

CONTROL DE LA EROSIÓN DE TALUDES MEDIANTE EL USO DE VETIVER Y MICORRIZAS ARBUSCULARES, ZONA DE SOCEAGRO EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO – META

CONTROL OF SLOPE EROSION THROUGH THE USE OF VETIVER AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAS, SOCEAGRO AREA IN THE MUNICIPALITY OF VILLAVICENCIO - META

Salomón Andrés Sánchez Restrepo

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, salomonsanchez@usantotomas.edu.co

Sergio Oviedo Solano

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, sergiooviedo@usantotomas.edu.co

Jessica María Ramírez Cuello

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, jessicaramirez@usantotomas.edu.co

Paulo José Aragón Otero

pauloaragon@gmail.com

Resumen: Este trabajo de investigación evalúa una solución eficaz, económica y natural a la problemática del control de la erosión de taludes. Específicamente, mediante el cubrimiento total del área vulnerable, con un esquema matricial de plantas de la especie Vetiver, colonizadas con hongos formadores de Micorrizas Arbusculares. Esto es un proceso biológico, producto de la relación simbiótica entre ambos organismos, que resulta en una alteración positiva de las características biológicas y propiedades físicas de la planta, destacando, un comprobado y considerable aumento en su longitud radical. Se obtiene así, mejoras en cuanto a la estabilización del talud y control de la erosión, pues se demuestra un aumento de las propiedades mecánicas del suelo con la raíz potencializada, mediante ensayos de laboratorio.

Palabras clave: Erosión, Micorrizas, Resistencia Cortante, Taludes, Vetiver.

Abstract: This research work evaluates an effective, economic and natural solution to the problem of slope erosion control. Specifically, by means of the total coverage of the vulnerable area, with a matrix scheme of plants of the Vetiver species, colonized with Arbuscular Mycorrhizal fungi. This is a biological process, product of the symbiotic relationship between both organisms, which results in a positive alteration of the biological characteristics and physical properties of the plant, highlighting, a proven and considerable increase in its radical length. In this way, improvements are obtained in terms of slope stabilization and erosion control, since an increase in the mechanical properties of the soil with the potted root is demonstrated through laboratory tests.

Keywords: Erosion, Cutting Resistance, Mycorrhizae, Slopes, Vetiver.

1. INTRODUCCIÓN

La estabilización y el control de la erosión en suelos, es un problema constante que los profesionales de la ingeniería civil tienen que afrontar. Por este motivo es necesario encontrar alternativas que de manera natural, aborden los problemas de estabilización dejando de utilizar métodos que son igual de eficientes pero que tienen impactos negativos a largo plazo. Además no incentivan el uso de elementos amigables con el ambiente, lo que en la actualidad es una responsabilidad dentro de los compromisos de la aplicación del conocimiento de la ingeniería civil. [1]

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Villavicencio, Meta, sector de Soceagro en la sede de la Universidad Santo Tomás Villavicencio campus Loma Linda, que presenta formaciones montañosas donde se han producido asentamientos humanos entorno al macizo, provocando situaciones

como la tala de árboles y el retiro de la capa vegetal. Estos son unos de los principales factores de aumento de la erosión, que potencian los fenómenos de remoción en masa y los desastres naturales.

Las condiciones climáticas y los tipos de suelo presentes en esta región proporcionan condiciones ideales para eventos de remoción en masa o deslizamientos de tierra. Los procesos de remoción en masa están determinados por varios factores, a saber, por las condiciones ambientales de alta variabilidad, por los agentes antrópicos que afectan directamente las condiciones de la ladera, incluyendo la deforestación y el crecimiento sub urbano insostenible en áreas no aptas, y el factor que incide más directamente, la estructura interna del suelo mismo y su capacidad mecánica para resistir esfuerzos.

El trabajo de investigación propone determinar si la utilización de Micorrizas Arbusculares tiene algún efecto en la planta de pasto Vetiver y por ende una participación mayor en la estabilización del talud en el sitio de aplicación. Para ello se ha establecido la metodología incluyendo las pruebas de laboratorio y de campo necesarias, a fin de identificar teóricamente y experimentalmente la veracidad de los planteamientos.

2. CONCEPTUALIZACIÓN

Cuando un talud se produce de forma natural, sin ningún tipo de alteración humana, se denomina ladera natural o simplemente ladera. Por el contrario, cuando el talud ha sido elaborado por el hombre, como parte de una obra de ingeniería, se denomina talud artificial o corte, según si hace parte de un terraplén o un desmonte de terreno natural, respectivamente [2]. Para la investigación en curso se aplicará la técnica de mitigación sobre una ladera natural.

El termino Micorriza, es como se conoce a la simbiosis mutualista. Es decir, la asociación entre especies en la cual cada una, se beneficia a su manera de otra. En este caso, se da entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo [3].

En Colombia existen diversas investigaciones sobre el uso de Micorrizas Arbusculares y otros materiales orgánicos para la potencialización de las características de la planta y utilización de estos mecanismos como suplementación del uso de fertilizantes químicos [4].

La aplicación de Micorrizas como método de mitigación de la erosión con monocultivo, aplica el concepto de sustentabilidad para conservar propiedades del suelo y su capacidad productiva, usando la menor cantidad de energía y recursos económicos posibles, incentivando el reciclaje de materia y nutrientes por parte de las plantas. [5] Estas Micorrizas Arbusculares a las cuales se referirá como (MA), de forma individual y en mezclas, aportan beneficios importantes para las plantas. Entre ellas la estimulación del crecimiento y la supresión de enfermedades [6].

El pasto Vetiver es una planta de origen sur asiático especialmente en las regiones de Indonesia y sur de India. Es una planta de desarrollo rápido y altamente resistente a la sequía, como también algunas clases de contaminantes presentes en el suelo. Sus raíces crecen verticalmente y de manera progresiva, razón por la cual se argumenta su eficiencia en la restauración de taludes erosionados [7]. Es un material vivo que actúa como un muro que estabiliza las pendientes [8].

Por otra parte, los arboles no pueden realizar esta labor por si solos porque sus raíces son demasiado largas y gruesas para evitar que los pequeños granos de suelo sean arrastrados por la escorrentía superficial generados por lluvia o viento. Por este motivo la plantación de gramíneas con raíces reduce la velocidad del agua disminuyendo así la potencia y conteniendo el suelo transportado en las barreras creadas. [9]

2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Se llevó a cabo visitas a diferentes zonas del Piedemonte llanero en el municipio de Villavicencio, Meta, para identificar el talud a utilizar en la investigación. Para ello se tendrá en cuenta factores como ubicación,

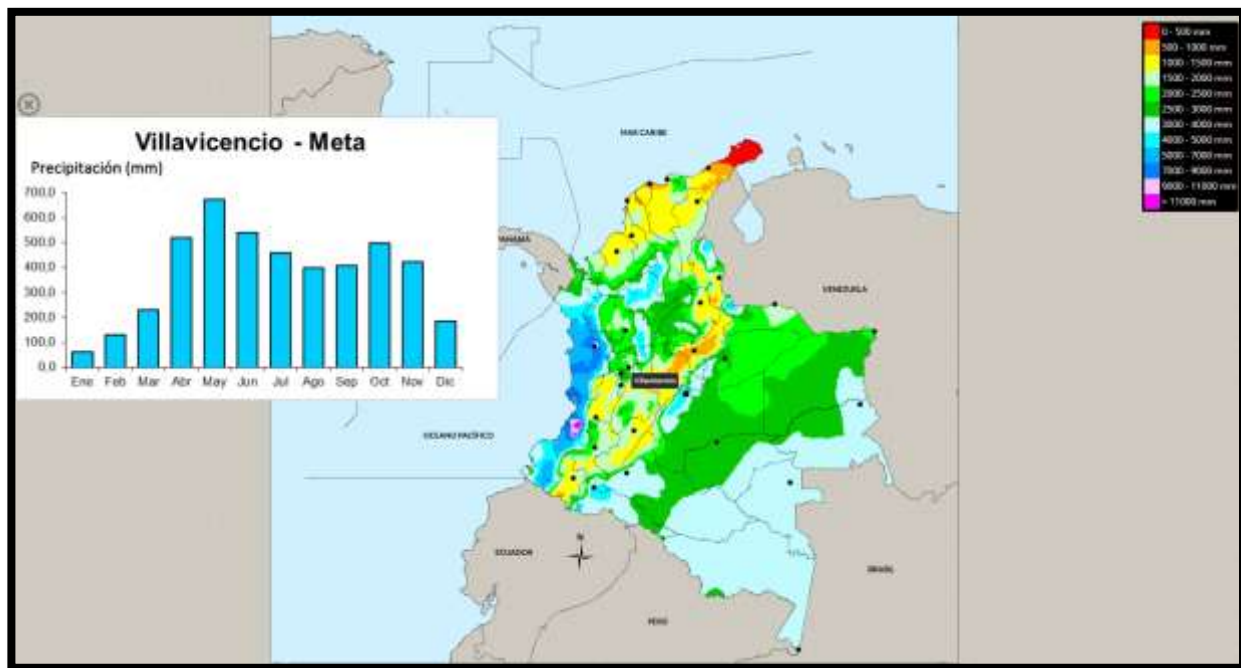
condiciones óptimas de acceso, luz solar relativa, ángulo de inclinación, composición de la superficie del suelo y seguridad del equipo investigador. Teniendo en cuenta que en el Piedemonte llanero, específicamente en la ciudad de Villavicencio, tanto la cantidad como la intensidad de la precipitación, según datos proporcionados por el DANE, para el 2018, son de las mayores a nivel del país, contando con cifras de entre 3000 y 7000 milímetros por año [10]. La zona en estudio se hace ideal por cuestiones de vulnerabilidad, pues las altas precipitaciones, son un factor muy influyente en procesos erosivos.

2.1 ESTUDIOS INICIALES

Una vez ubicado el talud sobre el cual se iría a implementar y evaluar la técnica de estabilización, se realizaron dos tipos de estudio. El primero, climatológico, de manera teórica con el propósito de determinar las condiciones e intensidades de los agentes causantes de erosión, en los cuales también, se desarrollará la planta y el hongo. El segundo estudio, un análisis geológico de la zona, con base en datos proporcionados por el instituto geológico colombiano.

Los datos obtenidos, teniendo en cuenta que ya se conocía la precipitación, son: La temperatura media es de 25,3°C, con valores máximos de 28,1 °C en enero y media mínima de 22,9°C en junio, para el periodo de registro 1983- 2012. La humedad relativa presenta un promedio mensual de 81%. En los meses de enero a marzo se tienen valores de humedad relativa inferiores al promedio mensual del orden de 74%. [10]

FIGURA 1. MAPA PRECIPITACIÓN MEDIA TOTAL ANUAL DE COLOMBIA.



FUENTE: IDEAM, (2018)

Según el Servicio Geológico Colombiano, Villavicencio está ubicado en la zona que se puede dividir en dos formaciones geológicas, una de abanicos aluviales y depósitos coluviales de la edad del cuaternario y otra con conglomerados de bloques a guijos con intercalaciones de arcillas y arenitas de grano fino a grueso de la edad del Plioceno-Pleistoceno, que se presentan a la salida del Piedemonte oriental de la cordillera.

2.2 APIQUE EN SUELO

El sondeo estará compuesto por un sitio de extracción, dicha extracción de suelo se analizará en el laboratorio de suelos de la Universidad Santo Tomás campus Aguas Claras en Villavicencio.

Con el propósito de inspeccionar y estudiar las capas que posee el suelo en la zona de aplicación, se realiza una excavación en el suelo a una profundidad de 1.50 m, con un área de 0,50 m². Esto nos permitió tener un examen visual de los estratos, condiciones del nivel freático y los componentes del suelo. Se tuvo problemas para alcanzar la profundidad de un metro y medio debido a que en la zona había presencia de rocas de tamaño entre pequeño y mediano, con diámetros de 23 cm a 15 cm. La perforación se realizó con herramientas manuales como pica barra y pala sin encontrar nivel freático a esta profundidad.

FIGURA 2. APIQUES Y TOMA DE MUESTRAS.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2018)

Al finalizar la perforación se concluyó que se encontraron tres estratos de suelo diferentes, el primero con una altura de 11 cm que comprende la parte del humus del suelo, la segunda y la tercera capas intermedias con tamaño de 72 cm y 67 cm respectivamente. Para realizar pruebas de laboratorio se procede a tomar muestras.

2.3 TOPOGRAFÍA

La finalidad de desarrollar un levantamiento topográfico es realizar una representación del terreno donde se realizó la aplicación de la siembra para observar el comportamiento del talud, dimensiones, pendiente, ondulaciones y demás variaciones topográficas presentes en el terreno. Los datos obtenidos son:

Área: 94.712 m².

Perímetro: 73.229 m.

Pendiente promedio: 30°

El terreno presenta ondulaciones pequeñas ocasionadas por el paso de animales, presencia de formaciones rocosas de tamaño mediano y cobertura vegetal densa de especies pequeñas de plantas y pastos, no sembrados por el hombre.

2.4 ADECUACIÓN Y SIEMBRA

Una vez adecuado el terreno se implementa la técnica en campo, como se describirá posteriormente.

Se construirá en el talud analizado dos áreas de cincuenta metros cuadrados cada una, dos de ellas contarán con Vetiver en un sistema matricial acorde a la inclinación del terreno, de las cuales se tendrá en

un área, el Vetiver bajo la técnica planteada de micorrización brindada por el grupo GEBIUT y en la otra, el Vetiver sólo sin alteración alguna.

Para el proceso de la siembra se tuvo en cuenta la cantidad de materia prima que se necesitaba. Se realizó un pedido de 1000 plántulas de Vetiver. pero primero se debía realizar una división entre la zona que se iba a aplicar con Micorrizas Arbusculares y la zona donde quedaría sembrado directamente el Vetiver.

La primera zona de solo Vetiver se procedió a marcar los surcos a una distancia de 1 m cada uno, para un total de 5 surcos y se estableció una distancia entre plántulas de entre 15 a 20 cm. Con ayuda de herramienta ideal, se realizaron los surcos con una profundidad de 15 centímetros cada uno. Luego, se procedió a repartir y a colocar en el sitio de siembra cada uno de las plántulas para luego poner una capa de suelo encima de la raíz, teniendo en cuenta no tapar la parte superior de la planta para su normal desarrollo.

FIGURA 3. ADECUACIÓN DE SURCOS PARA SIEMBRA.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2018)

Por otro lado, la siembra con Micorriza Arbuscular y el pasto Vetiver se procedió primero a realizar cada surco con una profundidad de 15 cm, pero esta vez aplicando una cantidad adecuada de Micorrizas Arbusculares, la dosificación óptima entregada por el vendedor, fue 500 a 600 kg por hectárea. La Micorriza se preparó mezclándose con abundante agua limpia y se aplicó antes de poner cada plántula en su lugar. Luego el sembrado se realizó con el mismo procedimiento que las plantas sin Vetiver. Para potenciar aún más el efecto de la Micorriza en la raíz del pasto, se realizó una adicción extra de Micorrizas haciendo un pequeño agujero encima de la raíz inyectándole un poco de la mezcla de Micorrizas y agua.

2.5 MANTENIMIENTO DE CULTIVO Y REVISIONES

Dado un convenio particular que se logró con la Universidad del Tolima, se contó con la asesoría especializada de su grupo de investigación GEBIUT, quienes nos brindaron la asesoría necesaria, en cuanto al componente biológico de la investigación, dada la relación entre el pasto y el hongo y la

alteración, producto de esta relación. Se nos indicó, cómo funciona la Micorriza, que ocurre cuando se implementa en un cultivo, su comportamiento en diferentes tipos de planta y los cuidados en el proceso de población del hongo formador de Micorrizas.

Es una planta muy resistente y de fácil manejo, importante es revisar a los 30 días y hacer la reposición (resiembra) del material que falló. Es fundamental que la barrera quede completa y sea eficiente. Controlar malezas altas en los primeros 3 meses para que él se desarrolle y compita bien, luego de establecido él se defiende solo.

Podar a los 3 o 4 meses a una altura de 25 cm para estimular macollamiento, es decir formación de tallos. Luego con dos podas anuales es suficiente si se quiere que las barreras se vean paisajísticamente más agradables y homogéneas.

A los dos meses se hace una fertilización con un abono rico en fósforo a razón de 100 gr por cada 10 metros lineales de barrera viva.

FIGURA 4. TALUD CON VETIVER Y MICORRIZAS DURANTE LA SIEMBRA Y 4 MESES DESPUÉS.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2018)

2.6 ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizaron los ensayos de suelos para determinar las propiedades mecánicas del mismo y su cambio en dos condiciones diferentes. Suelo con Vetiver y suelo con Vetiver micorrizado. Esto se realizó en dos fases, una fase inicial, al momento de hacer el descapote y la siembra, y la otra, cuatro meses después, a fin de cuantificar el cambio producido. Los mencionados ensayos, incluyen, ensayo de corte directo, el cual es esencial, dada cualquier condición, para hallar el valor de la resistencia cortante de un suelo [11], granulometría, límites de Atterberg e índice de plasticidad. Resaltando que, Para enmarcar el desarrollo de la investigación dentro la legislación pertinente y aplicable al tema en estudio, se basa en las normas del instituto nacional de vías [12].

2.6.1 GRANULOMETRÍA

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Los tamices a utilizar en el presente ensayo, están de acuerdo a la Norma INV E – 123 (2013).

TABLA 1. RESULTADO DEL ENSAYO GRANULOMÉTRICO

		N° DEL TAMIZ	PESO RETENIDO GR,	PESO RETENIDO GR, REAL	B %PASANTE	% MAS GRUESO	% MÁS FINO
PIEDRA O CANTOS		4					
		3	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
GRAVA	GRUESA	2 ½	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		1 ½	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		¾	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	FINA	½	0.00	0.00	0.00		
		3/8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
		¼	0.00	0.00	0.00		
		Nº 4	10.30	10.31	1.16	1.16	98.84
ARENA	GRUESA	Nº 8					
		Nº 10	22.40	22.43	2.53	3.69	96.31
	MEDIA	Nº 16					
		Nº 20	23.80	23.83	2.69	6.38	93.62
		Nº 30					
		Nº 40	56.40	56.46	6.37	12.75	87.25
	FINA	Nº 50					
		Nº 60	90.50	90.60	10.22	22.97	77.03
		Nº 80					
		Nº 140	149.30	149.47	16.86	39.83	60.17
		Nº 200	39.00	39.04	4.40	44.23	55.77
		P Nº 200	493.9	494.46	55.77	100.00	0.00

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

2.6.2 LIMITES DE ATTERBERG

El límite líquido (LL) se refiere a la humedad que debe tener el suelo cuando este se encuentra en la transición del estado semi-líquido a plástico. La principal característica de este estado es que tiene una resistencia al corte muy pequeño.

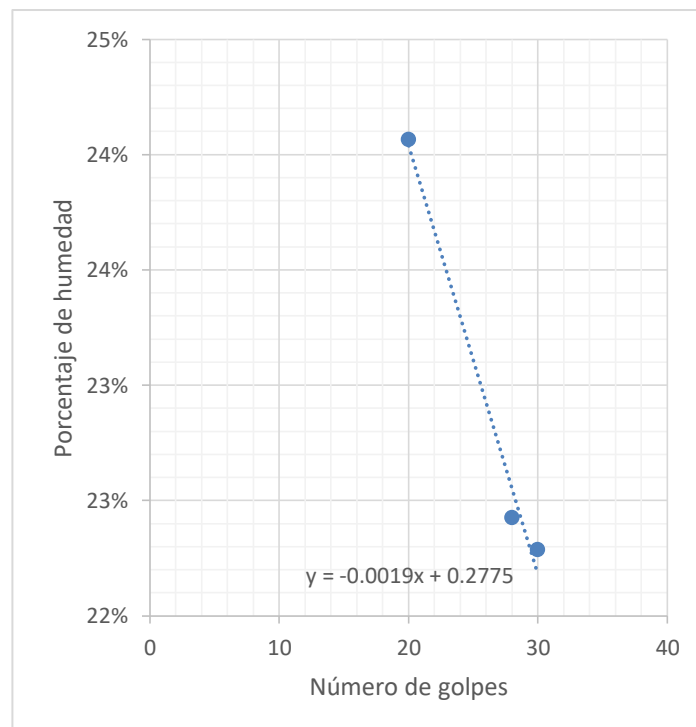
TABLA 2. RESULTADOS LIMITE LIQUIDO

DETERMINACIÓN DE LIMITE LIQUIDO, ZONA DE APLICACIÓN							
	PESO HÚMEDO DE MUESTRA (G)	N° DE GOLPES	PESO SECO TOTAL (G)	PESO DE RECIPIENTE (G)	PESO SECO DE MUESTRA (G)	HUMEDAD (G)	HUMEDAD (%)
MUESTRA 1	21.4	30	109.4	91.9	17.5	3.9	22%
MUESTRA 2	20.2	28	119.4	102.9	16.5	3.7	22%
MUESTRA 3	23.2	20	107.7	89	18.7	4.5	24%
		25				LL	23%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

Como sabemos que el límite líquido w_L se obtiene a los 25 golpes de la máquina de Casagrande, se realizó un gráfico el cual muestra en el eje X el número de golpes a los cuales se juntaron ambas masas de suelo en $\frac{1}{2}$ " de longitud (en escala logarítmica), y en el eje Y, el porcentaje de humedad que tenía el suelo en ese momento.

FIGURA 5. MODELO DE REGRESIÓN PARA LÍMITE LÍQUIDO.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

La ecuación de la recta obtenida de la regresión lineal es: $y = -0.0019x + 0.2775$

Por lo tanto, para obtener el límite líquido basta evaluar esta recta para $x = 25$, obteniendo:

$$LL = 23 \%$$

Para la determinación del límite plástico es necesario tomar una muestra de la mezcla de suelo y agua, en específico una muestra de la mezcla resultante del ensayo de determinación del límite líquido. Tal muestra se amasa y se hacen tubos, de un diámetro cercano a los 3mm sobre una placa de vidrio.

TABLA 3. RESULTADOS ENSAYO LIMITE PLÁSTICO.

DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLÁSTICO, ZONA DE APLICACIÓN						
	PESO HÚMEDO TOTAL (G)	PESO SECO TOTAL (G)	PESO DE RECIPIENTE (G)	PESO SECO DE MUESTRA (G)	HUMEDAD (G)	LIMITE PLÁSTICO
Muestra 1	25.2	24.5	20.3	4.2	0.7	17%
Muestra 2	25	24.3	20	4.3	0.7	16%
					LP prom	16%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

TABLA 4. RESUMEN DE LIMITES DE ATTERBERG

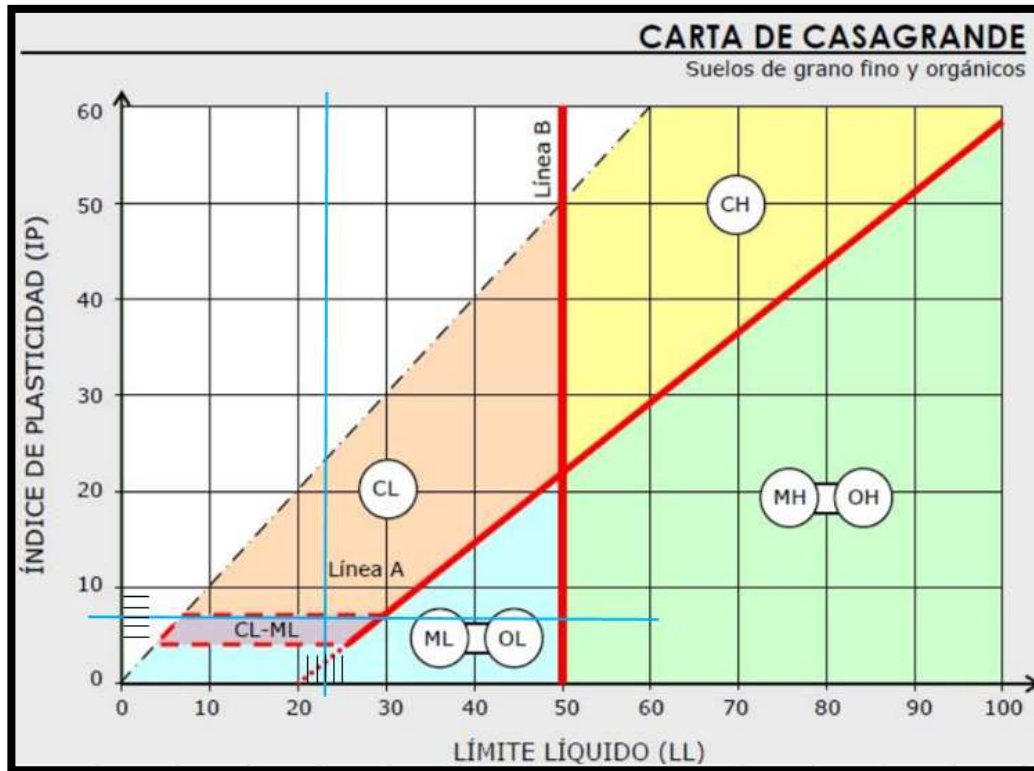
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
LL	23%
LP	16%
IP	7%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

2.6.3 CLASIFICACIÓN DEL SUELO (SUCS)

Una vez realizados los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, se procede a clasificar en suelo, por medio de la carta de Casagrande, para suelos de grano fino y orgánicos, con la nomenclatura del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

FIGURA 6. UBICACIÓN DEL SUELO DENTRO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

El resultado obtenido, es un suelo Arcillo-limoso de baja plasticidad.

2.6.4 RESISTENCIA AL CORTE DIRECTO.

Para la realización de esta investigación se decidió trabajar con ensayos de corte directo consolidado drenado, teniendo otras investigaciones referentes importantes [13]. Sin embargo, para las aplicaciones de control de erosión y protección de taludes. Los suelos no deberían presentar altos niveles de consolidación. Por otro lado, dadas las condiciones de intensas precipitaciones y la vulnerabilidad del talud de sufrir saturación, generar erosión y una posible desestabilidad en la masa de suelo, se decidió realizar ensayos drenados.

Dado el tipo de suelo arcilloso, se escoge una velocidad de corte de 3 milímetros por minuto que le permite al suelo drenar el agua, mantener la velocidad constante para todas las muestras y determinar el aumento de la resistencia que generan las raíces.

Con base en la teoría sobre la ecuación de Mohr – Coulomb, para determinar los esfuerzos cortantes en la estructura del suelo y determinar si las raíces colonizadas con Vetiver favorecen en mejor medida a la estabilización del talud, se ha planteado realizar, de acuerdo con la norma INVÍAS I.N.V. E-154, el ensayo de corte directo, con 3 especies por cada condición en que se encuentra el talud, es decir con y sin Micorrizas.

A continuación se evidencia el proceso como se realizó la toma de la muestra inalterada, en cada uno de los especímenes, para someterlos al corte directo y su posterior resultado.

FIGURA 7. PREPARACIÓN DE MUESTRA Y RESULTADO DEL CORTE DIRECTO.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

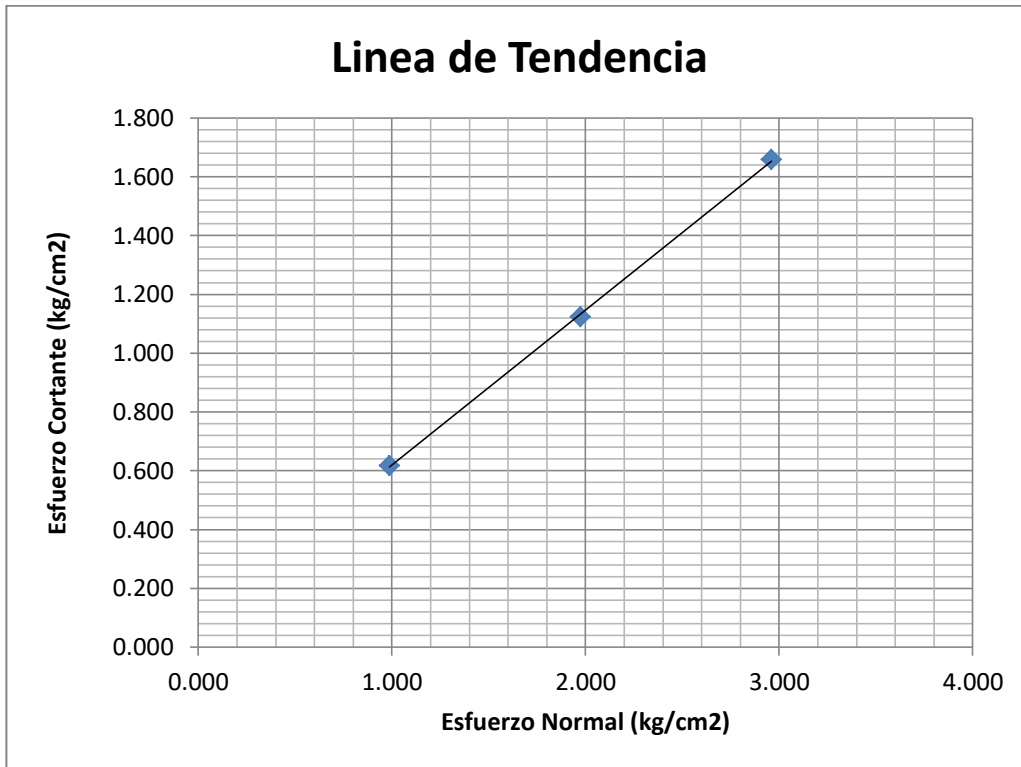
Con los resultados obtenidos durante la prueba de corte directo se elaboraron las siguientes tablas y graficas que resumen la información:

TABLA 5. RESUMEN DE RESULTADOS DE CORTE DIRECTO, VETIVER CON MICORRIZAS.

CARGA KG	ESFUERZO NORMAL KG/CM2	ESFUERZO CORTANTE KG/CM2
60	2.960	1.658
40	1.974	1.123
20	0.987	0.617
Angulo de fricción interna (°)		27.80

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

FIGURA 8. LÍNEA DE TENDENCIA QUE DESCRIBE LA ENVOLVENTE DE FALLA, CON MICORRIZAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

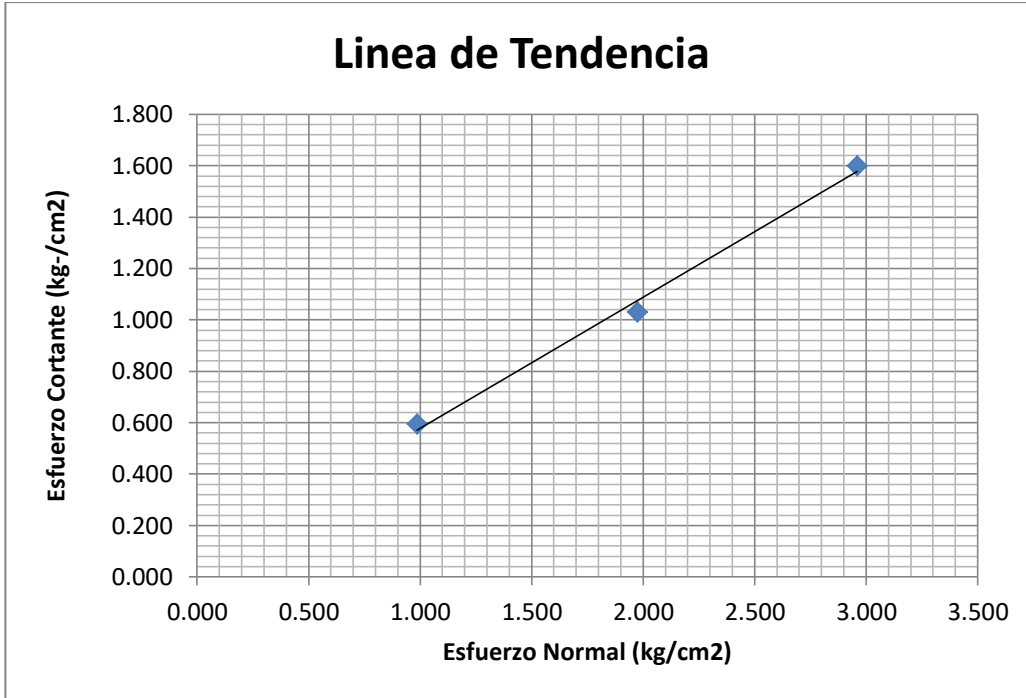
Posteriormente se han realizado los ensayos de corte directo, para tres tipos de carga normal diferente, en los especímenes de vetiver, esa vez, sin presencia de Micorrizas Arbusculares.

TABLA 7. RESUMEN DE RESULTADOS DE CORTE DIRECTO, VETIVER SIN MICORRIZAS

CARGA KG	ESFUERZO NORMAL KG/CM2	ESFUERZO CORTANTE KG/CM2
60	2.960	1.599
40	1.974	1.031
20	0.987	0.594
Angulo de fricción interna (°)		26.98

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

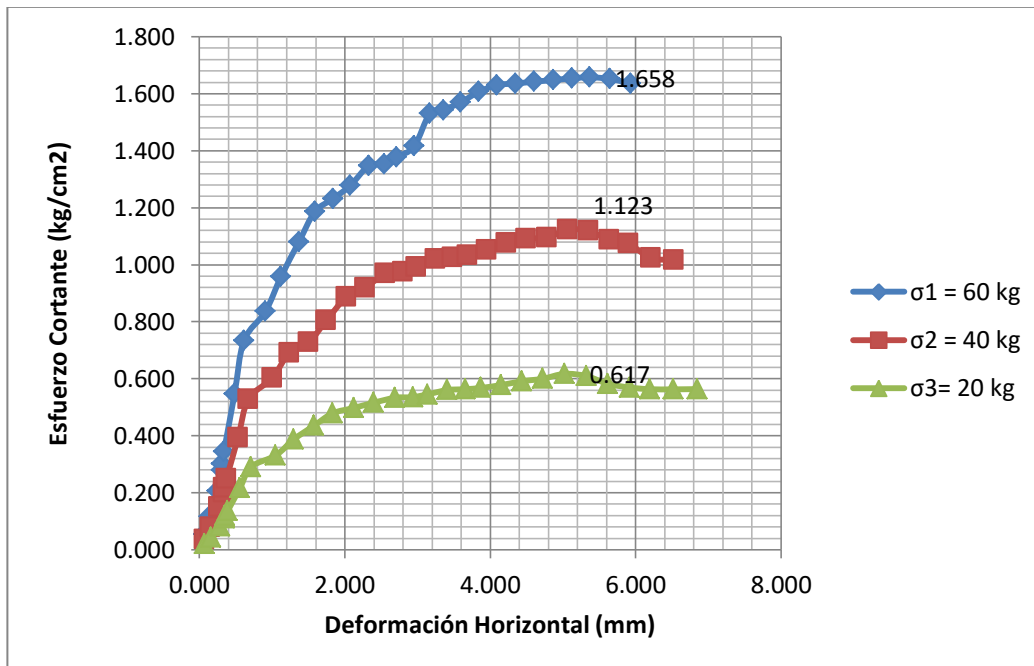
FIGURA 9. LÍNEA DE TENDENCIA QUE DESCRIBE LA ENVOLVENTE DE FALLA, SIN MICORRIZAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

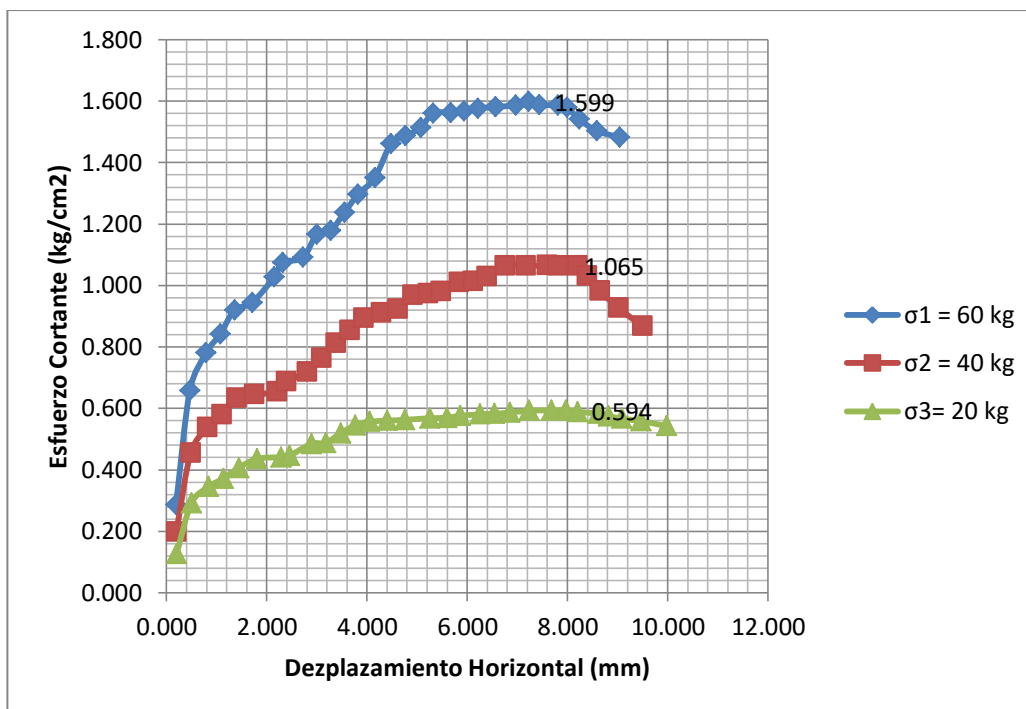
Con los resultados obtenidos directamente del ensayo de corte directo, y con la resistencia al cortante, se procede a trazar las gráficas de esfuerzo cortante contra deformación, en cada una de las condiciones, con Micorrizas y sin Micorrizas, así:

FIGURA 10. CURVA DE DEFORMACIÓN CONTRA ESFUERZO CORTANTE, CON MICORRIZAS.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

FIGURA 11. CURVA DE DEFORMACIÓN CONTRA ESFUERZO CORTANTE SIN MICORRIZAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

Con lo cual es evidente que en presencia de la raíz fortalecida con micorrizas, para un mismo esfuerzo, el desplazamiento horizontal, es menor, es decir, disminuye gradualmente el esfuerzo cortante.

2.7 ANÁLISIS DE LAS PLÁNTULAS EN CAMPO.

A la edad de cuatro meses donde se procedió a realizar una extracción de la zona de siembra, caracterizando los resultados del Vetiver con Micorrizas y sin Micorrizas, para determinar la afectación de las raíces y el desarrollo de las plantas

A modo de caracterización cualitativa y con el propósito de evidenciar la eficiencia de los hongos formadores de Micorrizas arbusculares, para alterar y potenciar el crecimiento de la raíz del pasto Vetiver, se han destinado ejemplares de los especímenes del talud en cada condición para realizar la medición de la longitud radical, diferenciando y detallando las características de cada caso, por observación directa.

La primera evaluación de la alteración de la raíz se efectuó a los dos meses después de sembrada la planta y los resultados se evidencian en la siguiente ilustración.

FIGURA 12. COMPARACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LA MICORRIZA SOBRE EL VETIVER A LOS DOS MESES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

A la izquierda el Vetiver inoculado con Micorrizas arbusculares, a la izquierda el Vetiver sin alteración. Ambos con dos meses de sembrados. El Vetiver con Micorrizas presenta raíces principales más largas y en mayor cantidad, contando con una longitud máxima de raíz de 10 cm. Por otro lado, el Vetiver sin Micorrizas, presenta pocas raíces largas y de longitud máxima de 8 cm.

FIGURA 13. COMPARACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LA MICORRIZA SOBRE EL VETIVER A LOS TRES MESES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

Luego de tres meses, a la izquierda el Vetiver inoculado con Micorrizas arbusculares, a la izquierda el Vetiver sin alteración. Nuevamente, el Vetiver con Micorrizas presenta raíces principales más largas y en mayor cantidad, contando con una longitud máxima de raíz de 18,5 cm, mientras que el Vetiver sin Micorrizas, presenta pocas raíces largas y de longitud máxima de 16,5 cm.

El último periodo de evaluación se estableció, cuando el pasto micorrizado tuvo una edad de cuatro meses. Cuando se hizo en campo la caracterización de las muestras de pasto, en las dos condiciones, se obtuvo resultados cualitativos considerables. A continuación se ilustra el resultado de la micorriza sobre la raíz del Vetiver.

FIGURA 14. RAÍZ DE VETIVER EN PRESENCIA DE MICORRIZAS, CUATRO MESES DESPUÉS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

El crecimiento de la raíz en cuanto a longitud se hace notorio. Sin embargo tanto el área de cobertura de la raíz, así como el volumen de suelo afectado por la misma, aumentaron a simple vista, por lo menos dos veces, en comparación con las muestras extraídas un mes atrás.

Respecto a la micorrización directa de la planta, como se aprecia a continuación, se puede decir que las hifas producidas por la acción del hongo, hacen que el Vetiver presente, para el volumen de influencia, una densificación mayor en la cantidad de raíces de diversos tamaños. Asimismo, es evidente, como en cuanto a estructura del suelo se presentan mejoras, al ver claramente los terrones que se forman gracias al anclaje de las raíces y a la actividad cementante producida por el hongo.

FIGURA 15. MUESTRA DE LA DENSIDAD DE LA RAÍZ DEL VETIVER CON MICORRIZAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

Comparativamente se presentan los resultados cualitativos de las muestras sin presencia de Micorrizas, en las cuales, aunque también se evidencian importantes características en cuanto a longitud de raíces, área y volumen de influencia, se puede decir que, en menor cantidad respecto al Vetiver micorrizado. Las ilustraciones siguientes son prueba de ello.

FIGURA 17. RAÍZ DE VETIVER SIN PRESENCIA DE MICORRIZAS, CUATRO MESES DESPUÉS.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019).

Finalmente se presenta la comparación cualitativa entre las raíces del Vetiver con y sin micorrizas respectivamente.

FIGURA 18. RAÍCES DEL PASTO VETIVER, A LA IZQUIERDA CON MICORRIZAS, A LA DERECHA SIN MICORRIZAS



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019).

2.8 FAVORECIMIENTO CONTRA LA EROSIÓN

Al finalizar el periodo de prueba establecido para culminar la primera etapa de la investigación, se tiene tres áreas en diferentes condiciones de cobertura pertenecientes al mismo talud, dos con Vetiver, de las cuales una contó con Micorrizas mientras la otra no, y la tercera sin ninguna planta, con el suelo expuesto a los agentes de intemperismo.

FIGURA 19. PARCELAS DE VETIVER EN DIFERENTES CONDICIONES.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Por observación directa, es posible identificar que en las dos áreas donde se tenía pasto Vetiver, sin tener en cuenta la presencia de Micorrizas, el suelo se mantuvo sin señales de erosión visible, mantuvo su altura y aparentemente su volumen; mientras, el área desprotegida, dejó notar a simple vista una pequeña reducción de volumen en pequeñas zonas.

Para ver un ejemplo claro de los beneficios directos del pasto Vetiver contra la erosión, podemos observar que los árboles sin recubrimiento vegetal no pueden realizar esta labor por si solos porque sus raíces son demasiado largas y gruesas para evitar que los pequeños granos de suelo sean arrastrados por la escorrentía superficial generados por lluvia o viento. Por este motivo la plantación de gramíneas con raíces reduce la velocidad del agua disminuyendo así potencia y terminando con el suelo transportado en las barreras creadas. [9]

Según el Banco Mundial *“Cuando el escurrimiento llega hasta los cercos vegetales, se hace más lento, se esparce, se desprende de su carga de limo y fluye a través de las hileras de cercos; entretanto, gran parte del agua penetra en la tierra. No hay pérdida de suelo y tampoco hay pérdida de agua debido a la concentración del escurrimiento en zonas determinadas.”* [9]

Las hojas del pasto Vetiver, cuando este se encuentra en un desarrollo entre cuatro meses y un año de cultivo, disminuye la energía de impacto de las gotas de lluvia y cohibe el paso de las corrientes de viento muy cerca de la superficie. La vegetación brinda un amarre superficial y profundo dependiendo del estado en su ciclo de desarrollo, permitiendo diferentes tipos de restitución de minerales en el suelo por procesos orgánicos.

FIGURA 20. AMARRE DEL VETIVER CON EL SUELO SUPERFICIAL.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El área de estudio identificada y seleccionada para aplicar la siembra de las especies de Vetiver micorrizado, fue apropiada, dadas sus condiciones de vulnerabilidad ante la erosión por agentes externos, y por su capacidad para permitir el crecimiento del pasto Vetiver. Lo que permite decir que efectivamente

el proyecto, podría ser aplicado, por lo menos, en la denominada zona Piedemonte llanero. No descartando la posibilidad de su expansión a otras zonas, con características diferentes.

Mediante sondeos técnicos y ensayos de laboratorio, se ha clasificado el suelo, el cual se ha caracterizado por altos contenidos de material fino, y por tener baja plasticidad, es decir un CL-ML según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS. Por lo tanto, cualquier proyecto del mismo tipo en este tipo de suelo, debe tener comportamiento similar.

Una vez realizados los ensayos de laboratorio enfocados a evaluar específicamente las propiedades mecánicas del suelo, se puede decir que los resultados, han sido satisfactorios, pues tanto el corte directo del suelo, como el ángulo de fricción, se vieron, aunque en baja medida, potenciados por la presencia de Micorrizas Arbusculares.

TABLA 8. COMPARACIÓN DE ÁNGULOS DE FRICCIÓN

Angulo de fricción con micorrizas (°)	27.80
Angulo de fricción interna sin micorrizas (°)	26.98

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. (2019)

Esta mejora del 3% en el ángulo de fricción, en un periodo de cuatro meses, se considera importante si se tiene en cuenta que para este tiempo las raíces solo tenían una longitud cercana a los 20 cm, y que se tiene un crecimiento esperado de la raíz de entre 3 a 5 m.

Tomando como referentes otras investigaciones realizadas en cuanto a estabilización de suelos con raíces de plantas, se tiene, por ejemplo, evidencias que para fallas a poca profundidad para dos casos específicos en el Japón, el factor de seguridad de acuerdo al modelo de análisis aumentó de 10 % a 13.5 %, para niveles altos de densidad de vegetación [14].

En cuanto a la aplicación de las Micorrizas Arbusculares y su impacto dentro del desarrollo del pasto y por consiguiente brindando mejoría en el control de la erosión. Se realiza una caracterización donde se tienen 4 aspectos importantes dentro de la planta en comparación con las plantas que no son intervenidas con los hongos micorrizadores, estos aspectos son: cantidad de hojas desarrolladas, número y aspecto de raíces de la planta, macollamiento o número de tallos y clasificación visual por medio de cantidad de pelos secundarios presentes en las raíces.

La toma de muestras se realizó de la siguiente manera, tomando dos grupos de pasto Vetiver dividido en 10 plántulas colonizadas con Micorrizas y 10 plántulas sin ninguna alteración Biológica.

TABLA 9. MUESTRAS DE CADA CASO A ANALIZAR.

VETIVER		
	Muestra 1	Muestra 2
	Con Micorrizas	Sin Micorrizas
N° de Muestras	10	10

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

Cabe aclarar que las parcelas construidas para la realización de la investigación tienen una población de 350 plántulas aproximadamente por parcela.

TABLA 10. CONTEO DE LAS HOJAS DEL VETIVER.

HOJAS DEL VETIVER (N°)		
N° de Muestra	Con Micorrizas	Sin Micorrizas
1	58	47
2	65	53
3	48	54
4	57	59
5	62	49
6	63	44
7	54	58
8	47	52
9	59	57
10	51	43

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (2019)

En este caso, se debe tener en cuenta que el desarrollo de las planta con Micorrizas, visualmente es evidente por el color de sus hojas y la cantidad respecto al Vetiver sin Micorrizas. Dando los siguientes resultados de comparación.

El promedio de hojas en la planta intervenida con Micorrizas es de 56.4 hojas y el del pasto aplicado directamente es de 51.6 hojas, dando como resultado en el número de cantidad de hojas desarrolladas una mejora del 8.5%.

Uno de los parámetros más importante a ser analizados son las longitudes de los raíces, por lo que se optó por tomar la raíz más larga en promedio que se encontrara en cada espécimen. Para relacionar los resultados tenemos la siguiente tabla:

TABLA 11. LONGITUD RADICULAR DEL VETIVER

LONGITUD RADICULAR DEL VETIVER (cm)		
N° de Muestra	Con Micorrizas	Sin Micorrizas
1	19	16
2	23	22
3	21	24
4	19	17
5	19	17
6	20	17
7	17	21
8	26	19
9	24	18
10	18	21

ELABORACIÓN PROPIA (2019)

Las plantas con Micorrizas presentaron una mejor distribución dentro del terreno y una mayor profundidad. Por otro lado, el patrón de engrosamiento era mucho mayor frente a las plantas que no habían sido alteradas. Como promedio, la longitud de la raíces con Micorrizas es de 20.6 cm y para el pasto Vetiver normal es de 19.2, lo que representa una mejora en la evolución de las condiciones radiculares de 6.8% en comparación.

Como un aspecto adicional de información de desarrollo de la planta, se encuentran los pelos secundarios que son los encargados de absorber nutrientes en el subsuelo, se realizó una clasificación cualitativa de la presencia de estos, y en cada uno de los dos casos se arrojó los siguientes resultados.

TABLA 12. CARACTERIZACIÓN DE RAÍCES SECUNDARIAS DEL VETIVER

RAÍCES SECUNDARIAS DEL VETIVER (Población)		
N° de Muestra	Con Micorrizas	Sin Micorrizas
1	Buena	Regular
2	Buena	Buena
3	Buena	Regular
4	Regular	Buena
5	Regular	Regular
6	Buena	Buena
7	Buena	Regular
8	Regular	Buena
9	Buena	Buena
10	Buena	Buena

ELABORACIÓN PROPIA (2019)

Lo cual indica, cualitativamente, que el pasto que ha sido colonizado por el hongo formador de Micorrizas, no solo tiene raíz más larga y fuerte, sino también más densa y abarca más volumen dentro del suelo, favoreciendo la estructura del mismo.

En cuanto a hongos se refiere, se sabe que sus hifas, que forman un componente fundamental de su estructura, segregan o exudan polisacáridos, que son polímeros con cantidades de azúcar, que se descomponen y actúan como cementante, formando una malla pegajosa que une las partículas y micro agregados del suelo, formando macro agregados con más estabilidad. [15] Teniendo en cuenta que la estructura de un suelo, depende de la estructura de sus agregados y la cementación o agrupación de los mismos [16]

Otro factor considerado, es la cantidad presente de tallos desarrollados en cada planta tomo un rumbo importante dentro del análisis de los beneficios de la Micorrizas para evitar la erosión ya que según referentes teóricos [9], entre más tallos tiene una planta, mayor es el rango de protección del suelo, pues disminuye la velocidad e impacto con que cae el agua de lluvia directamente en la superficie. Debido a esto, se realizó un conteo en los especímenes extraídos y se recopiló la siguiente información:

TABLA 13. NUMERO DE TALLOS (MACOLLAMIENTO) DEL VETIVER.

MACOLLAMIENTO DEL VETIVER (N° TALLOS)		
N° DE MUESTRA	CON MICORRIZAS	SIN MICORRIZAS
1	9	8
2	10	7
3	9	6
4	8	7
5	9	6
6	11	8
7	9	6
8	9	7
9	7	5
10	9	6

ELABORACIÓN PROPIA (2019)

El promedio de tallos en las plantas con Micorrizas es de 9 tallos por planta muestras que en el caso sin Micorrizas es de 6.6, que equivale a una mejoría aparente de 26.6%.

Por lo anterior, nos es posible determinar que técnicamente, el control de la erosión en taludes, mediante la implementación de pasto Vetiver, mediante el uso de Micorrizas Arbusculares es considerablemente

factible. Ahora bien, en cuanto al aspecto ambiental y económico, la técnica también tiene sus ventajas. Ambientalmente, un talud recubierto con pasto, capta más CO₂, que uno recubierto con concreto. Pero cuando se habla de Vetiver en específico hay que tener en cuenta que, según referentes, este absorbe CO₂ en mayor cantidad que otros pastos.

En lo que a economía se refiere, es sencillo argumentar que la estabilización de un talud con bio-ingeniería es más barato que hacerlo con técnicas convencionales, sin embargo es apresurado, pues para los resultados que ha arrojado el proyecto, no es prudente, por lo menos aún, comparar la técnica de Vetiver micorrizado con las demás, puesto que hasta ahora se encuentra en su etapa de desarrollo.

4. CONCLUSIONES

La implementación de Vetiver es un camino viable y rentable económicamente para el control de la erosión en taludes y suelos de gran parte del Piedemonte, previniendo así la vulnerabilidad.

Se encontró información verás de que el vetiver puede contrarrestar los procesos de erosión y esta investigación adicióno que con ayuda de las Micorrizas Arbusculares se potencializa el crecimiento y el número de sus características físicas. De igual manera el departamento del Meta es una potencia agrícola del país y se podrían realizar estudios basados en la aplicación de pasto y Micorrizas para prevenir la pérdida de suelos por esta actividad.

La metodología presento una aumento en las propiedades del pasto Vetiver positivas pero aun no considerables para plantar un cambio realmente significativo esta por la imposibilidad de extender la investigación y debido al tiempo de desarrollo del pasto, pero se invita a los investigadores de la universidad Santo Tomas a profundizar más en el tema y culminar el análisis con un aporte excelente a la ingeniería civil y a la sociedad Metense en general.

Esta investigación sirve de punto de referencia a la población para la generación nuevas tecnologías en la zona, así como la culturización de uso de métodos naturales para la conservación y tratamiento de los suelos.

Al analizar la erosión en los suelos y para contar con resultados más acertado, se realizó un estudio de corte directo para determinar los beneficios de la micorriza en la raíz de la planta, los cuales dieron como resultado un aumento del 4.7% de resistencia al corte con respecto a una alianza del pasto pero sin micorrizas.

Se observa que el vetiver tiene una tendencia favorable de mejorar algunas propiedades físicas del suelo al compararse con las condiciones iniciales. Se debe a su sistema radicular denso, masivo, bien estructurado el cual provee un ambiente que mejora la estructura del suelo, y que a su vez estimula la actividad de los organismos del suelo, especialmente favoreciendo un alto desarrollo de micorrizas.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y las variables número de tallos o macolla. Estas variables aumentaron significativamente en la medida que se disminuyó la aplicación de Micorrizas Arbusculares.

El Vetiver con Micorrizas es sencillo, barato, de fácil aplicación, efectividad, larga duración. También es de bajo coste de desarrollo y mantenimiento, y de rápida aplicación y poco impacto ambiental, sobre todo si se compara con los sistemas tradicionales de estructuras artificiales.

4.1 RECOMENDACIONES

Sabiendo que el objeto de la investigación se cumplió, pues se demostró la eficiencia de la Micorriza Arbuscular para potenciar el pasto Vetiver y a su vez controlar la erosión en los taludes, es necesario expandir su análisis en diversas condiciones.

De esta manera, se plantea, que para estudios posteriores, se realice la toma de los ensayos, cuando la longitud de la raíz haya alcanzado su máximo, así como efectuarlos por medio de un método más preciso cómo lo es el ensayo de Corte Triaxial. Determinando si la longitud total de raíz es lo suficientemente fuerte para controlar el plano de falla total de un talud.

Se hace necesaria la experimentación en taludes con diferentes tipos de suelos y con diferentes ángulos de inclinación, así como con diferentes tipos de pasto, lo cual requiere una caracterización de la afectación de la micorriza en cada especie.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Ingeniero Paulo José Aragón Otero, por su confianza desde el inicio del semillero, por su tiempo y dedicación, incluso después de no pertenecer a la universidad continuó apoyándonos para sacar adelante este proyecto. Al grupo de investigación GEBIUT de la Universidad del Tolima por su aporte en el montaje y seguimiento del cultivo del pasto Vetiver inoculado con Micorrizas. A la Ingeniera Jessica María Ramírez Cuello, por tomar el semillero de investigación y guiarnos hasta conseguir el objetivo. A las laboratoristas, especialmente a la Ingeniera Karen Olaya quien siempre brindó su apoyo y disponibilidad para realizar los ensayos de laboratorio necesarios. Por último, a cada una de las personas que con su aporte y ayuda hicieron que este proyecto se llevara a cabo. Todo se hizo con el ánimo de hacer una contribución a la ingeniería, la ciencia y a la vida.

REFERENCIAS

- [1] J. MARTÍNEZ, «MEZCLAS ECOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y ESTABILIDAD DE TALUDES,» FACULTAD DE INGENIERÍA, VOL. 19, Nº 28, 36, 2010.
- [2] P. D. V. IBARRA, «ESTABILIDAD DE TALUDES CON ANCLAS,» UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO, MEXICO, D.F, 2015.
- [3] Solís, C. R. (2002). «La Biofertilización - una alternativa económica para la nutrición de la soya en el Piedemonte llanero». Corpoica, Programa de recursos biofísicos, 11 - 14.
- [4] M. Agudelo Becerra and F. Casierra-Posada, «EFECTO DE LA MICORRIZA Y GALLINAZA SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA CALIDAD DE CEBOLLA CABEZONA», 1st ed. Tunja, 2004.
- [5] Jeffries P., Barea JM (2001) «Mycorrhiza Arbuscular - Un Componente Clave De Los Ecosistemas Sostenibles Planta-Suelo». En: Hock B. (eds) Fungal Associations. The Mycota (Un tratado integral sobre hongos como sistemas experimentales para investigación básica y aplicada), vol 9. Springer, Berlín, Heidelberg
- [6] M. Cano, «INTERACCIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN PLANTAS: Micorrizas, Trichoderma spp. y Pseudomonas spp. UNA REVISIÓN». 2011.
- [7] "Vetiver System for Erosion and Sediment Control, and Stabilization of Steep Slopes", The Vetiver Network International, Vietnam, 2012.
- [8] D. ESCOBAR GONZÁLEZ, VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASTO VETIVER PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN COLOMBIA. Bogotá, 2014.
- [9] Vetiver. La barrera contra la erosión, 3rd ed. 1995. Traducción al español del original.
- [10] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, «ESTACIONES METEOROLÓGICAS: SENA, UNILLANOS, IDEAM V/CIO.,» IDEAM, VILLAVICENCIO, 2018.
- [11] G. D. E. CARLOS ENRIQUE ESCOBAR POTES, «GEOTÉCNIA PARA EL TRÓPICO ANDINO,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MANIZALES, 2017.
- [12] Instituto Nacional de Vías, «Manual para la inspección visual de obras de estabilización,» INVÍAS, Bogotá, 2006.
- [13] J. V. A. G. JESSIKA MAGRETH HERRERA PASSOS, «EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN SUELOS DE LADERA CUBIERTOS CON VETIVER,» REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA, Nº 108, PP. PP. 37- 43, 2017.
- [14] S. D. JAIME, «VEGETACIÓN Y BIO INGENIERÍA,» DE DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES, BUCARAMANGA, INGENIERÍA DE SUELOS LTDA., 1998, PP. 275-302.
- [15] Dr. Paul Truong, "REPORT ON THE APPLICATION OF VETIVER SYSTEM IN THE CITARUM RIVER BASIN, INDONESIA", Denpasar, Bali, Indonesia, 2010.
- [16] J. M. R. Dalvan José Reinert, Propriedades físicas do solo, Santa Maria, RS, Brasil: Universidad Federal de Santa María, 2006.