

**EVALUACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES UTILIZADAS EN LA
IMPLEMENTACIÓN DE CINCO OBRAS PILOTO PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO
POR DESLIZAMIENTO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAUCA**



**ALIX LORENA GALLEGO TORRES
Mc LARRY VILLA GALLEGO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL
POPAYÁN
2012**

**EVALUACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES UTILIZADAS EN LA
IMPLEMENTACIÓN DE CINCO OBRAS PILOTO PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO
POR DESLIZAMIENTO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAUCA**

**ALIX LORENA GALLEGO TORRES
Mc LARRY VILLA GALLEGO**

**Trabajo de grado en modalidad de investigación para optar al título de Ingeniero
Forestal**

**Director
ROMÁN OSPINA MONTEALEGRE
Ingeniero Forestal**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL
POPAYÁN
2012**

Nota de aceptación

Aprobado por los jurados en cumplimiento a los requisitos exigidos por la Universidad del Cauca para optar el título de Ingeniería Forestal.

ROMÁN OSPINA MONTEALEGRE
Director

ROMAN STECHAUNER ROHRINGER
Presidente de Jurado

VÍCTOR FELIPE TERÁN GÓMEZ
Jurado

Popayán, 2012

DEDICATORIA

A mi madre por ser un ejemplo de fortaleza espiritual y por apoyarme incondicionalmente en todos mis proyectos.

A toda mi familia, en especial a mi tía Hilda, a mis hermanos Cristhian y Lucho; por acompañarme y apoyarme toda la vida.

A todos mis compañeros de clase y a mis profesores por contribuir cada día con un granito de arena en mi formación académica y personal.

Lorena Gallego.

Gracias a mi Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante y lograr una meta más en mi vida.

A mi madre María Alba Cenidés Gallego B. por el aguante y apoyo incondicional en todo momento.

A mi hermana Laura Villa Gallego por darme su amor y compañía en este proceso.

A familiares, amigos y compañeros que siempre estuvieron presentes en las buenas y en las malas en todo este ciclo universitario.

Mc Larry Villa Gallego.

AGRADECIMIENTOS

A Fabio Salazar y David Meneses por su apoyo y sugerencias durante todas las etapas del proyecto.

A la doctora Liliana Recamán y a la Fundación Pro Cuenca Rio Las Piedras por darnos la confianza y la oportunidad de realizar este trabajo.

A los jurados Roman Stechauner y Felipe Terán porque sus aportes y dedicación permitieron culminar este trabajo satisfactoriamente.

A nuestro director Román Ospina por aportar todos sus conocimientos en la elaboración de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO REFERENCIAL	13
1.1 EROSIÓN	13
1.1.1 Remoción en masa	13
1.1.2 Sobrepastoreo	13
1.2. BIOINGENIERÍA	14
1.2.1 Antecedentes	14
1.2.2 Ventajas de la bioingeniería	14
1.2.3 Entidades que utilizan técnicas de bioingeniería en Colombia	15
1.2.4 Técnicas de estabilización de taludes.	15
1.2.4.1 Hileras de vegetación	15
1.2.4.2 Fajinas de drenaje	16
1.2.4.3 Cajones de ramas	16
1.2.4.4 Capas de enramados	16
1.2.4.5 Cubiertas vivas	16
1.2.4.6 Trinchos con vegetación	17
1.2.4.7 Taludes en escalera	17
1.2.4.8 Muros en gaviones vegetalizados.	17
1.2.4.9 Entramado de madera	17
1.3 LA VEGETACIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	18
1.3.1 Efectos hidrológicos y mecánicos.	18
1.3.2 Conservación de la biodiversidad	19
1.3.3 Desventajas	19
1.4 ESPECIES VEGETALES UTILIZADAS EN LAS OBRAS	19
1.4.1 Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	19
1.4.2 Nacedero (<i>Delostoma integrifolium</i>)	20
1.4.3 Sauco (<i>Sambucus peruviana</i>)	20
1.4.4 Guarango (<i>Mimosa quitensis</i>)	20
1.4.5 Chocho (<i>Erythrina rubrinervia</i>)	21
1.4.6 Laurel de cera (<i>Myrica pubescens</i>)	21
1.4.7 Encenillo (<i>Weinmannia tomentosa</i>)	21
1.4.8 Farolito (<i>Abutilon "Golden flecee"</i>)	21
1.5 MUESTREO	22
1.5.1 Técnicas de muestreo probabilístico	22
1.6 TÉCNICAS DE SILVICULTURA	22
1.6.1 Fertilización	23
1.6.2 Control de plagas	23
1.6.3 Plantación de reposición	23

1.6.4 Poda	23
1.6.5 Entresaca	24
2. METODOLOGÍA	25
2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
2.1.1 Causas del deslizamiento en los sitios	25
2.1.2 Descripción y esquema de las obras realizadas	26
2.1.2.1 Hispala	28
2.1.2.2 Poblazón	29
2.1.2.3 Coconuco	29
2.1.2.4 San Juan	30
2.1.2.5 Quintana	30
2.2 TRABAJO DE CAMPO	31
2.2.1 Muestreo sistemático	31
2.2.2 Variables medidas	32
2.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS	32
2.4. GUÍA DE MONITOREO Y MANUAL ILUSTRATIVO PARA EL SEGUIMIENTO Y MANEJO DE LAS PLANTAS	32
3. RESULTADOS Y DISCUSION	34
3.1 HISPALA	34
3.2 POBLAZÓN	35
3.3 COCONUCO	37
3.4 SAN JUAN	38
3.5 QUINTANA	40
3.6 DIÁMETRO EN RELACIÓN CON LA ALTURA, VITALIDAD Y BROTES	41
3.7 COMPARACIÓN DE ESPECIES ENTRE SITIOS	41
3.7.1 Guarango	41
3.7.2 Nacedero	42
3.7.3 Aliso	42
3.7.4 Sauco	42
3.7.5 Laurel de cera y Encenillo	43
4 .CONCLUSIONES	44
5. RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Efectos hidrológicos y mecánicos de la vegetación sobre una ladera.	18
Figura 2. Ubicación de las obras realizadas.	26
Figura 3. Esquema del entramado de pared doble.	27
Figura 4 Esquema del entramado latino.	27
Figura 5. Esquema de emparrillado construido encima del entramado	28
Figura 6. Imagen de la obra construida en Hispala.	28
Figura 7. Imagen de la obra construida en Poblazón.	29
Figura 8. Imagen de la obra construida en Coconuco.	29
Figura 9. Imagen de la obra construida en San Juan.	30
Figura 10. Imagen de la obra construida en Quintana.	31
Figura 11. Marcación de los individuos.	31
Figura 12. Altura (en centímetros) observada a los 6 meses en Hispala.	34
Figura 13. Vitalidad de las especies evaluadas en Hispala, calificada como buena, regular y muerta.	35
Figura 14. Altura (en centímetros) observada a los 6 meses en Poblazón.	36
Figura 15. Vitalidad de las especies evaluadas en Poblazón, calificada como buena, regular y muerta.	36
Figura 16. Altura (en centímetros) observada a los 5 meses en Coconuco.	37
Figura 17. Vitalidad de las especies evaluadas en Coconuco, calificada como buena, regular y muerta.	37
Figura 18. Altura (en centímetros) observada a los 6 meses en San Juan.	38
Figura 19. Vitalidad de las especies evaluadas en San Juan, calificada como buena, regular y muerta.	38
Figura 20. Altura (en centímetros) observada a los 5 meses en Quintana	40
Figura 21. Número de brotes observado a los 5 meses en Quintana.	40
Figura 22. Vitalidad de las especies evaluadas en Quintana, calificada como buena, regular y muerta.	41

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Formato de campo.	50
Anexo B. Fotos de las obras antes (a) y después (b).	51
Anexo C. Manual propuesto a la Fundación Pro-Cuenca Rio Piedras.	56

GLOSARIO

Brote o rebrote: nuevos vástagos de las plantas, que pueden incluir tallos, yemas y hojas.

Cárcava: son los socavones producidos en rocas y suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia.

Cespedones: un cespedón es un corte de forma cuadrada o rectangular de una porción de césped, el tamaño varía entre 0.5 y 1 m, la profundidad puede variar entre 3 y 8 cm dependiendo de la especie.

Correlación: en probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables estadísticas.

Drenaje hidráulico: El objetivo de las obras de drenaje es el de conducir las aguas de escorrentía, o de flujo superficial, rápida y controladamente hasta su disposición final.

Entramado: armazón de madera o metal que sirve para hacer una pared, tabique o suelo, una vez rellenos los huecos.

Escorrentía: la escorrentía es un término de la hidrología, que hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida.

Geomanto, geotextil o agromanto: es una malla de polipropileno de apariencia natural. Se incluyen también productos hechos de viruta, yute, fibra de coco o paja, que se destacan por su capacidad de resistir los agentes erosivos mientras se degradan integrándose finalmente al suelo.

Hidrológico: de hidrología: ciencia que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal, de las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre.

Infiltración: es la penetración del agua a través de los poros presentes en el suelo.

Sedimentación: proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas hacia abajo por la acción de la gravedad.

Talud: sección inclinada de un muro o de un terreno, producto del movimiento de tierra en una obra civil.

RESUMEN

Se evaluó el crecimiento y desarrollo de ocho especies forestales utilizadas en cinco obras piloto de bioingeniería para la estabilización de taludes ubicadas en los municipios de Puracé y Popayán en el Departamento del Cauca. Se realizó un muestreo sistemático con una intensidad del 50% en cada obra, durante un periodo de cinco meses, a estas especies se les evaluó el diámetro de las estacas, la altura de los individuos, el número de brotes y la vitalidad. Se registraron 421 individuos en total, de los cuales teniendo en cuenta solamente la vitalidad, las especies que tuvieron mejor respuesta según los sitios en donde se sembraron fueron: nacedero (*Delostomaintegrifolium*), chocho (*Erythrinarubrinervia*) y sauco (*Sambucus peruviana*).

Palabras clave: erosión, cobertura vegetal, bioingeniería.

ABSTRACT

Growth and development of eight forest species used in five bioengineering pilot works were evaluated. The purpose of the pilot works was to stabilize slopes in the Popayán and Puracé municipalities in the Colombian Cauca Department. A systematic sampling with an intensity of 50% was carried out in each work, during a period of five months. The species parameters measured were: stakes diameters, performance of individuals, shoots number and vitality. A total of 421 individuals were registered. The species with better response, according to their respective ubication were: "nacedero" (*Delostoma integrifolium*), "chocho" (*Erythrina rubrinervia*) and "sauco" (*Sambucus peruviana*).

Keywords: erosion, vegetation cover, bioengineering.

INTRODUCCIÓN

Los países tropicales se caracterizan por tener zonas de intensas lluvias, lo que les da grandes ventajas en cuanto al abastecimiento de agua, sin embargo esto se convierte en una desventaja cuando no hay una adecuada planeación en procesos de urbanización, expansión de la frontera agrícola y construcción de carreteras. Esto conlleva a procesos de erosión y pérdida de la cobertura vegetal, especialmente en zonas de alta pendiente, lo que ocasiona todo tipo de desastres como avalanchas y deslizamientos, que generan altos costos ambientales y económicos para mitigar los daños (León, 2001).

A pesar de los avances en la tecnología para el control de la erosión, los problemas de hoy son más extensos y severos, y los conocimientos sobre el control de la erosión son cada día más necesarios; en las montañas de los países tropicales los problemas de erosión son mucho más difíciles de resolver que los que se enfrentan en los Estados Unidos y en Europa. La rapidez de la meteorización, la alta erodabilidad de los materiales, la tectónica, la topografía y sobre todo la intensidad de las lluvias hacen que estos problemas sean especialmente difíciles de enfrentar; con el fin de controlarlos en el país se han venido utilizando diseños que buscan mitigar estos impactos utilizando estructuras que emplean materiales vivos, ambientalmente amigables, con el objetivo de restablecer el equilibrio natural preexistente basandose en estructuras de bioingeniería (Suárez, 2001).

La Fundación Pro Cuenca Rio Las Piedras quiere incentivar la realización de obras de bioingeniería en la cuenca alta del Río Cauca, capacitando a la comunidad en este tipo de obras que han sido establecidas para estabilizar los taludes y contrarrestar los riesgos por deslizamiento. En este sentido, el presente trabajo tuvo como propósito conocer el desarrollo de las especies vegetales utilizadas en la implementación de cinco obras piloto ubicadas la cuenca alta del Río Cauca, determinar los tratamientos silviculturales requeridos para las especies de acuerdo con su condición, proponer una guía de monitoreo y seguimiento en conjunto con un manual ilustrativo, para el manejo de las plantas; con el objetivo de que la información obtenida pueda ser de utilidad para las comunidades involucradas.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 EROSIÓN

La erosión puede ser definida de forma amplia como un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo causada por el agua y el viento. Esto implica la existencia de dos elementos que participan en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno activo que es el agua o el viento, o su participación alterna; la vegetación por su parte actúa como un regulador de las acciones conjuntas de ambos elementos. Podría aceptarse la consideración de dos tipos de erosión, la geológica o natural y la antrópica o acelerada. La primera se produce naturalmente sin la acción del hombre, estando por tanto fuera de su control; es tan lenta que pasa inadvertida y contribuye de cierto modo a la formación del relieve mismo y a la meteorización de las rocas. 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 del agua y el 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, entre otras (León, 2001).

1.1.1 Remoción en masa. Se refiere a todo desplazamiento en masa hacia abajo (vertical o inclinado en dirección del pie de ladera) de un volumen de material litológico, formación superficial, suelo, coberturas vegetales y/o de escombros. Los principales agentes detonantes son la gravedad, el agua, los sismos y las actividades antrópicas. Se consideran como remoción en masa los deslizamientos, la reptación, las avenidas torrenciales, la caída de rocas y material vegetal, los desprendimientos, los desplomes, los hundimientos y las avalanchas (PNN, 2009).

1.1.2. Sobrepastoreo. Se presenta cuando las pezuñas de los animales rompen los encostramientos superficiales producidos por la lluvia y por organismos microscópicos de la superficie del suelo; de esta manera el suelo pierde estabilidad y las partículas se exponen al arrastre. Este proceso se acelera si existe escasa cubierta vegetal o mantillo; además la compactación producida por el pastoreo puede tener efectos hidrológicos importantes a nivel de cuencas, al aumentar el escurrimiento y la evaporación en detrimento de la cantidad de agua que infiltra y alcanza los acuíferos (Borelli y Oliva, 2001).

1.2. BIOINGENIERÍA

La bioingeniería se basa en la construcción de estructuras vivas que emplean diferentes partes de las plantas principalmente las raíces y los tallos. El carácter singular de la bioingeniería se debe a que las partes de las plantas utilizadas sirven como elementos de la estructura principal en el sistema que protege las laderas. Estas soluciones, rápidas, sencillas, eficientes y de muy bajo costo, se convierten en esfuerzos mecánicos, drenaje hidráulico y barrera natural para contener la erosión y los movimientos masales (Rivera y Sinisterra, 2006).

La Bioingeniería (aunque este término puede generar confusión con la Ingeniería Biomédica que se ocupa de prótesis y órganos artificiales, entre otras cosas) también es conocida como Ingeniería Naturalística o Ingeniería Biológica, es una disciplina técnico-científica que estudia el uso de las plantas vivas, de partes de plantas o incluso de asociaciones vegetales enteras como materiales de construcción, con frecuencia unidos a materiales no vivos como piedra, tierra, madera y acero (Schiechtl 1985, citado por CRIC 2009)

A veces se considera a la bioingeniería como sustitución de la ingeniería clásica, sin embargo hay que entenderla como un elemento necesario y complementario en las obras de ingeniería convencional. La bioingeniería se utiliza en todos los ámbitos de la ingeniería civil, especialmente en la consolidación de taludes, riberas y para el control de la erosión (Zeh, 2007).

1.2.1 Antecedentes. Las técnicas de ingeniería biológica o bioingeniería provienen de la época medieval, en la que los únicos elementos de construcción que existían eran las piedras y la madera. La sujeción de deslizamientos, caminos y terrenos erosionados por arroyos, aludes y cárcavas se efectuaba con estos materiales y su combinación con plantas vivas. A partir de esta época se tiene constancia de las primeras obras publicadas, esto permite establecer el origen de estas técnicas en la Europa Alpina, particularmente en Austria y Suiza. La aparición de nuevas técnicas y materiales, sobre todo el concreto, hizo que las técnicas de ingeniería biológica quedaran relegadas al ámbito rural y forestal de la zona centroeuropea y perdieran relevancia. A partir de 1.980, en los países centroeuropeos, gracias a los progresos de las ciencias naturales, se realizaron unas sustanciales mejoras en los métodos como la elección de materiales vivos más adecuados. Con ello estas técnicas se tornaron más eficientes y se han desarrollado nuevos métodos de mayor eficacia. Hoy en día existe una variedad de técnicas que pueden solucionar la mayoría de los problemas que puedan presentarse en el afianzamiento de taludes y riberas (Valenzuela, 2008).

1.2.2 Ventajas de la bioingeniería. Algunos de los beneficios que aportan las técnicas de bioingeniería son: los costos reducidos en comparación con las obras

tradicionales como muros en concreto o gaviones; el uso de mano de obra local, que constituye el punto principal de gasto con los consecuentes beneficios económicos para la población interesada; la preferencia por la utilización de materiales de origen natural y que se consiguen a nivel local; y finalmente el mejoramiento del aspecto paisajístico; entre otros (Petrone y Preti, 2005).

1.2.3 Entidades que utilizan técnicas de bioingeniería en Colombia. En nuestro país las entidades que han venido realizando trabajos de investigación utilizando técnicas de bioingeniería son el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, la Universidad Nacional de Colombia UNAL, la Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS, el Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ, y el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV; entre otros. Se ha trabajado especialmente con trinchos de guadua, estacas vivas de nacedero *Trichanthera gigantea*, y maní forrajero *Arachis pintoi*, para evitar la erosión (Fuertes, 2009). En suelos degradados por erosión en cárcavas en Dagua, Valle del Cauca se han utilizado pastos, leucaena *Leucaena leucocephala*, como disipadores de energía y para estimular la regeneración de la vegetación. Como barreras naturales cactus gris *Cereus griseus*, piñuela *Bromelia plumieri* y cabuya *Furcraea cabuya* (Rivera *et al.*, 2007).

A nivel local, la Fundación Pro Cuenca Rio Piedras ha venido trabajando especialmente con trinchos de guadua y especies como lechero *Euphorbia laurifolia*, guarango *Mimosa quitensis*, eucalipto *Eucalyptus sp.*, nacedero de altura *Trichanthera gigantea*, botón de oro *Thitonia diversifolia*, aliso *Alnus sp.*, encenillo *Weinmannia sp* y sauce llorón *Salix humboldtiana*, entre otras (Muñoz, 2009).

1.2.4 Técnicas de estabilización de taludes. Actualmente hay diversas técnicas para la estabilización de taludes, que se aplican de acuerdo con las causas de la erosión, condiciones del sitio, la pendiente, el tipo de suelo y la disponibilidad de recursos, entre otros. Suárez (2001) menciona algunas de dichas técnicas que se presentan a continuación.

1.2.4.1 Hileras de vegetación. Para disminuir la velocidad del agua en un talud o en un cuerpo de agua se utilizan barreras de desechos, tales como ramas de árboles o maleza, anclados al suelo con estacas de madera. Estos elementos actúan como filtros superficiales produciendo algo de sedimentación y al mismo tiempo disipando la energía de la escorrentía. Son estructuras temporales y en algunos casos son arrastradas por el agua si la velocidad de ésta es muy alta, se les utiliza en taludes de pendientes del 10% al 30%. Estas barreras también se acostumbra hacerlas utilizando caña, bambú o fibras vegetales tejidas y en ocasiones se colocan mallas metálicas o plásticas. Una de las especies más utilizadas para estas barreras es el pasto Vetiver (*Vetiveria zizanioides*).

1.2.4.2 Fajinas de drenaje. Las fajinas vivas o fajinas de drenaje, pueden utilizarse como drenes superficiales para controlar las aguas de escorrentía. El sistema consiste en excavar zanjas en forma de espina de pescado con brazos que conectan a una zanja principal, se llenan con ramas vivas, se fijan con estacas y se rellenan con suelo. Los drenes centrales se suelen rellenar con varias fajinas dentro de la misma zanja, con una profundidad de hasta 50 centímetros; los drenes laterales tienen de 20 a 30 centímetros de profundidad y generalmente se construyen de abajo hacia arriba con ángulos laterales entre 20° y 45°; el espaciamiento entre zanjas varía de 1.0 a 2.5 metros, en forma paralela y con longitudes entre 3 y 8 metros.

1.2.4.3 Cajones de ramas. Este sistema consiste en la construcción de barreras en forma de cajón longitudinal utilizando ramas, las cuales se sostienen lateralmente con estacas enterradas. Estos cajones requieren de una excavación muy pequeña, pero es importante colocar un relleno arriba de ellos. Se utilizan ramas de longitudes de 2 a 4 metros y hasta 3,81 centímetros de diámetro. Las estacas tienen una longitud aproximada de 1 metro y se entierran mínimo 50 centímetros; generalmente se utiliza alambre para amarrar entre sí la parte superior de las estacas y ayudar en esta forma a garantizar la estabilidad interna del cajón.

1.2.4.4 Capas de enramados. Las capas de hierba o ramas de juncos consisten en ramas cortadas dispuestas en capas, intercaladas con capas de suelo. Las ramas se colocan de forma entrecruzada o con un sistema de traslapeo, de tal manera que las puntas salgan a la superficie del terreno. Cuando rebrotan y se establece la vegetación, la capacidad del refuerzo aumenta por acción de las raíces y del follaje, favoreciendo así el control de la erosión. Las capas de enramados son muy prácticas en terraplenes, las ramas van mezcladas entre capas sucesivas de relleno compactado; además las capas de suelo pueden envolverse con tela sintética u orgánica como yute, fique o refuerzo de geotextil o geomalla, creando un conjunto mucho más confinado y reforzado.

1.2.4.5 Coberturas vivas. Las cubiertas o coberturas vivas consisten en un arreglo de troncos de madera formando cuadrados o rectángulos sobre la superficie del talud. El espacio entre los troncos se rellena con ramas y suelo, generalmente se colocan dos capas de arreglos el uno encima del otro, formando unos cajones de aproximadamente 50 centímetros de profundidad. El sistema de coberturas vivas se recomienda utilizarlo en taludes de alta pendiente, donde otros sistemas difícilmente pueden sostenerse. Los troncos pueden ser de madera rolliza, bambú o madera aserrada y se arman de tal manera que se forme un sistema pseudopórtico recostado sobre el talud. El sistema debe diseñarse para ser autoportante y poder soportar su propio peso.

1.2.4.6 Trinchos con vegetación. En taludes de más de 45°, donde no es posible colocar barreras sencillas de vegetación, se acostumbra colocar trinchos que consisten en estacas vivas profundas ancladas firmemente, las cuales sostienen un sistema vertical de contención construido con madera, ramas de árboles, bambú o malla. En la parte superior del sistema de contención se coloca un filtro de geotextil o biomanto, se rellena con suelo y se siembra la barrera de vegetación. Generalmente, se utilizan estacas de 2" a 3" de diámetro, que se entierran mínimo 60 centímetros en lo profundo del suelo. La altura del relleno detrás de los trinchos no debe ser superior a 1.0 metro, aunque en algunos casos se siembran trinchos especiales capaces de soportar alturas de rellenos superiores.

1.2.4.7 Taludes en escalera. Los taludes en escalera recubiertos de especies vegetales han sido empleados con éxito en ambientes tan diferentes entre sí como en los campos de Ecopetrol en el Magdalena Medio y en la Ciudad de Manizales en Colombia. El sistema de talud en escalera impide la aceleración de la escorrentía, aumenta la infiltración en el talud, mantiene la humedad facilitando el crecimiento de la vegetación, recoge los sedimentos de erosión por golpeo de lluvia e impide la formación de surcos de erosión.

1.2.4.8 Muros en gaviones vegetalizados. Los gaviones son cajas rectangulares de malla de alambre rellenas de cantos o bloques de roca. La vegetalización de los muros de gaviones consiste en la colocación de ramas largas entre los niveles del muro, de tal forma que éstas puedan enraizar en el suelo detrás del muro y sobresalgan a la superficie exterior del muro. Para facilitar el crecimiento de la vegetación en los gaviones, estos deben rellenarse además con suelo. El procedimiento de construcción consiste en rellenar los gaviones en el primer nivel con tierra, rocas y suelo; posteriormente se cierran las mallas, se coloca una capa de suelo y sobre ellas una capa de ramas; sobre las ramas se coloca nuevamente una capa de suelo. Se construye el segundo nivel de gaviones y se continúa con los niveles restantes, siguiendo el mismo procedimiento.

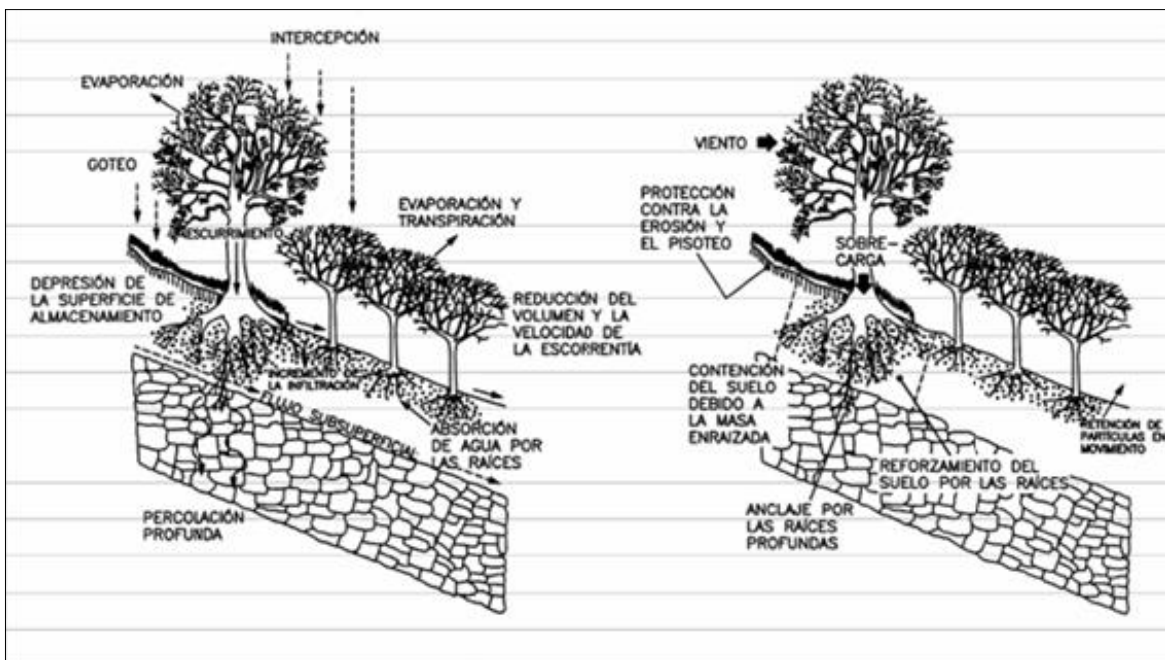
1.2.4.9 Entramado de madera. Muro de gravedad que consiste en un cajón cuadrangular (entramado de doble pared) o triangular (entramado latino) construido con troncos de 20 cm de diámetro y estacas vivas. El procedimiento se inicia con una excavación de ligera inclinación en el pie del talud; luego se procede a la colocación de una primera fila de troncos en sentido longitudinal y paralelo al talud. Se colocan troncos transversales sobre los longitudinales y se unen mediante clavos metálicos. A continuación se vuelve a colocar una fila de troncos longitudinalmente de manera que se formen celdas, se insertan las estacas de especies con capacidad de emitir raíces adventicias, y se sigue con el mismo procedimiento hasta alcanzar la altura deseada (Arizpe et al., 2008).

1.3 LA VEGETACIÓN EN LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

La cobertura vegetal juega un papel importante en la estabilización de taludes ya que aparte de sus efectos hidrológicos y mecánicos, permite la conservación de la biodiversidad y el mejoramiento del paisaje. Sin embargo es muy importante tener en cuenta que el uso de algunas especies, principalmente las de porte alto puede ser contraproducente en algunos casos.

1.3.1 Efectos hidrológicos y mecánicos. La vegetación constituye una fase de interacción entre el suelo y la atmósfera que se manifiesta a través de una serie de efectos hidrológicos y mecánicos (figura 1). Influye en la forma en la que el agua es transferida de la atmósfera al suelo y modifica en cierta medida los sistemas de drenaje superficial y profundo de éste. La existencia de una cobertura vegetal incrementa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y su tasa de infiltración. Como consecuencia se produce una reducción del volumen de escorrentía generado y de su velocidad, con el consiguiente efecto sobre la intensidad y extensión de los procesos erosivos. Como efectos mecánicos, la vegetación aumenta la resistencia al deslizamiento y la estabilidad del suelo, al tiempo que protege la superficie del terreno ante la acción de algunos agentes externos como el viento (Mataix y López, 2007).

Figura 1. Efectos hidrológicos y mecánicos de la vegetación sobre una ladera.



Fuente: Mataix y López, 2007.

1.3.2 Conservación de la biodiversidad. La disminución de la diversidad vegetal se debe a una serie de factores inducidos por la actividad humana, como la transformación y pérdida de hábitats, la sobreexplotación, la introducción de especies exóticas invasoras y la contaminación. Evitar la desaparición de la riqueza biológica es uno de los grandes retos para la comunidad global, detener la destrucción de la diversidad de plantas es esencial para garantizar las necesidades presentes y futuras de la humanidad. Si esta pérdida no se detiene, podemos perder una gran cantidad de oportunidades para el desarrollo de nuevas soluciones a los problemas económicos, ambientales y sociales (García *et al.*, 2010).

La siembra de diversas especies mejora la resistencia a las enfermedades en las plantas y la adaptación a las condiciones del sitio. Es común ver en las obras de bioingeniería la revegetalización utilizando una sola especie, quedando el terreno expuesto por falta de elementos de protección (Suárez, 2001).

1.3.3 Desventajas. El uso de una cobertura vegetal muy alta sin una correspondiente cobertura superficial representa una amenaza importante de erosión. Un árbol de gran altura puede generar mayor erosión por impacto de gotas de lluvia, que el ocasionado por las gotas que caen directamente sobre el suelo sin ser interceptadas por la vegetación. Además el secamiento del suelo por especies ávidas de agua puede producir agrietamiento especialmente en suelos expansivos. Para que una cobertura vegetal proteja eficientemente contra la erosión de las gotas de lluvia, se requiere que ésta sea de poca altura (Suárez, 2001).

En algunos casos la vegetación puede hacer las veces de factor desencadenante, al penetrar las raíces los sustratos rocosos, abriendo grietas en laderas propensas a desprendimientos y deslizamientos traslacionales, ya que en estos la superficie de ruptura se produce a favor de tales discontinuidades. Asimismo el crecimiento de la vegetación aumenta el peso por concepto de biomasa (León, 2001).

1.4 ESPECIES VEGETALES UTILIZADAS EN LAS OBRAS

Las especies vegetales utilizadas en las obras de bioingeniería, evaluadas en este estudio, fueron escogidas previamente por el personal técnico de la fundación, teniendo en cuenta características como tipo de raíz, crecimiento, tipo de propagación, sexual o asexual, capacidad de rebrote y disponibilidad dentro de la zona.

1.4.1 Aliso (*Alnus acuminata*). Especie perennifolia que se extiende por todo el norte de México hasta Argentina, a través de Los Andes. Hoy en día es un árbol popular en las zonas templadas de Australia y Nueva Zelanda, valorado por su

rápido crecimiento y su ancha copa, de follaje atractivo, hábito llorón, parecido al del abedul. De tamaño compacto, no suele sobrepasar 9m, aunque en entornos favorables puede superar rápidamente los 15m de altura. Se puede podar para darle forma (Burnie *et al.*, 2003). Se usa en la protección de cuencas hidrográficas debido al sistema radical que le permite crecer en suelos poco profundos pero bien drenados. Es una especie abundante a lo largo de los ríos, quebradas y cortes de carretera y caminos, es heliófila, pionera y no acepta competencia fuerte de malezas. Regenera abundantemente en potreros y pastizales artificiales, se puede propagar por semillas y estacas (Cordero y Boshier, 2003).

1.4.2 Nacedero (*Delostoma integrifolium*). Árboles de hasta 15 metros de altura. Distribuida desde los Andes del Perú hasta el extremo Oeste de Venezuela, fue colectada por H. Karstene en la localidad de Salento a mediados del siglo pasado; se reconoce por el color morado de las flores y por la forma y tamaño de las capsulas, es frecuente en bordes de bosques, bosques secundarios, bordes de caminos, cercas o aislado en potreros entre los 1800 y 2400m de elevación. Se le conoce como guayacán morado, nacedero o molde, se usa como especie protectora de rápido crecimiento; en algunos patios y cercas se usa como ornamental, la madera se usa como leña y postes para cercas, los troncos tienen alta capacidad de rebrote (Vargas, 2002).

1.4.3 Sauco (*Sambucus peruviana*). Se localiza en Colombia en las Cordilleras Central y Oriental en el Departamento de Cundinamarca, se observa en los municipios que conforman la Sabana de Bogotá y en los que están ubicados en la parte occidental de la Cordillera Oriental; habita entre los 1800 y 3000msnm. Su ramificación a menudo empieza desde su base, crece de manera horizontal arqueada, su sistema de raíces es poco profundo; requiere de riego abundante y mucha luz solar, habita en ambientes húmedos y semihúmedos, necesita de suelos profundos negros, ácidos y aireados, pero soporta los arcillosos. Florece todo el año y la fructificación comienza desde febrero hasta mayo, sus hojas perduran todo el año, se puede reproducir por estacas (Maecha *et al.*, 2004).

1.4.4 Guarango (*Mimosa quitensis*). Es una especie originaria del sur de Colombia y norte de Ecuador, distribuida principalmente en América del Sur; en Colombia esta especie ha sido registrada desde los 1700msnm en el Departamento del Cauca, hasta los 2700 en el Valle del Cauca. El guarango es una leguminosa dicotiledónea multipropósito del tipo anabionte, de características arbustivas y semiarbustivas, erecta, perenne. Puede tornarse árbol de porte bajo cuando se somete a podas periódicas o se encuentra en asociación con otras especies que por competencia estimulan su precocidad, su raíz escapaz de penetrar suelos duros. Se puede reproducir por semilla y estacones (Achipiz y Gálvez, 2010).

1.4.5 Chocho (*Erythrina rubrinervia*). En Colombia se encuentra en la cordillera Central y Oriental, habita entre los 1000 y 2600msnm, en el bosque húmedo premontano, bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo montano bajo y en el bosque húmedo montano bajo. Sus ramitas tienen aguijones, son frágiles y su color es verdoso, sus raíces son superficiales; es una especie de crecimiento rápido, y requiere abundante luz solar durante su existencia y prefiere suelos arcillosos. Florece en marzo y en septiembre, pierde totalmente sus hojas por periodos, es exigente en agua, es una planta que sirve para el control de la erosión y es utilizada en la forestación; asimismo se usa como cerca viva, su propagación puede ser por semilla y estaca (Maecha *et al.*, 2004). Para producción de forraje en banco proteico, se debe iniciar la poda entre los 12 a 15 meses de edad de las plántulas y luego se puede podar cada 4 meses, separando las hojas verdes y peciolo de las ramas lignificadas (Estrada, 2002).

1.4.6 Laurel de cera (*Myrica pubescens*). Es un arbusto o árbol pequeño que en algunos sitios alcanza alturas hasta de siete metros. Su rango de adaptación está entre los 1600 y 3200msnm, su sistema radicular es extenso (presenta nódulos que fijan nitrógeno) que lo hace recomendable para la recuperación de terrenos erosionados. Es una especie de importancia para la protección de cuencas, además de sus frutos se obtiene la cera que es empleada en procesos industriales. Al laurel de cera se le observa en los potreros, taludes de carretera y es capaz de oxigenar nuevas plantas, a partir de sus raíces, lo que le permite extenderse fácilmente por el suelo y en los primeros años de vida formar varias ramas, crece en suelos pobres, en taludes de carretera, en las vegas de los ríos y en los sitios donde se han producido deslizamientos de tierra, se propaga por semillas, su reproducción por otros métodos aún no ha sido evaluada (Muñoz y Luna 1999).

1.4.7 Encenillo (*Weinmannia tomentosa*). En Colombia se encuentra en la Cordillera Oriental; en el Departamento de Cundinamarca se observa en los cerros y en el Altiplano Cundiboyacense, entre otros lugares, habita entre los 1400 y los 2500 msnm, en el bosque muy húmedo montano bajo y en bosque seco montano bajo, bosque seco montano bajo, bosque muy húmedo montano. Es una especie nativa de crecimiento lento, requiere algo de sombra en su estado juvenil y al madurar, abundante luz solar, es poco exigente en suelos, prefiere ambientes húmedos y es resistente a las heladas. Su floración es en mayo, agosto, septiembre hasta octubre y pierde parcialmente sus hojas. Se puede propagar por semilla y vías vegetativas (Maecha *et al.*, 2004).

1.4.8 Farolito (*Abutilon "Golden flecee"*). *Abutilon x hybridum* es el nombre colectivo de los cultivares resultantes de la hibridación de determinadas especies Suramericanas. Sus flores semejantes a linternas pueden ser amarillas, blancas, naranjas, rosa, malva y escarlata. Cabe destacar nombres de cultivares como

Nabob, Golden fleece, de suntuosas flores doradas, Kentish Belle, cuyas flores son de brillante tono naranja, Orange King, Ruby Glow, Ashford Red y Souvenir de Bonn, de follaje variado y flores naranjas veteadas de rojo, pueden alcanzar hasta 3m de altura, algunas tienen una envergadura similar y tienden a crecer a lo ancho. (Burnie *et al.*, 2003).

1.5 MUESTREO

Una muestra es un subconjunto de elementos de una población. Para extraer una muestra se seleccionan unidades de muestreo, procurando que su distribución sea similar a la de la población de origen; en otras palabras, que sea representativa de la población. Que la población sea homogénea es, en la mayor parte de los casos, una condición necesaria para que las inferencias sobre la población sean válidas. De este modo, se podrá arribar a conclusiones sobre la población sin necesidad de analizar la población completa. A la acción de extraer una muestra se la denomina muestreo. La cantidad de unidades muestreadas, que conforman una muestra, se reconocen bajo la letra “n”. El muestreo se puede dividir en probabilístico y no probabilístico, también denominado estadístico y no estadístico, o al azar y no al azar, respectivamente. El hecho de extraer una muestra no significa azar o aleatoriedad. En ello es determinante la fase mecánica de selección de las unidades de muestreo que conformarán la muestra. La diferencia fundamental entre estos tipos de muestreo radica en que en el muestreo probabilístico se puede medir el riesgo que se asume al muestrear, mientras que en el muestreo no probabilístico ello no es posible (Rubione, 2011).

1.5.1 Técnicas de muestreo probabilístico. Es importante armonizar el programa de muestreo con el tipo de análisis requerido para que las muestras sean representativas; para ello existen diferentes técnicas tales como el Muestreo simple al azar, Muestreo sistemático, Muestreo estratificado, Muestreo agrupado, Muestreo por materialidad y Muestreo de descubrimiento. Para el caso del presente estudio se seleccionó un muestreo sistemático, el cual es un método sumamente intuitivo para relevar registros, y cómodo para casos en los que la información no está digitalizada. La aplicación del método consiste básicamente en calcular “n” como en el muestreo simple al azar, calcular el intervalo de muestreo “t”=N/n, y elegir al azar la primera unidad de muestreo “a” dentro del primer intervalo de muestreo “i”, luego se extrae cada enésima unidad “t.i+a” (Rubione, 2011).

1.6 TÉCNICAS DE SILVICULTURA

Los cuidados silviculturales se utilizan específicamente para crear unas condiciones favorables de supervivencia, estimular un crecimiento sano y vigoroso

hasta que las plantas se establezcan y posicionen en la obra, también para controlar de alguna manera el sobrepeso de las plantas sobre los taludes. Algunas técnicas empleadas para el cuidado de plantaciones forestales, y que dependiendo del caso pueden aplicarse en obras de bioingeniería, se mencionan a continuación.

1.6.1 Fertilización. La fertilización de los árboles cumple dos objetivos, primero acelerar el crecimiento mediante el suplemento de nutrientes a la planta, principalmente de los que estén más deficientes y segundo compensar la salida de nutrientes del suelo; además con esto se consigue que la planta obtenga buenas defensas ante plagas y enfermedades (Geilfus, 1994). Se debe abonar o fertilizar antes de realizar la siembra; cuando se desee una asimilación lenta o progresiva, es preferible utilizar abonos de origen orgánico, estiércol, mantillo, turba, entre otros (Vásquez, 2001).

1.6.2 Control de plagas. Es común ver en las plantaciones o en los cultivos, principalmente en donde predomina una sola especie, la presencia de plagas, virus o insectos que afectan negativamente el desarrollo normal de las plantas; por ello es necesario tomar medidas a tiempo cuando se detecte su aparición. Existen diversos métodos para el control de plagas; entre ellos están los métodos físicos, estos incluyen trampas como zanjas, uso de pegamentos para controlar las moscas en los árboles e incluso la quema; también se tienen los métodos mecánicos que incluyen la remoción y la destrucción manual, las barreras como el uso de mosquiteros o mallas; los métodos químicos como el uso de plaguicidas o fungicidas y finalmente los métodos de control biológico en los cuales se usan parasitoides, predadores o competidores para suprimir una plaga (Rogg, 2000).

1.6.3 Plantación de reposición. No todas las plántulas sembradas sobreviven, después de algunas semanas o meses de establecida la plantación, dependiendo de la rapidez de crecimiento, se debe hacer un censo de las plántulas que han muerto debido a varios factores que determinan la supervivencia, como las condiciones climáticas adversas después de la plantación; las condiciones de las plántulas al momento de la siembra como la raíz descubierta, el estrés durante el transporte, las condiciones desfavorables de los suelos, principalmente exceso de agua y erosión; presencia de insectos, presencia de malezas y daños producidos por pastoreo u otros animales (Vásquez, 2001).

1.6.4 Poda. La poda consiste en manipular el desarrollo de las yemas, si se corta una extremidad de una rama del tallo principal se elimina el dominio de su yema terminal, las yemas laterales presentes en la parte superior van a desarrollar se con rapidez echando nuevos brotes dominantes. Así cortando el tallo principal, se

favorecen la formación de ramas secundarias; cortando una rama secundaria se favorece la formación de ramas terciarias (Geilfus, 1994). Para los primeros años se pueden realizar podas de formación, con el objetivo de conducir a la planta a una estructura de ramas principales fuertes y bien desarrolladas; posteriormente, una vez el árbol está bien formado y con sus ramas bien dispuestas, se pueden ejecutar podas de mantenimiento para eliminar elementos como ramas secas, tocones, ramas que estorben el paso de personas, entre otras (Vásquez, 2001).

1.6.5 Entresaca. Este proceso consiste en la eliminación de los árboles que puedan generar un deslizamiento potencial por su excesivo peso o en otros casos suprimir árboles que presenten alguna enfermedad que puedan contagiar a los demás. Para esta fase es recomendable no dejar desprotegido el suelo y reemplazar rápidamente el individuo eliminado con otro tipo de planta (Vásquez, 2001). Además la entresaca permite hacer espacio para el desarrollo de las copas; tan pronto estas empiezan a tocarse, interviene la competencia que puede reducir el crecimiento, sobre todo con especies de plena luz. También permite que los árboles seleccionados puedan seguir creciendo sin la competencia de árboles inferiores (Geilfus, 1994).

2. METODOLOGÍA

2.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

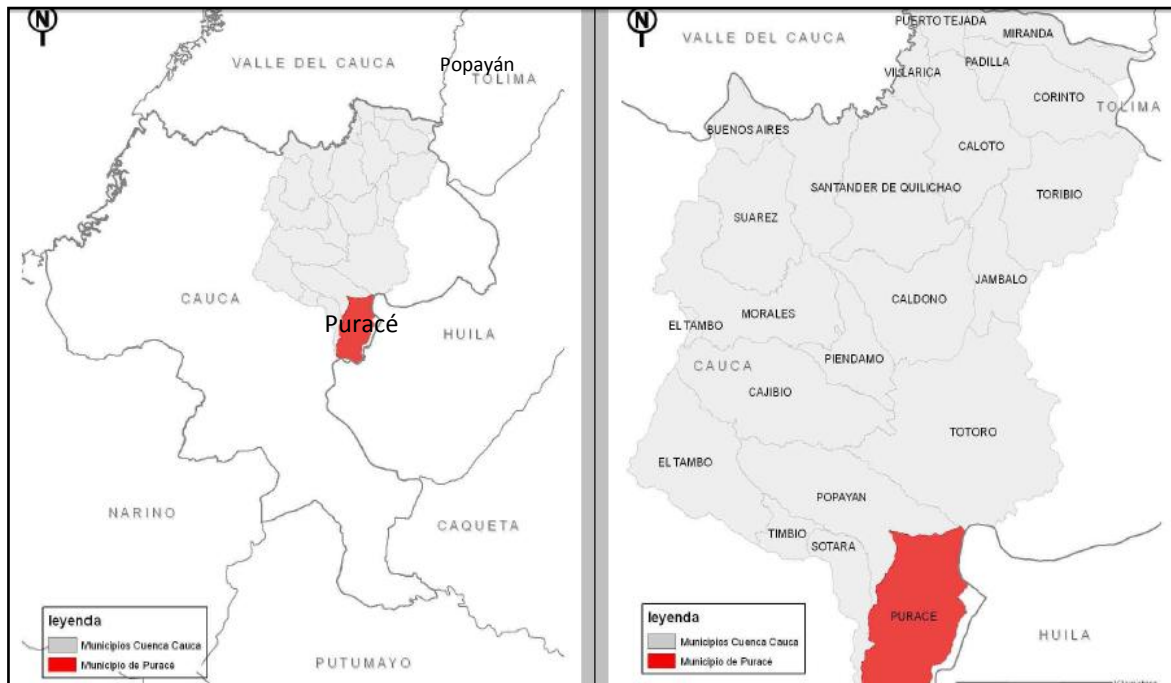
Las cinco obras se realizaron al oriente de Popayán, en la cordillera Central. Los sitios de intervención se encuentran de 45 a 75 minutos en carro desde la ciudad de Popayán y a una altitud que oscila entre los 2100 y 2500 msnm (figura 2). Las obras piloto de capacitación involucran a los resguardos de Puracé, Kokonuco y Poblazón, se ubican en la cuenca alta del Río Cauca. La obra del resguardo de Quintana y la de la organización Asocampo están ubicadas en la subcuenca del Río Las Piedras, afluente del Río Cauca (Crocetti, 2011).

Las veredas Quintana y San Juan pertenecen al municipio de Popayán, sobre la Cuenca del Río Las Piedras, ubicada entre los municipios de Popayán y Totoró; al nororiente de la ciudad, sobre el flanco occidental de la cordillera central. La cuenca se encuentra a $76^{\circ} 31' 10''$ al oeste de Greenwich y $2^{\circ} 21' 45''$ de latitud norte, en el nacimiento del río piedras y a $76^{\circ} 23' 45''$ longitud oeste y $2^{\circ} 25' 40''$ de latitud norte en la desembocadura del Río Cauca. Las veredas San Juan y la parte media de Quintana se clasifican en el piso climático frío y húmedo; este piso cubre la franja altitudinal de 2000 a 3000 msnm, con un rango promedio anual de temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar, tensión de vapor y nubosidad de $18,4^{\circ}\text{C}$, 172,9mm, 84 mm, 123horas, 17,5Mbares, 5.8 horas respectivamente (CRC, 2006).

La cabecera municipal de Puracé, Coconuco, está localizada a los $02^{\circ} 20' 53''$ de latitud norte y $76^{\circ} 30' 03''$ de longitud oeste. Altura sobre el nivel del mar: 2.850m, el área municipal es de 783 Km^2 y limita por el norte con los municipios de Popayán, Totoró y área en litigio con el departamento del Huila, por el este y el sur con el departamento del Huila, y por el oeste con Sotaró y Popayán. En el municipio de Puracé se encuentran dos resguardos indígenas: Kokonuco y Puracé pertenecientes a la familia Páez (Alcaldía de Puracé, 2010).

2.1.1 Causas del deslizamiento en los sitios. El fenómeno de remoción en masa se originó por causas naturales y antrópicas, las cuales incluyen la presencia de nacimientos de agua, la elevada precipitación y las fallas geológicas; esto sumado al corte semivertical del talud para la construcción de las carreteras, el sobrepastoreo y el mal manejo de aguas de escorrentía; añadiéndose a todo lo anterior la falta de cobertura vegetal.

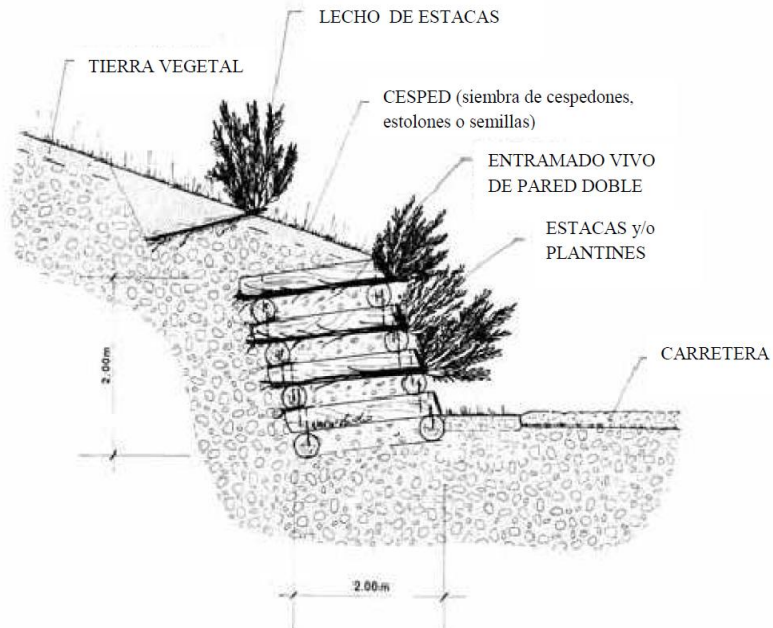
Figura 2. Ubicación de las obras realizadas.



Fuente: CRC – WWF 2006

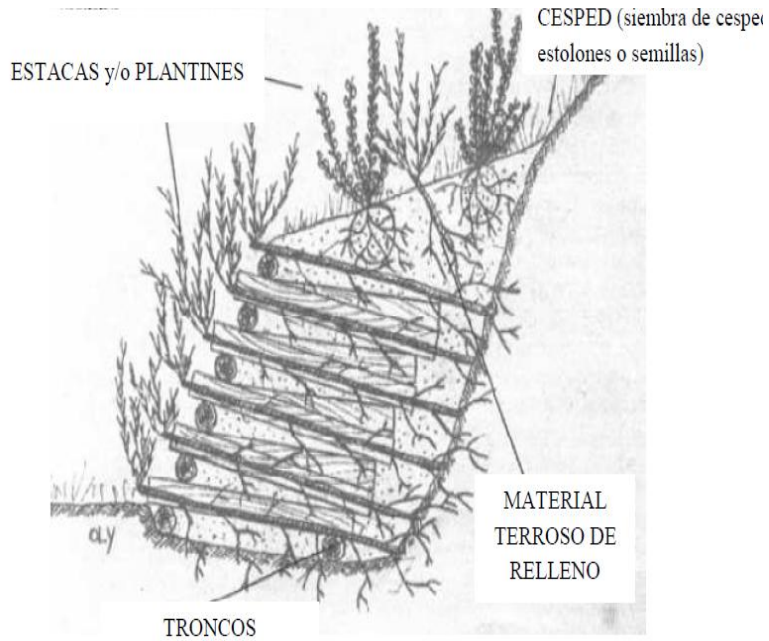
2.1.2 Descripción y esquema de las obras realizadas. El esquema de trabajo utilizado comprendió obras de bioingeniería que consistieron en estructuras de contención por su propio peso denominadas entramados de pared doble (figura 3) y entramados con cajón triangular latino (figura 4), la diferencia entre ellos es que el primero utiliza mayor cantidad de madera que el segundo debido a la disposición de los troncos; madera rolliza de eucalipto en este caso. Además de los entramados que contienen el peso al pie del talud, en la parte superior se realizaron estructuras de estabilización superficial, emparrillados (figura 5) y trinchos e intervenciones de control de erosión superficial, cobertura con tejido de cabuya, estolones y siembra de cespiones. Las estacas empleadas en los entramados tenían longitudes que variaban de 1 a 2 metros, con diámetros entre 5cm y 7cm; la densidad de siembra fue de 4 estacas por metro lineal a una distancia de 20cm una de la otra; las estacas con diámetros inferiores a 2cm se sembraron en manojos de 3 estacas a la distancia y densidad mencionadas (Crocetti, 2011).

Figura 3. Esquema del entramado de pared doble



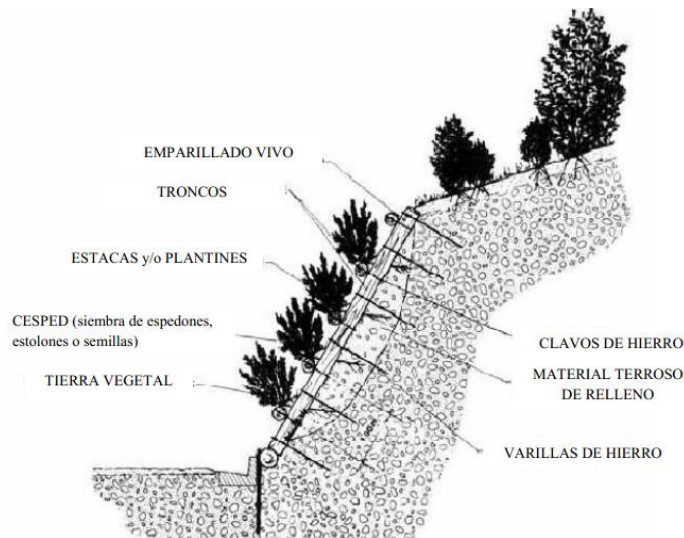
Fuente: Cornelini, citado por Crocetti 2011.

Figura 4. Esquema del entramado latino



Fuente: Cornelini, citado por Crocetti 2011.

Figura 5. Esquema del emparrillado construido encima del entramado



Fuente: Cornellini, citado por Crocetti 2011.

2.1.2.1 Hispala. En esta zona se construyó en el pie del talud un entramado de 16m de largo con una altura de 2,35m (figura 6) y por encima de éste, se establecieron intervenciones de estabilización superficial (trinchos, agromanto y siembra de estacas vivas) y una cerca para evitar el pisoteo del ganado; una zanja de coronación con geotextil, tubos fisurados y material filtrante (piedras y ramas); finalmente se construyó una fajina o red de drenaje en forma de espina de pescado para recoger las aguas superficiales y canalizarlas hacia la cuneta. La obra se estableció entre junio y julio de 2011 (Crocetti, 2011).

Figura 6. Imagen de la obra construida en Hispala.



2.1.2.2 Poblazón. Se construyó en el pie del talud un entramado de 12 m de largo con una altura de 2,4 metros (figura 7), por encima del entramado se establecieron intervenciones de estabilización superficial como las mencionadas en Hispala; no fue necesario el manejo de aguas subterráneas. Esta obra se ejecutó durante junio y julio de 2011 (Crocetti, 2011).

Figura 7. Imagen de la obra construida en Poblazón.



2.1.2.3 Coconuco. Se construyó al pie del talud un entramado de 12m de largo con una altura de 2,5 metros (Figura 8). En la parte superior del entramado se realizó un emparrillado de 7metros de alto por 12m de largo, superpuesto a este se hicieron intervenciones de estabilización superficial. No se realizó siembra de cespedones, quedando la superficie del entramado y el emparrillado expuesta a la intemperie. La obra se elaboró durante junio y agosto de 2011 (Crocetti, 2011).

Figura 8. Imagen de la obra construida en Coconuco.



2.1.2.4 San Juan. Debido a la falta de manejo de las aguas de lluvia de los techos de la escuela, el talud presentaba problemas de movimiento de masa en fase inicial y por ello una parte del talud ya estaba trabajado con un muro en concreto. Para alcanzar la altura necesaria se ejecutaron dos niveles de entramados vivos de 8 m de largo y altura de 2,20 m (Figura 9). Se construyó un sistema de manejo de aguas de lluvia de los techos del colegio, mediante canales de cemento conectados con tubos enterrados que llevan el agua hacia una alcantarilla. El periodo de intervención de esta obra fue durante junio y julio de 2011 (Crocetti, 2011).

Figura 9. Imagen de la obra construida en San Juan.



2.1.2.5 Quintana. Se realizó una estructura de contención por su propio peso en el pie del talud. Para alcanzar la altura necesaria se efectuaron dos niveles de entramado de 12m de largo con una altura de 2,2m (figura 10). En la parte superior del talud se elaboró una zanja de coronación; sobre el segundo nivel del entramado se elaboró un emparrillado con las correspondientes intervenciones de estabilización superficial; para el control de aguas subterráneas se realizó un dren horizontal de penetración (compuesto por geotextil, gravas, piedras y tubo fisurado) que se conectó con una zanja ubicada en el pie del talud, con el objetivo de llevar el agua hacia la cuneta. La obra se estableció entre el mes de junio y a finales de agosto de 2011 (Crocetti, 2011).

Figura 10. Imagen de la obra construida en Quintana.



2.2 TRABAJO DE CAMPO

Inicialmente se realizó un recorrido en las zonas de estudio observando características generales del estado de las obras, las estacas, plántulas y el entorno en general; haciendo también un registro fotográfico.

2.2.1 Muestreo sistemático. Para la recolección de datos se diseñó un muestreo sistemático dentro de cada sitio, en donde se midieron los individuos del entramado principal con una intensidad del 50% ($n/N * 100$, donde n =tamaño de la muestra y N =tamaño de la población). Inicialmente se escogió el primer individuo al azar y luego se procedió con el resto dejando un individuo de por medio, plántula o estaca, desde el pie del talud hasta el final, en la parte superior del entramado. Para la marcación (Figura 11) se utilizó pintura de aceite amarilla y marcador rojo, para facilitar el reconocimiento en campo y por su resistencia a la intemperie. Se utilizó también cinta de enmascarar para señalar los brotes.

Figura 11. Marcación de los individuos.



2.2.2 Variables medidas. Las variables evaluadas fueron, altura de la plántula o del brote, número de brotes y vitalidad. En la primera medición se registró también el diámetro de las estacas para determinar si su tamaño ejercía alguna influencia sobre el número de brotes, la vitalidad o la altura. Como regla general, se estableció medir inicialmente el brote más alto, desde la base hasta la yema terminal, y posteriormente se señaló con cinta de enmascarar. Mediante observaciones se registró la vitalidad de las especies calificada como buena si el individuo presentaba buen color y ningún tipo de perforaciones; regular cuando había perforaciones, alteraciones en el color y estado de deshidratación; y finalmente muerto para los individuos que estaban completamente marchitos o cuando las estacas estaban secas.

2.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS

El análisis de los datos obtenidos en campo se realizó para cada sitio debido a que el número de individuos y de especies fueron diferentes entre estos. Las comparaciones entre especies se hicieron para cada sitio y solamente fue posible comparar su desempeño entre los sitios en donde se sembraron las mismas especies, siendo el guarango la única especie presente en todos los sitios; las denominadas *sp* corresponden a los individuos propagados por estacas que no brotaron y por lo cual no fue posible su identificación. Con los datos de la altura y del número de brotes se realizaron análisis descriptivos empleando gráficas en donde se muestra el crecimiento de las especies durante el tiempo que duró la evaluación. Para conocer si el diámetro de las estacas influía sobre el número de brotes, la vitalidad o la altura se realizó el análisis de correlación de Spearman, utilizando el programa estadístico SPSS.

Los datos obtenidos en Hispala, Poblazón y San Juan se basaron en la última medición, 19 de enero de 2012, realizada a los 6 meses de entrega de las obras (julio 19 de 2011); Quintana y Coconuco se culminaron el 30 y 23 de agosto de 2011, respectivamente, por lo cual los datos obtenidos en la última medición corresponden a los 5 meses después de la entrega de las obras.

2.4. GUÍA DE MONITOREO Y MANUAL ILUSTRATIVO PARA EL SEGUIMIENTO Y MANEJO DE LAS PLANTAS

Para llevar un registro ordenado de estas variables se desarrolló un formato guía de monitoreo, donde se tuvo en cuenta que los datos obtenidos en campo fueran considerados de utilidad, de tal manera que se pudiera determinar el comportamiento de las especies en cada una de las obras. Las notas de campo se refieren a toda aquella información que debe seguir un orden, con el fin de no omitir detalles importantes y necesarios para una posterior identificación. Además, este orden permite realizar el proceso de digitalización e introducción en la base

de datos de forma más rápida. (Ver anexo A). En conjunto con la guía se propuso un manual ilustrativo que constituye una herramienta de carácter práctico para la consulta permanente de la comunidad y de esta manera fortalecer el conocimiento en las actividades de seguimiento y registro con el fin de llevar a cabo actividades como el cercado del sitio, el control de plagas, la fertilización y las podas, entre otras (Ver anexo C).

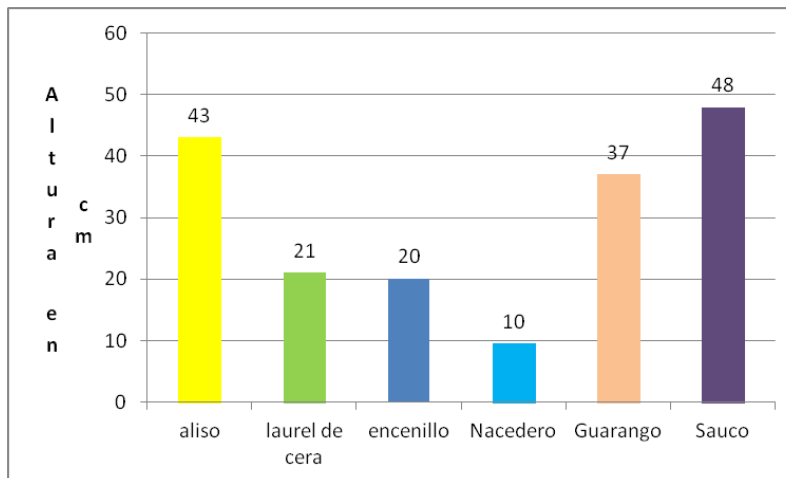
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de cinco obras fueron evaluadas, en las cuales se reportó un total de ocho especies representadas por 421 individuos. En cada uno de los sitios el número de especies y de individuos fue diferente, así como el comportamiento de las especies. Durante el periodo que duró la evaluación, se encontraron situaciones similares en las obras, como la presencia de perforaciones en las hojas en algunos individuos de aliso y el surgimiento de surcos en las partes desprotegidas del talud, lo que generó la pérdida de algunas plántulas.

3.1 HISPALA

En este sitio se evaluaron un total de 75 individuos, que corresponden al 53,6% del total del entramado principal. Del total de individuos evaluados se registraron 6 especies, aliso (*Alnus acuminata*), nacedero (*Delostoma integrifolium*), guarango (*Mimosa quitensis*), laurel de cera (*Myrica pubescens*), encenillo (*Weinmannia tomentosa*) y sauco (*Sambucus peruviana*). Como se observa en la figura 12 las especies con mayor crecimiento en altura fueron el sauco con 48 cm, el aliso con 43cm y el guarango con 37cm, el laurel de cera (21cm), el encenillo (20cm) y el nacedero (10cm) tuvieron el menor crecimiento.

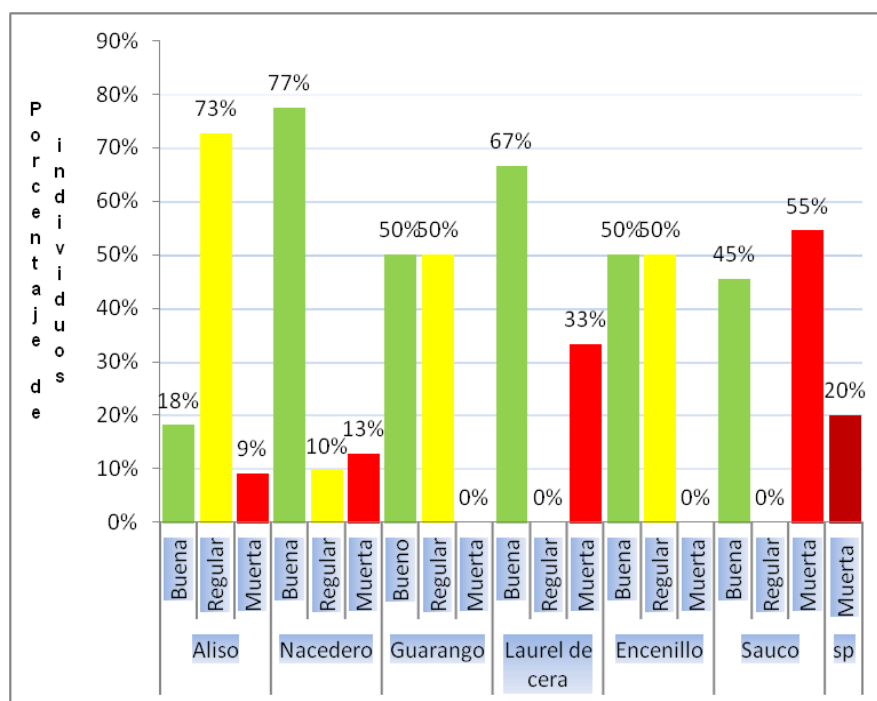
Figura 12. Altura (en centímetros) observada a los 6 meses en Hispala.



Con respecto al número de brotes las especies que tuvieron mayor número fueron el guarango y el nacedero con 3 brotes, mientras que el sauco tuvo 1 brote en promedio.

Con relación a la vitalidad (figura 13), el nacedero y el laurel de cera fueron las especies que presentaron los mayores porcentajes de individuos con vitalidad buena, 77% y 67% respectivamente, seguidos del guarango (50%) y el encenillo (50%). El aliso registró el mayor porcentaje de individuos en estado regular (73%) y el sauco el mayor porcentaje de individuos muertos (55%).

Figura 13. Vitalidad de las especies evaluadas en Hispala, calificada como buena, regular y muerta.



3.2 POBLAZÓN

En este sitio se evaluaron un total de 81 individuos, que corresponden al 47,6% del total del entramado principal. Se registraron 3 especies nacedero (*Delostoma integrifolium*), guarango (*Mimosa quitensis*) y chocho (*Erythrina rubrinervia*). En la figura 14 se observa que el chocho fue la especie con mayor crecimiento en altura con 83cm, seguido del guarango con 15cm y del nacedero con 14cm, en promedio.

Con relación al número de brotes, el nacedero tuvo el mayor número de brotes con 3, mientras que el chocho y el guarango registraron 2, en promedio.

Figura 14. Altura (en centímetros) observada a los 6 meses en Poblazón.

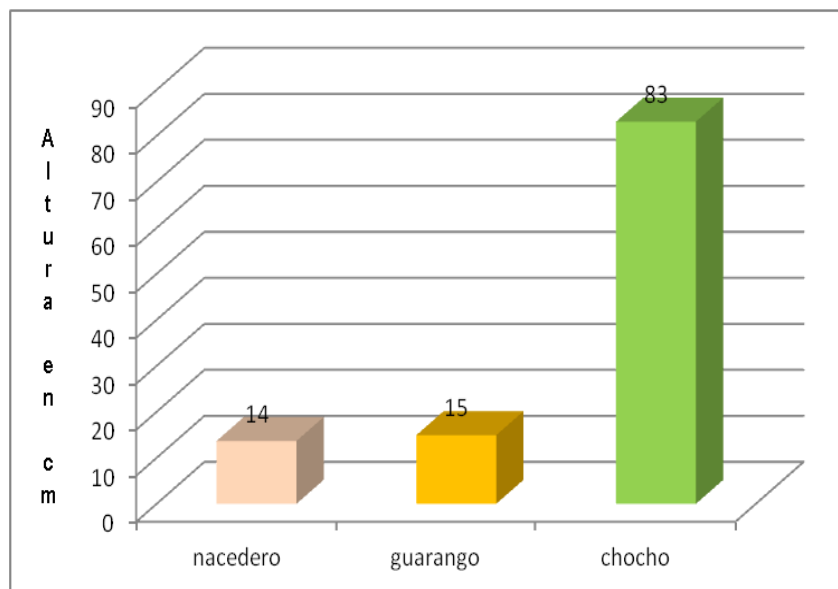
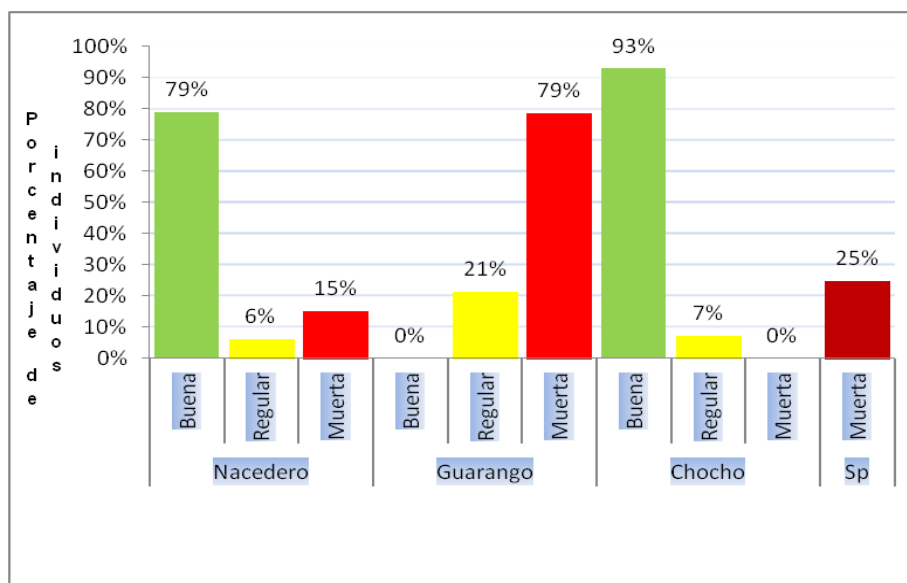


Figura 15. Vitalidad de las especies evaluadas en Poblazón, calificada como buena, regular y muerta.

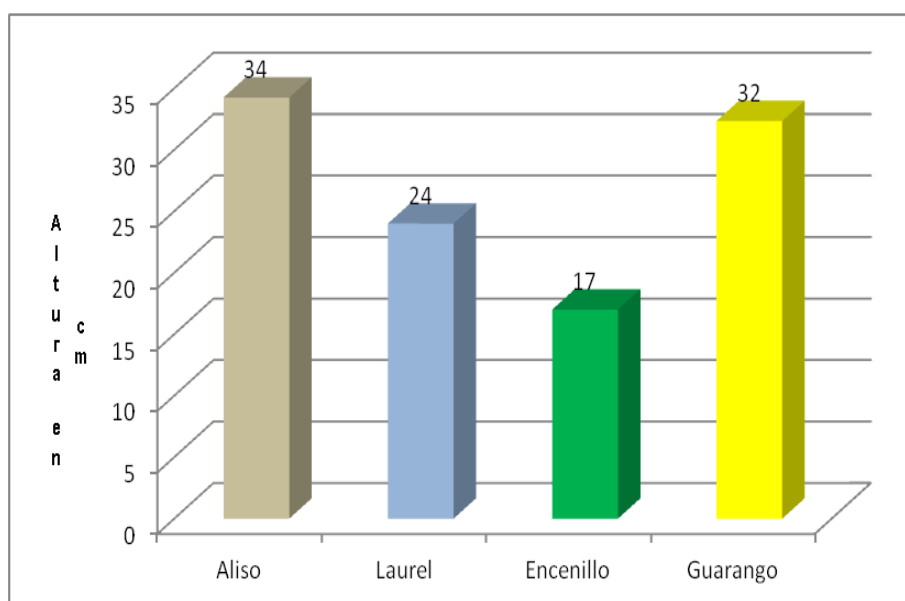


En la figura 15 se observa que el nacedero y el chocho tuvieron el mayor porcentaje de individuos con buena vitalidad, 79% y 93% respectivamente, mientras que el guarango fue la especie con mayor porcentaje de individuos muertos (79%).

3.3 COCONUCO

En este sitio se evaluaron un total de 84 individuos, que corresponden al 46,67% del total del entramado principal. Se registraron 4 especies guarango (*Mimosa quitensis*), encenillo (*Weinmannia tomentosa*), aliso (*Alnus acuminata*) y laurel de cera (*Myrica apubescens*). La figura 16 muestra que el mayor crecimiento en altura fue para el aliso con 34cm en promedio, seguido por el guarango con 32cm y el laurel de cera con 24cm; el encenillo fue la especie que registró menor crecimiento en altura (17cm).

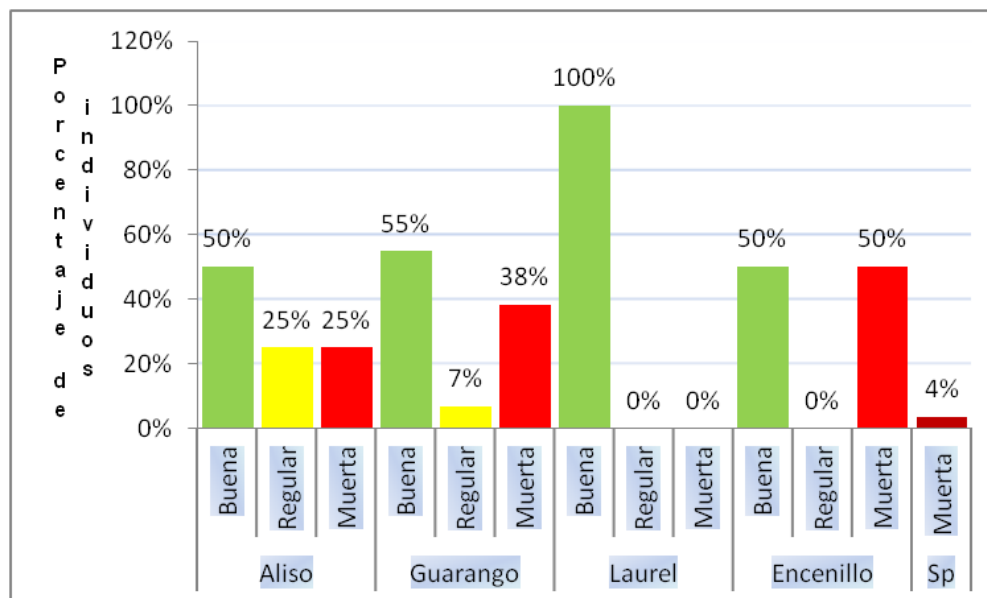
Figura 16. Altura (en centímetros) observada a los 5 meses en Coconuco.



La única especie propagada por estaca en Coconuco fue el guarango que tuvo un número de brotes de 3, en promedio.

En cuanto a la vitalidad de las especies, la figura 17 muestra que el laurel de cera y el guarango tuvieron el mayor porcentaje de individuos con buena vitalidad, 100% y 55% respectivamente. Las especies con mayor porcentaje de individuos muertos fueron el encenillo y el guarango con 50% y 38%, respectivamente.

Figura 17. Vitalidad de las especies evaluadas en Coconuco, calificada como buena, regular y muerta.



3.4 SAN JUAN

En este sitio se evaluaron un total de 101 individuos, que corresponden al 47% del total del entramado principal. Se registraron 4 especies aliso (*Alnus acuminata*), nacedero (*Delostoma integrifolium*), guarango (*Mimosa quitensis*) y farolito (*Abutilon "Golden flecee"*). En la figura 18 se muestra que el mayor crecimiento en altura se registró para el aliso con 40cm, seguido del guarango (30cm), el nacedero (17cm) y por último del farolito (12cm).

Con respecto al número de brotes, el nacedero y el guarango registraron 3 en promedio y el farolito 2.

En cuanto a la vitalidad, como se observa en la figura 19, el nacedero (81%) fue la especie con mayor porcentaje de individuos con buena vitalidad, seguido del farolito (59%) y el guarango (56%); el aliso registró el 100% de los individuos en estado regular.

Figura 18. Altura (en centímetros) observada a los 6 meses en San Juan.

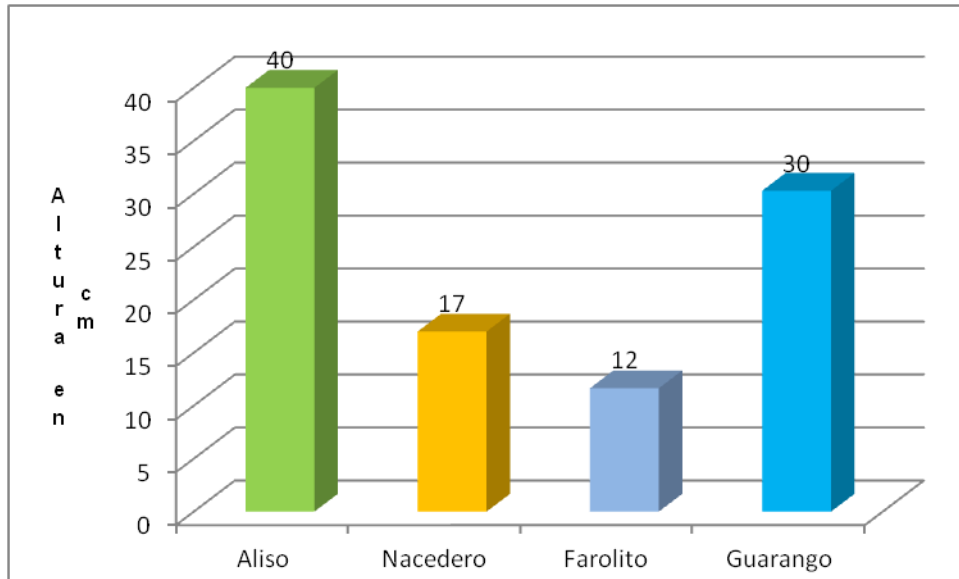
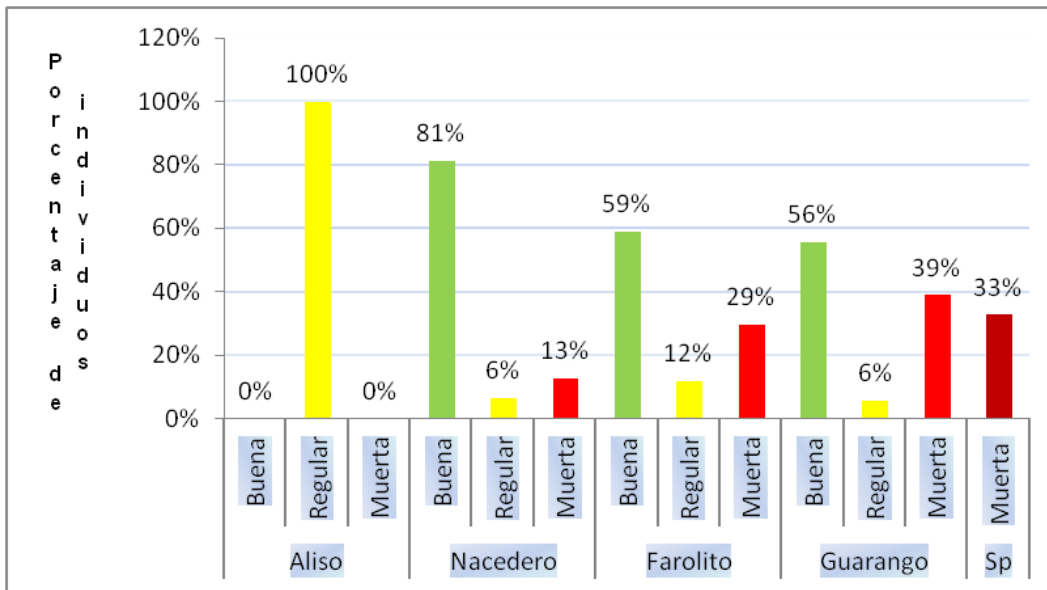


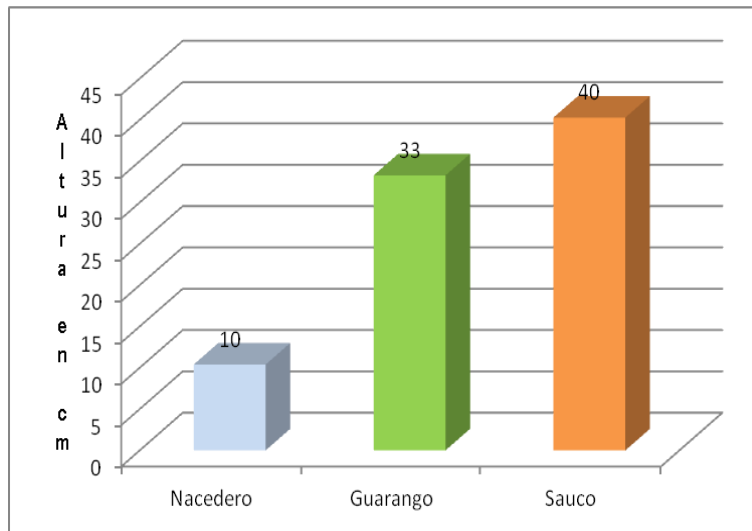
Figura 19. Vitalidad de las especies evaluadas en San Juan, calificada como buena, regular y muerta.



3.5 QUINTANA

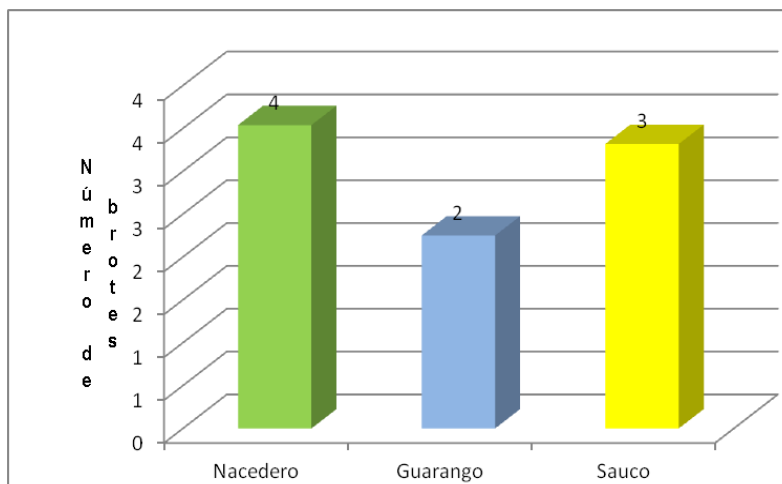
En este sitio se evaluaron un total de 80 individuos, correspondientes al 50% del total del entramado principal. Se registraron 3 especies guarango (*Mimosa quitensis*), nacedero (*Delostoma integrifolium*) y sauco (*Sambucus peruviana*). Como lo muestra la figura 20 el mayor crecimiento en altura se registró para el sauco con 40cm en promedio, seguido del guarango con 33cm y por ultimo del nacedero con 10cm.

Figura 20. Altura (en centímetros) observada a los 5 meses en Quintana



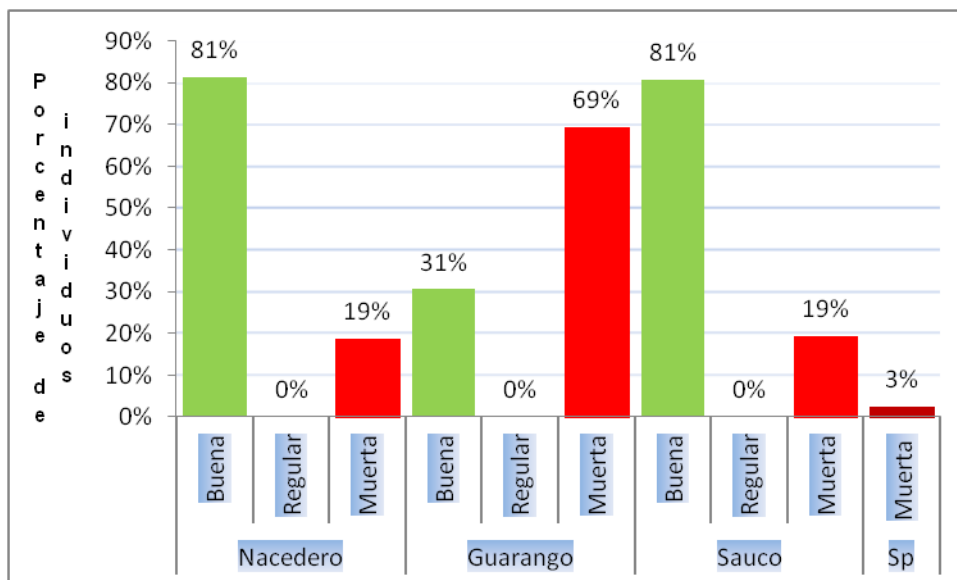
Como se observa en la figura 21, el mayor número de brotes fue para el nacedero con 4, seguido del sauco con 3 y por el guarango con 2.

Figura 21. Número de brotes observados a los 5 meses en Quintana.



Con relación a la vitalidad, la figura 22 muestra que el nacedero y el sauco registraron el mayor porcentaje de individuos con buena vitalidad (81%), mientras que el guarango tuvo el mayor porcentaje de individuos muertos (69%).

Figura 22. Vitalidad de las especies evaluadas en Quintana, calificada como buena, regular y muerta.



3.6 DIÁMETRO EN RELACIÓN CON LA ALTURA, VITALIDAD Y BROTES. El análisis de correlación de Spearman mostró que el nacedero fue la única especie que registró una relación estadísticamente significativa ($p < 0,008$) entre el diámetro y la altura de las plántulas en Hispala y Quintana, con un coeficiente de correlación de 0,502 y 0,722, respectivamente. Esto indica que hubo una relación moderada en ambos sitios, que no es necesariamente lineal y por lo tanto hubo otros factores además del diámetro que afectaron la altura.

3.7 COMPARACIÓN DE ESPECIES ENTRE SITIOS

3.7.1 Guarango. Al hacer una comparación entre todos los sitios, se observó que en Poblazón se presentó el menor crecimiento en altura para esta especie mientras que los demás sitios tuvieron alturas similares. Con relación al número de brotes las diferencias no fueron significativas entre los sitios.

En el estudio realizado por Achipiz y Gálvez (2010) para evaluar la capacidad de rebrote del guarango se soquearon 15 plantas y después de 8 semanas se evaluó la aparición de brotes; donde se obtuvo un promedio de 145 brotes por planta; además en dicho estudio se reportó un crecimiento en altura de 89cm en

promedio. En este sentido se puede inferir que en el presente estudio la aparición de brotes y el crecimiento en altura fue considerablemente inferior para todos los sitios; sin embargo hay que tener en cuenta que a diferencia del estudio mencionado en donde los individuos ya estaban establecidos, en este estudio se evaluó la aparición de brotes, pero de individuos que se encuentran en la etapa inicial de establecimiento.

En cuanto a la vitalidad se registraron mayores porcentajes de individuos con una vitalidad buena en San Juan, Coconuco e Hispala, a diferencia de Quintana y Poblazón, donde se registraron los mayores porcentajes de individuos muertos o sin brote.

3.7.2 Nacedero. Para esta especie se registró el mayor crecimiento en altura en San Juan; mientras que en Quintana fue entregada 1 mes después de las otras y a pesar de esto se observó una altura similar a la observada en Hispala y Poblazón. Respecto al número de brotes los 4 sitios tuvieron comportamientos similares.

En cuanto a la vitalidad fue buena para esta especie en los cuatro sitios en donde se sembró (Hispala, Poblazón, San Juan y Quintana), en los cuales el porcentaje de individuos con vitalidad buena fue superior al 75%, superando a las demás especies sembradas en los sitios mencionados. Además, en el análisis de correlación se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre el diámetro y la altura en Hispala y Quintana, sin embargo no fueron relaciones lineales fuertes. A diferencia del estudio realizado para esta especie en Quindío, en donde se mostró que cuando el diámetro de la estaca era superior a 10cm se observaba mayor supervivencia y número de brotes (Vargas *et al.*, 2011).

3.7.3 Aliso. El rendimiento en altura para esta especie fue muy similar en Hispala, y San Juan, mientras que en Coconuco fue ligeramente inferior. En cuanto a la vitalidad, en Coconuco se registraron la mayor cantidad de individuos con vitalidad buena (50%), mientras que en Hispala y San Juan un gran porcentaje de individuos se encontró en estado regular, 73% y 100%, respectivamente. Ensayos realizados en viveros de Costa Rica para esta especie, reportan un crecimiento en altura de 30 a 40cm a los 6 meses de edad, similar al encontrado en todos los sitios, pero en localidades más frescas, a mayor altitud, a menudo necesitan de 12-24 meses (Cordero y Boshier, 2003). En este sentido se puede decir que la altura registrada para el aliso coincide con la reportada en la literatura.

3.7.4 Sauco. Esta especie tuvo mayor crecimiento en altura en Hispala; mientras que en Quintana tuvo mayor número de brotes y mejor vitalidad. En un Estudio realizado por Jaramillo (2006) con *Sambucus nigra*, en la propagación por estacas de esta especie, a los 6 meses de edad se reportó un promedio de crecimiento en

altura de 86cm a una distancia de siembra de 0,4m*1m, en suelos con niveles altos de NPK, S, K, Zn, niveles medios de Ca, Mg, Na, Fe y Cu; y niveles bajos de Mn y B. Se observa que el crecimiento en altura fue considerablemente superior reportado en el presente estudio, debido probablemente al efecto de los fertilizantes.

3.7.5 Laurel de cera y Encenillo. En Coconuco e Hispala esta especie tuvo un buen comportamiento en cuanto a vitalidad destacándose su comportamiento de las demás especies presentes en dichos sitios.

Muñoz y Luna (1999) reportan un crecimiento para el laurel de cera de 30cm a los 3 meses, es decir que al momento de realizar la última medición en este estudio se esperaba una altura superior por lo menos a 30cm. A pesar de que el crecimiento fue inferior, se debe de tener en cuenta que es una especie que registró una buena vitalidad y que tiene la capacidad de mejorar suelos pobres, por esta razón no debe descartarse su uso en este tipo de obras.

En cuanto al comportamiento del encenillo; ensayos realizados bajo condiciones de invernadero se reporta un crecimiento promedio para esta especie entre 5,3cm y 8cm a los tres meses (Martínez y García 2010); lo que mostró que el crecimiento registrado para esta especie, tanto en Hispala como en Coconuco, es el esperado si se compara con el reportado en dicho estudio y se tiene en cuenta que es una especie de crecimiento lento.

4. CONCLUSIONES

Se observó que el nacedero fue la especie de mejor adaptación en las obras gracias a su vitalidad en todos los sitios. Por lo tanto es apta para utilizarla en futuras obras de bioingeniería en las zonas de estudio.

El guarango no se destacó en ninguno de los sitios, debido a que en su medio natural se observa disperso es probable que la densidad de siembra haya afectado su desempeño.

El sauco y el chocho tuvieron buen desempeño en Quintana y Poblazón, respectivamente, por esto son aptas para estas obras.

El encenillo y el laurel de cera en general mostraron una buena vitalidad, destacándose este último en Coconuco.

El aliso tuvo un crecimiento en altura acorde con otros estudios aunque su vitalidad no fue la mejor.

El farolito no tuvo un comportamiento destacado, es probable que necesite mayores cuidados en cuanto al manejo de las estacas y a la fertilización.

El número de brotes de las especies propagadas vegetativamente en general fue bajo.

El uso de varias especies permitió afianzar los criterios de selección según el desempeño, con la excepción de Coconuco, donde el guarango fue la única especie propagada vegetativamente.

Algunas de las especies que se emplearon son pioneras, lo cual facilita el establecimiento de otras plantas en los taludes.

En Hispala y Coconuco el desempeño de las especies en general no fue el mejor, la falta de cobertura en las partes baja e intermedia del talud generó surcos por efecto de la escorrentía y ocasionó la desaparición de algunas plántulas.

El aspecto de los taludes mejoró considerablemente con estas obras, en especial en las de Quintana y Poblazón, gracias al buen estado del césped y al crecimiento rápido de las especies.

5. RECOMENDACIONES

Se debe ampliar el estudio sobre el comportamiento de especies como laurel de cera y encenillo ya que son especies ecológicamente importantes y es conocida su capacidad de recuperar suelos degradados.

Para aumentar el crecimiento en altura, se debe mezclar el suelo de relleno con algún tipo de abono orgánico y proporcionar un manejo de fertilización adecuado.

Se debe revisar periódicamente el comportamiento de las plantas, por lo menos durante los primeros años de implementación de la obra, para evitar inconvenientes como déficit de nutrientes, presencia de plagas o enfermedades, o pérdida de suelo

Es indispensable abarcar toda la estructura con material vegetal (césped), para evitar la pérdida del suelo por escorrentía, como sucedió en las obras de Coconuco e Hispala.

Se recomienda realizar podas cada 90 días, cuando las plantas alcancen alturas superiores a 2m, especialmente para especies como el guarango, el nacedero y el chocho.

Para árboles de porte alto como el aliso se deben realizar podas de formación para evitar el sobrepeso en la parte alta del talud, ya que podría ocasionar que la estructura colapse en casos donde la pendiente es fuerte como en Coconuco.

Para combatir las plagas es recomendable no utilizar fungicidas que sean contaminantes o afecten el desarrollo de otras plantas.

Se deben rellenar los surcos con ramas y suelo para evitar la pérdida por escorrentía, además se deben reponer las plántulas que han desaparecido con otras que tengan características similares o mejores.

Es importante tener cuidados al momento de la selección y corte de las estacas, como la edad del material y el estado fitosanitario.

BIBLIOGRAFÍA

ACHIPIZ J., GALVEZ G. Descripción morfológica y potencial forrajero del guarango (*Mimosa quitensis*) en los municipios de Popayán, Silvia, Totoró y Puracé, Departamento del Cauca. Tesis de grado de Ingeniería Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca. Popayán, Cauca. 2010. 76 pág.

ALCALDÍA DE PURACÉ, Plan de Soberanía y Seguridad Alimentaria y Nutricional del Municipio de Puracé con enfoque de adaptación al cambio climático. Diagnóstico. Popayán, Cauca. 2010. 53 pág. [En Línea] [Citado el 13 de septiembre de 2011] Disponible en: http://pnudcolombia.org/cambioclimaticomacizo/documentos/adaptacion_al_cambio_climatico/PSAN_PURACE%20_DIAGNOSTICO.pdf

ARIZPE D., MENDES A., RABAÇA J. Áreas de Ribera Sostenibles. Una guía para su gestión. RIPIDURABLE. Lisboa, Portugal. 2008. 287 pág. [En Línea] [Citado el 9 de junio de 2012] Disponible en: <http://www.cma.gva.es/webdoc/documento.ashx?id=142983>

BORELLI, Pablo y OLIVA Gabriel. Efectos de los animales sobre los pastizales. En: Ganadería sustentable en la Patagonia Austral. Patagonia Austral, Argentina. Ed. INTA, 2001. Cap. 4 pp. 99-118. [En Línea] [Citado el 30 de agosto de 2011] Disponible: <http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/documentos/recnat/Libro%20TME/TME%204.pdf>

BURNIE G., FORRESTER S., GREIG D., et al. Botánica, Guía ilustrada de plantas, más de 10.000 especies de la A a la Z y cómo cultivarlas. Ed. Köneman. Random House Australia, 2003. 1024 pág.

CORDERO J. y BOSHIER D. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanzas CATIE, Oxford Forestry Institute, Great Britain. Forestry Research Programme. 2003. 1079 pág.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, CRC. – WWF Caracterización ambiental preliminar de los humedales de la meseta de Popayán y Puracé en el Departamento del Cauca. 2006. 89 pág. [En Línea] [Citado el 20 de junio de 2012] Disponible en: http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/Informe_final_humedales_Agosto_2006.pdf

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, CRC. Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del río Las Piedras. Popayán,

Cauca. 2006. 456 pág. [En Línea] [Citado el 30 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.crc.gov.co/planes-de-ordenamiento/133.html>

CRIC-TERRANUEVA. Capitalización de la experiencia de Ingeniería Naturalística en Jipijapa, Manabi Ecuador. Reducción de riesgos por desastres en el Sur de Manabi. 2009. 26 pág.[En Línea] [Citado el 8 de junio de 2012] Disponible: <http://www.desaprender.org/tools/315/download>

CROCKETT, Cesare. Reducción del riesgo por deslizamiento en la cuenca alta del Rio Cauca y desarrollo de un piloto de análisis participativo de vulnerabilidad en la subcuenca del Rio Molino, Municipio de Popayán, Departamento del Cauca. Informe Final. Fundación Procuenca Rio Las Piedras. Popayán, Colombia. 2011.75 pág.

ESTRADA Julián. Pastos y Forrajes para el Trópico Colombiano. Universidad de Caldas, Centro Editorial. Manizales, Colombia. 2002. 506 pág.

FUERTES, Laura. Medioambiente: Técnicas para prevenir derrumbes. En: UN Periódico, Universidad Nacional de Colombia. Edición N° 120 (Marzo 08 de 2009). [En Línea] [Citado el 21 de marzo de 2012] Disponible en: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/tecnicas-para-prevenir-derrumbes.html>

GARCÍA H., MORENO L.A., LONDOÑO C. y SOFRONY C. Estrategia Nacional para la Conservación de Plantas: actualización de los antecedentes normativos y políticos, y revisión de avances. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Red Nacional de Jardines Botánicos. Bogotá, D.C. 2010. 160 pág. [En Línea] [Citado el 6 de marzo de 2012] Disponible en: http://www.humboldt.org.co/iavh/documentos/politica/politicas_ambientales/2010%20Estrategia%20Nacional%20Conservacion%20de%20Plantas.pdf

GEILFUS, Frans. El árbol al servicio del agricultor. Manual de agroforestería para el desarrollo rural. Vol. 1 Principios y Técnicas. Enda Caribe- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica.1994.661 pág.

JARAMILLO, Cesar. Evaluación nutricional y agronómica de *Morus alba* y *Sambucus nigra L* y su utilización en alimentación de rumiantes y monogástricos. En: Revista de Investigación, Universidad La Salle. Bogotá, Colombia. Edición: julio-diciembre, vol 6, número 002 (2006). [En Línea] [Citado el 22 de marzo de 2012] Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/952/95260206.pdf>

LEÓN, Juan Diego. Estudio y control de la erosión hídrica. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencias

Forestales. Medellín, Colombia. 2001.224 pág. [En Línea] [Citado el 30 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1753/>

MAECHA G., OVALLE A., CAMELO D., ROZO A., BARRERO D. Vegetación del territorio CAR, 450 especies de sus llanura y montañas. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. Bogotá, Colombia. 2004. 871 pág.

MATAIX, Carmen y LÓPEZ, Carlos. Factores ambientales: funciones y uso de la vegetación en la estabilización de laderas. Jornadas técnicas sobre estabilidad de laderas en embalses. Madrid, España. 2007 25 pág. [En Línea] [Citado el 15 de febrero de 2012] Disponible en: http://oph.chebro.es/documentacion/Congresos_Seminarios/Laderas2007/Ponencias/6%20Lopez%20Factores.pdf

MUÑOZ J. y LUNA, C. Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación del Laurel de cera (*Myrica Pubescens* H. & B. Ex willdenow). Santa Fe de Bogotá: Convenio Andrés bello. 1999. 39 pág.

MUÑOZ, Yenny. Apoyo a los procesos de restauración ambiental en las fuentes de abastecimiento del Sistema de Acueducto y Alcantarillado de Popayán. Tesis de grado de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca. Popayán, Cauca. 2010. 68 pág.

PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA, PNN. Prevención y atención de desastres Naturales e Incendios Forestales. Protocolo para Remoción en Masa, Bogotá D.C, 2009.16 pág. [En Línea] [Citado el 30 de agosto de 2011] Disponible:<http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/pdf/ProtocoloparaRemocionenMasa.pdf>

PETRONE A., PRETI F.La Ingeniería Naturalística. Técnicas apropiadas y sostenibles para la reducción de la vulnerabilidad del territorio. Ideass Italia, Innovación para el Desarrollo y la Cooperación Sur-Sur. Italia, 2005. 14 pág. [En Línea] [Citado el 8 de junio de 2012] Disponible: http://www.ideassonline.org/public/pdf/br_37_79.pdf

RESTREPO M., ROMEO P., FRAUME J. El milagro de las plantas, aplicaciones medicinales y orofaríngeas. Fundación Hogares juveniles Campesinos. Bogotá, Colombia. Editorial San Pablo, 2005. 232 pág.

RIVERA J. y SINISTERRA, Juan. Uso social de la bioingeniería para el control de la erosión severa. Restauración ecológica aplicada a la prevención de desastres. Valle del Cauca, Colombia. CIPAV-CVC, 2006. 110 pág.

RIVERA J., SINISTERRA J., CALLE Z. Restauración Ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del

Cauca, Colombia. Área de restauración ecológica de CIPAV Centro Para La Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. 2007. 10 pág. [En Línea] [Citado el 21 de marzo de 2012] Disponible en:<http://www.cipav.org.co/pdf/noticias/RESTAURACION-CARCAVA-Dagua.pdf>

ROGG, Helmuth W. Manejo Integrado y Control Biológico de Plagas y Enfermedades. Guía Teórica. Promoción de Exportaciones Agrícolas no Tradicionales POEXANT. Ed. AbyaYala. Quito, Ecuador.2000. 93 pág.

RUBIONE, Martin. Auditoría General de la Nación, AGN. Técnicas de muestreo para Auditorías, Guía teórico-práctica. República Argentina. 2011. 30 pág.

SUÁREZ, Jaime. Control de Erosión en zonas tropicales. Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2001. 545 pág. [En Línea] [Citado el 6 de marzo de 2012] Disponible en: http://www.erosion.com.co/index.php?option=com_content&task=view&id=81

VALENZUELA, Mercedes. Introducción a la Bioingeniería o Ingeniería Biológica. AEIP Asociación Española de Ingeniería del Paisaje. San Sebastián, España. 2008.14 pág. [En Línea] [Citado el 15 de febrero de 2012] Disponible en: <http://www.caminospaisvasco.com/Actividades/bioingenieria/introduccionbioingenieria>

VARGAS W., LOZANO F., RENJIFO L. Evaluación de la capacidad de rebrote en once especies arbóreas andinas, su potencial en el establecimiento de cercas vivas y en la aceleración de procesos de sucesión y restauración, Universidad Javeriana. Bogotá. 2011. [En Línea] [Citado el 22 de marzo de 2012] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51424877/Libro-Memorias-Congreso-Restauracion-Ecologica>

VARGAS, Willian G. Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 2002, 814 pág.

VÁSQUEZ, Armando. Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, Tolima. 2001. 304 pág. [En Línea] [Citado el 16 de abril de 2012] Disponible en: http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_7277.pdf

ZEH, Helgard. Ingeniería biológica. Manual técnico. FEIP, Federación Europea de Ingeniería del Paisaje. Zúrich, Suiza. 2007. 442 pág.

ANEXO B. Fotos de las obras antes (a) y después (b).

SAN JUAN

(a) Septiembre de 2011



Fuente: Fundación Río Piedras.

(b) Mayo de 2012



QUINTANA

(a) Diciembre de 2011



(b) Mayo de 2012



POBLAZON

(a) Agosto de 2011



Fuente: Fundación Río Piedras

(b) Mayo de 2012.



HISPALA

(a) Septiembre de 2011



Fuente: Fundación Río Piedras

(b) Mayo de 2012.



COCONUCO

(a) Agosto de 2011.



Fuente: Fundación Río Piedras

(b). Mayo de 2012.



ANEXO C. MANUAL PROPUESTO A LA FUNDACION PRO CUENCA RIO LA PIEDRA S.

**MANUAL PARA EL
MANEJO DE PLANTAS
UTILIZADAS EN OBRAS
DE BIOINGENIERÍA EN
LA PARTE ALTA DE LA
CUENCA DEL
RIO CAUCA**



Alix Lorena Gallego
Larry Villa Gallego

Ing. Forestal
Universidad del cauca
2012

Las obras de bioingeniería

Usos:

Manejo de aguas

Recuperación de suelos degradados.

Beneficios:

Mayor valor estético y ambiental

Menor costo

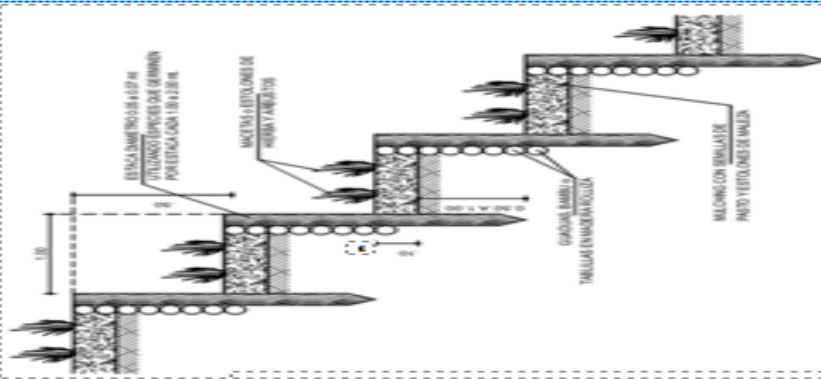
Vivos: plantines, estacas

Inerte: roca, varillas, mallas

Materiales que se utilizan:

TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA

TALUDES EN ESCALERA

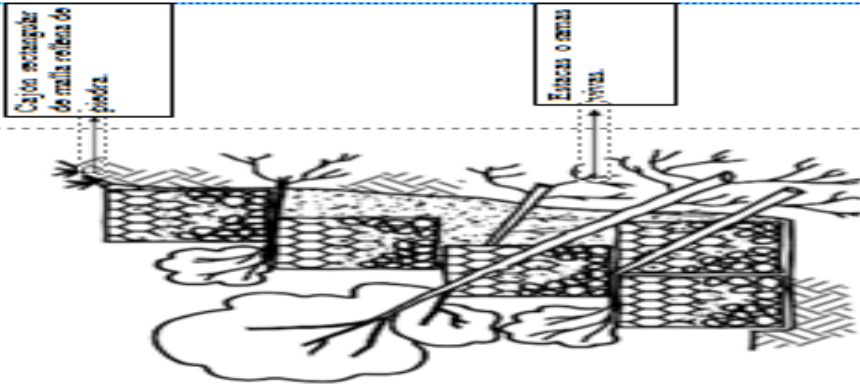


Este sistema impide que el agua escurra con fuerza por la ladera o talud y permite el crecimiento de la vegetación, e impide la formación de surcos de erosión.

Fuente: Suarez, 2001

• MUROS EN GAVIONES VEGETALIZADOS

Los gaviones son mallas en forma de cajas o muros rellenas de piedra y roca, donde se coloca material vegetal entre muro y muro, de tal forma que las plantas puedan enraizar en el suelo y sus hojas sobresalgan en el exterior.



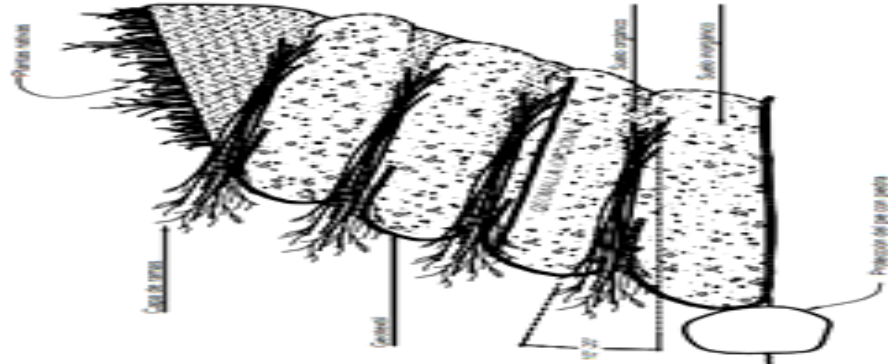
Cajas rectangular de malla rellenas de piedra.

Estructuras o mallas.

Fuente: Suarez, 2001

• REVESTIMIENTO CON ENRAMADOS

Consiste en sacos de tierra intercalados con capas de suelo, esta tela puede ser de material sintético u orgánico y se colocan de forma entrecruzada que sirven como refuerzo, las plantas se colocan de forma entrecruzada con las puntas sobresaliendo a la superficie.



Fuente: Mc Culloh, citado por Suarez, 2001.

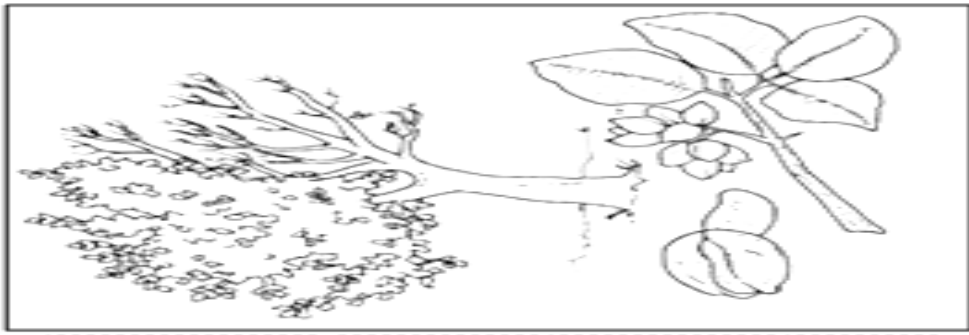
ANTES DE LA SELECCIÓN DE LA TÉCNICA

• Realizar un diagnóstico en el área para identificar el origen de los problemas, sean fuentes de agua superficiales o de escorrentía y las sub-superficiales y ganadería o cultivos.

• Realizar diseños para manejos de aguas como canales y/o cunetas como prevención.

• Seleccionar especies vegetales disponibles y adecuadas de la zona. Se combinan plantas de cobertura del suelo como pastos, con arbustos y/o árboles.

• Proteger la vegetación y las coberturas ya existentes.



ESPECIES SUGERIDAS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO CAUCA

Especies	Lugar donde se desarrolla mejor	Tipo de propagación
Nacedero (<i>Delostoma integrifolium</i>)	Veredas San Juan, Quintana, Poblazón e Hispala	
Guarango (<i>Mimosa quitensis</i>)	Coconuco, Hispala.	
Sauco (<i>Sambucus peruviana</i>)	Quintana e Hispala.	
Chocón (<i>Erythrina rubicandida</i>)	Poblazón.	
Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	Coconuco	
Laurel de cera (<i>Nyctax pubescens</i>)	Coconuco, Hispala	
Encenillo (<i>Wiermannia pubescens</i>)	Hispala, Coconuco	

CUIDADOS DE LAS PLANTAS ANTES DE LA SIEMBRA

PLANTINES



- Se debe eliminar toda planta raquítica, enfermiza, dejando solo material sano.
- Tener en cuenta que tengan el sistema radicular bien desarrollado, o por lo menos el tallo lo suficientemente fuerte.

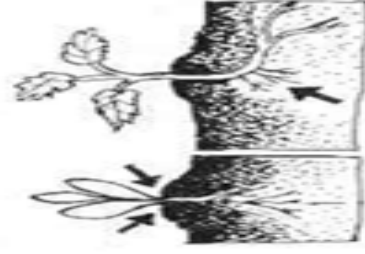
AL MOMENTO DEL TRASPLANTE...



• El trasplante debe realizarse en días nublados y frescos, en época húmeda lluviosa, evitando los días secos, calurosos o de mucho viento.

• Evitar que las raíces durante la labor de trasplante se espongan al viento o al sol o sufran daños.

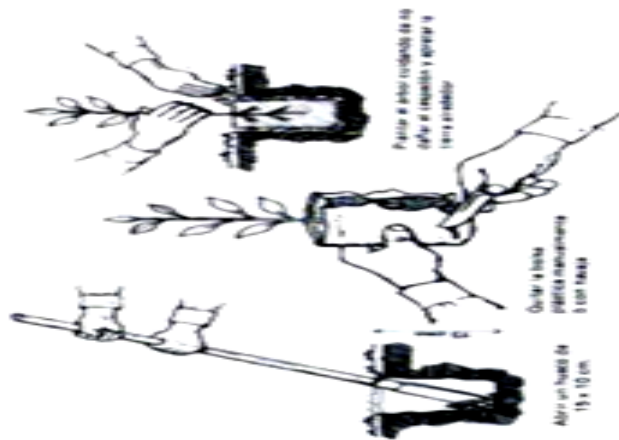
• Mientras se hacen las labores de siembra se extraen los plantines con cuidado se colocan en manojos dentro de baldes, con agua barro, hojarasca, grama o paja y almidón de yuca para las raíces.



• El plantín debe quedar en posición natural, después del trasplante, cuello de la raíz a nivel del suelo, sistema radicular no comprimido, ni doblado, pero en contacto íntimo con la tierra.

•Se puede utilizar gallinaza, abonos verdes, bórax o urea disueltos en agua, NPK (10-30-10) o triple 15.

•Abonos de origen animal, tal como el estiércol, el compost, y la gallinaza, son ricos en nitrógeno y fósforo.



ESTACAS

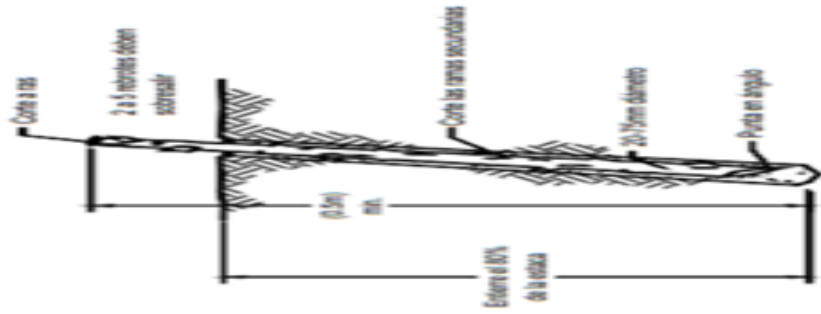
El estado de salud de las plantas durante es importante. Hay que evitar coleccionar estacas de plantas enfermas, especialmente de bacterias, virus u hongos.

Tamaño:

Para trinchos: las estacas son más cortas de 1 metro de largo aproximadamente.

Para gajones : estacas mayores a 2 metros de largo

El diámetro varía de 1 a 7,5cm o más de acuerdo a la especie.



Fuente: Mc Gough, citado por Suarez, 2001.

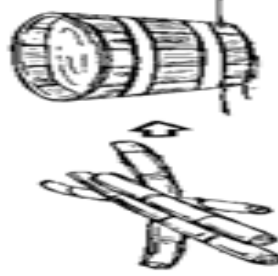
ANTES DE LA SIEMBRA

•PREPARACIÓN Y DESINFECCIÓN

Se cortan las estacas, luego se sumergen por 2 minutos en una solución de 1 gramo de fungicida por litro de agua o en una solución de agua con hipoclorito.

•APLICACIÓN DE FITOHORMONAS

Se aplica el homonagro en la parte inferior de la estaca y se deja secar durante 10 minutos , antes de sembrar, para activar la emisión de raíces.



En el lugar en donde se van a sembrar las estacas se puede emplear suelo con abono orgánico (tierra negra) o material vegetal triturado para facilitar el aporte de nutrientes a la estacas y favorecer la retención de agua.

Coloque las capas de suelo de relleno en espesores de 200 milímetros y compactelas con equipo mecánico liviano. Coloque la nueva capa de ramas o estacas a la altura especificada en el diseño y repita el procedimiento.

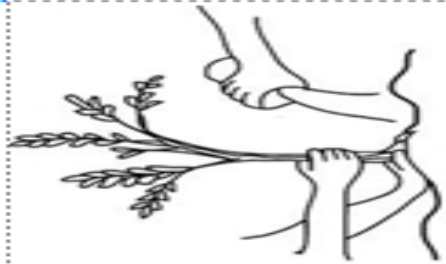
MANTENIMIENTO DE LA OBRA

• Cercado del sitio

La cerca de los sitios es muy importante para el control de animales domésticos. Para ello es indispensable mantener los postes y alambres de las cercas en perfecto estado, así evitara daños por pastoreo de animales.

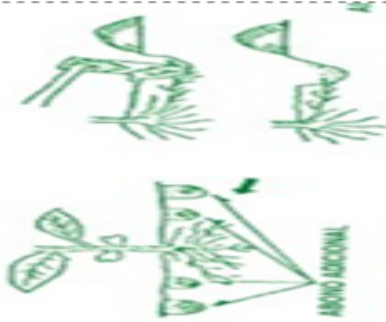
• Plantación de reposición:

No todas las plántulas y estacas sembradas sobreviven, por lo tanto hay que reponer el material vegetal con individuos de la misma especie o que también crezcan en la zona y tengan características similares a las propuestas inicialmente.



Refertilización

Si se observa decaimiento en las plantas después de haberlas sembrado, como por ejemplo hojas amarillas o marchitas, se recomienda utilizar fertilizantes diluidos en agua.



Control de plagas

Las plantas jóvenes son más propensas al ataque de insectos, por ello se deben eliminar malezas que afectan el desarrollo de las mismas.



Podas :

•Se pueden realizar en cualquier época del año.

•Para este tipo de obras se realiza con el objetivo de controlar el crecimiento de arboles grandes, dándole el tamaño adecuado para que el talud soporte su peso.

•Se puede controlar el crecimiento de la planta al suprimir la parte superior de esta (ápice de la planta), así su crecimiento se concentra hacia las partes laterales principalmente.

poda acortada



poda ligera



poda entera



•Se realizan podas de mantenimiento una vez el árbol está bien formado, se pueden eliminar elementos como ramas secas, tocones, ramas que estorben el paso de personas, cables etc.

Se deben cortar las ramas inferiores lo más cerca posible al tronco, sin desgarrar la corteza para evitar el ataque de hongos e insectos, para lo que se puede emplear tijeras podadoras, següeta o serruchos podadores LIMPIOS en caso de que las ramas sean muy gruesas. Se recomienda no utilizar cicatrizante.



Entresacas

Este proceso consiste en la eliminación de árboles demasiado grandes y/o pesados que con el paso del tiempo puedan desestabilizar el talud; por ello es recomendable dejar solo los arboustos y las gramíneas o pastos en la parte superior del talud, cuando este tiene una pendiente muy fuerte.

Las ramas y hojas subproducto de la poda y la entresaca deben reutilizarse como estacas o ramas vivas o como nutrientes para el suelo, a fin de mantener el equilibrio ambiental.



RECOMENDACIONES

• El tiempo entre el corte de los estaciones o estacas y la siembra debe ser lo más corto posible.

• Determine si esa vegetación tiene los atributos deseados para el proyecto, raíces, follaje, tolerancia a las inundaciones y a las sequías, hábitos de crecimiento, etc.

• En tiempo de verano se recomienda continuos riegos, por lo menos mientras las especies están en la etapa de crecimiento y adaptación.

• Escoja los métodos de construcción y las técnicas de biotecnología. Para determinar el mejor método, el equipo de trabajo debe resolver los siguientes interrogantes:

✓ ¿Se requiere la construcción de estructuras permanentes o una estructura provisional que se desintegre después de establecida la vegetación?

✓ ¿Cuáles de las especies seleccionadas se integra mejor con la estructura ya utilizada?

✓ ¿Cuál técnica provee una mejor estabilidad a largo plazo?

BIBLIOGRAFÍA CITADA

LEON, Juan Diego. Estudio y control de la erosión hídrica. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencias Forestales.

ROJAS S., GARCÍA L., ALARCÓN M. Propagación asexual de plantas: conceptos básicos y experiencias amazónicas. *Corpoica, Minagricultura, Promatta*, Bogotá, Colombia. 2004. 55 pág.

SUÁREZ, Jaime. Control de Erosión en zonas tropicales. Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2001. 545 pág.

VÁSQUEZ, Armando. Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, Tolima. 2001. 304 pág.