra de la cobertura vegetal) y al final de ésta (245 días después de la siembra). Se realizó la siembra de macollas en un terreno de 200 m². Al cabo de seis meses se dio inicio a las mediciones in situ de humedad y compactación del suelo, con el fin de monitorear cambios en las características físicas del sustrato. La implementación del Pasto Vetiver garantizó el mantenimiento de una estructura suelta en el suelo a lo largo del experimento, sin que fuese posible observar una variación en este parámetro. Por otra parte, no fue posible establecer cambios en la humedad del terreno debido a la influencia de factores climáticos. Finalmente se modificaron parámetros químicos en el suelo tales como el aumento de los niveles de saturación del Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca). Los resultados muestran que en el tiempo evaluado, el pasto vetiver consigue mejorar de forma sutil condiciones físicas y químicas del suelo, contribuyendo a la mejora y mantenimiento de su estructura.

The eroded soils present affectations in their structure, as well as the loss of their superficial layer, where the greatest amount of nutrients are found that are used by the plants for their growth and productivity. Plant coverings are used to mitigate this type of impact, helping in the recovery of certain soil properties. To evaluate the effect of the implementation of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) on the physical and chemical characteristics of an eroded soil, an experimental study was carried out on the El Limonar farm, located in the rural area of the municipality of Melgar (Tolima). The chemical characteristics of the soil were determined at the beginning of the experimental stage (before the planting of the vegetation cover) and at the end of it (245 days after sowing). The tillers were planted in a 200 m² plot. After six months, in situ measurements of humidity and soil compaction were started, in order to monitor changes in the physical characteristics of the substrate. The implementation of Vetiver Grass guaranteed the maintenance of a loose structure in the soil throughout the experiment, without it being possible to observe a variation in this parameter. On the other hand, it was not possible to establish changes in the humidity of the land due to the influence of climatic factors. Finally, chemical parameters in the soil were modified, such as the increase in saturation levels of Phosphorus (P), Potassium (K), and Calcium (Ca). The results show that in the time evaluated, vetiver grass subtly improves soil physical and chemical conditions, contributing to the improvement and maintenance of its structure.



AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)		SI	NO
1.	La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2.	La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3.	La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4.	La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites



autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ NO X__.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho



patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. EVALUACIÓN DEL PASTO VETIVER (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) PARA LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO EROSIONADO EN LA FINCA EL LIMONAR, VEREDA ALTO DE LA PALMA, MELGAR (TOLIMA)	Texto e imágenes
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
CAMPOS LOZANO PAULA FERNANDA	Paula Campos L
LEÓN DÍAZ MILY YURANI	Mily León

12.1.50
40146.

EVALUACIÓN DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) PARA LA ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO EROSIONADO EN LA FINCA EL LIMONAR, VEREDA ALTO DE LA PALMA, MELGAR (TOLIMA)

PAULA FERNANDA CAMPOS LOZANO

CÓDIGO: 363212152

MILY YURANI LEÓN DIAZ

CÓDIGO: 363211219

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director Trabajo de Grado

CÉSAR AUGUSTO PRÍAS MÁRQUEZ D.Sc.

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
GIRARDOT**

2017



DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios porque sin él no hubiese sido posible llevar a cabo este proyecto, reafirmando que él sabe cómo hace sus cosas, guiándonos y dándonos la oportunidad de ser madres durante el proceso de formación, para que estos pequeños sean nuestra motivación. A nuestros padres por el apoyo incansable y creer en nuestros sueños y así alcanzar este primer escalón como profesionales y por último a aquellos familiares y personas que siempre estuvieron ahí para nosotras.



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres JULIO CAMPOS y PILAR LOZANO que estuvieron presentes en todo el proceso de formación académica, apoyándome y motivándome para seguir adelante, a mis hijos ADRIÁN Y SOANNY SÁNCHEZ por ser el motor que impulsa mi vida, a mi hermano MAURICIO CAMPOS por brindarme su mano cuando más lo necesitaba y a todas las personas que estuvieron a mi lado en esta etapa. PAULA CAMPOS.

Doy profundas gracias a Dios porque todo es posible gracias a él. A mi mamá RUTH, porque su apoyo incansable fue fundamental para mí en este proceso, gracias a mi hija MARIA JOSÉ por sacar de mí lo mejor y ser mi motivación día a día, mil gracias abuelos EDUARDO Y LUZ porque siempre creyeron en su niña, gracias hermanitos CRISTIAN Y SOFI porque siempre me hicieron sentir como su orgullo, gracias RICARDO IZQUIERDO porque a pesar de las dificultades y problemas de alguna u otra manera me apoyaste, por último gracias a cada uno de mis familiares y amigos que aportaron su granito de arena para darme su apoyo y hoy poder cumplir esta meta que inicio hace algunos años con muchas expectativas. MILY LEÓN.

Damos gracias al profesor CÉSAR AGUSTO PRÍAS MÁRQUEZ por creer en nosotras y brindarnos su apoyo profesional, por acompañarnos durante la realización de este proyecto, a pesar de las dificultades nos mostró su apoyo y nos brindó herramientas para una mejora continua.

Agradecemos a los docentes ANDREA MENESSES Y DRIGELIO MORALES por el aporte de conocimiento ya que su experiencia profesional e intelectual es inigualable y muy significativa.



Por último, queremos agradecer al Laboratorio de Suelos de la Universidad de Cundinamarca, seccional Fusagasugá, en especial a la encargada, la señora Heliana por su amable atención y gestión y por el préstamo de los equipos necesarios para la colecta de los datos.



Notas de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

CONTENIDO

RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	14
Objetivos específicos.....	14
4. MARCO REFERENCIAL	15
4.3 Marco conceptual	23
4.4 Estado del arte	23
4.5 Marco legal.....	26
5. METODOLOGÍA.....	28
5.1 Determinación de la textura del suelo en campo.....	28
5.2 Siembra y mantenimiento de la cobertura vetiver	29
5.4 Análisis químicos en laboratorio.....	31
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1 Medición <i>in situ</i> de parámetros físicos.....	33
6.2 Análisis químicos en laboratorio.....	37
7. CONCLUSIONES.....	44
8. RECOMENDACIONES	45
9. REFERENCIAS.....	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Precipitación registrada para los años 2012-2013.....	16
Tabla 2. Uso actual de las tierras en el Municipio de Melgar.....	17
Tabla 3. Taxonomía del Pato Vetiver.....	18
Tabla 4. Funciones del suelo.....	20
Tabla 5. Normatividad sobre el recurso suelo.....	25
Tabla 6. Condiciones de humedad y temperatura registradas en el área tratada con <i>C. zizanioides</i> durante el 7° y el 8° mes después de la siembra.....	33
Tabla 7. Resistencia del suelo a la penetración durante el 7° y 8° mes después de la siembra de <i>C. zizanioides</i> (Promedio \pm desviación estándar).....	36
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos del suelo antes y después del tratamiento con <i>C. zizanioides</i>	38
Tabla 9. Cuantificación de los parámetros fisicoquímicos del suelo antes y después del tratamiento con <i>C. zizanioides</i>	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Finca el Limonar.....	15
Figura 2. Ubicación de la Estación Meteorológica la Granja la HDA.....	16
Figura 3. Área de estudio antes de la implementación del Pasto Vetiver.....	28
Figura 4. Procedimiento para la toma de la muestra, para determinación de la textura del suelo.....	29
Figura 5. Determinación de la textura del suelo teniendo en cuenta sus características organolépticas.....	29
Figura 6. A. Macollas del Macollas de pasto vetiver listas para sembrar. B. Macollas sembradas en el terreno.....	30
Figura 7. Toma de muestras de suelo para determinación de parámetros químicos en laboratorio.....	32
Figura 8. Variación de las condiciones físicas del suelo durante el 7° y el 8° mes después de la siembra.....	33
Figura 9. Resistencia del suelo a la penetración durante el 7° y 8° mes después de la siembra de <i>C. zizanioides</i> . Promedio de cinco mediciones.....	35
Figura 10. Nivel de los elementos en el suelo.....	43

RESUMEN

Los suelos erosionados presentan afectaciones en su estructura, así como pérdida de su capa superficial, donde se encuentra la mayor cantidad de nutrientes que son aprovechados por las plantas para su crecimiento y productividad. Las coberturas vegetales son usadas para mitigar este tipo de impactos, ayudando en la recuperación de ciertas propiedades del suelo. Para evaluar el efecto de la implementación del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) sobre las características físicas y químicas de un suelo erosionado, se realizó un estudio experimental en la finca El Limonar, ubicada en zona rural del municipio de Melgar (Tolima). Las características químicas del suelo fueron determinadas al inicio de la etapa experimental (antes de la siembra de la cobertura vegetal) y al final de ésta (245 días después de la siembra). Se realizó la siembra de macollas en un terreno de 200 m². Al cabo de seis meses se dio inicio a las mediciones *in situ* de humedad y compactación del suelo, con el fin de monitorear cambios en las características físicas del sustrato. La implementación del Pasto Vetiver garantizó el mantenimiento de una estructura suelta en el suelo a lo largo del experimento, sin que fuese posible observar una variación en este parámetro. Por otra parte, no fue posible establecer cambios en la humedad del terreno debido a la influencia de factores climáticos. Finalmente se modificaron parámetros químicos en el suelo tales como el aumento de los niveles de saturación del Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca). Los resultados muestran que en el tiempo evaluado, el pasto vetiver consigue mejorar de forma sutil condiciones físicas y químicas del suelo, contribuyendo a la mejora y mantenimiento de su estructura.

Palabras Claves: Erosión, pasto vetiver, compactación, humedad, fertilidad.

INTRODUCCIÓN

La erosión de los suelos es una problemática significativa, debido a que es un factor determinante en la fertilidad y por tanto en la sostenibilidad de las zonas agrícolas. Prado & Veiga (1993) afirman que “la degradación del suelo a consecuencia de la erosión, en última instancia provoca la reducción de la productividad del suelo, con reflejos sobre la producción de los cultivos” (p. 2). El crecimiento y rendimiento de los cultivos está condicionado por los parámetros físicos y químicos del suelo debido a que estos son los que determinan el desarrollo de la raíz y su capacidad de sostenimiento.

De acuerdo con el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio (COASOTOLIMA LTDA, 2000), los suelos presentes en la región de Melgar, Tolima se caracterizan por ser inclinados, poco permeables y de primera calidad para la agricultura. Estos suelos a través de los años se han visto afectados debido a las constantes perturbaciones antrópicas y naturales. Esta zona es considerada como alta amenaza debido a los principales fenómenos de remoción en masa que se presentan con deslizamientos rotacionales, solifluxión líquida y plástica, flujos de lodo, desprendimientos y desplomes, que ocasionan erosión hídrica superficial en surcos y cárcavas (CDIM-ESAP, 2007).

“Las malas prácticas agropecuarias y la falta de un esquema de planeación en las dinámicas del uso del suelo hacen que los terrenos sean más vulnerables a padecer de los estragos de los fenómenos naturales” (IGAC, 2015) Al realizar un solo tipo de cultivo en sus tierras generan un desequilibrio en los componentes nutricionales del suelo.

El uso del Pasto Vetiver se ha convertido en una alternativa de recuperación natural, que se ha extendido por diversas partes del mundo debido a su efectividad para la estabilización de los suelos y de sus propiedades físicas y químicas (Grimshaw, 1996).



Teniendo en cuenta la problemática ambiental por erosión del suelo, presente en el Municipio de Melgar, se hace necesaria la búsqueda de mecanismos sustentables para el control y mitigación de la erosión a través de la recuperación de la cobertura vegetal. De allí surge la idea de este proyecto, que consiste en la evaluación de la efectividad del Pasto Vetiver para la recuperación de las propiedades físicas y químicas de un suelo afectado por erosión en la finca el Limonar, Vereda Alto de la Palma, Municipio de Melgar, Tolima.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A través del tiempo el uso excesivo del suelo, ha dejado su huella, afectando en su mayor parte la fertilidad y la capacidad de este para producir cultivos, especialmente en este sector de la Vereda Alto de la palma, que hoy en día presenta zonas áridas, pantanosas y poco fértiles para la agricultura. A pesar de que esta afirmación es de conocimiento general, se ha podido observar el empeoramiento de la calidad de vida de la población que allí habita, como consecuencia de su baja productividad agrícola, que repercute en su sostenibilidad económica. Teniendo como referencia que en la población rural del sector oriental de Melgar (Tolima), la calidad de los suelos era relativamente buena y, por consiguiente, la producción agrícola era una de las fuentes económicas más importantes para el municipio (Delgado, Ulloa, & Ramírez, 2015).

Según Díaz (2011), el deterioro progresivo evidenciado en los suelos colombianos, se debe a los fenómenos de erosión y remoción de masas que son generados por la erosión física y química, y por los efectos negativos que trae el cambio climático, la sedimentación en las fuentes hídricas, la extracción de minerales, la deforestación, entre otros.

Con base en los planteamientos anteriores, se desea saber si el Pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) puede contribuir en el proceso de recuperación de las condiciones físicas y químicas de un suelo erosionado en la finca El Limonar, ubicada en la vereda Alto de la Palma, municipio de Melgar (Tolima).

2. JUSTIFICACIÓN

La erosión de un suelo se puede presentar como un fenómeno natural (hídrico y eólico) y en otras ocasiones como un fenómeno provocado por acción del hombre sobre todo la deforestación, otra manera de contribuir a la erosión de un suelo es la actividad de exploración sísmica debido a que esta genera grandes efectos negativos como lo son la pérdida de acuíferos y fertilidad del suelo.

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una gramínea que se ha mostrado útil en bioingeniería, como barrera cortavientos y como herramienta para la estabilización de taludes en varios países alrededor del mundo (Herrera Passos , 2015); además presenta características importantes que le otorga resistencia al pastoreo, a la sequía, a las inundaciones, a las altas y bajas temperaturas y a un alto rango de pH (Mora Charry & Torrente Trujillo , 2015, p. 02)

El presente trabajo busca evaluar este pasto como una alternativa de cobertura verde que recupere algunas condiciones fisicoquímicas del suelo, de modo que se puede integrar a las actividades económicas de la finca.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar la eficacia del Pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la recuperación de las condiciones físicas y químicas del suelo erosionado en la finca el Limonar, vereda Alto de la Palma, municipio de Melgar (Tolima).

Objetivos específicos

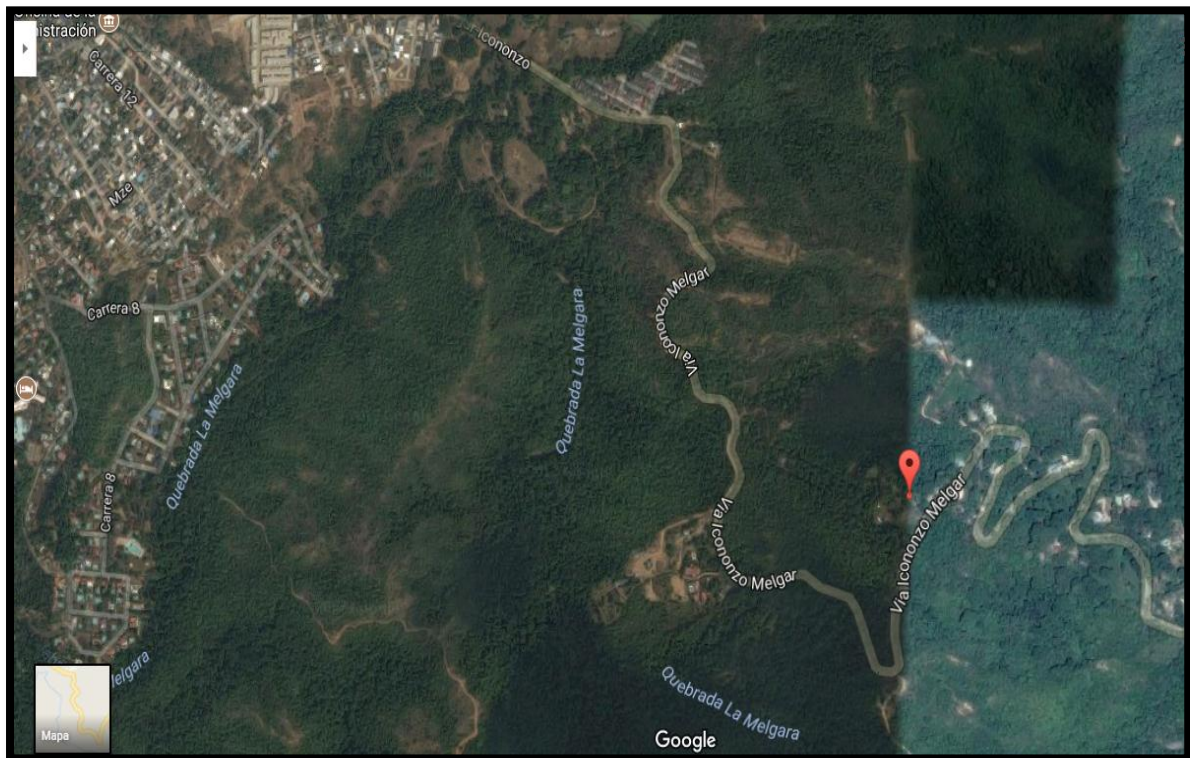
- Analizar el efecto del tratamiento de cobertura con *C. zizanioides* sobre las condiciones de humedad y compactación del suelo.
- Analizar los cambios en la composición fisicoquímica del suelo, producidos después del tratamiento de cobertura con *C. zizanioides*.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Marco geográfico

La finca El limonar (Figura 1) está ubicada en la vereda Alto de la Palma, a 4 Km al Suroriente de la cabecera municipal del municipio de Melgar, en el departamento del Tolima, a $4^{\circ}11'49.1''N$ $74^{\circ}36'37.2''W$. Abarca 6,2 hectáreas, limitando al Norte con el departamento de Cundinamarca, al Este con el municipio de Icononzo, al Sur con el municipio de Cunday y al Suroeste con el municipio de Carmen de Apicalá.

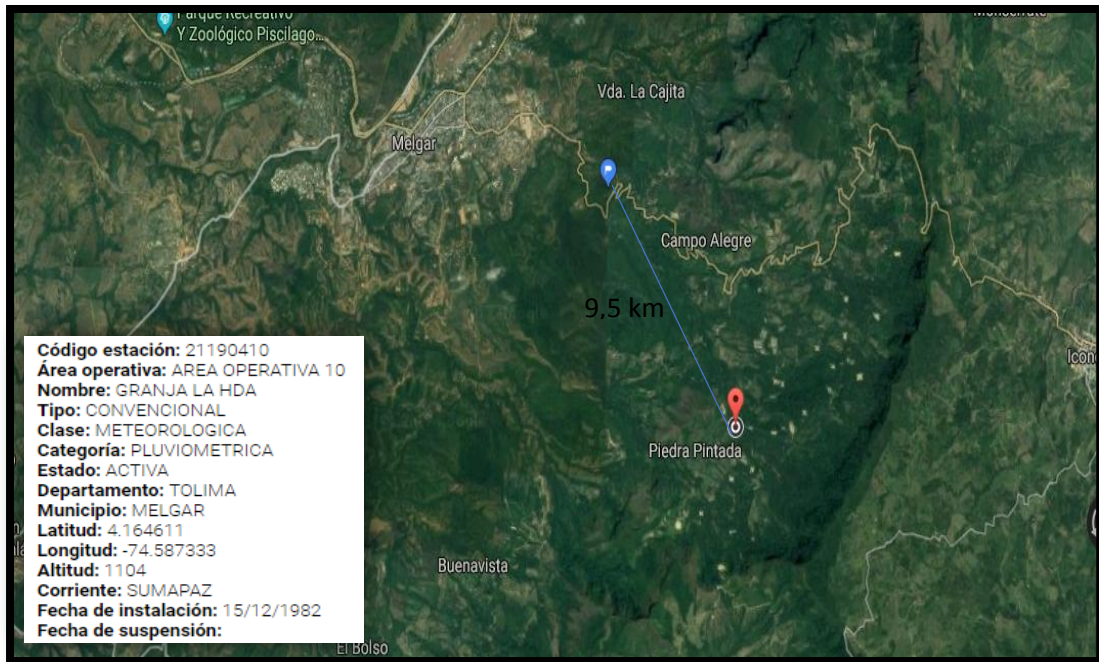
Figura 1. Ubicación Finca el Limonar



Fuente: GOOGLE MAPS, 2017

Clima

El Municipio de Melgar está a una altura de 323 msnm, y temperatura promedio de $33^{\circ}C$. La estación meteorológica activa más cercana a la Finca El Limonar se encuentra ubicada en la corriente del Sumapaz a 9,5 Km de la finca (Figura 2).

Figura 2. Ubicación de la Estación Meteorológica la Granja la HDA


Fuente: Adaptado GOOGLE MAPS, 2017

En la tabla 1. Se muestra la precipitación registrada para los años 2012 y 2013 en el Municipio de Melgar, Tolima por la estación Granja La HDA.

Tabla 1. Precipitación registrada para los años 2012-2013

MESES	2012	2013
ENERO	121.6	131.3
FEBRERO	153.5	185.9
MARZO	23.4	196.2
ABRIL	172.5	175.0
MAYO	91.0	331.0
JUNIO	28.0	14.0
JULIO	72.2	24.0
AGOSTO	45.9	13.0
SEPTIEMBRE	91.7	108.0
OCTUBRE	26.1	114.0
NOVIEMBRE	344.2	309.5
DICIEMBRE	207.2	97.0
TOTALES	1.377.8	1.698.9

Fuente: IDEAM, 2017

Uso y Aptitud del Suelo

Los suelos presentes en el Municipio de Melgar-Tolima poseen tres principales actividades:

- Tierras de uso agrícola: Zonas planas a ligeramente onduladas de clima cálido donde sembraban maíz, algunos árboles frutales, yuca, plátano y condiciones ecológicas propicias para el establecimiento de cultivos de café tecnificado.
- Tierras con pastos: Corresponde a zonas con coberturas de pastos manejados o establecidos por el hombre que practica alguna labor cultural con el fin de utilizarlo en el pastoreo y obtener mayor capacidad de carga
- Tierras con bosques: constituye la vegetación arbórea mixta que ocupa principalmente la zona sur andina alta de poca accesibilidad que presenta algún valor comercial y realiza funciones de protección y conservación de agua y suelo. (CDIM-ESAP, 2007)

Tabla 2. Uso actual de las tierras en el Municipio de Melgar.

ACTIVIDADES	ÁREA (ha)
TOTAL	20.051
Áreas donde se cultiva arroz 2 o 3 cosechas al año (disponibilidad de riego)	157
Áreas donde se cultiva arroz una vez al año y se realiza rotación con otros cultivos	97
Arroz con cultivo sin riego: sorgo, maíz, pastos, tabaco, yuca, plátano y frutales	51
Áreas donde predomina el cultivo de café	1332
Pastos artificiales	1292
Pastos manejados	1819
Pastos naturales	64
Pastos naturales enmalezados con alto grado de erosión	806
Rastrojo	13181
Bosques naturales	231
Áreas con diferente grado de erosión, sin uso agropecuario	960
Urbano	59

Fuente: (CDIM-ESAP, 2007)

4.2 Marco teórico

Pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

Chrysopogon zizanioides (L) Roberty, conocida como pasto Vetiver, es una planta perenne nativa de la India, perteneciente a la familia de las gramíneas (Poaceae) (VetiverCol, 2015). Esta planta presenta alta adaptabilidad a diferentes tipos de suelos y climas, siendo cultivada en más de cien países, principalmente en regiones tropicales (Rodríguez Pupo, Rebolledo Peña & Escalona Fernández, 2015; Adams y Dafforn, 1997)

Tabla 3. Taxonomía del Pasto Vetiver

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Subclase: Liliidae
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Subfamilia: Panicoideae
Tribu: Andropogoneae
Subtribu: Andropogoninae
Género: <i>Chrysopogon</i>
Especie: <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L) Roberty

Fuente: (Herrera Pasos, 2016, p. 26)

La red de sus raíces aumenta la resistencia del suelo a la erosión porque las raíces aumentan la resistencia al corte del suelo por 30 - 40%. Su follaje es erecto, alto, abundante e igualmente fuerte; siendo capaz, cuando se establecen barreras con él, de soportar láminas de agua de inundación de hasta 80 cm y reducir su velocidad casi a cero; a la vez que retiene los sedimentos. Es una planta asexual, es decir, sus semillas no son fértiles, y por ende no hay riesgo de que se convierta en maleza. Una vez establecido tolera condiciones extremas de sequías, inundaciones, quema (rebrot a la semana), temperatura (-14° C a 46° C), altitud (0 hasta 2800 m) y pH (3 a 12,5); además se adapta suelos sódicos, salinos o alcalinos y a suelos y aguas con presencia de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, manganeso, mercurio, níquel, selenio y zinc (Troung, 2017). En condiciones buenas, el sistema radical puede crecer hasta una profundidad de 5 metros, y bajo la superficie del suelo



se forma una barrera en raíces que permite que los suelos se estabilicen debido al amarre que el Pasto Vetiver le aporta a los suelos en laderas, jarillones y taludes de carreteras. Las raíces penetrarán hasta la capa "C" y adentro la roca podrida (saprolite), y crecen en rajaduras en la roca lo podrida (VetiverCol, 2015).

Ventajas y desventajas del Sistema Vetiver (SV)

Ventajas:

El vetiver se ha convertido en una gran alternativa para la conservación de los suelos, la prevención de desastres naturales por deslizamientos, la restauración y la protección del ambiente, la retención de la humedad del suelo, la biorremediación y la bioingeniería. La mayor ventaja que posee es el bajo costo de instalación como de mantenimiento y es una manera natural, y ambientalmente amigable para controlar la erosión

Desventajas:

La principal desventaja de las aplicaciones del Pasto Vetiver es su intolerancia a condiciones de sombra ya que afectan su crecimiento, así como El Sistema Vetiver es efectivo sólo cuando las plantas están bien establecidas. Una planificación efectiva debe considerar un período de establecimiento de 2-3 meses en clima cálido y 4-6 meses en tiempos de clima frío. Para evitar retrasos, la siembra puede hacerse plantando con antelación, en la época seca si se dispone de riego. Las barreras de Vetiver son efectivas plenamente sólo cuando forman una barrera densa. Los huecos entre plantas deben ser replantados a tiempo. (VetiverCol, 2015)

Suelo

El suelo está compuesto por una parte inorgánica y una parte orgánica, es un medio poroso estructurado, biológicamente activo, que posee características físicas como lo son : la textura,

la estructura, la porosidad, la aireación, el color, entre otras; también posee características químicas como: pH, régimen de humedad, conductividad eléctrica; que nos permiten analizar las características y propiedades del suelo para reconocer los factores que intervienen en su baja y alta productividad, respectivamente.

Existen espacios en el suelo que son ocupados por agua y aire. La distribución y tamaño de los poros es importante ya que si se presenta una excesiva cantidad de poros pequeños origina suelos compactos, pesados, húmedos y un pobre crecimiento de las raíces. Por el contrario, los poros grandes forman suelos sueltos que se secan rápidamente. Cuando más pequeño es el poro, más difícil es para la planta absorber agua de él (FAO, 2017).

La materia orgánica y los microorganismos aportan y liberan los nutrientes y unen las partículas minerales entre sí. De esta manera, crean las condiciones para que las plantas respiren, absorban agua y nutrientes y desarrollen sus raíces. Lombrices, bacterias y hongos también producen humus, que es una forma estable de materia orgánica. El humus retiene agua y nutrientes y ayuda a prevenir la erosión (FAO, 2017)

Tabla 4. Funciones del suelo

Producción de biomasa	Producción de alimentos, fibra, biodiesel, madera, entre otros.
Interacción ambiental	Almacena, filtra y transforma nutrientes, sustancias y agua. Por ejemplo, almacena carbono, el agua y nutrientes disponibles para las plantas, biodegrada o retiene contaminantes.
Hábitat biológico y reserva genética	Contiene una amplia diversidad de organismos que participan en los ciclos de nutrientes, contribuyen a la estabilidad estructural, a contrarrestar los efectos de patógenos y contaminantes químicos.
Soporte físico	Sirve de base para el desarrollo urbano y otras actividades humanas incluidas las lúdicas
Fuente de materiales y sustancias	Contiene la arena, grava, caliche y otros materiales usados por el hombre
Archivo patrimonial y cultural	Conserva los restos arqueológicos que sirven para evaluar modelos de asentamientos humanos. Engloba rasgos que evidencian cambios en el paisaje, el uso del territorio o el clima.

Fuente: Adaptado de (BADÍA VILLAS, 2016)

Textura del suelo

Es la proporción en la que se encuentran los diferentes componentes (arenas, limo y arcilla) del suelo. Esto tiene que ver con aquellos procesos que el suelo realiza como almacenamiento de agua, la fertilidad, el drenaje, entre otros.

De acuerdo con la (FAO, 2017), el tamaño de las partículas minerales que forman el suelo determina sus propiedades físicas: textura, estructura, capacidad de drenaje del agua, aireación. Los gránulos son más grandes en los suelos arenosos. Estos son sueltos y se trabajan con facilidad, pero los surcos se desmoronan y el agua se infiltra rápidamente. Tienen pocas reservas de nutrientes aprovechables por las plantas.

Los suelos limosos tienen gránulos de tamaño intermedio, son pesados y con pocos nutrientes. Por último, los suelos arcillosos están formados por partículas muy pequeñas. Son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Al secarse se endurecen y forman terrones. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos (FAO, 2017).

Composición Química del Suelo.

La composición química de los suelos afecta la manera en la que los nutrientes circulan a través de sus entornos, lo que determina la fuerza general para el crecimiento de la planta. La composición química depende de la acidez, la estructura del suelo y las actividades químicas que suceden entre los suelos y las formas de vida de la planta (Jeanty, 2013)

Componentes del suelo

Los componentes que influyen sobre el suelo son la fracción mineral que se trata de la descomposición de la roca madre o el material de origen de la roca, y la fracción orgánica que es la descomposición de animales o vegetales.

Fertilidad del suelo.

Es la capacidad de éste para mantener una cubierta vegetal. En la fertilidad intervienen todas las características del suelo, sean físicas, físico-químicas o químicas (Universidad de Extremadura, 2004). Hace referencia a los nutrientes que se requieren de manera idónea para la productividad agrícola

Niveles de pH del Suelo.

El pH del suelo tiene que ver con los niveles de ácido y la sal presentes en el mismo. Los factores que influyen en los niveles de pH son los tipos de minerales presentes, la composición química de la lluvia que penetra en el suelo y los tipos de plantas que crecen en el mismo. El agua de lluvia lleva los gases atmosféricos, como el dióxido de carbono, al medio ambiente del suelo. Mientras mayor es el contenido de carbono de un suelo, más ácido es su nivel de pH. Las plantas también pueden aumentar el contenido de ácido del suelo a través de sus raíces en la forma de hidrógeno. La descarga de las moléculas de hidrógeno de las raíces de las plantas como resultado de intercambios químicos tiene lugar entre las raíces y el suelo. En efecto, el nivel de pH del suelo puede ayudar o entorpecer el crecimiento de plantas en función de su tipo. A su vez, los tipos de plantas pueden afectar los procesos químicos que ocurren en el suelo (Jeanty, 2013).

Erosión del suelo

La erosión de los suelos es la pérdida físico-mecánica del suelo, que afecta las funciones de éste y a su vez los servicios ecosistémicos, que produce, la reducción de la capacidad productiva de los mismos. En general, existen dos tipos de erosión: la hídrica y la eólica. La erosión hídrica es causada por la acción del agua (lluvia, ríos y mares), en las zonas de ladera, cuando el suelo está desnudo (sin cobertura vegetal). En estos casos las gotas de lluvia o el riego, ayudadas por la fuerza gravitacional, arrastran las partículas formando zanjas o cárcavas, e incluso causando movimientos en masa en los cuales se desplaza un gran volumen de suelo. Por otra parte, la erosión eólica es causada por el viento que levanta y



transporta las partículas del suelo, produciendo acumulaciones (dunas o médanos) y torbellinos de polvo. No solamente se erosionan los suelos, sino con ellos se pierden los nutrientes, la materia orgánica, la retención de humedad, la profundidad de los suelos, se disminuye la productividad, lo cual conllevan a la pobreza, la violencia y el desarraigo de la tierra (IDEAM, 2004).

4.3 Marco conceptual

Bioingeniería: Es una disciplina de la ingeniería que utiliza procedimientos por medio de material vivo para la restauración ambiental.

Conductividad eléctrica: Parámetro fisicoquímico de suelo que mide la salinidad de este.

Erodabilidad: Es el grado de susceptibilidad del suelo a ser erosionado por agentes externos.

Erosionabilidad: Hace referencia a la resistencia del suelo a ser erosionado.

Fertilidad agrícola: La capacidad que posee el suelo para proporcionar nutrientes que estimulan el crecimiento de las plantas.

Materia orgánica: En suelo, se refiere a toda la descomposición química de las heces de los animales, de la degradación de plantas y hojarasca, por la actuación directa de microorganismos.

Sostenibilidad: Acción de mantener algo por un largo tiempo, satisfaciendo las necesidades desde el ámbito sociocultural, ambiental y económico.

4.4 Estado del arte

El vetiver a través de los años ha evolucionado en cuanto a su uso, desde una planta de tierras de cultivo promovida para la conservación del suelo y el agua a principios de los 80;

Greenfield (1986), apoyado por el Banco Mundial, introduce la tecnología Vetiver mediante proyectos para el manejo de agua y conservación de suelo, el mismo autor en 1987 se publicó un Manual “Pasto Vetiver –el seto contra la erosión” en donde se le atribuye la eficacia para combatir la erosión, esto hizo que se difundiera su conocimiento y su uso hacia una importante herramienta de bioingeniería del suelo desde finales de los años 90 hasta la actualidad. Smyle (1999) señala las características del vetiver como una planta contra la erosión para ser utilizada en la conservación de suelos y agua, en estabilización y protección de infraestructuras. En un estudio realizado en Malasia, Kon & Lim (1991), encontraron que, en comparación con el suelo desnudo, el sistema vetiver fue capaz de controlar la escorrentía y la erosión total del suelo (pérdida de suelo) con 73 y 98 % de reducción, respectivamente. El programa Uso del Pasto Vetiver, durante mucho tiempo desconocido e ignorado, comenzó a ganar prominencia de aceptación debido a la fuerte promoción del Banco mundial, principalmente en el sector agrícola con historias de éxito reportadas.

Hengchaovanich (2004) en su estudio llamado “Vetiver System for Slope Stabilization” pudo determinar que el Pasto Vetiver ayuda en el diseño de estabilización de canales y en el control de erosión por inundaciones, al pasar de los años el vetiver se convierte en una herramienta importante para la bioingeniería, y abre a su paso a varias investigaciones científicas para comprobar su eficacia para el control de laderas y erosión del suelo.

Gracias a las pruebas de referencia de Hengchaovanich, sobre la resistencia a la tracción de la raíz del pasto vetiver, este ha traído consigo nuevos usos. Se han llevado a cabo estudios con algunos éxitos, en ambientes salinos muy hostiles con problemas de oleaje, aunque aún queda mucho trabajo por hacer para refinar su eficacia. Sanguankaeo, Chaisintarakul & Veerapunth (2003) describen la experiencia del Departamento de Carreteras de Tailandia en la implementación del Pasto Vetiver, trabajos de protección en carreteras montañosas en el

norte, noreste y sur de Tailandia. En comparación con muchos países, Malasia ha dado un buen paso en el uso de pasto vetiver para el control de la erosión y la estabilización de taludes en la ingeniería de carreteras, impulsado por la necesidad provocada por las condiciones climáticas adversas y por la naturaleza de sus suelos residuales altamente erosionables.

Mora & Torrente (2015) establecieron una serie de medidas de prevención de la erosión en un área protegida, para reducir la pérdida de suelo, por efecto de la erosión hídrica y eólica y con ello estabilizar los taludes. Se planteó la recuperación mediante siembra de especies vegetales adaptables al clima de extrema sequía, que por sus condiciones permitieran su recuperación natural, seleccionándose para este fin el pasto Vetiver; además, se plantearon soluciones alternas para reducir la erosión

En el año 2013, Vargas, Pérez-Esteban, Masaguer & Moliner, realizaron un estudio en el que se evaluó el comportamiento de *C. zizanioides* como extractora de metales pesados en suelos contaminados, de dos regiones mineras de España. Las plantas presentaron dificultad para desarrollarse en los suelos con elevado contenido en metales, pero presentaron un buen desarrollo en un suelo cuyo abandono de la actividad minera databa de más de cien años.

Ruiz, Bravo, & Loaeza (2001), evaluaron el potencial que tienen la labranza de conservación y las barreras vivas para reducir la erosión del suelo en regiones de agricultura tradicional del estado de Oaxaca (México) en los sistemas de agricultura de ladera y de roza-tumba-quema, utilizando distintas especies con potencial para barrera viva. Se comprobó la eficacia del pasto vetiver, estableciéndose bien entre 1.700 y 2.000 m de altitud.

4.5 Marco legal

Tabla 5. Normatividad sobre el recurso suelo.

<p>Ley 23 de 1973</p>	<p>Principios fundamentales sobre prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo.</p> <p>Se otorgaron facultades al presidente de la república para expedir el código de los recursos naturales.</p>
<p>Decreto 2811 de 1974 (Código nacional de los recursos naturales renovables y no renovables y de protección al medio ambiente)</p> <p>Parte VII (De la tierra y los suelos)</p>	<p>Artículo 178 - Los suelos del territorio Nacional deberán usarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos.</p> <p>Artículo 179 - El aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora.</p> <p>Artículo 180 - Es deber de todos los habitantes de la República colaborar con las autoridades en la conservación y en el manejo adecuado de los suelos.</p> <p>Artículo 182 - Estarán sujetos a adecuación y restauración los suelos que se encuentren en alguna de las siguientes circunstancias:</p> <ul style="list-style-type: none"> a - Inexplotación si, en especiales condiciones de manejo, se pueden poner en utilización económica; b - Aplicación inadecuada que interfiera la estabilidad del ambiente; c - Sujeción a limitaciones físico-químicas o biológicas que afecten la productividad del suelo; d - Explotación inadecuada. <p>Artículo 183 - Los proyectos de adecuación o restauración de suelos deberán fundamentarse en estudios técnicos de los cuales se induzca que no hay deterioro para los ecosistemas. Dichos proyectos requerirán aprobación.</p> <p>Artículo 184 - Los terrenos con pendiente superior a la que se determine de acuerdo con las características de la región deberán mantenerse bajo cobertura vegetal.</p> <p>Artículo 185 - A las actividades mineras, de construcción, ejecución de obras de ingeniería, excavaciones, u otras similares, precederán estudios ecológicos y se adelantarán según las</p>

normas, sobre protección y conservación de suelos.

Artículo 186 - Salvo autorización y siempre con la obligación de reemplazarla adecuada e inmediatamente, no podrá destruirse la vegetación natural de los taludes de las vías de comunicación o de canales, ya los dominen o estén situados por debajo de ellos.

Artículo 1 - Objetivos. Este Código tiene como objetivos: fomentar la exploración del territorio nacional y de los espacios marítimos jurisdiccionales, en orden a establecer la existencia de minerales; a facilitar su racional explotación; a que con ellos se atiendan las necesidades de la demanda; a crear oportunidades de empleo en las actividades mineras; a estimular la inversión en esta industria y a promover el desarrollo de las regiones donde se adelante.

**Decreto 2655 de
1988**

Artículo 3 - Propiedades de los recursos naturales no renovables. De conformidad con la Constitución Política, todos los recursos naturales no renovables del suelo y del subsuelo pertenecen a la Nación en forma inalienable e imprescriptible. En ejercicio de esa propiedad, podrá explorarlos y explotarlos directamente a través de organismos descentralizados, o conferir a los particulares el derecho de hacerlo, o reservarlos temporalmente por razones de interés público, todo de acuerdo con las disposiciones de este Código.

Artículo 18 - Exploraciones por métodos de subsuelo. La exploración técnica por métodos de subsuelo es la que se realiza mediante trabajos de excavación de apliques, apertura de trincheras y galerías, sondeos con taladros, mecánicos o manuales y otras operaciones de similar detalle, alcance y profundidad.

Ley 388 de 1997

**CAPITULO IV
(Clasificación del
suelo)**

Artículo 30 - Clases de suelo. Los planes de ordenamiento territorial clasificarán el territorio de los municipios y distritos en suelo urbano, rural y de expansión urbana.

Artículo 33 - Suelo rural. Constituyen esta categoría los terrenos no aptos para el uso urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas.

5. METODOLOGÍA

Para el presente estudio se definió un área de 200 m² dentro de la finca El Limonar. Como se puede observar en la Figura 3 el área presentaba las siguientes características: ausencia de vegetación, pendiente, poca permeabilidad e infertilidad del suelo.

Figura 3. Área de estudio antes de la implementación del Pasto Vetiver



Fuente: Autoras, 2017

5.1 Determinación de la textura del suelo en campo

Para la determinación de la textura del suelo antes de la siembra se realizó una prueba organoléptica (método del tacto) tomando una muestra cómo se detalla en la Figura 4 y determinando la textura de forma cualitativa, como se muestra en la Figura 5 esta propiedad depende de los tamaños de las partículas minerales y la proporción relativa de los grupos (arena, limos y arcillas) que varían considerablemente entre un suelo y otro.

Figura 4. Procedimiento para la toma de la muestra, para determinación de la textura del suelo.

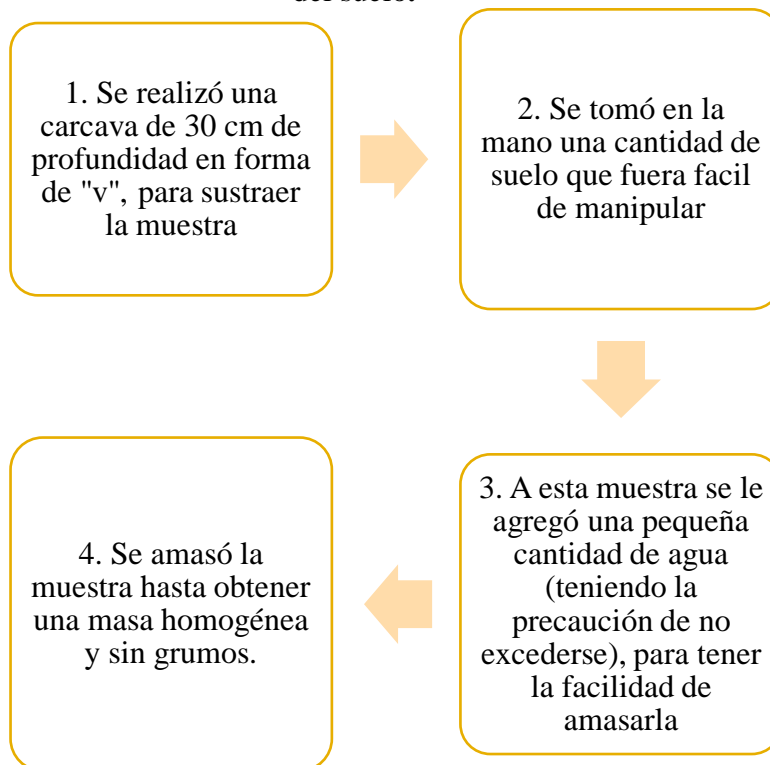
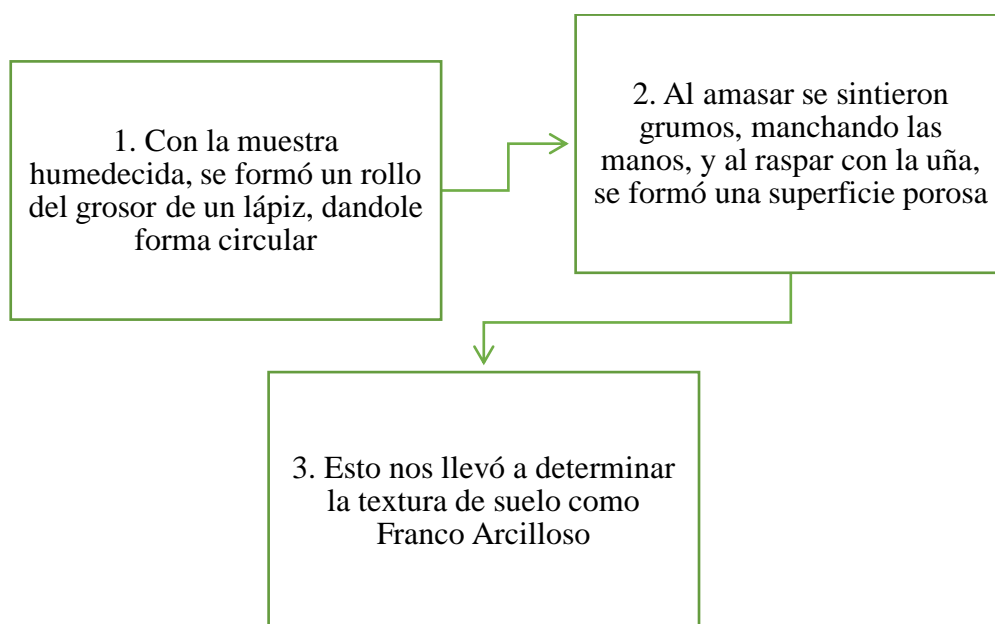


Figura 5. Determinación de la textura del suelo teniendo en cuenta sus características organolépticas.



5.2 Siembra y mantenimiento de la cobertura vetiver

Ocho (8) días después de realizado el muestreo de suelo, se realizó la siembra de pasto vetiver en el área seleccionada (Figura 6). Se hicieron 50 socavones de 2 cm de profundidad para poner las macollas con una distancia de 10 cm entre cada una; el riego se realizó diariamente por manguera en horas de la noche. Los días en que hubo precipitación, no se realizó riego.

Figura 6. A. Macollas de pasto vetiver listas para sembrar. Fuente: Vetivercol (2017). **B.** Macollas sembradas en el terreno. Fuente: Autoras.



Tres meses después de la siembra, se realizó fertilización con abono orgánico mezclado con la tierra que allí se encontraba, se mezcló y se aplicó a cada una de las plantas sembradas

5.3 Medición *in situ* de parámetros físicos

Seis meses después de la siembra, se dio inicio a las mediciones *in situ* con el fin de monitorear cambios en las características físicas del suelo. Se tomaron cinco puntos de muestreo distribuidos en la zona de estudio y en cada punto se realizaron diariamente mediciones de temperatura y humedad con la ayuda de un termohigrómetro BRIXCO, durante el séptimo y octavo mes después de la siembra. En los mismos puntos, se monitoreó diariamente, durante esos dos meses, la compactación del suelo a través de un penetrómetro GEOTESTER, utilizando una punta de 25 mm, de acuerdo a la indicación del manual para suelos franco arcilloso. Durante los días de muestreo se realizó también un registro de las condiciones meteorológicas (sol/luvia), con el fin de establecer alguna posible correlación de los parámetros monitoreados, con el tiempo meteorológico.

5.4 Análisis químicos en laboratorio

Las características químicas del suelo fueron determinadas en dos momentos: al inicio de la etapa experimental (antes de la siembra de la cobertura vegetal) y al final de esta (245 días después de la siembra).

Antes de realizar la siembra, se tomaron dos muestras de suelo (Figura 7) en lugares diferentes dentro del área destinada a este propósito, siguiendo las indicaciones de CORPOICA en su Guía de Toma de Muestras: en los lugares, seleccionados de forma aleatoria, se limpió la superficie con pala, quitando el material vegetal y otros materiales presentes; se definió la profundidad de muestreo a 20 cm y se tomaron las muestras de la pared del hoyo utilizando guantes; las muestras (1 Kg por punto) se empacaron en bolsas de plástico y, posteriormente, se enviaron a CORPOICA para el respectivo análisis. Se determinaron los siguientes parámetros en las muestras: pH (método VC R 004 versión 2), conductividad eléctrica (NTC 5596:2008), materia orgánica (Walkey & Black), fósforo

disponible (NTC 5350:2005), acidez intercambiable (KCl), aluminio intercambiable (KCl), calcio intercambiable (NTC 5349:2008), magnesio intercambiable (NTC 5349:2008), potasio intercambiable (NTC 5349:2008), sodio intercambiable (NTC 5349:2008) y capacidad de intercambio catiónico (suma de cationes). A partir de esos datos se determinaron también parámetros de saturación de bases (calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio) y de relaciones iónicas (Ca/Mg, Ca+Mg/K y Mg/K).

Figura 7. Toma de muestras de suelo para determinación de parámetros químicos en laboratorio.



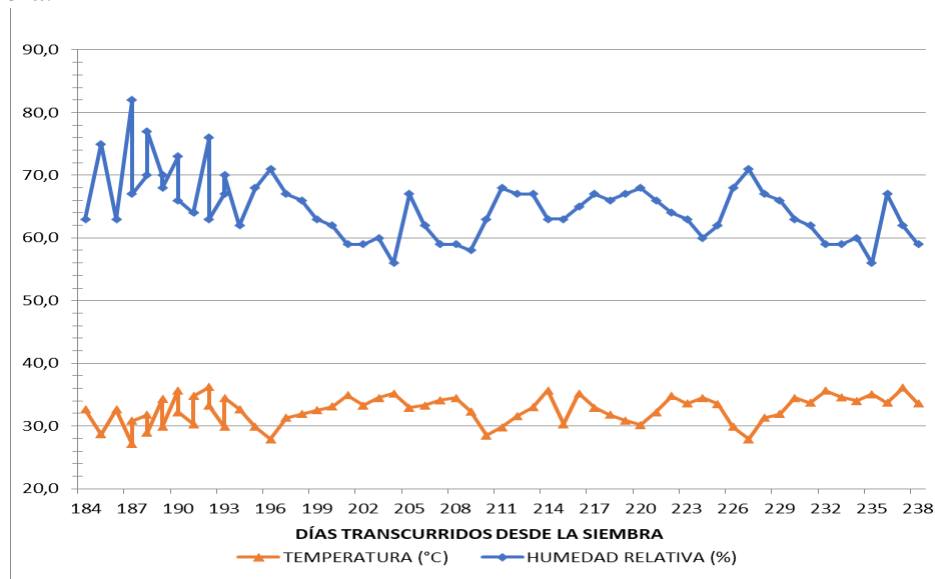
Fuente: Autoras, 2017

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Medición *in situ* de parámetros físicos

Como se observa en la Figura 8, los registros de humedad y temperatura del suelo no mostraron ninguna tendencia clara durante los dos meses de registro, por lo cual no puede atribuirse ningún efecto sobre la retención hídrica del suelo, al uso del pasto como cobertura.

Figura 8. Variación de las condiciones físicas del suelo durante el 7° y el 8° mes después de la siembra.



El registro de humedad relativa más bajo (56 %), así como la temperatura más alta (36,2 °C) se presentaron en un día soleado; de igual forma, la temperatura más baja registrada (27,1 °C) coincidió con el registro de humedad más alto (82 %) en un día lluvioso. Este patrón parece repetirse al observar los valores, máximos y mínimos, así como las medidas de tendencia central registradas para estas variables (Tabla 6).

Tabla 6. Condiciones de humedad y temperatura registradas en el área tratada con *C. zizanioides* durante el 7° y el 8° mes después de la siembra.

CONDICIONES METEOROLÓGICAS	TEMPERATURA (°C)				HUMEDAD RELATIVA (%)			
	Mín.	Máx.	Media	Mediana	Mín.	Máx.	Media	Mediana
LLUVIA	27,1	34,5	29,5	28,7	63	82	71	71
LLUVIA-SOL	28,7	29,9	29,6	29,9	68	75	70	68
SOL-LLUVIA	29,9	36,2	33,3	33,3	56	76	64	63

La temperatura registrada en el suelo en los días de lluvia fluctuó entre 27,1 °C y 34,5 °C, con media aritmética de 29,5 °C y mediana de 28,7 °C. En esos días la humedad relativa registrada osciló entre 63 % y 82 %, con media aritmética de 71 % y mediana de 71 %. En condiciones de sol la temperatura osciló entre 29,9 °C y 36,2 °C, con media aritmética de 33,3 °C y mediana de 33,3 °C; por su parte, la humedad relativa fluctuó entre 63 % y 76 %, con media aritmética de 64 % y mediana de 63 %. En condiciones de sol seguido de lluvia, o lluvia seguida de sol, la temperatura estuvo en el rango de 28,7 °C a 29,9 °C, con media aritmética de 29,6 °C y mediana de 29,9 °C; por su parte la humedad relativa osciló entre 68 % y 75 %, con media aritmética de 70 % y mediana de 68 %.

En conjunto, estos datos muestran que la temperatura y la humedad relativa del suelo fueron claramente dependientes de las condiciones meteorológicas (lluvia), lo cual puede explicarse debido a que estos parámetros fueron tomados muy cerca a la superficie, en función del instrumento utilizado para el registro, lo que indica que, en dichas condiciones, estos parámetros no son confiables para medir la eficiencia del pasto en la mejora de la retención de agua del suelo.

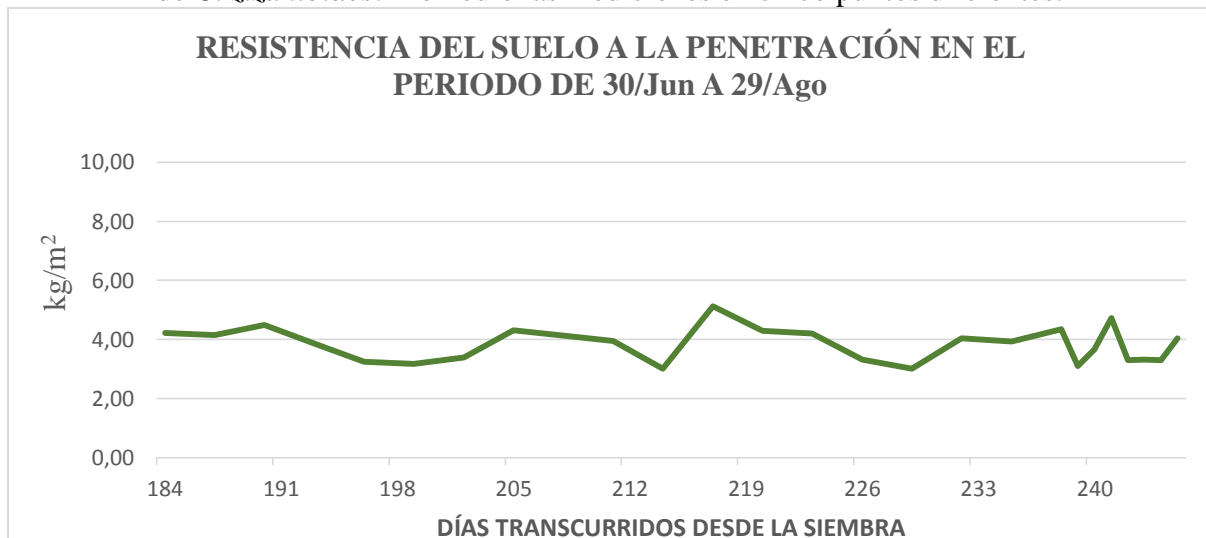
Estudios realizados por Viguera & Albarrán (2007) permiten concluir que la humedad del suelo a 5 cm de profundidad es menor a la de las registros tomados a 10 cm. de profundidad. Esto se debe a que el agua se filtra en el suelo y a la evaporación que el sol ocasiona en la superficie, provocando que la tierra de menor profundidad tenga un mayor porcentaje de humedad. El contenido de humedad de los suelos normalmente es de 5 a 50 %

El penetrómetro es un instrumento que mide la resistencia del suelo por medio de la presión que debe ejercerse para vencer esa resistencia, de este modo, indica qué tan compactado se encuentra. Se considera que entre menor sea el valor registrado, mayor disponibilidad de oxígeno habrá para los microorganismos, y más facilidad tienen las raíces

de las plantas, los nutrientes y el agua para penetrar a través del suelo. Por el contrario entre mayor sea su valor, el suelo presenta reducción en la disponibilidad de agua, falta de aireación y disminución de nutrientes (de Moraes, da Silva, Zwirtes, & Carlesso, 2013. p. 5).

La Figura 9 muestra el promedio las mediciones tomadas con penetrómetro en cinco puntos diferentes del área sembrada, durante un periodo dos meses. Al igual que con los datos de humedad y temperatura, no fue posible observar una tendencia clara en cuanto a cambios en la compactación del suelo.

Figura 9. Resistencia del suelo a la penetración durante el 7° y 8° mes después de la siembra de *C. zizanioides*. Promedio las mediciones en cinco puntos diferentes.



A través de la Tabla 7 se puede evidenciar que el coeficiente de variación en todos los casos fue superior al 25 %. Por esta razón, los datos tomados no pueden considerarse confiables debido a la alta variabilidad de los mismos entre los diferentes puntos analizados en un mismo día. Esta variabilidad parece obedecer a que el suelo mostró desde la siembra una apariencia suelta debido a la presencia del pasto, sugiriendo que el instrumento utilizado no resulta útil en estas condiciones, y que la presencia del pasto por sí sola ya reduce la compactación del suelo de manera significativa.

Tabla 7. Resistencia del suelo a la penetración durante el 7° y 8° mes después de la siembra de *C. zizanioides* (Promedio \pm desviación estándar, n = 5)

DÍA	RESISTENCIA DEL SUELO (Kg/m ²)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
184	4,22 \pm 2,16	51,2
185	4,14 \pm 1,43	34,6
186	4,49 \pm 1,13	25,2
187	3,86 \pm 1,02	26,5
188	3,24 \pm 0,98	30,1
189	3,17 \pm 1,61	50,8
190	3,39 \pm 2,39	70,6
191	4,31 \pm 1,89	44,0
192	4,13 \pm 1,78	43,0
193	3,94 \pm 1,31	33,3
194	3,01 \pm 0,97	32,3
195	5,12 \pm 0,82	16,0
196	4,30 \pm 1,79	41,7
197	4,20 \pm 1,44	34,4
198	3,32 \pm 2,01	60,6
199	3,02 \pm 0,94	31,1
200	4,04 \pm 1,00	24,9
201	3,93 \pm 1,10	28,0
202	4,35 \pm 1,43	33,0
203	3,09 \pm 0,97	31,2
204	3,66 \pm 1,23	33,6
205	4,72 \pm 1,36	28,7
206	3,31 \pm 1,21	36,5
207	3,32 \pm 0,38	11,5
208	3,31 \pm 1,02	30,8
209	4,04 \pm 1,58	39,1
210	3,84 \pm 2,14	55,7
211	3,88 \pm 1,21	31,2
212	4,04 \pm 2,22	55,0
213	2,84 \pm 0,35	12,3
214	4,78 \pm 1,27	41,0
215	4,78 \pm 1,98	41,4
216	3,60 \pm 0,38	10,6
217	4,60 \pm 1,51	32,9
218	3,53 \pm 0,78	22,2
219	2,92 \pm 1,09	37,3
220	3,12 \pm 1,42	45,4
221	3,10 \pm 1,75	56,5

222	3,16 ± 1,55	49,3
223	4,08 ± 2,00	49,0
224	3,90 ± 1,62	41,5
225	3,65 ± 1,57	42,9
226	4,64 ± 1,16	25,0
227	3,52 ± 0,47	13,2
228	3,40 ± 1,66	49,0
229	3,14 ± 1,34	42,6
230	3,12 ± 1,53	48,9
231	3,00 ± 1,20	40,1
232	2,53 ± 1,94	76,6
233	3,02 ± 1,86	61,6
234	3,17 ± 0,81	25,6
235	3,85 ± 1,26	32,8
236	3,88 ± 1,16	29,9
237	2,80 ± 0,90	32,3
238	2,92 ± 0,37	12,7
239	3,25 ± 0,97	30,0
240	3,98 ± 1,34	33,6
241	3,32 ± 1,33	40,0
242	4,18 ± 1,43	34,2
243	2,82 ± 1,32	46,7
244	2,91 ± 0,75	25,7

6.2 Análisis químicos en laboratorio

En las Tabla 8 se muestra la composición fisicoquímica del suelo antes y después del tratamiento del suelo con *C. zizanioides*. Como se evidencia en la Tabla 9, algunos parámetros disminuyeron a comparación de los primeros resultados, como lo son: el fósforo disponible, antes de la siembra se encontraba en $36,01 \pm 0,25$ y después de la siembra $29,75 \pm 17,60$; el sodio intercambiable, que después de encontrarse en condición normal $0,17 \pm 0,01$ presentó una reducción a valores por debajo de 0,10; la capacidad de intercambio catiónico, que antes se encontraba en $12,34 \pm 0,24$ y después de las siembra bajó a $10,06 \pm 0,26$, lo que parece indicar que hubo consumo de elementos como fósforo, aluminio,

calcio, magnesio, etc. por parte de la gramínea, que actuó como extractor de nutrientes del suelo.

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos del suelo antes y después del tratamiento con *C. zizanioides*. Los valores son mostrados como el promedio \pm desviación estándar de dos muestras tomadas simultáneamente en puntos diferentes dentro del área de siembra.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	ANTES		DESPUÉS	
	VALOR	INTERPRET.	VALOR	INTERPRET.
pH	4,70 \pm 0,01	Fuerte A Extremadamente Acido	4,62 \pm 0,06	Fuerte A Extremadamente Acido
Conductividad Eléctrica	0,14 \pm 0,01	No Salino	0,16 \pm 0,01	No Salino
Materia Orgánica	1,29 \pm 0,21	Bajo	2,92 \pm 1,05	Medio
Fósforo Disponible	36,01 \pm 0,25	Medio	29,75 \pm 17,60	Bajo
Acidez Intercambiable	9,34 \pm 0,45	-	6,35 \pm 1,20	-
Aluminio Intercambiable	8,40 \pm 0,62	Restrictivo	5,53 \pm 1,12	Restrictivo
Calcio Intercambiable	2,16 \pm 0,22	Bajo	2,61 \pm 1,36	Bajo
Magnesio Intercambiable	0,53 \pm 0,02	Bajo	0,77 \pm 0,05	Bajo
Potasio Intercambiable	0,16 \pm 0,02	Bajo	0,23 \pm 0,04	Bajo
Sodio Intercambiable	0,17 \pm 0,01	Normal	< 0,10	Bajo
Capacidad De Intercambio Catiónico	12,34 \pm 0,24	Medio	10,06 \pm 0,26	Bajo
SATURACIÓN DE BASES				
Saturación de Calcio	17,50 \pm 2,12	Bajo	26,00 \pm 12,73	Bajo
Saturación de Magnesio	4,00 \pm 0,00	Bajo	7,50 \pm 0,71	Bajo
Saturación de Potasio	1,00 \pm 0,00	Bajo	2,50 \pm 0,71	Medio
Saturación de Sodio	1,00 \pm 0,00	Normal	10,00 \pm 0,00	Normal
Saturación de Aluminio	75,50 \pm 2,12	Restrictivo	55,00 \pm 12,73	Restrictivo
RELACIONES IÓNICAS				
Relación Ca/Mg	4,10 \pm 0,28		3,35 \pm 1,63	
Relación (Ca+Mg)/K	17,35 \pm 4,17		14,25 \pm 3,32	
Relación Mg/K	3,35 \pm 0,64		3,35 \pm 0,49	

El pH no mostró una variación significativa antes ($4,70 \pm 0,01$) y después ($4,62 \pm 0,06$) de la siembra del pasto, determinándonos en ambos casos un suelo fuerte a extremadamente ácido. Los suelos con pH ácidos son desfavorables para el desarrollo radicular, suelen ser pobres en bases de cambio Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} , reducen la actividad microbiana y disminuyen la asimilación de fósforo (Andrade & Martínez, 2014). Por otra parte, el fósforo disminuyó un poco más de la mitad a la que ya existía en la muestra antes de la implementación de la gramínea, de manera significativa lo que nos indica que el suelo se encuentra en condiciones de infertilidad severa y debido a que un suelo fuertemente ácido impide la asimilación o fijación del fósforo, es decir que en vez de aportar el vetiver fósforo al suelo, lo que hizo fue absorber el que este contenía.

La materia orgánica aumentó ($2,92 \pm 1,05$) en relación al dato obtenido antes de la implementación de la gramínea ($1,29 \pm 0,21$), pudo llegar a ser efecto del abono orgánico aplicado o también como consecuencia del Pasto Vetiver. Se considera que cuanto mayor sea la calidad de un suelo (visto desde el punto de vista de su actividad biológica y sus condiciones climáticas), mayor rapidez tendrá en el proceso de recuperación y crecimiento de cobertura vegetal (Agromatica, 2014).

El sodio intercambiable disminuyó en comparación con el resultado inicial ($0,17 \pm 0,01$). Moreno & Bonadeo, (2012) manifiestan que el suelo al ser enriquecido en sodio, impide la unión de las partículas presentes en este y tiende a separarlas, a partir de esto migran y obstruyen los poros que produce disminución de la infiltración y su capacidad de conducir agua, afectando de manera negativa la estabilización del sistema radical. La magnitud del daño depende de la cantidad de sodio intercambiable lo que conlleva a una disminución en el rendimiento de los cultivos (p. 19). El resultado de la muestra después de haber

implementado el tratamiento con el Vetiver, redujo el sodio intercambiable lo que es beneficioso para el suelo.

La capacidad de intercambio catiónica se refiere a la capacidad que tiene el suelo de retener y liberar iones positivos al igual que la materia orgánica; En los resultados obtenidos antes y después de la implementación, la sumatoria de cationes es baja, lo que indica que la fertilidad del suelo disminuyó, por lo que se puede inferir que este suelo es ligeramente fértil y, al introducir una especie nueva, ésta atraparé los pocos nutrientes que allí se encuentran.

El nivel de CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) indica la habilidad de retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial, entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica (FAO, 2017). La saturación de potasio aumentó ($2,50 \pm 0,71$) a diferencia de la muestra inicial, en la cual se encontraba baja ($1,00 \pm 0,00$). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo de refiere al porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo está en 7,0 su saturación de bases llega a un 100 % y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides (FAO, 2017), de modo que la saturación de bases se relaciona con el pH del suelo, es decir que puede estar influyendo en la saturación de magnesio y aluminio, que se mantuvieron constantes. Por su parte, la saturación de potasio, magnesio y sodio aumentaron, lo que es favorable para el crecimiento de plantas, al ser un macronutriente esencial para su crecimiento, pues se requieren cantidades elevadas de este nutriente, en algunos casos, semejantes a las necesidades de nitrógeno (INTAGRI, 2017). En la Figura 9 se observa el nivel de los diferentes elementos presentes en el suelo, antes y después de implementada la gramínea.

En la tabla 9 se muestran los valores con respecto a la diferencia entre el promedio de las muestras que se tomaron antes de la siembra y después de ésta, así como el porcentaje de

cambio, > 100 se presentó donde hubo un aumento en los parámetros, <100 se presentó disminución en estos y 100 % indica que no hubo cambio.

Tabla 9. Cuantificación de los Parámetros fisicoquímicos del suelo antes y después del tratamiento con *C. zizanioides*.

DIFERENCIA ENTRE EL PROMEDIO	PORCENTAJE DE CAMBIOS (%)
0,08	98
-0,03	119
-1,63	226
6,26	83
2,99	68
2,87	66
-0,46	121
-0,24	146
-0,08	148
0,10	61
2,29	81
SATURACIÓN DE BASES	
-8,50	149
-3,50	188
-1,50	250
-9,00	1000
20,50	73
RELACIONES IÓNICAS	
0,75	82
3,10	82
0,00	100

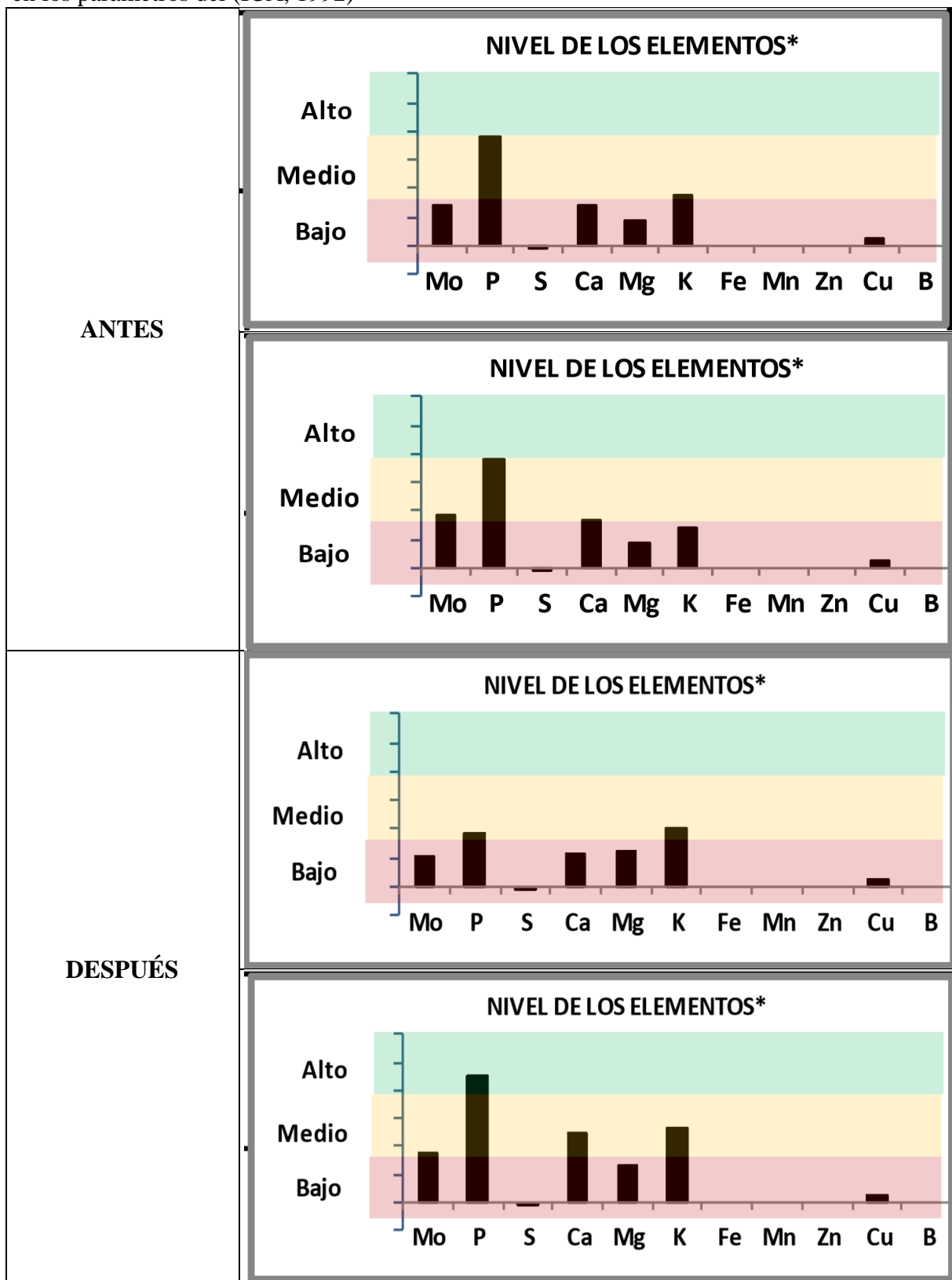
En la Figura 10 se observa el nivel de los diferentes elementos presentes en el suelo, antes y después de implementada la gramínea. Se evidenció un cambio significativo en los niveles de saturación de los elementos P, Ca, K. El fósforo en los resultados obtenidos después de la siembra del *C. zizanioides* en una de las muestras aumentó mientras que en la otra disminuyó, por su parte el calcio disminuyó en una de las áreas y el potasio si aumentó después de la gramínea, lo que resulta difícil saber si fue a raíz de la aplicación del abono orgánico o que efectivamente el vetiver aporta estos elementos al suelo. Mirando desde un



puto mas abierto se puede decir que hubo una interacción entre los nutrientes y la gramínea.

La interacción entre nutrientes en las plantas cultivadas ocurre cuando al abastecimiento de uno de los nutrientes afecta la absorción y utilización de otros nutrientes, este tipo de interacción es muy común cuando un nutriente tiene un exceso de concentración en el medio de cultivo, Éstas interacciones pueden ocurrir en la superficie de la raíz o dentro de la planta (Gutiérrez, 2002).

Figura 10. Interpretación sobre el nivel de saturación de los elementos en el suelo, basado en los parámetros del (ICA, 1992)



7. CONCLUSIONES

El Pasto Vetiver consiguió mejorar, aunque de forma sutil, condiciones físicas y químicas del suelo tratado, contribuyendo con la mejora y mantenimiento de la estructura y modificando algunos parámetros fisicoquímicos que pueden contribuir en el aumento de la fertilidad del suelo.

No fue posible determinar con certeza el efecto del tratamiento de cobertura con *C. zizanioides* sobre las condiciones de humedad y compactación del suelo, a través de los instrumentos utilizados para este propósito. No obstante, la gran variación en los datos de resistencia del suelo a la penetración sugiere un bajo grado de compactación asociado a la presencia de la gramínea, que no pudo ser detectado a través del penetrómetro. Por su parte, las condiciones climáticas variables, así como el método de colecta de los datos de humedad, impidieron evidenciar cambios en la humedad del suelo asociados a la presencia del pasto.

En cuanto a la composición físicoquímica del suelo, al implementar el sistema vetiver, se aumentó en proporción la materia orgánica que estaba presente en el suelo así como la saturación de los elementos Fósforo, Calcio y Potasio que son absorbidos por la vegetación presente.

La implementación del pasto vetiver, se considera una solución para la estabilización de suelos debido a sus diferentes estudios con resultados satisfactorios, considerándose una alternativa económica, ambientalmente amigable, y de fácil adaptabilidad.

8. RECOMENDACIONES

Para la parte de diseño metodológico de futuros trabajos que busquen determinar la eficiencia del pasto vetiver en la estabilización de suelos erosionados, se recomienda que se tomen dos puntos de referencia, uno en el que se observe la perturbación y otro en el que no, siendo el punto de referencia, para realizar una comparación entre estos y lograr conseguir mejores resultados.

Se recomienda comparar el pasto Vetiver con otras plantas con el fin de investigar y establecer nuevas alternativas de mejoramiento para la erosión y estabilización.

REFERENCIAS

- Agromatica. (19 de NOVIEMBRE de 2014). *IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN UN SUELO*. Obtenido de <http://agriculturers.com/la-importancia-de-la-materia-organica-en-el-suelo/>
- Andrade, M., & Martinez, M. E. (2014). *FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN*. Agricultura y Alimentación, 34.
- Anónimo. (2007). *DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DE UN SUELO PARA USO AGRÍCOLA*. Obtenido de <http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria15/humedad.pdf>
- Anónimo. (2015). *SUELOS SÓDICOS Y SU MANEJO*. SMART. Obtenido de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/sodic-soils>
- Badía, D. (23 de octubre de 2016). *VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EPS Huesca*. Obtenido de <http://www.aet.org.es/files/ponencia-david-badia-villas.pdf>
- Badía, D. (2011). *iARASOL, PROGRAMA INTERACTIVO PARA EL ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ARAGÓN*. Obtenido de <http://www.suelosdearagon.com/>
- Bravo, E. (Mayo de 2007). *LOS IMPACTOS DE LA EXPLOTACIÓN PETROLERA EN ECOSISTEMAS TROPICALES Y LA BIODIVERSIDAD*, Acción Ecológica. Obtenido de: https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf



Bravo, E., & OILWATCH. (2005). *IMPACTOS DE LA EXPLORACIÓN PETROLERA EN AMÉRICA LATINA*. Grain, 06.

CDIM-ESAP. (2007). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL "SOMOS LA GENTE QUE QUIERE LA GENTE" 2004-2007*. DIAGNÓSTICO MUNICIPAL. ESTADÍSTICAS BÁSICAS Obtenido de:

[http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico_melgar_\(81_pag_599_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico_melgar_(81_pag_599_kb).pdf)

COASOTOLIMA LTDA. (2000). *ACUERDO PBOT MELGAR*. PROYECTO DE

ACUERDO Por el cual se adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Melgar. Obtenido de:

[http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/acuerdo_melgar_\(262_pag_1009_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/acuerdo_melgar_(262_pag_1009_kb).pdf)

de Moraes, M., da Silva, V., Zwirtes, A., & Carlesso, R. (2013). *USE OF*

PENETROMETERS IN AGRICULTURE: A REVIEW. Review Paper. *Eng. Agríc.*

vol.34 no.1 Jaboticabal jan., 5.

Delgado, M., Ulloa, C. S., & Ramírez, J. M. (13 de Agosto de 2015). *LA ECONOMÍA DEL*

DEPARTAMENTO DEL TOLIMA: DIAGNÓSTICO Y PERSPECTIVAS DE

MEDIANO PLAZO FEDESARROLLO. Obtenido de:

<http://www.andi.com.co/SecTH/Documents/ESTUDIO%20REGIONAL%20TOLIMA%20FINAL%20AGO%202014.pdf>

Díaz Mendoza, C. (03 de Diciembre de 2011). *ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE LA*

EROSIÓN MEDIANTE EL USO DE COBERTURAS CONVENCIONALES, NO

CONVENCIONALES Y REVEGETALIZACIÓN Ingeniería E Investigación. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf>

FAO. (s.f.). *OBTENIDO DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO:*

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

FAO. (2017). *PORTAL DE SUELOS DE LA FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>

FAO. (s.f.). *DEPÓSITO DE DOCUMENTOS DE LA FAO. Ecología y enseñanza rural.*

Obtenido del suelo: <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s04.htm>

GOOGLE MAPS. (2017). Obtenido de <https://www.google.com/maps>

Greenfield, J. (1990). *VETIVER GRASS; THE HEDGE AGAINST EROSION. World Bank Publications; 3rd Sub edition. ISBN: 978-0-8213-1405-0.* . Obtenido de <http://dx.di.org/10.1596/0-8213->

Grimshaw, R. (1996). *VETIVER, UN EXCELENTE PASTO PARA LA CONSERVACIÓN DEL AGUA. LEISA.*

Gutiérrez Coronado , D. A. (2002). *POTASIO Y CALCIO APLICADO AL SUELO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD EN HORTALIZAS.* Obtenido de <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio2/Ponencia02.pdf>

Hengchaovanich, D. (2004). *VETIVER SISTEM FOR SLOPE STABILIZATION. Vetiver org.*

Herrera Passos , J. M. (2015). *EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN SUELOS DE LADERA CUBIERTOS CON PASTO VETIVER (CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES) EN LA VÍA NEIVA-VEGALARGA*



DEPARTAMENTO DEL HUILA. Obtenido de Escuela Colombiana de Ingeniería

Julio Garavito. Facultad Ingeniería Civil. Programa Maestría en Ingeniería Civil:

[https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/212/1/CF-](https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/212/1/CF-Maestria%20en%20Ingenier%C3%ADa%20Civil-1075217466.pdf)

[Maestria%20en%20Ingenier%C3%ADa%20Civil-1075217466.pdf](https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/212/1/CF-Maestria%20en%20Ingenier%C3%ADa%20Civil-1075217466.pdf)

ICA. (1992). *FERTILIZACIÓN EN DIVERSOS CULTIVOS*. . Obtenido de Quinta

aproximación. Manual de asistencia N° 25.

IDEAM. (2004). *SIAC. SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA*.

Obtenido de <http://www.siac.gov.co/erosion>

IDEAM. (2017). *ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL IDEAM*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co>

IGAC. (11 de Septiembre de 2015). *POR EL USO INADECUADO DE SUS SUELOS, EL*

TOLIMA ESTÁ QUE "ARDE". Obtenido de <http://noticias.igac.gov.co/por-el-uso-inadecuado-de-sus-suelos-el-tolima-esta-que-arde/>

INTAGRI. (2017). *FIJACIÓN DEL POTASIO EN EL SUELO*. *intagri*, 31.

Jeanty, J. (2013). *LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SUELOS*. Ehow. Obtenido de:

http://www.ehowenespanol.com/composicion-quimica-suelos-lista_358016/

Mora Charry, J. E., & Torrente Trujillo, A. (2015). *ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS*

DE PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO Y ESTABILIZACIÓN DE

TALUDES EN EL ÁREA OSO HORMIGUERO. UNIVERSIDAD SANTIAGO DE

CALI. Colciencias Tipo I. Universidad Surcolombiana Neiva-Colombia. Obtenido de:

<http://revistas.usc.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/499/426#.WegdXWjWzIU>

Moreno, Inés, & Bonadeo, Elena. (Octubre de 2012). *Ensayos de la Convocatoria VOX*

POPULI. Obtenido de EN BOCA DE TOD@S. Universidad Nacional de Río Cuarto.



Río Cuarto. Córdoba. Argentina: <https://www.unrc.edu.ar/cyt/assets/vox-populi-integral.pdf>

Prado Wilder, L., & Veiga, M. (1993). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S07.htm#LA>

Ruiz V., J., Bravo E., M., & Loeza R., G. (2001). *CUBIERTAS VEGETALES Y BARRERAS VIVAS: TECNOLOGÍAS CON POTENCIAL PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN OAXACA, MÉXICO*. Redalyc.org. Sistema de Información Científica. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, 90-95.

Sanguankaeo, S., Chaisintarakul, S., & Veerapunth, E. (2003). *LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE VETIVER EN CONTROL DE LA EROSIÓN Y ESTABILIZACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN Y EL MANTENIMIENTO DE AUTOPISTAS EN TAILANDIA. ACTAS DE LA TERCERA CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE VETIVER Y EXPOSICIÓN, GUANGZHOU, CHINA*.

Smyle, J. (Julio de 1999). *EXPERIENCIA MUNDIAL CON EL USO DEL VETIVER PARA INFRAESTRUCTURA, CUENCA Y USO EN LA FINCA. TALLER DE BIOINGENIERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN POST MITCH: EXPERIENCIA CON EL USO DEL VETIVER PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA. SAN SALVADOR, EL SALVADOR*. Obtenido de: <http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/BA12es.pdf>

Troung, P. (2017). *LA TECNOLOGÍA DEL PASTO VETIVER PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL*. Obtenido de http://www.vetiver.org/LAVN_Prot%20Amb.htm



Universidad de extremadura. (Noviembre de 2004). *Área de Edafología y Química Agrícola.*

Facultad de ciencias . Obtenido de Gestión y conservación del suelo:

<https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/GCSP/GCSL3FertSue.htm>

Vargas, C., Perez-Esteban, J., Masaguer, A., & Moliner, A. (Agosto de 2013). *VII*

CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERIA Y CIENCIAS HORTICOLAS.

Obtenido de Comportamiento de la vetiveria (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty)

como extractora de metales pesados en suelos contaminados.:

<https://www.researchgate.net/publication/259444112>

VetiverCol. (2015). *INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE EL PASTO VETIVER.* VetiverCol

S.A.S. Obtenido de Pasto Vetiver.: <http://www.vetivercolsas.com/pasto-vetiver>