

**DETERMINACIÓN DE LA MEJOR COBERTURA VEGETAL PARA LA  
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON AGROTEXTIL EN LA VÍA POPAYÁN-  
TOTORÓ, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



Universidad  
del Cauca

**PAOLA ANDREA NARVÁEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL  
POPAYÁN  
2010**

**DETERMINACIÓN DE LA MEJOR COBERTURA VEGETAL PARA LA  
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON AGROTEXTIL EN LA VÍA POPAYÁN-  
TOTORÓ, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



Universidad  
del Cauca

**PAOLA ANDREA NARVÁEZ**

**Trabajo de grado en la modalidad de trabajo de investigación para optar al  
título de Ingeniera Forestal**

**DIRECTOR**  
**Ing. Forestal. LUIS CARLOS MONTOYA CÁRDENAS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL**  
**POPAYÁN**  
**20010**

**Nota de aceptación:**

El director y los jurados han revisado este documento, han escuchado la sustentación del mismo por el autor y lo encuentran satisfactorio.

---

**LUIS CARLOS MONTOYA**  
Director

---

**MARGARITA POLANCO DE HURTADO**  
Jurado

---

**JUAN PABLO PAZ**  
Jurado

Popayán, junio de 2010

***DEDICATORIA***

A mi familia, en especial a mi madre y a mi novio por su apoyo incondicional, y a todas las personas que contribuyeron a este logro tan importante en mi vida.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1 EL AGUA EN LOS TALUDES	14
1.1.1 Erosión hídrica.	14
1.1.2 El agua superficial o escorrentía.	14
1.1.3 Contaminación de aguas por aporte de sedimentos.	15
1.2 LA VEGETACIÓN	15
1.2.1 Retención de agua en la vegetación.	16
1.2.2 Revegetalización de Taludes.	16
1.2.3 Vegetación en taludes de alta pendiente.	16
1.3 CONTROL DE LA EROSIÓN EN TALUDES DE CARRETERAS	17
1.4 ESPECIES DE ESTUDIO	18
1.5 ANTECEDENTES	23
1.5.1 CUANTIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LA ERODABILIDAD DE LOS SUELOS ANDINOS EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO. (Leihner, Ruppenthal, Castillo y Müller-Sämann, 1996)	23
1.5.2 PROCESOS FÍSICOS DE EROSIÓN Y SU DINÁMICA: PREVENCIÓN Y CONTROL EN SUELOS DE LADERA DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA. (Rivera, 1996)	23
1.5.3 EFECTO DE LAS BARRERAS VIVAS Y DE LAS COBERTURAS EN LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. (Rodríguez, 1997)	24
1.5.4 VALIDACIÓN DEL FACTOR ERODABILIDAD EN SUELOS DE LA UNIDAD CHINCHINÁ, <i>Melanudands</i> , MEDIANTE EL USO DE SIMULADOR DE LLUVIAS. (Hincapié y Rivera. 2003)	25
2. OBJETIVOS	27

2.1 OBJETIVO GENERAL	27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3. METODOLOGÍA	28
3.1 MATERIALES	28
3.1.1 Plántulas o semillas de las especies de estudio.	28
3.1.2 Agrotexil.	28
3.1.3 Lodo fertilizado.	28
3.1.4 Anclajes.	28
3.1.5 Latas de guadua.	28
3.1.6 Cubierta del receptáculo.	29
3.1.7 Balanza analítica.	29
3.1.8 Pluviómetro.	29
3.1.9 Palin.	29
3.1.10 Martillo.	29
3.1.11 Brocha.	29
3.2 MÉTODOS	29
3.2.1 Etapa de campo.	29
3.2.2 Etapa de laboratorio.	42
3.2.3 Etapa de oficina.	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1 RELACIÓN ENTRE LA PÉRDIDA DE TERRENO (SUELO) EN LAS PARCELAS Y LAS PRECIPITACIONES PRODUCIDAS DURANTE LOS MESES DE EVALUACIÓN PARA EL ESTUDIO	45
4.2 CANTIDAD DE SEDIMENTOS OBTENIDOS EN LAS PARCELAS DE ESTUDIO DURANTE EL PERIODO DE MEDICIÓN	47
4.3 PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO Y GERMINACIÓN TOTAL DE CADA UNA DE LAS ESPECIES DE ESTUDIO DURANTE EL TIEMPO DE MEDICIÓN	48
4.4 PORCENTAJE DE ÁREA CUBIERTA POR LAS ESPECIES EN CADA UNA DE LAS PARCELAS	50

4.5 COMPORTAMIENTO DE LA CANTIDAD DE SEDIMENTOS TOTALES EN CADA REPLICA	50
5. CONCLUSIONES	52
6. RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA CITADA	55

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Principales parámetros meteorológicos registrados en Popayán.	33
Cuadro 2. Asignación aleatoria de las especies en las parcelas.	35
Cuadro 3. Componentes del lodo fertilizado.	36
Cuadro 4. Cantidad total de sedimentos obtenidos en las parcelas.	47
Cuadro 5. Porcentaje de enraizamiento de las especies sembradas por estolones.	48
Cuadro 6. Porcentaje de germinación de la especie <i>Brachiaria humidicola</i> sembrada con semilla.	49
Cuadro 7. Porcentaje total de área cubierta de cada una de las especies de estudio.	50
Cuadro 8. Cantidad de sedimento total recolectado en cada una de las replicas establecidas en el estudio.	51



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Arachis pintoii</i> (Maní forrajero).	19
Figura 2. <i>Cynodon nlemfuensis</i> (Estrella).	20
Figura 3. <i>Brachiaria humidicola</i> . (Brachiaria).	21
Figura 4. <i>Pennisetum clandestinum</i> (pasto kikuyo).	22
Figura 5. Panorámica de la zona de estudio.	30
Figura 6. Ubicación general del área de estudio.	31
Figura 7. Precipitación registrada de cada mes durante un año. (Popayán).	32
Figura 8. Registro de cuantos días llueve en cada uno de los meses del año. (Popayán).	32
Figura 9. Precipitación registrada cada semana durante tres meses. (km 2 y 3 vía Totoró).	32
Figura 10. Vista general de la ubicación de las parcelas en la primera replica.	35
Figura 11. Vista general de la ubicación de las parcelas de la segunda y la tercera replica.	36
Figura 12. Corte transversal de la parcela y la caja de captura de sedimentos.	37
Figura 13. Parcela delimitada por guaduas con la superficie limpia y nivelada.	37
Figura 14. Parcela cubierta por una capa uniforme de lodo fertilizado.	38
Figura 15. Plantación de estolones proporcionalmente sobre el área de las parcelas.	38
Figura 16. Área de las parcelas protegidas con agromanto.	39
Figura 17. Agromanto de fibra de fique.	39

Figura 18. Pluviómetro artesanal enterrado y nivelado en un área despejada y alta.	40
Figura 19. Recolección de sedimentos arrastrados por la erosión y capturados en el receptáculo.	41
Figura 20. Conteo por franjas de plántulas germinadas en cada una de las parcelas.	41
Figura 21. Delimitación de áreas descubiertas por polígonos cerrados en cada una de las parcelas.	42
Figura 22. Secado del material a temperatura ambiente en el laboratorio de aguas y suelos.	43
Figura 23. Peso total del material seco con la ayuda de una balanza analítica en el laboratorio de aguas y suelos.	43
Figura 24. Peso de los sedimentos y pluviosidad medida en la zona de estudio, durante los meses de evaluación.	45
Figura 25. Línea de tendencia de la relación precipitación y material desprendido, durante el tiempo de estudio.	46

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis de varianza cantidad de sedimentos totales transportados.	58
Anexo B. Análisis de varianza sedimentos transportados en cada replica.	58
Anexo C. Anexo C. Análisis de varianza área cubierta en las parcelas.	58
Anexo D. Análisis de suelos.	59

## RESUMEN

En el proceso de diseño de carreteras se construyen taludes al cortar una ladera de una montaña, al tratarse de zonas inestables, dichos taludes provocan numerosos problemas, donde pueden presentarse altas tasas de erosión, cuando es removida la cubierta vegetal y el terreno queda al descubierto, dando origen a diversos problemas muchos de los cuales pueden tener una adecuada solución mediante el desarrollo del estudio que se plantea, el cual genera herramientas a través de nuevas tecnologías que contribuyen a concientizar a las personas acerca de la problemática que hay en la región y las pérdidas económicas que implica el fenómeno erosivo por la acción del agua o del viento y dar a conocer las ventajas y beneficios de la biotecnología que impacta positivamente al medio ambiente.

El objetivo fue determinar cuál es el mejor tipo de cobertura vegetal plantada con agrotexil para control de erosión en los taludes del sector k02+00 al k03+00 de la vía Popayán-Totoró, donde los resultados mostraron que la cobertura que mejor retuvo sedimentos de acuerdo a las mediciones obtenidas durante el tiempo de evaluación fue el *Cynodon nlemfuensis* (pasto estrella) concluyendo que esta es la especie óptima para ser usada en revegetalización y estabilización de los taludes de esta y de todas las zonas que cuenten con características similares.

**Palabras clave:** erosión, biotecnología, cobertura vegetal, sedimentos.

## INTRODUCCIÓN

La importancia que está teniendo a nivel mundial la adecuada protección y manejo del medio ambiente en estos tiempos de inevitable desarrollo de las poblaciones, trae consigo las construcciones de nuevas carreteras y el mejoramiento de las existentes, como se evidencia en el sector k02+00 al k03+00 de la vía Popayán-Totoró, creando una problemática ambiental, social y económica producida por factores meteorológicos en especial de las lluvias que conllevan a constantes pérdidas de suelo y del material de cobertura en los taludes de las vías.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), es un concepto amplio que analiza a través de parámetros cuantitativos y cualitativos el estado del medioambiente antes, durante, y después de las diferentes actividades económicas que implique una "intrusión" en el medioambiente. Esto significa en términos prácticos, que los proponentes de la actividad deberán predecir los cambios que se producirán en el medio, y sugerir medidas correctoras que impidan o mitiguen en lo posible los inherentes trastornos que serán causados, incluyendo un plan que permita restaurar (lo más cercanamente posible) el medio físico y biológico a su estado original, teniendo en cuenta la cantidad de impactos directos que genera la construcción de taludes desde la fase de construcción y durante toda su vida útil es de relevancia encontrar estrategias para la mitigar algunos de los impactos más importantes que corresponden a la limpieza, nivelación o pérdida de la capa vegetal, exclusión de otros usos para la tierra; modificación de patrones naturales de drenaje, erosión y sedimentación de ríos y lagos y degradación del paisaje entre otros.

A la vista de la información obtenida en campo surge la necesidad de plantear soluciones ambientales, económicas y técnicamente viables como lo es el uso de agrotexiles en taludes con un buen establecimiento de cobertura vegetal; ya que como resultado de estas técnicas se consigue alcanzar unos niveles adecuados de defensa contra la erosión superficial y la desestabilización de los costados de las vías, además de una inestimable integración paisajística, incremento de la diversidad biológica, incremento de la estabilidad de las obras, drenaje continuo mediante la evapotranspiración de las plantas, depuración de aguas, creación de refugios para la fauna terrestre y acuática, entre otros beneficios. Todo ello, según los expertos, con un costo y mantenimiento inferiores a los métodos clásicos de estabilización y protección.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 EL AGUA EN LOS TALUDES

**1.1.1 Erosión hídrica.** La erosión hídrica es un fenómeno ocasionado por acción de fuerzas hidráulicas, las cuales actúan sobre las partículas del suelo produciendo su desprendimiento y posterior transporte. La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza del agua en movimiento. El proceso puede ser analizado iniciando por el despegue de las partículas de suelo, debido al impacto de las gotas de lluvia. Adicionalmente, ocurre el proceso de flujo superficial en el cual las partículas removidas son incorporadas a la corriente y transportadas talud abajo (Suárez Díaz, 2007).

Si la “velocidad” de escorrentía es superior a la velocidad máxima erosionante, se produce erosión superficial. La velocidad de escorrentía depende de la pendiente, la intensidad de la lluvia, la cantidad de agua presente y la rugosidad de la superficie del terreno. Si el gradiente hidráulico interno es alto se puede producir transporte intenso de partículas, produciéndose pequeños conductos que al ampliarse desestabilizan el talud. Esto es muy común en suelos de carácter dispersivo (cantidad alta de iones de Na presentes). El agua al salir a la superficie, si posee un gradiente hidráulico alto y/o si el suelo superficial es erosionable, puede desprender las partículas de suelo, formando cavernas que posteriormente producen aumento de la pendiente del talud y descargue del mismo, produciéndose deslizamientos de masa (Suárez Díaz, 2007).

Por otra parte, en la erosión acelerada ha mediado el hombre, destruyendo la vegetación protectora al introducir otros usos al suelo y con ello rompiendo el equilibrio natural. Así, se ha favorecido la acción erosiva del agua y del viento, en especial en terrenos inclinados, al usar sistemas de cultivos y herramientas inadecuadas, al talar los bosques y/o quemar la vegetación, al construir obras de infraestructura, etc.

**1.1.2 El agua superficial o escorrentía.** La escorrentía es la proporción de precipitación que fluye superficialmente sobre el suelo. Cuanto más pronunciadas, impermeables y desprovistas de vegetación son las laderas y más copiosas las precipitaciones, tanto mayor es la parte de las mismas que se convierte en escorrentía. Una lluvia fuerte puede producir abundante escorrentía, pero una llovizna ligera puede absorberse en forma casi total en el suelo antes de que

produzca mucha escorrentía, porque el suelo a menos que esté muy seco, se satura en forma relativamente rápida y no puede absorber más agua (Suárez Díaz, 2007).

La escorrentía generalmente, se concentra en corrientes de agua, las cuales pueden formar surcos o cárcavas de erosión o pueden correr hacia los taludes. Para cuantificar la cantidad de escorrentía que llega a un punto determinado, se debe calcular la cantidad de agua disponible después de una lluvia, de acuerdo a la cuenca tributaria, teniendo en cuenta las características de la superficie del terreno, cobertura vegetal e infiltración (Suárez Díaz, 2007).

**1.1.3 Contaminación de aguas por aporte de sedimentos.** Las estimaciones globales sobre la erosión y el transporte de sedimentos en los grandes ríos del mundo presentan enormes discrepancias, debido a la dificultad de obtener valores fiables de concentración y descarga de sedimentos en muchos países, a la adopción de supuestos diferentes por los distintos investigadores y a los diferentes efectos de una erosión acelerada debida a actividades humanas (deforestación, malas prácticas agrícolas, construcción de carreteras, etc.) (Ongley, 1997).

Los altos niveles de sedimentación en los ríos dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce. Ello puede tener graves efectos en la navegación, por la reducción de la profundidad, y favorecer las inundaciones, por la reducción de la capacidad del flujo de agua en la cuenca de drenaje. El factor decisivo es la tasa (intensidad) de las lluvias que determina el volumen de agua disponible en la superficie terrestre, y está estrechamente relacionado con las mediciones de la energía que se utilizan en muchas formulaciones matemáticas para calcular el desprendimiento de suelo por las gotas de lluvia. Ese desprendimiento hace que haya partículas disponibles para la escorrentía de sedimentos (Ongley, 1997).

## **1.2 LA VEGETACIÓN**

La vegetación incluyendo árboles, arbustos, hierbas y pastos representa la mejor protección contra la erosión. Las observaciones de los taludes naturales muestra que estos son más estables con vegetación que sin ella; sin embargo, no existe claridad suficiente sobre los procedimientos de diseño de esta cobertura vegetal, especialmente lo referente al efecto de las raíces de pastos, hierbas y arboles, la remoción de la cobertura vegetal expone el suelo a la acción de la lluvia, la escorrentía y el viento, facilitando la erosión (Suárez Díaz, 2001).

La vegetación es multifuncional, relativamente económica, se auto repara, es visualmente atractiva y no requiere generalmente, de equipos pesados o complejos para su instalación. Existe el convencimiento de que la vegetación es un elemento muy efectivo en el control de la erosión, la dificultad se presenta cuando se ha eliminado la vegetación y se desea recuperar la situación inicial revegetalizando. Generalmente la vegetación inicial con su biodiversidad es una protección mucho más eficiente que la vegetación diseñada y colocada sobre el suelo desnudo y recuperar la vegetación sobre un suelo inerte requiere diseñar y construir un sistema de recuperación complejo y con muchas variables (Suárez Díaz, 2001).

**1.2.1 Retención de agua en la vegetación.** La retención de agua en el follaje demora o modifica el ciclo hidrológico en el momento de una lluvia. Este fenómeno disminuye la rata de agua de escorrentía, disminuyendo su poder erosivo pero puede aumentar la rata de infiltración. La retención de agua en el follaje depende del tipo de vegetación, sus características y la intensidad de lluvia. En el caso de lluvias muy intensas la retención de agua es mínima, pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, la retención puede ser hasta de un 30%, dependiendo de las características de la vegetación (Suárez Díaz, 2001).

**1.2.2 Revegetalización de Taludes.** La vegetación ofrece protección física al suelo frente al impacto de la lluvia y la escorrentía y reduce la velocidad del agua al aumentar la resistencia hidráulica del terreno; por lo tanto, disminuye la capacidad erosiva del agua. Si la velocidad se ha reducido lo suficiente, se sedimenta una parte de los materiales arrastrados. A partir de este momento, empieza a regenerar la vegetación natural. El crecimiento de gramíneas reduce la escorrentía entre 50 y 60 % y las pérdidas por erosión entre 60 a 80 %. Cuando los taludes son muy perfilados, es necesario suavizar las paredes abruptas para favorecer el desarrollo de vegetación densa capaz de retener el suelo. Tanto los taludes como el cauce de las cárcavas deben sembrarse con coberturas naturales o cultivos densos, que amarren el suelo y frenen la velocidad del agua. También se acostumbra a sembrar barreras vivas transversales a intervalos cortos (Rivera P, 2005).

**1.2.3 Vegetación en taludes de alta pendiente.** Se tiene como norma general que no es posible establecer buena vegetación en taludes de más de 60 grados de pendiente y es difícil de revegetalizar taludes de más de 45 grados de pendiente. Los pastos son plantas originarias de terrenos planos y no es fácil establecerlos adecuadamente sobre zonas de alta pendiente (Suárez Díaz, 2001).



En un principio si se tiene un proceso adecuado de cuidado el pasto puede germinar muy bien pero con el tiempo va muriendo poco a poco y con el paso de los años puede desaparecer. La razón por la cual no es fácil establecer vegetación en pendientes de más de 60 grados es que el agua lluvia no es interceptada por el talud en suficiente proporción para garantizar humedad y la infiltración es prácticamente nula. Al no existir infiltración la vegetación no tiene la humedad requerida para germinar y para permanecer. La mayor parte de la humedad que sostiene las plantas en un talud es el agua infiltrada, la cual deja de humedecer el talud a las pocas horas después de una lluvia. En ocasiones el agua capilar puede ayudar pero se requiere que el nivel freático se encuentre a no más de 1.5 metros por debajo de la superficie del talud. En zonas de baja precipitación (Menos de 600 mm/ año) es prácticamente imposible establecer vegetación en taludes de pendiente superior a 45° (1H:1V)<sup>1</sup> (Suárez Díaz, 2001).

### **1.3 CONTROL DE LA EROSIÓN EN TALUDES DE CARRETERAS**

La construcción de infraestructuras y la explotación de los recursos naturales producen una mejora indudable en nuestra calidad de vida, pero al mismo tiempo tienen un fuerte impacto en el medio natural. Inevitablemente, esto produce perturbaciones muy intensas pues en la mayoría de los casos se altera la topografía y desaparecen completamente los horizontes del suelo. Entre un tercio y la mitad de la superficie terrestre ha sido transformada por la acción humana. Un estudio de la Organización de Naciones Unidas ONU, diseñado específicamente para cuantificar el alcance de la degradación del suelo a escala mundial, encontró que aproximadamente 2000 millones de hectáreas habían sido alteradas en 1983 con una tasa de perturbación de entre 5 y 7 millones de hectáreas por año (Tormo Blanes, 2007).

La reconstrucción de las zonas afectadas da lugar a extensas áreas con suelos poco estables, fácilmente erosionables y desnudos de vegetación. Las pérdidas de suelo por erosión en estas zonas pueden llegar a ser muy intensas. En zonas degradadas por construcción de carreteras, por ejemplo, las pérdidas por erosión pueden llegar a ser 15 veces mayores que en las zonas agrícolas colindantes (Tormo Blanes, 2007).

Estas elevadas tasas de erosión pueden poner en peligro las propias infraestructuras por pérdida de soporte estructural o por la colmatación de los canales de drenaje de la propia carretera y también pueden poner en peligro a los usuarios de la infraestructura por el riesgo que supone para el tráfico la deposición

---

<sup>1</sup> Referente a pendientes de 45 grados.

de sedimentos sobre la vía. Además, tanto en construcción de carreteras como en otro tipo de acciones (minería, gaseoductos, ferrocarriles) las zonas adyacentes pueden verse gravemente afectadas por procesos como la colmatación de cauces, canales, alcantarillados o embalses y la pérdida de calidad de las aguas debido a los materiales erosionados, así como por el impacto paisajístico de la propia infraestructura y por la pérdida de las funciones del ecosistema que existía antes de la perturbación (Tormo Blanes, 2007).

En general en las vías del país, los taludes producidos en la construcción de las vías productos de corte del terreno no son revestidos con vegetación para efectos de controlar la pérdida de suelos y en algunos casos son revestidos con gramíneas mediante en establecimiento de cespedones que son soportados por estacas pero que por los suelos donde se establecen, muchos de ellos sin un horizonte "A" que garantice el prendimiento de los estolones, se secan y no llegan a cumplir su función protectora.

#### **1.4 ESPECIES DE ESTUDIO**

Las especies escogidas en el estudio fueron seleccionadas considerando criterios como su utilización en el uso de agromantos, las condiciones ecológicas su hábito de crecimiento y requerimientos para su adaptación, estabilidad y desarrollo, sus cualidades de amarre del suelo y la zona de vida del área de estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior las especies de forrajes son:

1. *Arachis pintoii* (maní forrajero).
2. *Cinodon nlemfuensis* (pasto estrella).
3. *Brachiaria humidicola* (braquiaria).
4. *Pennisetum clandestinum* (pasto kikuyo).

**1.4.1 *Arachis pintoi* (Maní forrajero).** Es una leguminosa herbácea de cobertura, perenne, de crecimiento rastrero, estolonífera; tiene una altura entre 20 y 40 cm. Tiene una raíz pivotante que crece hasta los 30 cm. de profundidad. Las hojas son compuestas, alternas, con 4 folíolos ovalados. El tallo es ramificado, con entrenudos cortos, con estolones que pueden llegar a medir hasta 1.5 m. de longitud (Estrada, 2002).

Figura 1. *Arachis pintoi* (Maní forrajero).



Fuente: el autor

- **Adaptación.** Crece bien en regiones tropicales desde el nivel del mar hasta 1.800 m.s.n.m. se adapta bien a suelos de mediana fertilidad, tolera suelos ácidos con alta saturación de aluminio. Tiene moderada adaptación a la sequía. Tolerancia bien la sombra, por lo cual se puede usar como cobertura del suelo en varios cultivos. Se desarrolla mejor si la humedad del suelo es permanente, pero puede soportar hasta 4 meses de sequía; como forraje se emplea en pastoreo, heno y ensilaje. Se utiliza principalmente para mezclarlo con gramíneas de cobertura (Braquiaria, estrella) pues compete muy bien con ellas (Estrada, 2002).

**1.4.2 *Cynodon nlemfuensis* (Estrella).** Es una gramínea perenne, frondosa y rastrera de tallos extensos y entrenudos largos; desarrolla numerosos estolones superficiales o subterráneos de 5 m o más; las raíces crecen de los nudos, los rizomas ayudan a conservar los suelos, evitando la erosión. Los tallos florales alcanzan hasta un metro y poseen de cuatro a cinco ramificaciones (Estrada, 2002).

Figura 2. *Cynodon nlemfuensis* (Estrella).



Fuente: el autor

- **Adaptación.** Muy bien adaptado a climas cálidos y medios, no prospera bien en elevaciones a 1.800 metros sobre el nivel del mar. Tolera el calor y resiste la sequía; crece bien en suelos de mediana fertilidad y pH superiores a 5.5; es una especie originaria de África Oriental (Estrada, 2002).

**1.4.3 *Brachiaria humidicola*. (Brachiaria).** Es una gramínea agresiva que forma un césped denso y suprime las malezas; tolera el pastoreo intensivo y la sombra, y se adapta a suelos con poca fertilidad y mal drenados, por su hábito de crecimiento fuertemente estolonífero, es muy útil como cobertura del suelo en zonas con problemas de erosión, pero no es compatible con leguminosas de hábito voluble. La calidad de su forraje es inferior a la de *B. brizantha*, *B. decumbens* o *B. ruziziensis*. Una de las ventajas de esta especie es que tolera el salivazo, aunque no es verdaderamente resistente a esta plaga; a manifestado susceptibilidad a la roya causada por *Uromyces setariae-italicae* en América tropical (Estrada, 2002).

Figura 3. *Brachiaria humidicola*. (Brachiaria).



Fuente: el autor

- **Adaptación.** Desde el nivel del mar hasta los 2000 metros. Esta muy bien adaptada al clima cálido y es resistente al a sequia y a las quemas. Prospera bien en zonas de alta precipitación. Es resistente al pisoteo y soporta bien las condiciones de suelos ácido, ricos en hierro y aluminio y pobres en nutrientes (Estrada, 2002).

**1.4.4 *Pennisetum clandestinum* (pasto kikuyo).** Es una especie perenne; se extiende superficialmente, con raíces profundas, posee rizomas gruesos y en sus nudos se desarrollan raíces. Los tallos crecen erectos pudiendo alcanzar alturas hasta de 80 cm; las partes florales son muy inconspicuas, florece en las primeras horas de la mañana y en las horas de la tarde desaparece. Las semillas se localizan en las axilas de las hojas donde quedan ocultas, de allí recibe el nombre de “clandestinum”. Forma un césped denso lo cual lo clasifica dentro de las gramíneas de alta cobertura (Estrada, 2002).

Figura 4. *Pennisetum clandestinum* (pasto kikuyo).



Fuente: el autor

- **Adaptación y hábito de crecimiento.** Es quizá la gramínea más común y la mejor adaptada a nuestras zonas de clima frío, llegándose a considerar por el agricultor como un pasto nativo de la región, siendo originario del África. En Colombia se adapta bien entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m. no prospera muy bien en suelos pobres, es tolerante a sequías pero muy susceptible a heladas. Prefiere suelos de buen drenaje, adaptándose muy bien en áreas con precipitación sobre 1.000 mm., con un mínimo de 750 mm año. (Estrada, 2002).

## **1.5 ANTECEDENTES**

A continuación se presentan trabajos de gran importancia desarrollados en diferentes zonas del país relacionados con el contenido tratado en el estudio.

### **1.5.1 CUANTIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LA ERODABILIDAD DE LOS SUELOS ANDINOS EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO. (Leihner, Ruppenthal, Castillo y Müller-Sämman, 1996)**

La Universidad de Hohenheim manejó en colaboración con el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, desde 1986, un proyecto de investigación sobre la erosión y la conservación de los suelos andinos en el suroccidente colombiano. El proyecto está orientado, principalmente, a los Inceptisoles prevalentes en el Departamento del Cauca. Para la generación y el procesamiento de los datos, se utilizó el modelo para estimación de la pérdida de suelo (USLE, en inglés), desarrollado por Wischmeier y Smith. El trabajo de campo se llevó a cabo en la estación experimental del CIAT en Santander de Quilichao y en la finca de un pequeño agricultor de Caldoño, Cauca. Se halló que la resistencia inherente de los Inceptisoles andinos del suroccidente de Colombia a la erosión era alta, ya que los valores de K eran hasta 10 veces más bajos que los observados en los suelos agrícolas susceptibles de otras partes del mundo.

La influencia de la erodabilidad en los procesos erosivos es relativamente baja si la comparamos con factores como la erosividad de las lluvias y el manejo agronómico; el parámetro de mayor impacto es, en este caso, el factor C (manejo agronómico). Después de tener, cubiertos por pastos, un descanso prolongado, los Inceptisoles andinos son muy estables; pierden, sin embargo, esta cualidad a partir del tercer año de cultivo permanente. La erodabilidad es, por tanto, un factor dinámico, y es posible influenciarla mediante prácticas culturales apropiadas, tales como la rotación de algún cultivo con una mezcla de pasto y leguminosa.

### **1.5.2 PROCESOS FÍSICOS DE EROSIÓN Y SU DINÁMICA: PREVENCIÓN Y CONTROL EN SUELOS DE LADERA DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA. (Rivera, 1996)**

Usando un simulador de lluvia en el laboratorio y una intensidad de lluvia de 100 mm/h, se determinaron dos índices de erodabilidad:  $K_i$  o erodabilidad entre surcos, de la WEPP (Lal y Elliot, Nearing et al) y K o erodabilidad de la USLE (Wischmeier y Smith).

Se ensayaron cinco suelos de la zona cafetera que tenían regados de tres tamaños. Tres de estos suelos derivan de cenizas volcánicas. En los suelos de cenizas volcánicas, el flujo de agua por percolación está en un rango de 65% a 91%. En contraste, el flujo por escorrentía para el suelo de Guamal está entre 55% y 75%. Los lodos suspendidos en las aguas de escorrentía y de percolación son muy bajos en todos los suelos, excepto donde los agregados son menores que 0.5 mm

La erodabilidad de los suelos se incrementa cuando decrece su contenido de materia orgánica. Se desarrolló un programa de manejo integrado de arvenses en el cultivo del café para reducir la erosión, en el cual se emplearon coberturas 'nobles', es decir, plantas de porte bajo o rastrero que protegen el suelo contra la erosión hasta niveles de 95% a 97% sin interferir con el cultivo. Un manejo selectivo permitió eliminar las arvenses (malezas) agresivas para favorecer así el dominio poblacional de las coberturas nobles existentes en el terreno. Se diseñó con tal fin un equipo sencillo, económico, de poco peso y fácil de construir por el agricultor, que tiene, además, el incentivo intrínseco de reducir los costos de producción (de 85% a 92% respecto a la desyerba tradicional con machete).

Algunos tratamientos biológicos de control de procesos avanzados de erosión; como el control biológico de cárcavas de tipo remontante con sustratos de esquistos anfibolíticos y grafiticos, evacuando las aguas subsuperficiales y de escorrentía; esta labor preliminar contrarrestó los problemas causados por las avalanchas; se emplearon en los tratamientos materiales disponibles en la finca, como escombros de construcción, piedra, gravilla y especies de fácil propagación, ya sea vegetativa o por semilla. Se logra así recuperar suelos erosionados en un tiempo corto (de 3 meses a 3 años), con obras sencillas adaptadas al medio ambiente, y a un costo bajo (de 85% a 98% menor que el de las obras de concreto).

### **1.5.3 EFECTO DE LAS BARRERAS VIVAS Y DE LAS COBERTURAS EN LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. (Rodríguez, 1997)**

En parcelas de erosión se obtuvo información bajo condiciones de lluvia natural y de lluvia simulada, acerca del efecto de las barreras vivas y de las coberturas en la protección de los suelos contra la erosión hídrica, en diferentes sistemas de producción; el marco de referencia y la sistematización de los datos provienen de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).



En los sistemas naturales en que hay poca o ninguna intervención del hombre, se presentan los *valores más bajos de CP* (interacción de la Cobertura de los cultivos y las *Prácticas de conservación*).<sup>1</sup> En bosques y pastizales densos, el valor de *CP* es menor que 0.001 y las pérdidas de suelos son muy bajas. En los sistemas de labranza cero o donde se producen grandes cantidades de residuos, como en los cultivos de frutales permanentes, el producto *CP* oscila entre 0.001 y 0.1. En los sistemas de producción altamente intervenidos, en los que hay cultivos de ciclo corto y escardas o labores frecuentes, el valor de *CP* es mayor que 0.1, lo que indica que las pérdidas de suelo son más altas.

Respecto a la erosión, las expresiones matemáticas desarrolladas para la pérdida de suelo en función de la aplicación de coberturas muestran un comportamiento exponencial negativo. Las *barreras vivas*, consideradas solas o junto con cultivos y otras prácticas, y espaciadas a diferentes distancias, tienen valores de *CP* menores que 0.001 al asociarse con altos niveles de residuos o cultivos permanentes, y llegan a valores de 0.53 cuando están solas y en su primer año de establecimiento, tiempo en que aún no brindan una buena protección.

En la medida en que los sistemas de cultivo se asemejen a los sistemas naturales y puedan manejarse para obtener un nivel de cobertura alto tanto con su dosel o copa como con los residuos acumulados en la superficie darán al suelo un grado de, protección contra la erosión cada vez mayor. Tal es el caso de los cultivos permanentes y de los sistemas de mínima labranza. Cuando se requiera emplear un sistema de cultivo que implique mayor intervención del terreno y menor cobertura, debe complementarse este sistema con otras prácticas de conservación; las barreras vivas son, en este caso, una alternativa muy prometedora.

#### **1.5.4 VALIDACIÓN DEL FACTOR ERODABILIDAD EN SUELOS DE LA UNIDAD CHINCHINÁ, *Melanudands*, MEDIANTE EL USO DE SIMULADOR DE LLUVIAS. (Hincapié y Rivera. 2003)**

En cuatro localidades de la zona cafetera central colombiana, ubicadas en los departamentos de Caldas, Risaralda y Antioquia con suelos de la Unidad Chinchiná (*Melanudands*) se determinó bajo condiciones de laboratorio el factor erodabilidad entre surcos Ki - WEPP, se utilizó un simulador de lluvias de boquillas oscilatorias; los valores de erodabilidad se correlacionaron con 27 propiedades físicas y químicas determinadas en cada una de las localidades estudiadas. No obstante, los suelos de las cuatro localidades están clasificados dentro de la misma unidad de suelo, se presentaron diferencias estadísticas en algunas propiedades físicas y químicas tales como la resistencia del suelo al cortante

tangencial, la cual fue estadísticamente mayor en Naranjal - Caldas (31,38 kpa) y la Catalina - Risaralda (33,34 kpa) y menor en El Rosario - Antioquia (25,5 kpa) y Supía - Caldas (24,51 kpa); la resistencia del suelo a la penetración a diferentes profundidades, con valores estadísticamente mayores en La Catalina (0,85; 1,26 y 1,39 Mpa a 1, 5 y 10 cm de profundidad, respectivamente) y menores en El Rosario (0,41; 0,54 y 0,57 Mpa a 1; 5 y 10 cm de profundidad, respectivamente).

La erodabilidad correlacionó positivamente con propiedades como densidad aparente ( $R^2 = 0,66$ ); densidad real ( $R^2 = 0,4$ ); agregados estables en agua de 2-1 mm ( $R^2 = 0,58$ ); de 1-0,5 mm ( $R^2 = 0,63$ ); de 0,5-0,25 mm ( $R^2 = 0,68$ ) y negativamente con propiedades como contenido de materia orgánica ( $R^2 = 0,25$ ); estabilidad de los agregados en agua ( $R^2 = 0,61$ ) agregados estables en agua > 2 mm ( $R^2 = 0,61$ ) y porosidad total ( $R^2 = 0,68$ ).

Al realizar un análisis de componentes principales se encontró que la mayor resistencia del suelo a la erosión está asociada con valores altos de propiedades como: Contenido de nitrógeno, materia orgánica, capacidad de Intercambio Catiónico, estabilidad de agregados en húmedo, contenido de arenas de 0,1-0,05, retención de humedad a 1/3, 1 y 15 bares y con valores bajos en propiedades como densidad aparente y real, contenido de arenas de 1-0,5, de 0,5-0,25, y de 0,25-0,1 mm. Estos resultados confirman que la estabilidad de los agregados en húmedo es una de las propiedades que más influye en la resistencia de un suelo a la erosión.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar el mejor tipo de cobertura vegetal plantada con agrotexil para el método de control de erosión en los taludes del sector k02+00 al k03+00 de la vía Popayán-Totoró.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer cuál de las cuatro especies de cobertura sembradas en los taludes con agrotexil es la que permite menor arrastre de sedimentos por efectos de erosión durante los meses de medición.
- Definir cuál de las coberturas es la que tiene mayor cantidad de plántulas germinadas en las parcelas con agrotexil ubicadas en los taludes durante los meses de mediciones.
- Identificar cuál de las coberturas utilizadas en el estudio permiten un mayor cubrimiento a las áreas expuestas en cada una de las parcelas.

### 3. METODOLOGÍA

Los implementos necesarios para el establecimiento y posterior desarrollo de cada una de las etapas que constituye el estudio, se describen a continuación.

#### 3.1 MATERIALES

**3.1.1 Plántulas o semillas de las especies de estudio.** Maní forrajero, *Arachis pintoii*, kikuyo, *Pennisetum clandestinum*, Braquiaria, *Brachiaria humidicola* y Estrella, *Cinodon nlemfuensis*.

**3.1.2 Agrotextil.** Es un manto de fibra natural, temporal diseñado para frenar la erosión superficial. Simultáneamente favorece la germinación y crecimiento de la vegetación a través de él, creándose un microclima. Son utilizados en aplicaciones donde la vegetación natural por sí sola no provee la suficiente protección contra la erosión. Los agromantos están fabricados para durar de 12 a 48 meses, dependiendo de la topografía y de las condiciones climáticas de la zona.

Para el estudio se uso un agromanto temporal de fibras de fique dispuestas entre una malla de propileno, pero existen en el mercado varios tipos de tecnologías destinadas para el control de erosión entre los más conocidos se encuentran los geosintéticos Pavco que cuentan con mantos temporales, permanentes, mantos de confinamiento celular (geoceldas) y formaletas flexibles (bolsacretos, flexocretos, geocolchones, flexoadoquín y geoestructuras).

**3.1.3 Lodo fertilizado.** Suelo con los nutrientes, enmiendas, hidroretenedores y semillas apropiados para permitir un establecimiento de vegetación óptimo.

**3.1.4 Anclajes.** Sistema que permitirá el adecuado contacto entre el suelo y el manto.

**3.1.5 Latas de guadua.** Son guaduas secas cortadas longitudinalmente en dos partes iguales, deben ser lo más rectas posible para una mejor protección de la contaminación de sedimentos externos.

**3.1.6 Cubierta del receptáculo.** Puede ser plástico u otro material maniobrable y resistente para captura de los sedimentos arrastrados en la parcela.

**3.1.7 Balanza analítica.** Es un instrumento de medición que permite medir la masa de un objeto, de forma electrónica con lectura directa y precisa.

**3.1.8 Pluviómetro.** Instrumento para medir las precipitaciones en milímetros (mm), que son la lluvia, la nieve y el granizo.

**3.1.9 Palin.** Instrumento compuesto de una tabla de madera o una plancha de hierro, comúnmente de forma rectangular o redondeada, y un mango grueso, cilíndrico y más o menos largo, según los usos a que se destina.

**3.1.10 Martillo.** Tiene un mango de madera y una cabeza de hierro que se utiliza, sobre todo, para golpear y clavar.

**3.1.11 Brocha.** Elemento necesario para la recolección de sedimentos húmedos del receptáculo del talud.

## **3.2 MÉTODOS**

El procedimiento utilizado para la determinación de la mejor cobertura vegetal para la estabilización de taludes con agrotexil, en el sector comprendido entre el k02+00 al k03+00 de la vía Popayán-Totoró, y consta de tres etapas, denominadas como etapa de campo, etapa de laboratorio y etapa de oficina, necesarias para el cumplimiento de los objetivos del estudio.

**3.2.1 Etapa de campo.** Esta etapa hace parte de la ejecución del estudio y es de gran importancia ya que en ella se establecen las parcelas donde se implementarán los tratamientos y se obtendrán los datos resultantes de las variables evaluadas. Esta etapa es realizada en su totalidad en la zona de estudio.

- **Área de estudio.** El sitio fue seleccionado debido al desarrollo del proyecto de revegetalización de taludes con agromanto llevado a cabo en este lugar por la Corporación Regional del Cauca (CRC) en convenio con el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

También se tuvo en cuenta para la decisión del establecimiento de las parcelas su cercanía al puente sobre el Río Palacé ya que es una obra de especial importancia, además de localizar taludes que se encontraran erosionados en un sitio de fácil acceso que perteneciera al paisaje de una vía transitada por una gran cantidad de automóviles y que cumpliera con características climáticas y ambientales propias del lugar.

Figura 5. Panorámica de la zona de estudio.



Fuente: este estudio.

- **Ubicación de la zona de estudio.** La zona de estudio (figura 6) se encuentra situada al sur occidente de Colombia, en la zona Oriental del Departamento del Cauca, a una distancia de 23 kilómetros de Popayán específicamente en la vereda Río Blanco desde el k02+00 al k03+00 de la carretera que desde Popayán conduce al municipio de Totoró y está localizada a una altura promedio entre los dos puntos (k02+00 y k03+00) de 1869 metros sobre el nivel del mar, entre los 2°30' de latitud norte y 76° 31' longitud Oeste<sup>2</sup>.

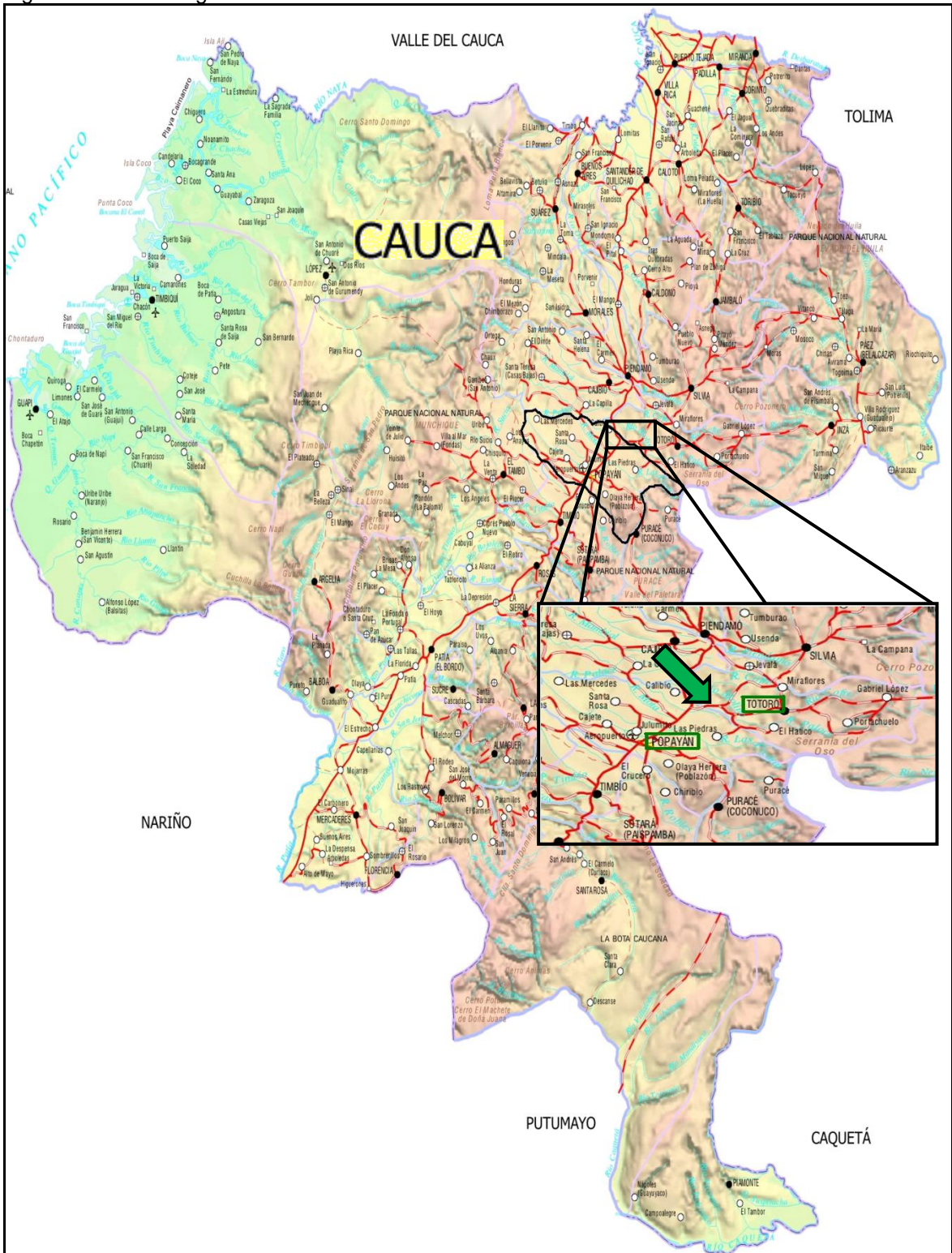
- **Temperatura media.** Esta zona posee una temperatura media de aproximadamente 19 grados centígrados.

La temperatura media de la cabecera municipal es 14 grados centígrados aproximadamente (Sitio web oficial de Totoró en Cauca, 2008).

---

<sup>2</sup> Datos derivados del programa informático Google Earth que permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google que permite ver imágenes a escala de un lugar específico del planeta.

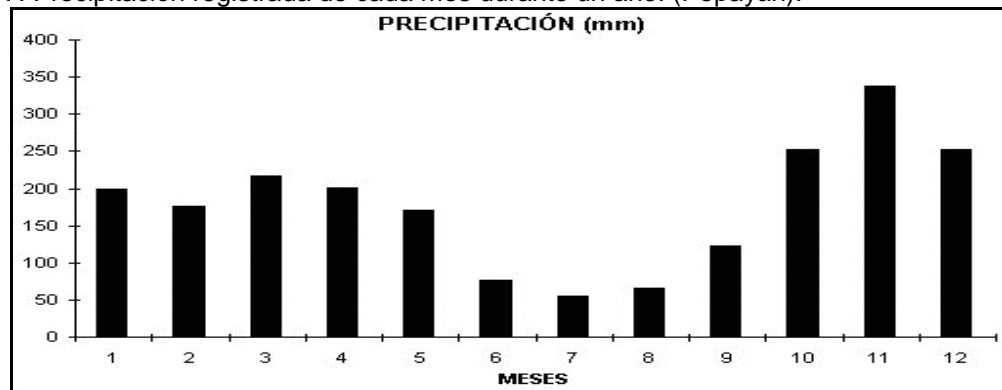
Figura 6. Ubicación general del área de estudio.



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC.

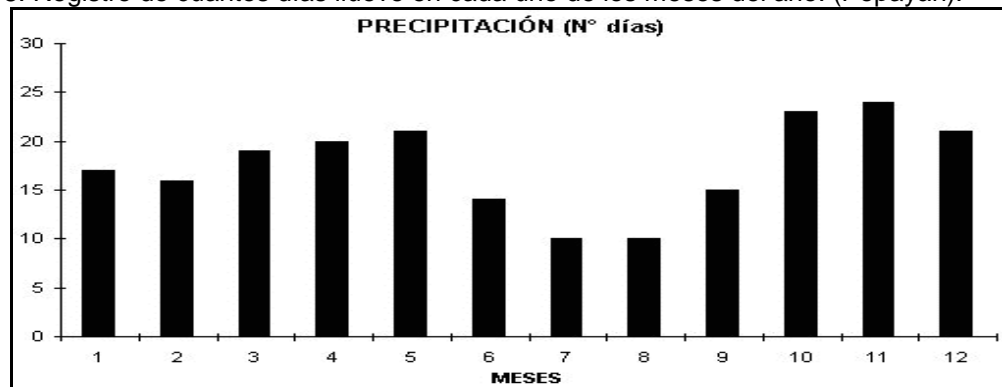
Las figuras 7 y 8 muestran la precipitación de la ciudad de Popayán y la figura 9 muestra la precipitación del área de estudio.

Figura 7. Precipitación registrada de cada mes durante un año. (Popayán).



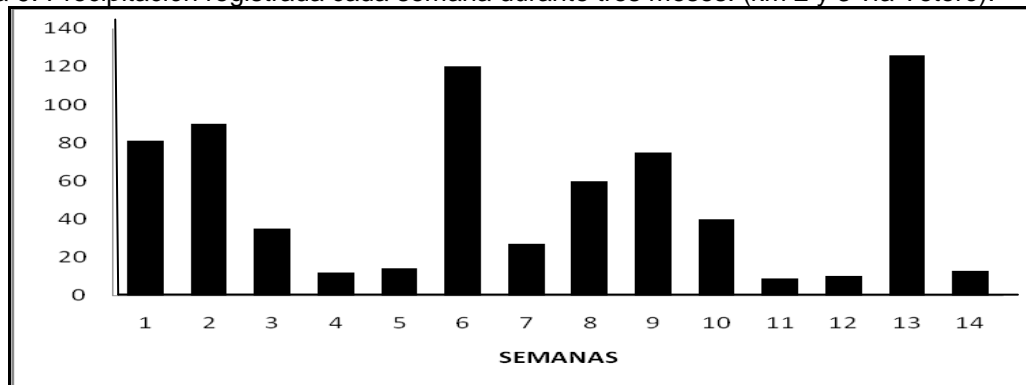
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. 1961-1990.

Figura 8. Registro de cuantos días llueve en cada uno de los meses del año. (Popayán).



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. 1961-1990.

Figura 9. Precipitación registrada cada semana durante tres meses. (km 2 y 3 vía Totoró).



Fuente: este estudio.



- **Principales parámetros meteorológicos de la zona de estudio.** En el cuadro 1 se presentan los principales parámetros meteorológicos de la ciudad de Popayán (promedios históricos 1961-1990).

Cuadro 1. Principales parámetros meteorológicos registrados en Popayán.

Medios	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Precipitación</b>	199.8	175.7	216.4	200.9	170.7	76.9	54.8	65.9	122.7	252.6	338.5	252.3
<b>Días con Precipita</b>	17	16	19	20	21	14	10	10	15	23	24	21
<b>T. máx. abs.</b>	29	29	29.4	29.0	29.3	29.2	29	30.1	29.6	29	28.4	29.2
<b>T. mín. abs.</b>	8.2	7.4	6.4	8.8	8.8	6.8	6.8	6.1	6.1	8.8	8	8
<b>T. máx. med.</b>	24.1	24.3	24.6	24.4	24.3	24.6	24.9	25.1	24.8	24.1	23.8	23.9
<b>Temperatura</b>	18.8	19.1	19	19	18.9	19	19.1	19.3	19	18.5	18.4	18.6
<b>T. mín. med.</b>	13.2	13.3	13.5	13.7	13.8	12.8	11.9	12	12.4	13.4	13.6	13.7
<b>Humedad Relat</b>	80	79	79	80	80	77	71	69	74	80	82	82
<b>Evaporación</b>	88.9	87.2	102.6	83.7	82.4	92.6	110.6	105	100.1	87.8	87.7	83.8
<b>Brillo</b>	160.6	125.9	125.9	106.8	113	147.6	172.8	162.3	129.2	108.9	121.4	140.4

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. 1961-1990.

- **Geología.** (CRC, 2009). Esta zona pertenece a la unidad aflorante del Cenozoico Terciario.

El terciario está representado en las siguientes formaciones: **Miembro Julumito (TPpj)**. Constituido por fillos de ignimbritas de Julumito y Totoró. Las ignimbritas se extienden en los alrededores de Popayán y afloran en los cañones de los ríos Cauca, Robles, Hondo y Palacé, en algunos afloramientos se observan estructuras columnares y la roca presenta una matriz de color gris brillante que encierra cristales de biotita y plagioclasa, además fragmentos angulares de obsidiana y pómez. Las mejores secciones en el municipio se observan:

- Río Hondo en el corregimiento de la Yunga.
- Río Cauca sobre paredes de Julumito.
- La Chorrera del Club Campestre en la Cabecera Municipal de Popayán.
- Río Palacé en la vía que conduce a Popayán.
- El río Cauca en el puente de Julumito

- **Suelos.** (C.R.C, 2009). Asociación Puente (Oxic Dystrandep) PH. Estos suelos se localizan entre los 1600 y 2100 m. en el piso bioclimático subandino, en las márgenes de los ríos Hondo, corregimiento de Figueroa y el Charco; río Cauca, corregimiento de San Bernardino; río Piedras, corregimiento de Santa Barbara; río Blanco, corregimiento de Las Piedras, Calibio y La Rejoya y río Palacé, corregimiento de Calibio y las Piedras.

Los suelos de esta asociación hacen su aparición en los valles de los ríos que recorren el llamado altiplano de Popayán. Conforman una delgada faja de suelos susceptibles, algunos de ellos a inundaciones ocasionales. Corresponden a los valles de clima medio húmedo con zonas de vida según el sistema de Holdridge de bosque muy húmedo Pre Montano (bmh-PM) y húmedo Pre Montano (bh- PM). El material parental está conformado por capas de cenizas volcánicas y de sedimentos aluviales, en el primer caso, las cenizas descansan sobre rocas fragmentadas formando capas de cascajo y piedras. Los horizontes más profundos de los colores son grises, tendiendo a la gleización. Las texturas varían ampliamente, con dominancia de las francas, franco arenosas y arenosas gruesas.

Geomorfológicamente esta asociación se caracteriza por presentar valles de origen aluviales y coluviales, con formas planas a ligeramente planas, con pendientes de 0 a 3%. El drenaje natural varío de acuerdo a la posición relativa de la unidad, es bueno en las partes altas y pobre en las más bajas. Son Suelos de profundidad efectiva profunda a muy superficial y algunos sectores cubiertos con roca en la superficie.

- **Características propias de los suelos de la zona de estudio<sup>3</sup>.** Los taludes analizados presentan una textura arcillo-arenoso y hay evidencia de cenizas volcánicas. Las trazas presentan un pH fuertemente ácido, lo que limita la solubilidad de los pocos nutrientes nativos o agregados al suelo.

La materia orgánica y el nitrógeno son muy bajos para la zona, la relación C/N es alta y la textura indica regular capacidad para retener agua y abonos indicando que es ligeramente susceptible a la erosión. En general la fertilidad de esta muestra es muy baja.

La pendiente que presentan los taludes evaluados en la zona es de 69.29 grados o al 76.99% lo cual corresponde a una pendiente bastante elevada.

---

<sup>3</sup> Información obtenida a partir del resultado del análisis en el Laboratorio de Suelos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Minero, Gobernación del Cauca. 2009. Anexo D.

- **Establecimiento de parcelas.** Para el establecimiento de las parcelas fue necesario utilizar el Diseño Completamente Aleatorio (DCA). El Diseño Completamente Aleatorio es el más simple de los diseños, en el cuál los tratamientos deben ser asignados aleatoriamente a las unidades experimentales, con la finalidad de eliminar el efecto que puedan causar variables perturbadoras al llevar la experimentación a la práctica (Little y Hills, 1981).

Cada una de las cinco parcelas establecidas cuenta con tres replicas o reproducciones iguales a las parcelas inicialmente creadas, estas replicas serán ubicadas en el talud de forma aleatoria.

Cuadro 2. Asignación aleatoria de las especies en las parcelas.

Número de Parcela	Replica 1	Replica 2	Replica 3
1	Kikuyo	Braquiaria	Testigo
2	Maní forrajero	Estrella	Braquiaria
3	Testigo	kikuyo	Estrella
4	Estrella	Testigo	Maní forrajero
5	Braquiaria	Maní forrajero	kikuyo

Fuente: este estudio.

Las replicas fueron ubicadas en dos taludes, en el primer talud se situó la primera replica (figura 10) y en el segundo talud se establecieron la segunda y la tercera replica (figura 11).

Figura 10. Vista general de la ubicación de las parcelas en la primera replica.



Fuente: este estudio.

Figura 11. Vista general de la ubicación de las parcelas de la segunda y la tercera replica.



Fuente: este estudio.

Las especies forrajeras se instalaron en un suelo con una mezcla de varios nutrientes y humedad necesaria para un mejor establecimiento en los taludes. 2.4 metros cúbicos de lodo alcanza para 48 metros cuadrados de talud (CRC, 2008).

Cuadro 3. Componentes del lodo fertilizado.

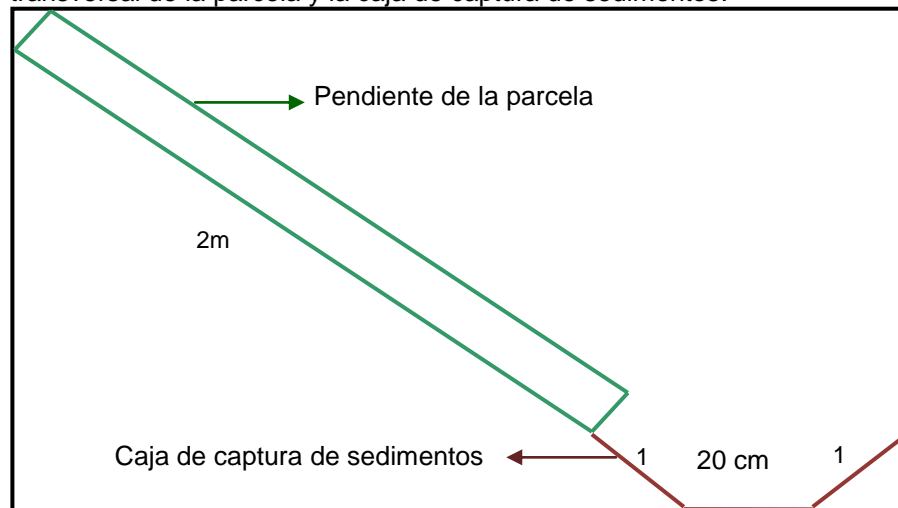
<b>Mezcla para lodo por m<sup>3</sup></b>	
1	½ m <sup>3</sup> de tierra negra fértil.
2	½ m <sup>3</sup> de tierra amarilla extraída del perfilado.
3	5 kg de gallinaza o abono orgánico.
4	2 kg de abono químico (NPK), rico en nitrógeno y fosforo para ayudar a desarrollar las raíces
5	Enraizadores (opcional) para acelerar y promover el desarrollo radicular.
6	200 gr de calfos
7	20 grapas por m <sup>2</sup> .
8	200 gr de hidroretenedor.

Fuente: procedimiento para la instalación de agrotextil. Proyecto INVIAS-CRC.

Las parcelas tienen un tamaño de 2,0 metros de alto por 2,0 metros de ancho delimitadas por latas de guadua para evitar la contaminación de suelo externo a la parcela y tienen en su parte inferior un receptáculo en la base de la parcela con

una longitud de 2 metros de ancho, una plantilla de 20 cm y un talud de 1:1 revestida de plástico para capturar los sedimentos arrastrados por la escorrentía.

Figura 12. Corte transversal de la parcela y la caja de captura de sedimentos.



Fuente: este estudio.

Cuando se determinó la ubicación de cada especie en las parcelas se inició un proceso de limpieza y peinado del talud, el cual consiste en homogenizar la superficie con un palin y posteriormente rayar con un rastrillo hasta lograr nivelar el terreno; después se ubican las latas de guadua delimitando cada parcela para evitar que sedimentos que no sean del área de estudio caigan al receptáculo de captura.

Figura 13. Parcela delimitada por guaduas con la superficie limpia y nivelada.



Fuente: este estudio.

Al tener las parcelas limpias y niveladas se colocó una capa uniforme de lodo fertilizado que considero los componentes descritos en el cuadro 3 de un espesor aproximado de 3 cm en cada una de las parcelas, la metodología usada con la especie Braquiaria (*Brachiaria humidicola*) fue diferente ya que se uso una mezcla de lodo fertilizado con 50 gramos de esta semilla y para las otras especies se utilizaron 200 estolones por cada parcela puestos sobre el lodo fertilizado.

Figura 14. Parcela cubierta por una capa uniforme de lodo fertilizado.



Fuente: este estudio.

Al revestir totalmente las parcelas con el lodo fertilizado rápidamente se situó los estolones de las especies cubriendo totalmente la superficie, conservando igual distancia entre cada una de las plántulas.

Figura 15. Plantación de estolones proporcionalmente sobre el área de las parcelas.



Fuente: este estudio.

Luego, se cubrió con el agromanto sostenido por grapas de alambre calibre 14 y para finalizar se ubico el plástico revistiendo el receptáculo para capturar los sedimentos arrastrados por la escorrentía que pudiesen desplazarse desde el talud.

Figura 16. Área de las parcelas protegidas con agromanto.



Fuente: este estudio.

El agromanto que se uso en el estudio para el control de erosión, cubriendo las parcelas de los taludes, fue un manto temporal de fibras de fique dispuestas entre una malla de propileno.

Figura 17. Agromanto de fibra de fique.



Fuente: este estudio.

Los estolones de *Cinodon nlemfuensis* (pasto estrella) y *Pennisetum clandestinum* (pasto kikuyo) utilizados en el estudio proceden de la zona de estudio los cuales

fueron recolectados de las áreas de derecho de la vía. Para el caso de las cepas de *Arachis pintoi* (maní forrajero) se recolectaron del vivero La Florida de la CRC y la semilla de *Brachiaria humidicola* (braquiaria) fue adquirida en un almacén de provisión agrícola.

- **Ubicación del pluviómetro.** Para obtener datos precisos acerca de la precipitación de la zona de estudio se ubicó un pluviómetro artesanal en la parte alta del primer talud, fabricado según las especificaciones necesarias para una buena medición con un tarro redondo plástico y una tapa en forma de embudo, además de una regla marcada con milímetros para registrar los datos semanalmente tomados.

Figura 18. Pluviómetro artesanal enterrado y nivelado en un área despejada y alta.



Fuente: este estudio.

- **Recolección de sedimentos.** La recolección de sedimentos se realizó durante el estudio con el fin de determinar, cuál de las especies es la que retuvo mejor el arrastre del suelo, observándolo mediante la disminución en la cantidad de material recolectado en las parcelas del talud a través del tiempo.

La recolección se hizo con el apoyo de una manguera que tenía en uno de sus extremos una malla para impedir que se saliera parte del sedimento, retirando exclusivamente el agua estancada que se encontraba en el receptáculo y concentrando solo el material arrastrado por la lluvia, que luego se recogió con la ayuda de una brocha pequeña.

El sedimento recolectado se aglutinó y se colocó en una bolsa plástica debidamente rotulada para ser diferenciado por fecha, por especie y por parcela para tener registros claros y precisos en el momento de verificar los resultados.



Para los efectos de control del comportamiento de las parcelas se realizaron visitas cada 8 días en forma regular.

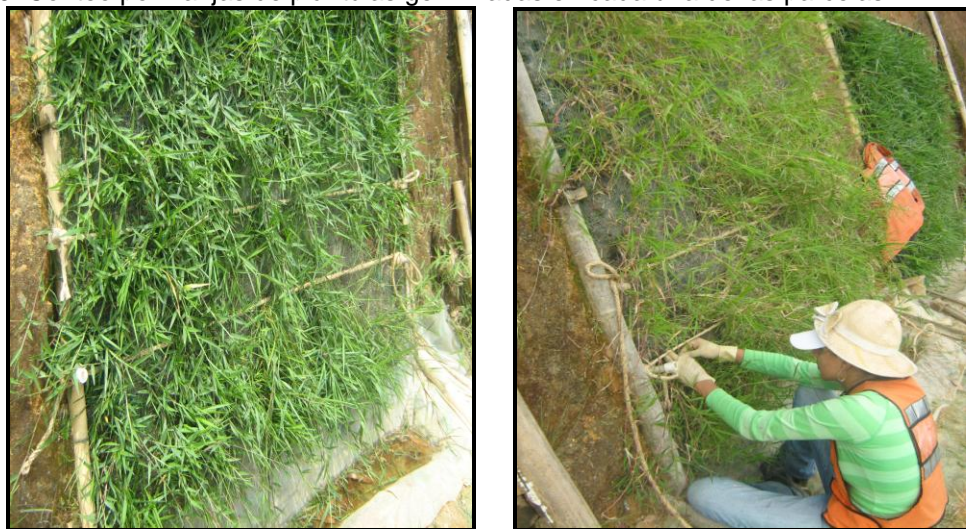
Figura 19. Recolección de sedimentos arrastrados por la erosión y capturados en el receptáculo.



Fuente: este estudio.

• **Porcentaje de germinación total de las especies de estudio.** El procedimiento para la obtención de resultados totales del porcentaje de germinación se efectuó en cada visita realizada una vez por semana, donde se contabilizó el número de plántulas que germinaron por cada estolón plantado en el suelo fértil.

Figura 20. Conteo por franjas de plántulas germinadas en cada una de las parcelas.



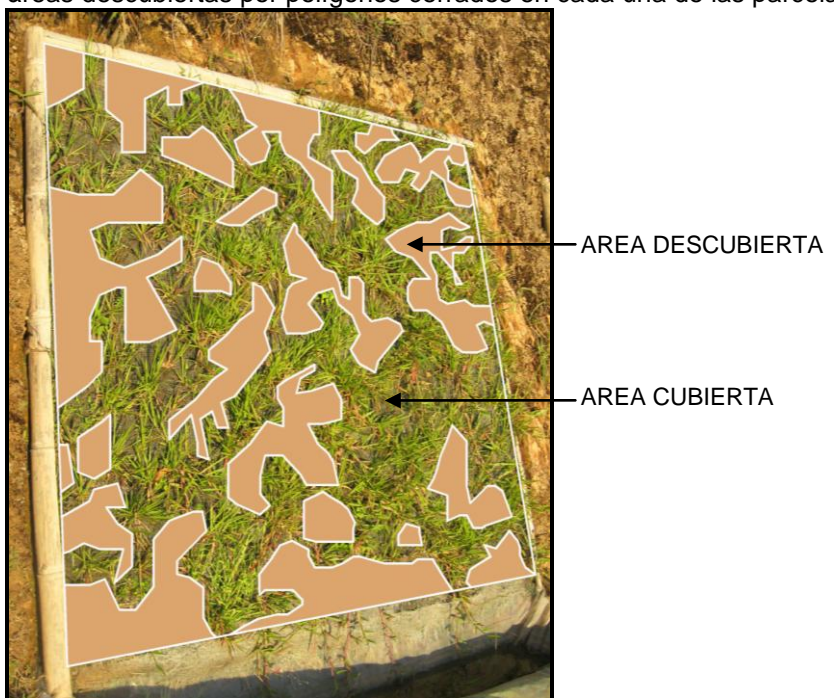
Fuente: este estudio.

En el caso de la *Brachiaria humidicola* (Braquiaria) como se instaló con semilla se contó todas las plantas de las parcelas las cuales correspondían al número de semillas germinadas, a diferencia de las otras especies plantadas con estolones

- **Porcentaje de área cubierta por las especies en cada una de las parcelas.** En las visitas realizadas al sitio se hizo un seguimiento fotográfico de las parcelas donde se pudiera distinguir con claridad cada una de las partes cubiertas por la vegetación y cuales estaban carentes de ella, para así poder llevar estas reproducciones al programa Autocad 2008.

En el programa se demarcó por medio de polígonos cerrados las superficies que se encontraban descubiertas por vegetación e inmediatamente se generaba el dato preciso del área que se estaba demarcando

Figura 21. Delimitación de áreas descubiertas por polígonos cerrados en cada una de las parcelas.

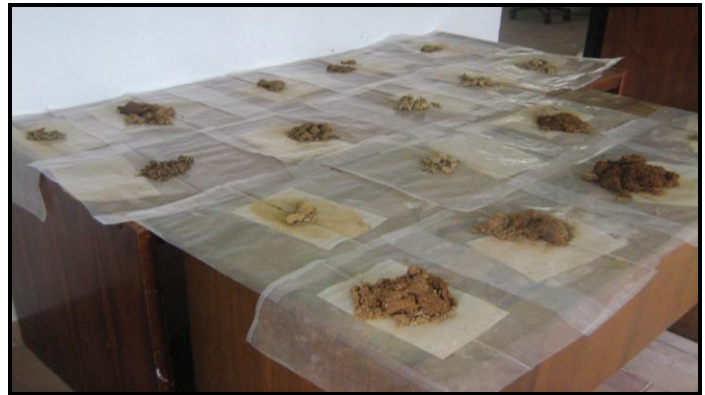


Fuente: este estudio.

**3.2.2 Etapa de laboratorio.** Esta etapa se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Aguas y Suelos de la CRC, donde se contó con los recursos necesarios para el desarrollo del estudio.

- **Secado del material.** Los sedimentos húmedos obtenidos en campo cada semana se esparcieron sobre plásticos rotulados, que se ubicaron en las mesas del laboratorio, el secado de las muestras fue a temperatura ambiente durante ocho días aproximadamente o durante el tiempo necesario para eliminar el agua y quedar totalmente secas, y de esta forma determinar la cantidad de material que se arrastra de las parcelas debido a la erosión.

Figura 22. Secado del material a temperatura ambiente en el laboratorio de aguas y suelos.



Fuente: este estudio.

- **Peso del material en el laboratorio.** Los sedimentos se pesaron en una balanza analítica totalmente secos, después de ser colocados dentro de un recipiente para que no haya pérdidas de material en el momento de obtener los datos cada semana.

Figura 23. Peso total del material seco con la ayuda de una balanza analítica en el laboratorio de aguas y suelos.



Fuente: este estudio.

**3.2.3 Etapa de oficina.** Esta etapa incluye la interpretación y análisis de los resultados obtenidos para llegar a conclusiones y recomendaciones del estudio.

- **Obtención de información.** Durante los tres meses que duro el estudio se tomo registros de todas las variables a analizar, para tal fin fue necesario dirigirse al sitio de estudio una vez por semana para registrar los datos del pluviómetro, enraizamiento, área cubierta y recolectar el sedimento de las parcelas para después ser transportados al vivero La Florida de la CRC para pesarlo en el laboratorio de Aguas y Suelos de la CRC y registrar los datos manualmente en una libreta de apuntes.

- **Clasificación de la información.** Después de tener digitada la información se procedió a clasificarla por fechas separando cada una de las variables.

- **Resultados.** La última etapa se basa en encontrar diferencias y similitudes, además de analizar cada uno de los datos totales obtenidos a través del tiempo. El análisis se realizo con la ayuda del paquete estadístico SPSS el cual ofrece una serie de opciones para realizarle diferentes pruebas a los datos y representarlos gráficamente.

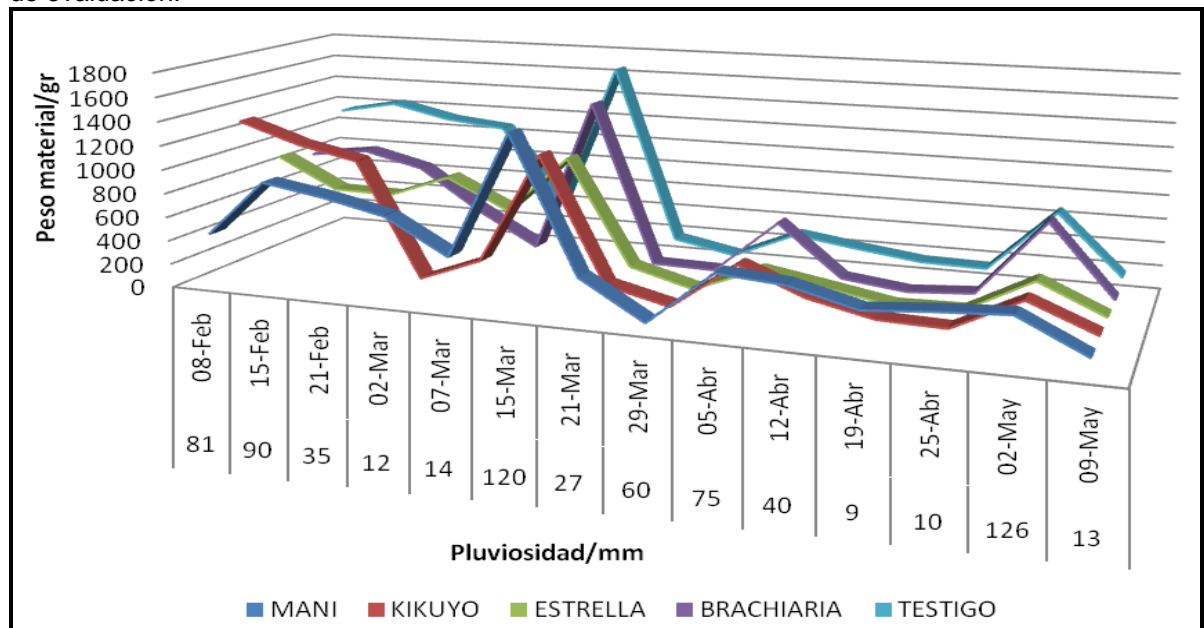
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta la interpretación y discusión de los resultados obtenidos durante las etapas desarrolladas en el estudio.

### 4.1 RELACIÓN ENTRE LA PÉRDIDA DE TERRENO (SUELO) EN LAS PARCELAS Y LAS PRECIPITACIONES PRODUCIDAS DURANTE LOS MESES DE EVALUACIÓN PARA EL ESTUDIO

Esta figura muestra los efectos de las precipitaciones sobre las parcelas y la diferencia entre el comportamiento de las parcelas dependiendo de la cantidad de sedimentos acumulados y si presentan o no la protección del agromanto.

Figura 244. Peso de los sedimentos y pluviosidad medida en la zona de estudio, durante los meses de evaluación.



Fuente: este estudio.

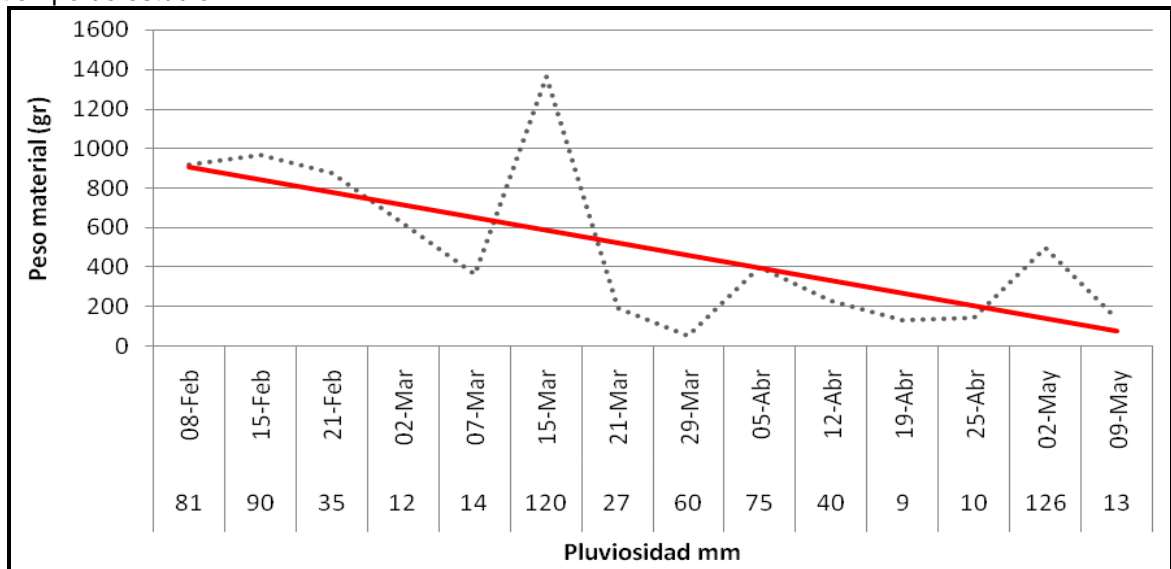
Cada curva coloreada representa una de las especies de forrajes y la parcela testigo. Una elevación en la curva implica una acumulación de material y un descenso en la curva implica menor pérdida o desplazamiento del material del suelo recolectado en el receptáculo.

En la figura 24 se puede apreciar como se producen gradualmente pérdidas o acumulaciones de material en las distintas parcelas a lo largo de los controles y monitoreos. Aunque algunas parcelas aportan más cantidad de sedimentos en días con alta precipitación se observó que todas responden a la lluvia como un estímulo para el desprendimiento de materiales.

Es indudable la relación entre la pérdida de suelos y la cantidad de agua precipitada como se demuestra en lluvia producida el 15 de marzo con 120 mm que para el caso del testigo se produjo un aporte de sedimentos de 1656.66 gramos de suelo mientras que con la cobertura de pasto estrella fue de 1063.04 gramos.

En la figura 25 se muestra una mejor perspectiva de la relación entre la precipitación y el material arrastrado con una línea de tendencia donde se puede ver la disminución del aporte de sedimentos desde los primeros datos hasta el final de las lecturas que seguramente se debe al amarre del suelo por parte del sistema radicular de los forrajes sembrados, el mayor aporte de sedimentos significa menos defensa al arrastre de los componentes del suelo y menos permanencia de la vegetación que se encuentre en la superficie.

Figura 255. Línea de tendencia de la relación precipitación y material desprendido, durante el tiempo de estudio.



Fuente: este estudio.

La línea continua que se observa en la figura 23 puede seguir esa tendencia si la vegetación logra permanecer y establecerse en la superficie del talud durante los

cambios climáticos presentes en todos los períodos del año, aunque en algunos periodos puede que la tendencia varíe si se cuenta con la acción protectora de la vegetación el sedimento arrastrado va a ser menor que cuando el suelo se encuentra expuesto sin ningún tipo de cobertura.

#### 4.2 CANTIDAD DE SEDIMENTOS OBTENIDOS EN LAS PARCELAS DE ESTUDIO DURANTE EL PERIODO DE MEDICIÓN

El cuadro 4 proporciona información acerca de la cantidad total de material recolectado durante tres meses en las parcelas proveniente en su mayoría de la erosión hídrica del talud. El material arrastrado se depositó en los receptáculos ubicados en la parte inferior de cada parcela.

Todos los datos registrados en las especies utilizadas presentan menos aporte de sedimentos que la parcela testigo lo que refleja la acción protectora de la cobertura.

Cuadro 4. Cantidad total de sedimentos obtenidos en las parcelas.

Nombre común	Nombre científico	Peso total /gr
Testigo	Testigo	8487.12
Maní forrajero	<i>Arachis pintoi</i>	7448.67
Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>	6540.65
Braquiaria	<i>Brachiaria humidicola</i>	6143.12
Estrella	<i>Cinodon nlemfuensis</i>	5909.34

Fuente: este estudio.

Las parcelas que obtuvieron la mayor cantidad de material fueron aquellas denominadas como parcelas testigo, ya que fueron usadas como punto de referencia y no se les hizo ningún tipo de tratamiento dejándolas desprovistas de la protección del agromanto y de la cobertura vegetal que pudiera preservar el suelo de la acción erosiva del agua y del viento, estando expuesto a ser arrastrado sin mayor dificultad, ayudado también por la inclinación de 69.29 grados que conserva el talud formando una pendiente que facilita el arrastre de sedimentos.

Las parcelas con menor cantidad de depósitos recolectados fueron aquellas a las que se les hizo el tratamiento con la especie *Cynodon nlemfuensis* (pasto estrella) con un 30.3% menos de aporte de sedimentos que la parcela testigo, esta especie es un forraje que puede resguardar mejor la superficie del talud erosionado ya que su crecimiento amarra el suelo con las raíces que crecen de los nudos ubicados a lo largo de los tallos extensos, además de que es muy frondosa sirviendo como barrera defensora ante agentes externos que puedan causar daño.

No hay diferencia significativa entre *Pennisetum clandestinum* (kikuyo) y *Brachiaria humidicola* (Brachiaria) ni entre ninguna de las otras especies ya que los resultados obtenidos muestran una cantidad de sedimentos arrastrados que difiere solo por algunos gramos como se puede observar en los resultados del análisis de varianza (ANAVA) (ver anexo A).

#### 4.3 PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO Y GERMINACIÓN TOTAL DE CADA UNA DE LAS ESPECIES DE ESTUDIO DURANTE EL TIEMPO DE MEDICIÓN

Los porcentajes de enraizamiento nos permiten diferenciar cual de las especies sembradas por estolones son las que germinaron en mayor o menor proporción de acuerdo al conteo total de plántulas en las parcelas, los resultados fueron que el *Cynodon nlemfuensis* (Estrella) fue la especie que menor porcentaje tuvo y el *Arachis pintoii* (maní forrajero) fue la especie que mejor germinación logró.

Cuadro 5. Porcentaje de enraizamiento de las especies sembradas por estolones.

Nombre común	Nombre científico	% de germinación
Maní forrajero	<i>Arachis pintoii</i>	86.83
Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>	57.50
Estrella	<i>Cynodon nlemfuensis</i>	55.17

Fuente: el autor

Esta última especie se ajusta de manera precisa a las condiciones ambientales del lugar donde se desarrollo el estudio como altura de la zona, pluviosidad y poca luminosidad entre otras características, coincidiendo con los requerimientos de adaptabilidad y desarrollo para su buena germinación, además de ajustarse a las cantidades de componentes presentes en el suelo, tratándose de un suelo fuertemente ácido, de mediana fertilidad, condiciones que tolera bien el *Arachis*



*pintoi* que es favorecido también por su crecimiento rastrero el cual permite una menor exposición a la erosión eólica, permitiendo un porcentaje mayor de germinación entre las especies comparadas.

El *Cynodon nlemfuensis* (Estrella) tiene el menor porcentaje de enraizamiento, esta condición se debe a su forma de crecimiento ya que por ser de tallos extensos y entrenudos largos de un solo estolón desarrolla numerosos estolones superficiales o subterráneos de 5 m o más y las raíces crecen de los nudos, obstruyendo el crecimiento de los demás estolones sembrados inicialmente que son suprimidos por la competencia por espacio, luz y nutrientes.

Cuadro 6. Porcentaje de germinación de la especie *Brachiaria humidicola* sembrada con semilla.

Nombre común	Nombre científico	% germinación en campo	% germinación en el vivero
Braquiaria	<i>Brachiaria humidicola</i>	14.56	20

Fuente: el autor

La *Brachiaria humidicola* (Braquiaria) fue la única especie que se sembró utilizando semillas, a diferencia de las otras especies que fueron plantadas por estolones, debido a esta característica los resultados del porcentaje total de germinación es absolutamente diferente al obtenido con los demás tratamientos realizados, asumiendo lo anterior, fue necesario tener en cuenta los datos específicos de germinación logrados en campo para que fueran confrontados con los obtenidos a partir del análisis realizado en el Laboratorio de Semillas en el vivero La Florida de la CRC a la semilla destinada para el estudio.

La información que se tiene en el cuadro 6 muestra que el porcentaje de germinación para la especie *Brachiaria humidicola* (Braquiaria) es menor que la obtenida en el vivero lo cual corresponde a las condiciones climáticas de la zona donde se localizan las parcelas a diferencia a las condiciones presentes en el vivero, también es importante tener en cuenta que las parcelas se establecieron sobre un talud con una pendiente del 76.99% susceptible al arrastre de la semilla y el abono debido a la presencia de lluvias periódicas presentes en esta área.

#### 4.4 PORCENTAJE DE ÁREA CUBIERTA POR LAS ESPECIES EN CADA UNA DE LAS PARCELAS

Los resultados presentes en el cuadro 7 son obtenidos de la cantidad de superficie cubierta por las especies en las parcelas, ayudando así a la protección del suelo contra todo tipo de erosión, los datos hallados reflejan un alto porcentaje de cubrimiento en todas las especies ya que los resultados están por encima del 80% (Anexo C).

Cuadro 7. Porcentaje total de área cubierta de cada una de las especies de estudio.

Nombre común	Nombre científico	% cubierto
Estrella	<i>Cinodon nlemfuensis</i>	89.52
Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i>	89.14
Maní forrajero	<i>Arachis pintoii</i>	85.87
Braquiaria	<i>Brachiaria humidicola</i>	81.57

Fuente: este estudio.

La especie que tuvo mayor porcentaje de área cubierta fue el *Cinodon nlemfuensis* (Estrella) con casi un 90% de superficie cubierta gracias a su forma de crecimiento extendido superficialmente, frondosas y rastreras de tallos extensos y entrenudos largos a diferencia de la especie que obtuvo menor porcentaje la cual tiene un crecimiento menos extendido donde una planta esta más cerca de la otra garantizando que el área cubierta puede ser en su mayoría plantas germinadas que responden a un mayor resguardo y ayuda para el terreno de la parcela, mejorando su retención de humedad, amarre e interceptación de las gotas de lluvia y otros riesgos.

#### 4.5 COMPORTAMIENTO DE LA CANTIDAD DE SEDIMENTOS TOTALES EN CADA REPLICA

Las cantidades que nos muestra el cuadro 8 se refieren a la suma de sedimentos recolectados y pesados por cada una de las replicas diseñadas según el estudio.

Se puede notar que los dos primeros resultados son bastante semejantes lo cual revela el similar estado de erosión en los suelos de estas dos áreas donde se encuentran las replicas e igualdad en los rendimientos obtenidos gracias a la siembra de los diferentes pastos en cada una de las parcelas, permitiendo que el comportamiento de los resultados sean muy parecidos.

Cuadro 8. Cantidad de sedimento total recolectado en cada una de las replicas establecidas en el estudio.

<b>Replicas</b>	<b>Peso total /gr</b>
Replica 1	7237.83
Replica 2	7608.19
Replica 3	20363.83

Fuente: este estudio.

La paridad de los resultados de las replicas 1 y 2 pueden ser también un efecto de la germinación de la vegetación, teniendo en cuenta que las dos replicas eran semejantes y la erosión presente en ellas también, es probable que las especies hayan tenido un comportamiento muy parecido a través del tiempo, ya que estaban expuestas a las mismas variables del medio donde se encontraban y les afectaba o les favorecía de igual forma.

El dato de la replica 3 tiene un comportamiento diferente a las dos replicas iniciales obteniendo una cantidad de sedimentos mayor, lo cual es claro teniendo en cuenta que esta replica estaba ubicada en la parte mas erosionada del talud y ocasionalmente sufría derrumbes de la parte superior por encima del limite de las parcelas, afectando principalmente las mediciones de sedimentos de las 3 ultimas parcelas beneficiando el aumento en mas del doble de peso del material recolectado (ver Anexo B).

## 5. CONCLUSIONES

Las pérdidas de suelo ocasionadas por el arrastre de partículas debido al escurrimiento superficial de agua en los taludes durante el tiempo de medición, fueron mayores como se esperaba en la parcela testigo, debido a que estas estuvieron desprovistas de la protección que entrega el agromanto para el crecimiento de la vegetación y expuestas a condiciones ambientales y a otros agentes que le causaron mayor degradación en toda su extensión.

El mejor resultado en cuanto a la retención de suelo fue en la especie *Cynodon nlemfuensis* (Estrella), siendo la especie más apropiada para la zona de estudio durante el periodo evaluado, gracias a su adaptación a las condiciones climáticas y del suelo y a su hábito de crecimiento, resguardando y defendiendo el suelo de cualquier tipo de erosión presente en la zona.

Comparando los resultados en cuanto a la retención de sedimentos entre el tratamiento testigo y en el tratamiento con la estrella se pueden disminuir de arrastre de sedimentos de un 30% aproximadamente referidos al periodo de evaluación y al comportamiento del clima.

La especie sembrada por estolones que mayor porcentaje de germinación presentó fue el *Arachis pintoii* (maní forrajero), entre los cuatro tratamientos, pero a su vez, este tratamiento permitió el mayor arrastre de sedimentos después del tratamiento testigo, confirmando así que la germinación no es una variable definitiva para determinar cuál es la mejor cobertura vegetal para retención de sedimentos en esta área, teniendo otras especies con menor porcentaje de germinación y mayor capacidad de retención de partículas del suelo.

El mejor porcentaje de superficie cubierta en las parcelas arrojado por el estudio lo presenta la especie *Cynodon nlemfuensis* (Estrella) con un 89.52% de área cubierta.

Las especies tuvieron un comportamiento parejo por encima del 80% en las observaciones de área cubierta indicando que cualquiera de ellas ayudaría al cambio de apariencia en construcción de carreteras donde levantan taludes provocando altas tasas de erosión aportando paisajes con más vida y más agradables para las personas.

Los resultados logrados del peso total en cada replica muestra que el suelo que se esta desplazando en esta zona es considerable pues aunque el aumento en el peso total desmedido de sedimentos en la replica número 3 se debió a un evento externo de la superficie destinada al estudio, los datos de las dos primeras replicas también son cuantiosos.

La protección que proporciona el establecimiento del agromanto y todos los forrajes utilizados en el estudio aportan datos positivos con relación al cuidado del medio ambiente y en especial en los suelos erosionados, la germinación de la vegetación permite que la cantidad de material recolectado sea menor a través del tiempo proporcionándole estabilidad y defensa al terreno, además de crear un ambiente propicio para otras especies vegetales y de animales, favoreciendo también la disminución de la contaminación a fuentes de agua y proporcionando un mejor aire y paisaje más atractivos para las personas.

La erosión ocasionada por el agua de lluvia es muy fuerte en los taludes de esta zona, manifestándose en los registros obtenidos de la cantidad de partículas de material arrastrados por escorrentía, aumentando su peso en las semanas de mayor precipitación.

Como solo se evaluó la pérdida de suelo en un periodo de 3 meses, en las etapas iniciales del crecimiento de las coberturas, los resultados pueden mejorar si los registros se llevan a mínimo un año para incluir todas las variables presentes en el medio.

## 6. RECOMENDACIONES

La especie de cobertura que se debe utilizar para la disminución en el arrastre de sedimentos en los taludes de esta zona y para zonas con condiciones similares es el *Cynodon nlemfuensis* (Estrella).

Dar continuidad al estudio ya que fue desarrollado en una primera etapa y el periodo de evaluación no comprendió la totalidad del comportamiento de la precipitación en un año completo, adicionalmente algunas de las especies no tuvo un pleno desarrollo, lo cual indicaría que puede haber cambios en algunas de las variables evaluadas.

Efectuar la siembra de la especie *Cynodon nlemfuensis* (Estrella) en los taludes de esta zona, para minimizar la erosión y disminuir la sedimentación de ríos y quebradas del área afectada.

Es necesario el mejoramiento del paisaje con la implementación de diferentes especies vegetales que beneficien no solo el ambiente si no que permitan un panorama más sano y atractivo para las personas y animales que transiten por este.

Tener en cuenta los resultados de este estudio para futuras intervenciones relacionadas con estabilización y revegetalización de taludes de esta zona.

En la estabilización de taludes de las vías debe ser una prioridad el manejo de revegetalización para garantizar disminución de sedimentos en las corrientes de agua, disminución en los costos de mantenimiento y garantizar paisajes más llamativos y menos contaminados.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

Corporación Autónoma Regional del Cauca. CRC. Subdirección de gestión ambiental programa flora y fauna. Procedimiento para la instalación de agrotexil proyecto INVIAS-CRC. Colombia. 2008. p. 1 y 2.

ESTRADA ÁLVAREZ, Julián. Pastos y Forrajes para el Trópico Colombiano. Universidad de Caldas. Colombia. 2002. p. 243, 244, 264, 265, 287,288 y 324.

Gobierno en línea. Territorial. Totoró en Cauca, Colombia. [Online]. Disponible en internet. <<http://www.totoro-cauca.gov.co>>. Colombia. 03 de diciembre 2008.

HINCAPIÉ GÓMEZ; Edgar y RIVERA POSADA, Horacio. Validación del factor erodabilidad en suelos de la unidad Chinchiná, *Melanudands*, mediante el uso de simulador de lluvias. Trabajo de grado. Ingeniero Agrónomo. Manizales. Universidad de Caldas. Cenicafé. 2003.

LITTLE, Thomas Morton y HILLS, Frederick Jackson. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Mexico.1981. p. 56, 57 y 58.

LEIHNER, D. E, RUPPENTHAL, M, MÜLLER SÄMANN, K. Investigadores, Universidad de Hohenheim, Stuttgart, Alemania y CASTILLO F, J. A. Asistente de investigación, Proyecto de Conservación de Suelos y Aguas. CIAT. Cuantificación y estudio de la erodabilidad de los suelos andinos en el suroccidente colombiano. Cali, Colombia. 1996.

ONGLEY, E. D. Estudio FAO Riego y Drenaje. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Capítulo 2. Contaminación provocada por los sedimentos. Canadá. 1997. p. 22 y 23.

RIVERA P, José Horacio. Investigador, Líder del Programa. Conservación de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé). Procesos físicos de erosión y su dinámica: prevención y control en suelos de ladera de la zona cafetera colombiana. Chinchiná, Caldas, Colombia. 1996.

RODRÍGUEZ P, Oscar S. Efecto de las Barreras Vivas y de las Coberturas en la Conservación de los Suelos en Diferentes Sistemas de Producción Agrícola. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. 1997.

SINISTERRA R, Juan Armando, RIVERA P, José Horacio y CALLE D, Zoraida. Restauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el anclaje xerofítico de Dagua. Valle del cauca. CIPAV. Colombia. 2005. p. 2 y 3.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Capítulo 7. Lluvias, presión de poros y sus efectos. Universidad Industrial de Santander, UIS. Colombia. 2007. p. 233,235-238, 263 y 264.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_. Control de erosión en zonas tropicales. Capítulo 8. La vegetación. Universidad Industrial de Santander, UIS. Colombia. 2001. p. 253.

TORMO BLANES, Jaume. Factores que influyen en la colonización vegetal y la revegetación de taludes de carreteras en ambiente mediterráneo. Tesis Doctoral Departamento de ecología vegetal. Universidad de valencia. España. 2007. p. 4,5.



# **ANEXOS**

Anexo A. Análisis de varianza cantidad de sedimentos totales transportados.

<b>Análisis de varianza</b>					
<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Inter-grupos	1482062.426	4	370515,606	0,130	0,968
Intra-grupos	28429322.312	10	2842932.231		
Total	29911384.737	14			


Anexo B. Análisis de varianza sedimentos transportados en cada replica.

<b>Análisis de varianza</b>					
<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Inter-grupos	1370596.343	3	456865,448	0,216	0,883
Intra-grupos	16926092.725	8	2115761.591		
Total	18296689.068	11			

Anexo C. Anexo C. Análisis de varianza área cubierta en las parcelas.

<b>Análisis de varianza</b>					
<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Inter-grupos	122,188	3	40,729	,420	,744
Intra-grupos	775,369	8	96,921		
Total	897,558	11			

Anexo D. Análisis de suelos.

 Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Minero Gobernación del Cauca			Nombre: Paula Narvaez				DD MM AA																					
			Finca:				Fecha entrada : 17 9 2009																					
			Tel / Fax:				Fecha salida : 30 9 2009																					
			Vereda: Rio Blanco				Material : Suelo																					
			Municipio: Totoro				Tipo de análisis : Completo +E.M.																					
Dpto: Cauca																												
RESULTADOS DEL ANALISIS																												
Identif muestra	NºLab	Prof. (cm)	pH 1:2,5	N-total	M.O			P (ppm)	Sat Al (%)	Al	Ca	Mg	K	Na	CICe	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	Mo						
					0-1000	1000-2000	2000-3000																					
					(%)																							
1	28486	0,2	5,40	0,0	0,52			0,5	19,0	0,40	0,94	0,61	0,13	0,26	1,94	0,08	1,8	15,4	12,8	2,0	T	T						
			F	F	B			F		C	F	F	D	F		F	B	D	A	C	F	F						
															0,00													
															0,00													
															0,00													
CONSULTE AL AGRÓNOMO DE ASISTENCIA TÉCNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACIÓN																												
Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o adecuado. C: Contenido "moderado" o adecuado. D: Contenido "pobre" o deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido infimo o "muy pobre". Para pH: A: Alcalino. B: Neutro. C: Ligeramente ácido. D: Moderadamente ácido. E: Fuertemente ácido. F: Muy alcalino.																												
RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION										OBSERVACIONES O RECOMENDACIONES							Metodos de análisis											
Identif muestra	NºLab	Cultivo	Nutrientes puros en Kg/Ha/Año					Textura: Arcillo - Arenoso Si Hay evidencia de cenizas volcanicas. <b>T=Trazas</b> La muestra presenta un Ph fuertemente acido, lo que limita la solubilidad de los pocos nutrientes nativos o agregados al suelo. para mejorar esta situación es necesario encalar. La M.O y el N es muy bajo para la zona.La relacion C/N es alta. La textura indica regular capacidad para retener agua y abonos y es ligeramente susceptible a la erosion.  En general la fertilidad de esta muestra es muy baja.							Acidez intercamb: KCl 1N; M.O: Walkley & Black; P: Bray II; Ca, Mg, K y Na: AcONH4 1N pH:7 Cu, Fe, Zn, Mn: Doble Acido. B : Absorcion Atomica y/o Azometir													
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO																					
1	28486																											