

**EFFECTIVIDAD DE LA BIOINGENIERIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA
EROSION Y LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LADERAS.**



GLORIA DEL SOCORRO FLOREZ FLOREZ

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

MANIZALES CALDAS COLOMBIA

2014

**“EFECTIVIDAD DE LA BIOINGENIERIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA
EROSION Y MOVIMIENTOS EN MASA EN LADERAS DE CALDAS.”**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO
MAGISTER EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE**

DIRECTOR

JOSE HORACIO RIVERA POSADA I.A., Ph.D., MSc.

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
MANIZALES CALDAS**

2014

NOTAS DE ACEPTACION

----- APROBADA

DEDICATORIA

A mi esposo José Horacio Rivera Posada, quien ha sido mi maestro toda mi vida, el mejor esposo, amigo, confidente, profesor, crítico y padre, MI PRIMER Y UNICO AMOR,. Quien ha sido ejemplo de lucha, entereza frente a las adversidades, motivación y al que nunca le he escuchado “no se puede”.

A mis niñas Camila María, Daniela y Laura Juliana, por las cuales lucho y quienes cada día me dan grandes Satisfacciones. LAS AMO CON TODA EL ALMA.

A mis padres Mariela y Gustavo, que han sido los mejores tiernos, amorosos, comprensivos, quienes a pesar de tener 82 y 86 años, están tan Lúcidos que aún cuento con ellos y me impulsan en los momentos en que parece que voy a desfallecer.

A mi hermano Jaime que siempre está para escucharme, y mis sobrinos Juan Felipe, David y Santiago, a quienes llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Manizales, a los profesores y compañeros de La Maestría de desarrollo Sostenible y Medio Ambiente- V- Cohorte. Presencial.

Al Doctor CIRO ALFONSO SERNA MENDOZA, Director de la maestría, cuando inicié el posgrado, por su profesionalismo y calidad humana.

Al Doctor LUIS HORACIO HINCAPIE, Ph.D. (Q.E.P.D) mi primer profesor en la cohorte, con quien pude compartir muy poco, pero un ser humano y un profesor incomparable.

A la Doctora IRMA SOTO, Actual Directora del Posgrado.

Al Doctor JHON FREDY BETANCURT Ph.D. Por su colaboración y apoyo.

Al Doctor JOSE HORACIO RIVERA POSADA, Ph.D., MSc., Director de la tesis, quien me ha enseñado con su lucha, el valor de defender la naturaleza, quien con su trabajo agotador ha querido que la sociedad cambie sus concepción sólo económica, frente a los recursos naturales. Que haya conciencia de conservar, preservar, cuidar, restaurar, reparar y reconocer como fundamental el Medio Ambiente.

Al doctor JUAN CARLOS MONTOYA Ph.D, Jurado de la tesis, por sus aportes y colaboración.

A todas las personas que son parte del engranaje de la maestría, porque hacen posible que el posgrado tenga gran reconocimiento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	23
ABSTRACT.....	24
INTRODUCCION	25
CAUSAS DE LOS PROBLEMAS DE MAL DRENAJE.....	26
JUSTIFICACION	35
OBJETIVOS	37
OBJETIVO GENERAL.....	37
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	37
HIPOTESIS.....	37
SUPUESTOS Y CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	38
CAPÍTULO I	40
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	40
1.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROBLEMA	40
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
1.2.1. Los cultivos y la erosión de los suelos.....	46
CAPÍTULO II.....	51
MARCO TEÓRICO.....	51
2.1. LA EROSIÓN SUPERFICIAL DE LOS SUELOS.....	51
2.1.1. Factores que intervienen en el proceso de erosión.....	51
2.1.2. Ecuación Universal de erosión.....	52
2.2. MOVIMIENTOS MASALES O DESLIZAMIENTOS	53
2.3. Tratamientos biológicos en la estabilización de laderas.	54
2.4. MANEJO INTEGRADO DE ARVENSES	56
2.5. BIOINGENIERÍA DEL SUELO	57
CAPÍTULO III.....	59
ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	59
3.1. UNIDAD DE ANÁLISIS	59
3.2. UNIDAD DE TRABAJO	59
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	61
3.4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	61
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	63
3.5.1. Exploración bibliográfica.....	64
3.5.2. Estudio fotográfico.....	64
3.5.3. Inventario y Diagnóstico.....	64
3.5.4. Visitas y recorridos de campo:.....	64
3.5.5. Charlas informales y testimonio libre.....	65
3.6. MATERIALES:	65
CAPITULO IV.....	66
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1. INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.....	66
4.1.1. Inventario y diagnóstico municipio de Villamaría, Vereda Ríoclaro viejo	66
4.1.1.1. Material Parental:	66
4.1.1.2. Suelos.....	67
4.1.1.3. Topografía:.....	67

4.1.1.4. Clima.....	68
4.1.1.5. Vegetación actual:	69
4.1.1.6. Animal:	70
4.1.1.7. Infraestructura:.....	70
4.1.1.8. Hombre:	72
4.1.1.9. Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos	72
4.1.1.9.1. Causas:	72
4.1.1.9.2. Efectos:	74
4.1.1.10. Uso, Manejo y Conservación Potencial de los Suelos.	74
4.1.1.11. Restauración con obras de bioingeniería, de las áreas afectadas	75
4.1.1.12. Análisis económico.....	83
4.1.1.12.1. Costos de capacitación	83
4.1.1.12.2. Costos de las obras de Bioingeniería.	83
4.1.1.13. Eficacia:.....	85
4.1.1.14. Eficiencia: Se hizo una utilización adecuada y optima de recursos vivos propios de la región afectada, tales como:	88
4.1.1.15. Efectividad:	88
4.1.2. Inventario y diagnóstico municipio de Filadelfia, departamento de Caldas, Vereda Balmoral.....	90
4.1.2.1. Material Parental:	90
4.1.2.2. Suelos.....	91
4.1.2.3. Topografía:	91
4.1.2.4. Clima:	91
4.1.2.5. Vegetación actual:	91
4.1.2.6. Animal:	92
4.1.2.7. Infraestructura:.....	92
4.1.2.8. Hombre:	92
4.1.2.9. Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos	93
4.1.2.9.1. Causas:	93
4.1.2.9.2. Efectos.....	104
4.1.2.10. Uso, Manejo y Conservación Potencial de los Suelos.	105
4.1.2.11. Restauración con obras de bioingeniería, de las áreas afectadas.	105
4.1.2.12. Análisis económico	130
4.1.2.12.1. Costos de capacitación	130
4.1.2.12.2. Costos de las obras de Bioingeniería.....	130
4.1.2.13. Eficacia.....	132
4.1.2.14. Eficiencia.....	132
4.1.2.15. Efectividad.....	132
4.1.3. Inventario y diagnóstico municipio de Pácora, Vereda San Bartolomé, sector El Escobal	132
4.1.3.1. Material Parental:	132
4.1.3.2. Suelos:	134
4.1.3.3. Topografía:	134
4.1.3.4. Clima:.....	135
4.1.3.4. Vegetación Actual:	135
4.1.3.5. Animal:	135

4.1.3.6.	Infraestructura:.....	135
4.1.3.7.	Hombre:	135
4.1.3.8.	Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos.....	135
4.1.3.8.1.	Causas:	135
4.1.3.8.2.	Efectos.....	139
4.1.3.9.	Uso, Manejo y Conservación Potencial de los Suelos.....	147
4.1.3.10.	Restauración con obras de bioingeniería, de las áreas afectadas.	147
4.1.3.11.	Análisis económico	167
4.1.3.11.1.	Costos de capacitación	167
4.1.3.11.2.	Costos de las obras de Bioingeniería.....	167
4.2.	DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DE LAS OBRAS DE BIOINGENIERÍA.....	169
4.2.1.	Eficacia:	169
4.2.2.	Eficiencia:	170
4.2.3.	Efectividad:	170
	CAPITULO V.....	171
	CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	171
5.1.	CONCLUSIONES	171
5.2.	RECOMEDACIONES.....	171
	CAPITULO VI.....	173
	BIBLIOGRAFÍA	173
	CAPITULO VII.....	182
	ANEXOS	182

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla 1. Localización de los sitios de trabajo en el departamento de Caldas.....	59
Tabla 2. Lluvia de la Estación Climática Bello Horizonte (Datos Históricos Promedio)* * Datos de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC).	69
Tabla 3. Presupuesto control de erosión y movimientos masales Vereda Rio Claro Viejo municipio de Villamaría (diagnostico, capacitación y asesoría).....	84
Tabla 4. Cantidad de obras y precios unitarios, para el manejo integral en el control de áreas afectadas por erosión severa y movimientos masales Vereda Río Claro Viejo del municipio de Villamaría.	84
Tabla 5. Lluvia histórica de la estación climática La Julia en Filadelfia Caldas	91
Tabla 6. Presupuesto control de erosión y movimientos masales Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, diagnostico, capacitación y asesoría.	131
Tabla 7. Ítems, cantidad de obras y precios unitarios, para el manejo integral en el control de áreas afectadas por erosión severa y movimientos masales, con el uso de bioingeniería en la Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia.	131
Tabla 8. Lluvias de la estación La linda; Pacora Caldas. Datos históricos.	135
Tabla 9. Diagnóstico, capacitación y asesoría Pácora.....	169
Tabla 10. Ítems, cantidad de obras y sus precios unitarios respectivos, para el manejo integral en el control de áreas afectadas por erosión severa y movimientos masales, mediante el uso de la bioingeniería en la Vereda Escobal del municipio de Pácora.	169

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los sitios de trabajo, en el departamento de Caldas Colombia. Sitio 1 (Vereda Río Claro Viejo, municipio de Villamaría), sitio 2 (Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia) y sitio 3 (corregimiento de San Bartolomé, Vereda El Escobal municipio de Pácora).	60
Figura 2. Presencia de conglomerados cementados por una matriz arcillosa. Materiales altamente susceptibles a los deslaves. Se observa lo abrupto de la pendiente. Vereda Rio claro Viejo Villamaría, Caldas. Marzo de 2008.	66
Figura 3. Suelos muy susceptibles a los deslaves por ser superficiales (0.30 – 0,50 m de profundidad), donde aflora el material parental de conglomerados que dio su origen.	67
Figura 4. Se observa una pendiente mayor del 100% y longitud demasiado larga (mayor de 500 m), lo que favorece los procesos de erosión y los deslaves en toda la zona. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas. Marzo de 2008	68
Figura 5. Cultivo de monocultivo de café predominante en la región. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas (marzo de 2008). Se observa la inclinación fuerte de la pendiente su longitud larga y la presencia de conglomerados.	70
Figura 6. Los techos de la vivienda no presentan canaletas recolectoras de aguas de escorrentía, ni bajantes, absorbiendo el terreno toda el agua. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas. Julio de 2008.	71
Figura 7. Terreno anegado alrededor de las viviendas. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas. Julio de 2008. Se observa la cantidad de suelo fértil desprendido de la ladera como consecuencia de los deslaves.	71
Figura 8. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas. Julio de 2008. Presencia en la vía de aguas sub-superficiales y ausencia de cunetas evacuadoras de aguas de escorrentía y sub-superficiales (julio de 2008).	72
Figura 9. Se muestra la presencia de deslaves en la parte alta de la ladera. Rio Claro viejo. Julio de 2008.	75
Figura 10. Presencia de deslaves en la ladera, causantes daños en las viviendas ubicadas aguas abajo. Julio de 2008.	76
Figura 11. Estado de una de las viviendas, luego de los deslaves ocurridos en la zona (marzo de 2008). .	76
Figura 12. Zonas anegadas parte baja Vereda río claro Villamaría. Marzo 28 de 2008.	77
Figura 13. Estado de la iglesia luego de los deslaves (julio de 2008).	77

Figura 14. Actividad de socialización, sensibilización, concientización, capacitación y concertación sobre prevención y control de erosión y movimientos masales, con obras de bioingeniería, Vereda río claro viejo, municipio de Villamaría, Caldas Colombia (abril 23 de 2008).	78
Figura 15. Capacitación en campo de comunidad de la Vereda río claro, municipio de Villamaría, Caldas Colombia. Se observa el inicio de una de las obras, trazando la zanja para empotramiento de una de las estructuras vivas disipadoras de aguas de escorrentía de la quebrada. Julio 1 de 2008.....	79
Figura 16. Capacitación en campo de la comunidad afectada de la Vereda río claro, municipio de Villamaría, Caldas Colombia. Orientaciones sobre cómo construir un buen trincho para la conducción de aguas de escorrentía. Julio 1 de 2008.....	79
Figura 17. Trazado de zanjas atravesando el cauce de la quebrada, con el fin de colocar trinchos anclados en los taludes estables del drenaje natural.	80
Figura 18. Colocación de las guaduas dentro de la zanja, con el fin de conformar un trincho que no sea socavado fácilmente por las aguas de escorrentía, evitando que la estructura quede en el aire y sin función alguna.....	80
Figura 19. Río Claro construcción de trinchos vivos escalonados y reforzados con estacas vivas de nacedero o quebrabarrigo. Se observa el buen anclaje de los mismos en los taludes laterales. Julio de 2008.	81
Figura 20. Iniciación de obras bio-ingenieriles en la Vereda río claro del municipio de Villamaría, Caldas, Colombia. Se observa la construcción del vertedero de una de las estructuras disipadoras de aguas de escorrentía del drenaje natural. Julio 1 de 2008.....	81
Figura 21. Zona de anegamiento Vereda Río Claro Villamaría. Se observa una acequia de ladera muy superficial que no cumple función alguna, sitio donde se construyó un sistema de filtros vivos en espina de pescado (figura 25). Marzo de 2008.....	82
Figura 22. Sistema de trinchos vivos escalonados de guadua Vereda río claro viejo municipio de Villamaría, Caldas Colombia. Se observa el rebrote de las estacas vivas de nacedero, trichanthera gigantea. Septiembre de 2008.	85
Figura 23. Trinchos vivos escalonados. Se observa el rebrote de las estacas de nacedero. Octubre de 2008. Vereda Río Claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.....	86
Figura 24. Sistema de trinchos vivos escalonados de guadua Vereda río claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia. Septiembre de 2008.....	86
Figura 25. Trinchos vivos escalonados con vertedero, para manejo de aguas de escorrentía en un drenaje natural. Octubre de 2008. Vereda Río Claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.	87
Figura 26. Sistema de drenaje con filtros vivos en espina de pescado para la evacuación de aguas subsuperficiales. Octubre de 2008. Vereda Río Claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia. 87	

Figura 27. Trinchos vivos escalonados. Se observa el rebrote de las estacas de nacedero trichanthera gigantea. Noviembre de 2008. Vereda río claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.	89
Figura 28. Trincho vivo visto de cerca. Se observa el rebrote de las estacas de nacedero trichanthera gigantea. Noviembre de 2008. Vereda río claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.	89
Figura 29. Estado actual de restauración de toda la zona luego de los deslaves en el año 2007. Vereda rio claro municipio de Villamaría, Caldas, Colombia. Agosto 10 de 2010.....	90
Figura 30. Uso del suelo en caña panelera. Se observa procesos erosivos y de movimiento en masa. Vía Neira a Filadelfia Caldas, Colombia.	92
Figura 31. Mal funcionamiento de las canaletas para evacuar aguas lluvias, las cuales van directamente al terreno casando erosión y saturación del mismo. Julio de 2008. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	94
Figura 32. Se observa la canal con pendiente contraria al avance del flujo de agua, desbordándose y yendo directamente al terreno. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	95
Figura 33. Sitio donde confluyen y se acumulan las aguas de escorrentía provenientes del techo de la vivienda y del camino de la servidumbre de la Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	96
Figura 34. Lugar por donde avanzan las aguas de escorrentía hacia la vivienda ubicada en la parte baja de la ladera, acelerando los procesos de erosión y movimientos en masa. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	97
Figura 35. Cárcava por donde se encauzan las aguas de escorrentía provenientes del techo de una de las viviendas y del camino de penetración a la Vereda Balmoral hacia la otra vivienda ubicada aguas abajo. Se observa la saturación alta de los suelos por su condición arcillosa. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	97
Figura 36. Parte frontal de la vivienda ubicada en la parte alta de la ladera. se observa el paso de las aguas de escorrentía provenientes del camino de penetración a la Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	98
Figura 37. Encauzamiento de aguas de escorrentía camino abajo hasta encontrar la vía principal. Se observa la profundización del mismo. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	98
Figura 38. Presencia de aguas su-superficiales, que saturan los suelos y hace que se presenten los movimientos masales. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	99
Figura 39. Terreno saturado, con procesos de movimiento en masa, poniendo en riesgo la vivienda. Se observa como las aguas de la canaleta del techo, llegan directamente al sitio problema. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	100

Figura 40. Tanque de almacenamiento de agua, cuyo rebose vierte directamente al talud escarpado pudiendo ocasionar un deslizamiento por saturación del terreno. Vereda Balmoral Municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	101
Figura 41. Tramo de la carretera que conduce a la Vereda Balmoral. Se observa el encauzamiento de las aguas de escorrentía, que causan problemas aguas abajo por la concentración de las mismas en invierno. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	102
Figura 42. Tramo del camino anegado, que conduce a la Vereda Balmoral. Área difícil de transitar por la comunidad afectada, especialmente los niños. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	102
Figura 43. Paso anegado y difícil para los peatones en el camino que conduce a la Vereda Balmoral, municipio de.....	103
Figura 44 Sitio donde confluyen las aguas de escorrentía provenientes del camino de herradura y del techo de la vivienda. Aguas que penetran a la ladera con reptación, ayudando al proceso de saturación del terreno y al proceso activo de movimiento en masa (Vereda Balmoral, Filadelfia Caldas, Colombia. Julio 20 de 2008).	104
Figura 45. Taller sobre bioingeniería comunidad de la Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia. Mayo 16 de 2008.....	106
Figura 46. Lote con problemas de solifluxión, afectando en la parte alta y baja de la ladera dos viviendas, las cuales eran objeto de desalojo por parte del municipio de Filadelfia y CORPOCALDAS. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	107
Figura 47 Talud con procesos de movimiento en masa, desestabilizando el cimiento de la vivienda. Se observa la presencia de una manguera de acueducto con varios empates, lo que indica que pudo haber influido en parte al desconectarse en la erosión y deslizamiento del talud. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	107
Figura 48. Talud con problema de reptación. Desaparecieron dos habitaciones de concreto. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	108
Figura 49. Talud con problemas de reptación. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	109
Figura 50. Vía de entrada a la finca, parcialmente obstruida reptación del terreno. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	109
Figura 51. Presencia de escombros producto de la destrucción de dos habitaciones de la vivienda. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	110
Figura 52 Abertura de ventanas, para la evacuación de aguas de escorrentía provenientes de la carretera. Las ventanas se realizaron desde la parte alta del camino de herradura hasta la carretera principal. Las	

ventanas se realizaron cada 5 m de distancia una de otra, para manejar caudales pequeños. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	111
Figura 53. Construcción de ventanas para evacuación de caudales pequeños de aguas de escorrentía del camino de herradura que conduce a la vereda Balmoral en Filadelfia, Caldas, Colombia.	111
Figura 54. Construcción de trinchos escalonados con latas de guadua a cada metro de distancia entre ellos, para disipar energía cinética de aguas de escorrentía en las ventanas de evacuación de aguas de escorrentía del camino de herradura que conduce a la Vereda Balmoral parte alta. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	112
Figura 55. Disipadores simples de energía para disminución de la energía cinética de las aguas de escorrentía que avanzan camino abajo en períodos lluviosos. Estos disipadores son construidos en guadua rolliza. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	113
Figura 56. Canal con pendiente contraria al talud inestable, para evita la entrada de las aguas de escorrentía provenientes del camino de herradura. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	113
Figura 57. Camino de herradura con disipadores de aguas de escorrentía construidos en guadua (agosto de 2008).Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	114
Figura 58. Área mal drenada y totalmente sobresaturada en la parte alta del talud y que tiene en riesgo alto a dos viviendas. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	115
Figura 59 Julio 8 de 2008. Construcción de zanjas profundas y colocación de filtros temporales en guadua, para evitar inicialmente que la zanja se cierre nuevamente como consecuencia de la saturación alta del terreno, y así mismo, inducir al terreno a drenarse para continuar con las obras. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	115
Figura 60. Se construyeron trinchos vivos en guadua escalonados tanto desde la parte trasera de la casa en el talud alto, para su estabilización (figura), y como para el acompañamiento de filtros vivos en guadua construidos a cada 4 m de distancia entre ellos ladera abajo hasta llegar a la carretera principal (julio). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	116
Figura 61. Construcción de obras de estabilización con trinchos vivos escalonados y filtros vivos. Agosto de 2008. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	117
Figura 62. Construcción de trinchos vivos escalonados en guadua, para estabilizar los cimientos de la vivienda, que presentaba riesgo alto al colapso (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia Caldas, Colombia.....	118
Figura 63. Estabilización de los cimientos de la vivienda con trinchos vivos en guadua reforzados con estacas vivas de nacedero (octubre 15 de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	118

Figura 64. Trinchos vivos totalmente cubiertos de vegetación indicando la estabilización del terreno. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	119
Figura 65. Zanja profunda a través de la pendiente, para empotrar cada uno de los trinchos que sostienen los filtros vivos. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	120
Figura 66. Forma de empotrar uno de los trinchos (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	121
Figura 67. Construcción de cama para acomodar un tramo de filtro vivo en guadua. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	122
Figura 68. Sección de filtro complementado con dos trinchos vivos en guadua (agosto 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas.....	122
Figura 69. Sistema de trinchos vivos escalonados y filtros enterrados (julio de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	123
Figura 70. Sistema de trinchos vivos escalonados y filtros enterrados (agosto 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	124
Figura 71. Compactación manual del terreno y perfilado del talud (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	124
Figura 72. Construcción de nueva sección de filtro vivo. Se observa un tramo de filtro cubierto de pasto, para posteriormente ser cubierto con tierra (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	125
Figura 73. Trinchos vivos en guadua reforzados con estacas vivas de nacedero, siembra de cítricos y cubrimiento del suelo con cobertura densa de maní forrajero (octubre de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	126
Figura 74. Trabajo culminado. Vista de abajo hacia arriba (Octubre de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	126
Figura 75. Trabajos culminados. Vista de arriba hacia abajo (octubre de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	127
Figura 76. Entrada a la casa, luego de estabilizado y restaurado el terreno (marzo 10 de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	127
Figura 77. Cubrimiento del talud con coberturas vegetales en un mes aproximadamente, como prueba de la estabilización del terreo. Noviembre 23 de 2008. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.....	128
Figura 78. Restauración cubrimiento por coberturas vegetales del área afectada. Noviembre 23 de 2008. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.	128

- Figura 79. Vista de arriba hacia abajo, dos años después de culminado el trabajo, como una muestra de la efectividad de las obras de bioingeniería (agosto de 2010). Imagen facilitada por Fernando Sánchez Zapata ingeniero geólogo, especialista, docente Universidad de Caldas. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia..... 129
- Figura 80. Estado de la estabilización del terreno luego de los tratamientos con bioingeniería, luego de 2 años aproximadamente de entregadas las obras, como una muestra de la efectividad de las obras de bioingeniería (agosto de 2010). Imagen facilitada por Fernando Sánchez Zapata ingeniero geólogo, especialista, docente Universidad de Caldas. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia. 129
- Figura 81. Avance de las aguas de escorrentía hacia los taludes bajos de la carretera causando desestabilización y pérdida de la banca. Agosto 10 de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 137
- Figura 82. Vereda El Escobal municipio de Pácora. Avance de las aguas lluvias sobre la banca de carretera. Se observa que por donde se concentran las aguas de escorrentía, inmediatamente se forma una cárcava que da origen a la pérdida de la banca de la carretera. Julio de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda san bartolomé, sector El Escobal. 138
- Figura 83. Sitio por donde avanzan las aguas de escorrentía provenientes de la banca de la carretera, acelerando los procesos remontantes. Agosto 10 de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 139
- Figura 84. Estado avanzado de degradación de taludes por efecto de mal manejo de aguas de escorrentía. Marzo de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 141
- Figura 85. Se observa el efecto de cárcava remontante hacia la banca de la carretera. Marzo de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 141
- Figura 86. Sitio de entrada de aguas de escorrentía provenientes de la cuneta de la carretera. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 142
- Figura 87. Pérdida de parte de la banca de la carreta por efecto de las aguas de escorrentía. Marzo de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 142
- Figura 88. Presencia de negativo de carretera, con pérdida de parte de la banca. Marzo de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 143

Figura 89. Recorrido exploratorio por la parte baja de la banca de la carretera vía San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora Caldas. Se observa la longitud del escarpe mayor de 2000 m, la inclinación de la ladera con pendiente mayor del 100%. Septiembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	143
Figura 90. Obras construidas con guadua hueca por dentro y rellena de hierro y concreto, como una falsa bioingeniería. Vía San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Septiembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.....	144
Figura 91. Obras de concreto de ingeniería convencional, colapsadas y transportadas desde la banca de la carretera por efecto de la fuerza de gravedad y las lluvias. San Bartolomé, sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas. Enero de 2009. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.....	144
Figura 92. Obras de concreto de ingeniería convencional, colapsadas y transportadas desde la banca de la carretera hasta la parte baja por efecto de la fuerza de gravedad y las lluvias. San Bartolomé, sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas. Enero de 2009. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	145
Figura 93. Sitio por donde se concentran las aguas de escorrentía provenientes de la cuneta de la carretera aguas arriba. Se observa el socavamiento de la banca de la carretera. Septiembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	145
Figura 94. Estado actual de la vía san Bartolomé – municipio de Pácora, Caldas sector El Escobal. Septiembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	146
Figura 95. Vivienda evacuada y demolida innecesariamente por la creencia de la presencia de una falla geológica ser la causante de los movimientos en masa de la región. Septiembre de 2008. Vivienda sobre vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.....	146
Figura 96 Actividad de socialización, sensibilización, concientización, capacitación, concertación y priorización con la comunidad de San Bartolomé municipio de Pácora, sobre la problemática ambiental y la manera de solucionarla. Abril de 2008. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	148
Figura 97. Sitio donde se concentran grandes caudales de aguas de escorrentía provenientes de la carretera. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	149

- Figura 98. Sector 1. Iniciación de trabajos de bioingeniería en el sitio por donde se concentran las aguas de escorrentía provenientes de la vía. Se comenzaron los trabajos de disipación de energía, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados. Septiembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 150
- Figura 99 Sector 1. Se observa el caudal de agua de escorrentía que avanza ladera abajo para lo cual se iniciado trabajos con disipadores simples hechos en agua, para disminuir la energía cinética de las aguas de escorrentía evitando el arrastre de sedimentos y desestabilización de los taludes laterales de las cárcavas ya formadas. (Noviembre de 2008). Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 151
- Figura 100 Sector 1. Estabilización y restitución de parte de la banca de carretera, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados. Corregimiento de San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Diciembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 151
- Figura 101. Aislamiento del área estabilizada, y siembra de estacas de matarratón. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. 152
- Figura 102 Sector 1. Avances en la estabilización y restitución de parte de la banca de carretera, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados. Corregimiento de San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Diciembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 152
- Figura 103. Trinchos en guadua contruidos de arriba hacia abajo. Se observa lo abrupto de la pendiente, mayor del 100% se diciembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda san Bartolomé, Sector el Escobal. 153
- Figura 104. Sector 1. Avances en la estabilización y restitución de parte de la banca de carretera, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados, dando vía a los primeros vehículos. Corregimiento de San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Diciembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal... 153
- Figura 105. Sector 1. Avances en la estabilización y restitución de parte de la banca de carretera, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados. Corregimiento de San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Se observa el cambio y el crecimiento de la vegetación en 11 meses. Noviembre de 2009. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal..... 154
- Figura 106. Sector 2. Se aprecia la construcción de trinchos vivos escalonados desde arriba hacia abajo, como disipadores de energía de aguas de escorrentía en el segundo sector crítico del área afectada. El 1% del área presentaba cobertura vegetal. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas. Noviembre de 2008. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal... 155

- Figura 107. Sector 2. Se aprecia la siembra y rebrote de estacas vivas de matarratón. El 20% del área presentaba cobertura vegetal. Corregimiento san Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas marzo de 2009. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal..... 155
- Figura 108. Sector 2. Se aprecia el rebrote de estacas vivas de matarratón. Lechero y el cubrimiento del terreno con gramíneas, como un indicador de estabilización del proceso degradativo. El 35% del área presenta cobertura vegetal. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas julio de 2009. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 156
- Figura 109. Sector 2. Se aprecia el rebrote de estacas vivas de matarratón, lechero y el cubrimiento del terreno con gramíneas como un indicador de estabilización del proceso degradativo. El 100% del sector presenta cobertura vegetal, demostrando la efectividad de las obras de bioingeniería. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas noviembre de 2009. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. ... 156
- Figura 110. Se observa el proceso de establecimiento de la vegetación sembrada como complemento de las obras de bioingeniería, las cuales actúan como refuerzo mecánico para el talud, al aumentarse su cohesión. Vegetación que fue posteriormente quitada para el establecimiento de un muro de concreto. Noviembre de 2009. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 157
- Figura 111. Destrucción de parte de la obra de bioingeniería entre los sectores 1 y 2 para ser reemplazada por un muro de concreto. Esto demuestra la fortaleza que brinda las obras de bioingeniería en la estabilización de las laderas. Abril de 2011. Vía carretable que conduce de Pácora San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 157
- Figura 112. Se observa entre los sectores 1 y 2, luego de estabilizado los taludes con obras de bioingeniería, parte de ellos, especialmente la zona alta del talud, fue reemplazada por un muro de concreto por valor de 100 millones de pesos aproximadamente. Valor similar al presupuesto de todo el proyecto de bioingeniería para la zona. Imagen tomada en agosto de 2012. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 158
- Figura 113. Se observa la pérdida de banca, y las diferentes entradas de agua de escorrentía causantes de la degradación por erosión avanzada. Se dificulta el paso vehicular, lo que tuvo al corregimiento incomunicado con el municipio de Pácora por varios días. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas septiembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal. 159
- Figura 114. Sector 2. Inicio de las obras de bioingeniería, para estabilización de la banca de carretera. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas septiembre de 2008. Vía

carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	159
Figura 115. Sector 3. Daños ocasionados a las obras de bioingeniería con el uso indebido de la maquinaria de la secretaría de obras de empresas públicas del departamento de caldas. Noviembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	160
Figura 116. Practica de bioingeniería con estudiantes de posgrado de la especialización de geotecnia de la universidad de caldas. Diciembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a san Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda san Bartolomé, sector el Escobal.....	160
Figura 117. Construcción de trinchos vivos escalonados para estabilizar talud bajo de la vía que conduce de corregimiento San Bartolomé sector el Escobal al municipio de Pácora, Caldas diciembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	161
Figura 118. Construcción de trinchos vivos escalonados para estabilizar talud bajo de la vía que conduce del corregimiento San Bartolomé sector El Escobal al municipio de Pácora, Caldas. Diciembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	161
Figura 119. Construcción de trinchos vivos escalonados, reforzados con siembra de estacas vivas de matarratón para estabilizar talud bajo de la vía que conduce del corregimiento San Bartolomé sector El Escobal al municipio de Pácora, Caldas. Febrero de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	162
Figura 120. Aislamiento con alambre de púas del talud bajo de la vía que conduce del corregimiento San Bartolomé sector El Escobal al municipio de Pácora, Caldas. Febrero de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal...	162
Figura 121. Sitio por donde avanzan en forma concentrada sin control alguno las aguas de escorrentía provenientes de un tramo largo (mayor de 1000 m) de la carretera que conduce del municipio de Pácora, Caldas al corregimiento San Bartolomé sector El Escobal. Febrero de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	163
Figura 122. Restauración de cárcava profunda, con la construcción de trinchos vivos escalonados, complementados con estacas vivas de matarratón. Mayo de 2010. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.....	164
Figura 123. Aislamiento con cerco de alambre de púas del área afectada. Febrero de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	164

Figura 124. Estado de restauración y estabilización de la vía comparada a los nueve meses después de realizadas las obras. Noviembre de 2009. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.	165
Figura 125. Estado de restauración de los taludes de la banca en 1,5 años de construidas las obras, lo que indica que las obras han sido eficaces y efectivas. Agosto de 2010. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.....	165
Figura 126. Se lograron las metas, lo que se demuestra en un año y once meses de haberse construido las obras agosto de 2010. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector el Escobal.	166
Figura 127. Restauración eficaz y efectiva, en 2 años y cuatro meses de realizadas las obras de bioingeniería agosto de 2010. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.....	166
Figura 128. Efectividad de las obras de bioingeniería, desde septiembre de 2008 hasta agosto de 2012. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector el Escobal.	167

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Complejos de depósito	182
Anexo 2. Unidad de suelos Pácora	184
Anexo 3. Complejo pacora - tablazo.....	187
Anexo 4. Unidad tablazo.....	190
Anexo 5. Unidad de suelos Pácora	194
Teniendo en cuenta las condiciones climáticas y las características de los suelos, el uso más indicado es el de reforestación comercial; que a la vez servirá para la regulación de las fuentes de agua.	
Anexo 6. Complejo pacora - tablazo	196

RESUMEN

La investigación se realizó en tres regiones contrastantes en suelo y clima del Departamento de Caldas Colombia Sudamérica. Los sitios corresponden: Vereda Río Claro Viejo, Municipio de Villamaría, con coordenadas N: 04° 59' 58,7, W: 75° 33' 08,2", altitud de 1450 m. Vereda Balmoral, Municipio de Filadelfia, coordenadas N: 05° 16' 02.16'', W: 75° 32' 44.30'', altitud de 1650 m. Corregimiento de San Bartolomé, Vereda El Escobal Municipio de Pácora, con coordenadas N: 05° 30' 10,2", W: 75° 32' 06,8", altitud, 1710 msnm. La importancia del trabajo radicó en la problemática ambiental que se presenta actualmente en el Departamento de Caldas, el país y en innumerables regiones del mundo, afectadas por la erosión severa del suelo y los movimientos masales, con consecuencias catastróficas en pérdidas de vidas humanas y materiales. Esta situación induce en la necesidad de buscar alternativas ambientalmente amigables con la naturaleza y acordes con el medio, y de costos bajos, como es la Bioingeniería del suelo. El Objetivo General fue Determinar la efectividad de la bioingeniería en la prevención y control de la erosión y los movimientos Masales en el departamento de Caldas. Como objetivos específicos se tuvieron: Determinar la eficacia de la bioingeniería en la estabilización de laderas en el tiempo y en el espacio; establecer la eficiencia de las obras de bioingeniería, y hacer un análisis económico, de las obras de bioingeniería. Se encontró, que en los tres sitios donde se realizaron las obras de bioingeniería del suelo, los trabajos mostraron ser eficaces, eficientes, efectivos y económicos.

Palabras claves: Control de Erosión, control de movimientos masales, Bioingeniería del suelo.

ABSTRACT

The research was conducted in three contrasting regions in soil and climate of the Department of Caldas Colombia South America. The sites are: Rio Claro Viejo Township, Villamaría town, with coordinates N 04 ° 59 '58.7, W: 75 ° 33' 08.2 ", altitude 1450 m. Balmoral Township, Philadelphia Town, coordinates N: 05 ° 16 '02.16" W 75 ° 32'44 .30" altitude of 1650 m. Township of San Bartolomé, El Escobal, Pácora Town, with coordinates N: 05 ° 30 '10.2 ", W: 75 ° 32' 06.8", altitude 1710 meters. The importance of the work moved to the environmental problems currently presented in the Department of Caldas, the country and in many regions of the world, affected by severe soil erosion and masal movement, with catastrophic loss of life and property. This situation leads to the need to seek environmentally friendly alterative nature and consistent with medium, and low cost, such as soil bioengineering. The general objective was to determine the effectiveness of bioengineering in the prevention and erosion control and masal movements in the Caldas Department. Specific objectives were: To determine the efficacy of bioengineering in stabilizing slopes in time and space, to establish the efficiency of bioengineering works, and an economic analysis of the works of bioengineering. It was found that in the three sites where conducted soil bioengineering works, the work was proved to be effective, efficient, effective and economic.

Keywords: Erosion control, masal movements, Soil bioengineering.

INTRODUCCION

La erosión y los deslizamientos, son problemas degradativos, que avanzan en forma acelerada a nivel mundial, debido al mal uso y manejo de los suelos y las aguas, y a la ausencia de prácticas preventivas de conservación de estos recursos, como consecuencia del desconocimiento, negligencia Estatal y del crecimiento acelerado de la población mundial, que hace más presión sobre dichos recursos.

Colombia, como país atravesado por tres cordilleras, donde deriva su sustento el 78% de la población, requiere de una conciencia mayor en cuanto al uso y manejo de sus suelos y aguas, si se quiere tener un desarrollo sostenible en el tiempo y en el espacio.

Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1975) (FEDERACAFE, 1975), en el Departamento de Caldas, donde predominan suelos Jóvenes: Entisoles e Inceptisoles, con pendientes superiores al 100%, y de longitudes largas, mayores de 800 m y lluvias de intensidades altas (mayores de 75 mm h^{-1}) y frecuentes, se hace necesario tomar medidas preventivas de conservación de suelos, que eviten la problemática actual de erosión y deslizamientos. Cada año, se presentan emergencias a causa del invierno, las cuales, fundamentalmente se refieren a deslizamientos e inundaciones que dejan víctimas fatales, damnificados y millones de pesos en pérdidas; así como una inversión constante en obras de estabilidad. No obstante siempre se le imputa la responsabilidad a la naturaleza por tales hechos, pero existe un actor fundamental que es el hombre como causa principal de estos; por lo que es necesario ahondar y cuestionar sobre el manejo irracional de los recursos suelo y agua, y promover otras tecnologías diferentes a las convencionales que sean amigables con la naturaleza y de impacto ambiental positivo, que se presentan como una opción, que debe ser reconocida y utilizada por sus bondades, caso de la bioingeniería.

El papel de la vegetación en la estabilidad de laderas por desconocimiento generalizado, resulta muchas veces discutido, al punto que pueden encontrarse tanto defensores como detractores. En general, como señalan autores numerosos la vegetación interviene tanto en la estabilidad superficial como en lo profundo del perfil de los suelos, de una manera importante y

significativa. Su intervención es de tipo hidromecánica, y sus beneficios por estabilización o protección dependen del tipo de vegetación y del proceso degradativo del terreno. En el caso de la estabilidad de los movimientos en masa, los beneficios protectores al tener un manto vegetal son los de refuerzo mecánico por las raíces que ayudan a sostener o atar el suelo y permiten además la evaporación del agua a través de la evapotranspiración de las plantas.

Remover o aminorar la vegetación puede incrementar los índices de erosión y a la vez aumentar las frecuencias de daños por deslizamientos. A pesar de que la mayor parte de la vegetación ha ejercido una influencia beneficiosa en la estabilidad de las laderas, existen conceptos errados señalando que los árboles son pesados y aceleran procesos de movimiento en masa, sin un análisis profundo y sin revisar las causas verdaderas de los deslizamientos o problema de erosión.

En las áreas agropecuarias de la zona cafetera, es frecuente encontrar lotes planos o suavemente ondulados donde, el nivel freático permanece alto gran parte del año, manteniéndose el terreno encharcado, lo cual dificulta las labores de cultivo, impide el desarrollo normal de las plantas y como consecuencia disminuye las cosechas (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Federacafé, 1975).

Hay lotes que, aun siendo pendientes, permanecen saturados de agua en épocas lluviosas, debido a su capacidad de retención de humedad, o al contenido alto de arcillas plásticas de permeabilidad baja (Federacafé, 1975).

Los suelos con problemas de drenaje generalmente presentan en su perfil colores gris oliva, azul o moteamientos debidos a la baja o ninguna oxidación del hierro (Federacafé, 1975).

CAUSAS DE LOS PROBLEMAS DE MAL DRENAJE

Se pueden considerar cinco causas principales de mal drenaje de los lotes en las fincas (Federacafé, 1975):

- Topografía: Los encharcamientos se presentan en pendientes suaves o terrenos planos, debido a que no ocurre escorrentía, o esta es mínima, teniendo el agua de las lluvias todo el tiempo para infiltrarse.
- Suelo: Texturas finas, muy plásticas o impermeables; esto puede agravarse si el drenaje externo es malo.
- Escurrimiento: Aguas concentradas provenientes de lotes superiores.
- Inundaciones: Causadas por ríos o quebradas, que pasan contiguos a los predios y al mismo nivel de estos.
- Nacimientos o corrientes subterráneas: Responsables del nivel freático, mantienen encharcado continuamente el lote.

Puede existir una combinación de dos o más de estos fenómenos para producir la condición de mal drenaje.

Es difícil establecer una aplicación sistemática general para la elaboración de proyectos de drenaje, debido a la gran variedad de casos que pueden presentarse (Pizarro, 1978).

Los problemas más complicados de drenaje reclaman un reconocimiento y estudios preliminares más detallados, que determinen la fuente del agua perjudicial, como llega el agua a la zona anegada y cuales habrán de ser los criterios que se apliquen al trazado. Sin embargo, el sistema de drenaje sólo podrá proyectarse después que se haya identificado la naturaleza del problema (Servicio de Conservación de Suelos Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, 1979).

- **Drenaje como factor de estabilización**

El drenaje superficial y subsuperficial (drenajes horizontales) juegan un papel importante en la estabilización de los suelos contra las remociones masales.

La captación de aguas de escorrentía evita su concentración, su infiltración y elevación de los niveles freáticos, al igual que la captación de aguas de techos y aguas negras de viviendas, porquerizas, aguas de cunetas de carreteras y de beneficiaderos de caña, café, cacao etc.

El drenaje interno contribuye a la estabilización de masas de suelo ya que logra controlar el flujo de agua subterránea, al tiempo que reduce las presiones de poros y se aumenta la resistencia al cortante tangencial del material.

El drenaje interno permite el abatimiento del nivel freático que puede tener efecto benéfico no solo en las masas de lotes, taludes sino también en las capas inferiores de las carpetas o pavimentos de las carreteras y en los llenos o terraplenes (Federacafé, 1975).

Construcción de un sistema de drenaje (FEDERACAFÉ, 1975):

- **Drenajes abiertos:**

Un problema de encharcamiento se puede solucionar con este sistema mediante:

- ✓ Drenajes al azar: Se abren únicamente en los lugares donde hay encharcamiento y no siguen ningún patrón o pauta regular de distribución.
- ✓ Drenajes transversales a la pendiente: Se emplean solamente en terrenos de pendiente suave, donde el drenaje interno es deficiente. Son canales o acequias construidas en contorno con poco desnivel.
- ✓ Drenajes paralelos y en espina de pescado: Se emplean cuando el terreno encharcado es muy grande y uniforme, o el número de pequeñas depresiones es muy grande.

Los drenajes laterales secundarios deben desaguar en el principal formando ángulos de 45° a 60°.

- **Drenajes subterráneos:**

Son costosos y necesitan hacerse muy técnicamente para que funcionen. Se emplean zanjillas con piedra, tuberías de barro cocido, de gres, cemento, o PVC. Se excavan zanjas de 60 cm de ancho y de 50 a 80 cm de profundidad, con el desnivel de acuerdo a la pendiente exigida, mínima de 0,5 %.

Sobre el fondo perfilado se pone una capa de grava (2,5 a 4,0 cm) apisonada de 10 cm de espesor. Sobre el fondo de agregado se coloca la tubería de 5 a 6 pulgadas de diámetro, empataada a junta perdida, sólo con yute o costal sin pega. El relleno debe hacerse simultáneamente a ambos lados de los tubos evitando golpear la tubería. Al hacer los rellenos deben tomarse precauciones con las lluvias para que la compactación sea lo más uniforme posible.

El material de relleno hasta tapar la tubería es gravilla (0,5 a 1 cm de diámetro). Encima se coloca una capa de unos 20 cm con grava (2,4 a 5 cm de diámetro), luego una capa de 10 cm de arena y finalmente tierra excavada.

Para suelos arenosos o de pendientes suaves, se recomiendan tubos de 5 pulgadas de diámetro, y para suelos arcillosos de 6 pulgadas.

En suelos arcillosos, el movimiento del agua es muy lento y los tubos se colocan a menor profundidad y en hileras más juntas que en suelos sueltos.

En suelos arenosos, los tubos pueden colocarse en hileras más separadas y a mayor profundidad.

En general la distancia entre hileras de tubería, varía de 10 a 50 m. Los tubos deben ser bastante resistentes para soportar la presión del agua y el peso del suelo, ya que una vez enterrados no es posible reemplazarlos con facilidad.

- **Sistema de drenaje con filtros vivos**

Consiste en capas superpuestas de materiales vegetales de reproducción vegetativa fácil y rápida (rebrote de yemas entre 45 – 60 días), especialmente hechos con guadua (*Bambusa guadua*), nacedero (*Trichanthera gigantea*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*), entre otras especies, ubicados dentro de un sistema de drenaje abierto, en zanjas o brechas, que en algunos casos y dependiendo de la saturación del terreno, se pueden establecer en forma de espina de pescado (Rivera, 2011).

- **Localización de los sistemas de drenaje:**

En la localización de un sistema de drenaje también se debe tener en cuenta las causas del problema (Federacafé, 1975):

- ✓ Condiciones físicas del suelo. En suelos con baja capacidad de infiltración y texturas muy finas se deben construir los drenajes o zanjas principales, siguiendo las partes más bajas del terreno, o las partes donde hay cambios de topografía, es decir buscando las líneas de drenaje natural. Luego se construyen los laterales necesarios.
- ✓ Escurrimiento de aguas de predios superiores. Es necesario construir un drenaje de interceptación a manera de acequia de ladera o canal de desviación.

Inundaciones. Constituyen un problema de distinto orden en cuanto al tratamiento especial para el desecamiento de los suelos. Es muy difícil controlar estas inundaciones donde se presentan.

Nacimiento de aguas subterráneas. Pueden aplicarse los mismos tratamientos enunciados en el primer caso.

Influencia de las raíces de la vegetación en la estabilidad de suelos de ladera.

Un factor muy importante en la estabilidad de una ladera, es el apoyo que proporcionan las raíces de los árboles a la resistencia del suelo (FAO, 1990), ya que los sistemas radicales dan un armazón cohesivo, bien porque llegan a entrelazarse cuando alcanzan ciertos estados de desarrollo (raíces fasciculadas), o porque se insertan entre las grietas y aberturas de substratos más resistentes (raíces pivotantes), haciendo una especie de cosido de la capa superficial menos resistente a la subyacente más consistente, reduciéndose el riesgo de deslizamientos (Harcharik y Kunkle, 1978; Tragsa Y Tragsatec, 1994). El mayor o menor aporte que las raíces le proporcionen a la resistencia del suelo depende de la composición química y física del mismo y de la resistencia y morfología de las raíces.

De acuerdo con Rivera y Gómez (1992) los árboles con sistemas radicales muy profundos (mayores de 1,5 m) permiten un anclaje vertical y lateral mayor que el del café, amarrando los suelos para evitar su movimiento en masa ladera abajo.

Waldron, *et al*, (1983), sostienen que el efecto mecánico dado por las raíces de los árboles en la estabilización de laderas es mayor que el transmitido por las raíces de las coberturas herbáceas, probablemente debido a los hábitos de enraizamiento profundo y al tamaño mayor de las raíces de aquellos, tanto en diámetro como en longitud.

En términos generales la vegetación contribuye a la estabilidad de una ladera al darle al suelo un refuerzo mecánico a través de sus raíces y por modificar la distribución de la humedad dentro del suelo, y por consiguiente disminuyendo las presiones neutras o presiones de poros (Ziemer, 1981).

El efecto de refuerzo mecánico impartido por las raíces, se relaciona con la resistencia del suelo a esfuerzos de cortante tangencial, ya que se mejora ampliamente el valor de la cohesión. Además el anclaje que proporcionan las raíces y la penetración parcial del tallo, se asemeja a una pila de refuerzo que contrarresta las fuerzas paralelas a la pendiente, y el peso de la vegetación ejerce sobre el suelo una componente vertical que aumenta la carga normal y por consiguiente la resistencia al deslizamiento (O'Loughlin y Ziemer, 1982; Beltrán y Corredor 1989).

La razón principal para que se presente pérdida de estabilidad y aumento en la frecuencia de fallas en una ladera después de la tala del bosque es la pudrición de las raíces y su pérdida posterior de resistencia (Gray y Sotir, 1996; Megahan *et al*, citados por Krogstad, 1995), disminuyéndose ampliamente el factor de refuerzo adicional dado por ellas a la firmeza a esfuerzos de cortante tangencial (O'loughlin y Ziemer, 1982).

La influencia de los árboles en la estabilidad de laderas ha sido objeto de muchos estudios, especialmente el papel de las raíces en el reforzamiento de la resistencia al cortante del suelo, la cual ha sido estimada en la mayoría de los casos a partir de cuatro tipos de experimentos: Ensayos de raíces sometidas a esfuerzos de tracción, pruebas de resistencia a la extracción de sistemas radicales completos en el campo y ensayos de resistencia a esfuerzos de cortante tangencial del sistema suelo – raíces en el campo y en el laboratorio (Abe y Ziemer, 1991).

Para la realización de las pruebas de resistencia a esfuerzos de cortante en el campo se han empleado grandes cajas de corte metálicas, para aislar una muestra de suelo con raíces, a la cual se le aplican directamente una carga axial y una carga de corte horizontal hasta hacerla fallar. Las ventajas de este método, radican en que se puede determinar los parámetros de resistencia a esfuerzos de cortante del suelo (fricción y cohesión) directamente en el campo, con muestras de suelo relativamente intactas y representativas.

La mayoría de los desastres que se presentan en el mundo, tales como pérdidas materiales, de semovientes y vidas humanas, se deben al mal uso y manejo de los recursos suelo y agua por parte del hombre, debido a la tala y quema de los bosques que son actores fundamentales en la regulación hídrica, la emisión de gases que determinan el calentamiento del planeta que a su vez causa los derretimientos de los polos y los consabidos efectos, tales como: lluvias torrenciales, desbordamientos de ríos y quebradas, avenidas torrenciales, inundaciones, erosión y deslizamientos entre otros, y todos los demás procesos desatados por el hombre. Desastres, que podrían prevenirse con la toma de decisiones a nivel mundial y que implican capacitar no sólo a las comunidades sino a los gobernantes pero tomando conciencia de las acciones a emprender, y partiendo de que no es un compromiso local si no de todos los seres humanos, que son los que en definitiva recibirán la respuesta de la naturaleza ante el mal trato.

Dentro de todos los fenómenos que se presentan por ese mal uso y manejo de los recursos es frecuente observar que los suelos presentan erosión y movimientos en masa que son controlados con obras civiles perecedoras y sumamente costosas y que definitivamente rompen con la armonía natural y conceden un impacto negativo al paisaje, aunado a problemas que se presentan posteriormente por que colapsan en muchas ocasiones.

La bioingeniería aparece como una alternativa ya que se trata de una tecnología producto de la investigación científica, de la que se encuentran antecedentes desde la antigüedad, pero que no ha tenido un desarrollo amplio por que el término en ocasiones ha sido mal concebido o aplicado desde varias perspectivas.

La bioingeniería se refiere a la prevención y control de erosión, protección y estabilización de taludes, y problemas de movimientos masales con base en los parámetros de la Ecuación Universal de Erosión y de la Resistencia al Cortante Tangencial, que tienen en cuenta los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos de los fenómenos degradativos.

Lo anterior permite la construcción de estructuras totalmente vivas, usando diferentes partes de las plantas, tales como: raíces y tallos principalmente. La bioingeniería es considerada como algo único en el sentido que las mismas partes de las plantas (raíces y tallos) sirven como elementos mecánicos a la estructura principal en los sistemas de protección de laderas y se transforman a través del tiempo en obras vivas que cada día son más fuertes. Estas estructuras, se convierten en refuerzo mecánico, drenajes hidráulicos y barreras para contener la erosión y los movimientos masales (Rivera, 2009).

El presente estudio, buscó no solo evidenciar la importancia de la bioingeniería en la estabilización de los suelos a los problemas señalados, sino además, en su uso restaurativo y preventivo y en la posibilidad de que sean las mismas comunidades afectadas, las que aprendan anticipadamente a enfrentar estas situaciones, a través de la socialización, sensibilización, capacitación, concientización y priorización.

La investigación fue novedosa con la que se demostró la efectividad de la bioingeniería con base en el análisis de casos exitosos.

JUSTIFICACION

La justificación del trabajo radica en que el departamento de Caldas ha crecido en los últimos años en infraestructura, pero igualmente se han incrementado las situaciones de riesgo que ponen en alerta a las instituciones y obligan a un despliegue de capital humano y material para enfrentarlo y resolverlo, con recursos millonarios que son del Fondo Nacional de Regalías cuya destinación son para salud y educación, y que están siendo destinados para obras de estabilidad en las últimas emergencias invernales en el departamento, convirtiéndose en un problema de nunca acabar ya que se sigue interviniendo para construcción de vivienda, zonas con vulnerabilidad alta a la erosión y los deslizamientos, dando lugar a que cada año se presenten problemas nuevos que no solo influyen en la sostenibilidad de los recursos suelo y agua, sino en general en el medio ambiente del Departamento y en un desarrollo insostenible. Existe en el país y muchas regiones del mundo, un desconocimiento generalizado de la problemática ambiental relacionada con la erosión y los deslizamientos en las zonas de laderas tropicales, muchas veces confundiendo los dos procesos, lo que ha conducido a soluciones empíricas basadas por lo general en las relaciones ensayo-error, donde se atacan únicamente los efectos más no las causas de los problemas, con tratamientos monodisciplinarios olvidándose que el manejo de esta problemática debe ser integral a la luz de las relaciones: roca-suelo-topografía-clima-vegetación-animal-infraestructura-hombre, que se desarrolla con la bioingeniería.

En procesos de bioingeniería ya establecidos, se ha demostrado ventajas en su utilización especialmente por el logro de la estabilización de procesos avanzados de degradación en tiempo corto (menor de 3 meses), con obras sencillas acordes con el medio ambiente y a un costo bajo de 2 al 15%, en relación con los de las obras ingenieriles convencionales de concreto. Estos tratamientos se convierten a través del tiempo en obras vivas no perecederas y acordes con el entorno natural, sin causar impacto ambiental negativo. *“Los tratamientos con base en ésta tecnología, cuidan el paisaje natural, usa elementos del entorno, y potencializa la restauración de la naturaleza usando su lógica en los procesos de estabilización, esa es la diferencia con las obras convencionales de concreto, que en principio impactan negativamente con el paisaje”.*(Rivera,2008). Por ello con el presente trabajo se realizó una evaluación de la

bioingeniería que permitió evidenciar su efectividad y opción alternativa, prioritaria para el país y el mundo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la efectividad de la bioingeniería en la prevención y control de la erosión y movimientos Masales en el departamento de Caldas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la eficacia de la bioingeniería en la estabilización de laderas en el tiempo y en el espacio.
- ✓ Establecer la eficiencia de las obras de bioingeniería.
- ✓ Efectuar un análisis económico, de las obras de bioingeniería.

HIPOTESIS

Las Técnicas de Bioingeniería, permiten prevenir y controlar los problemas de erosión y movimientos masales, con el uso de recursos vegetales vivos y propios de cada región.

SUPUESTOS Y CATEGORÍAS DE ANÁLISIS

Supuestos: La evaluación de la efectividad de la Bioingeniería, en la estabilización de problemas de erosión y movimientos masales, se fundamenta principalmente en un buen inventario y diagnóstico de los procesos, de tal suerte que permita encontrar la relación: Causa – Efecto de los procesos degradativos, y así mismo, sus soluciones más eficaces y eficientes, en tres lugares contrastantes del Departamento de Caldas.

Categorías de análisis: Para lograr las soluciones en forma eficaz y eficiente, se plantearon las categorías siguientes de análisis integrales y sistémicos de cada uno de los sitios de estudio, a la luz de las relaciones siguientes:

ROCA: Permite analizar el conjunto y tipo de materiales parentales característicos de las diferentes áreas que hacen parte de los sitios estudiados y que inciden en los procesos degradativos de erosión y movimientos masales.

SUELO: A través del conocimiento de sus propiedades Físicas, Químicas y Biológicas intrínsecas se permite conocer su susceptibilidad y resistencia a los procesos degradativos por erosión y movimientos masales en cada uno de los tres sitios de estudio.

GRADO Y LONGITUD DE LA PENDIENTE: Su conocimiento permite formarse una idea clara de la topografía de la región, el movimiento del agua en suelo y los tiempos de concentración en la misma, lo que puede influir en la susceptibilidad del suelo a la erosión y a los movimientos masales, y a la orientación del uso, manejo y conservación.

CLIMA: Permite determinar aspectos relacionados con la Intensidad, Duración, y Frecuencia de las lluvias, calcular índices de erosividad o agresividad de las lluvias contra la erosión, períodos de retorno de las intensidades máximas de las lluvias, para calcular los caudales máximos y con ellos canales evacuadores de aguas de escorrentía entre otros.

PLANTA: Permite determinar las especies vegetales y su papel en la prevención y control de los procesos de degradación por erosión y movimientos masales.

ANIMAL: Se analizan las especies típicas del área en estudio, que puedan estar influyendo en un momento dado en los procesos degradativos por erosión y o movimientos masales.

INFRAESTRUCTURA: Se relaciona con el análisis de las obras civiles de concreto y de bioingeniería existentes en la región, tales, como redes de acueducto, alcantarillado, viviendas, puentes, cajas colectoras de aguas de escorrentía, presencia de pozos sépticos, plaquetas de concreto sobre las laderas, gavionería y vías entre otras y la efectividad de estas en la estabilización de cada uno de los sitios de estudio y sus áreas de influencia.

FACTOR HUMANO: Se refiere a la actividad antrópica que incide en la degradación de los recursos naturales, entre ellos las prácticas inadecuadas de uso, manejo y conservación de los suelos y aguas, en los sitios de estudio, además de aspectos organizacionales de la comunidad y su concepto e interacción con las obras construidas en la zona.

CAPÍTULO I.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROBLEMA

Colombia, tiene 114.174.800 hectáreas con gran variedad de climas y suelos, los cuales conforman 7 regiones naturales: Caribe con 10.128.200 hectáreas que representa el 8,87% del país; Pacífico 6.443.400 hectáreas (5,64%); Región Andina 30.914.925 hectáreas (27,1%) en la cual está localizada la zona Cafetera colombiana; Valles interandinos 3.710.075 hectáreas (3,25%); Orinoquía 23.096.725 hectáreas (20,23%); Amazonía 39.875.334 hectáreas (34,90%), e insular 6.141 hectáreas (0,01%) (Cortés, 1982).

Aproximadamente el 78% de la población Colombiana se encuentra localizada en la zona Andina. Este porcentaje alto de población se localiza en las regiones de ladera y pequeños valles intramontañosos, debido a factores de orden histórico, socioeconómico, climático y la productividad alta de los suelos desarrollados la mayoría a partir de cenizas volcánicas, las cuales se presentan en grandes áreas de las cordilleras Central y Occidental y en algunos sectores de la Oriental (Gómez, 1989).

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi efectuó un estudio de los suelos colombianos con base en las 8 clases agrológicas, definidas por el Departamento de Agricultura de E.E.U.U. y modificada por el mismo instituto, las cuales determinan sus aptitudes y potencialidades de uso; según esta clasificación, el 75% del territorio colombiano estudiado (52.774.039 hectáreas) estaría entre las clases VI, VII y VIII. En las cordilleras Andinas este porcentaje es del 89%, el cual debiera ser utilizado con pastizales, bosques, áreas de recreación (parques nacionales) y de protección (reservas forestales) y es limitativo, según este sistema, para cualquier otro tipo de cultivos productivos (Gómez, 1979).

Restringir, según Gómez (1989), el uso de estos suelos solo a bosques, pastos y reservas forestales es imposible debido a la gran cantidad de habitantes que residen y derivan el sustento de ellos. Por lo cual, es un reto técnico, necesario, buscar alternativas y sistemas de clasificación

para las tierras de ladera, ejemplo índices de uso y manejo IUM (Gómez, 1979), orientación a través de la ecuación universal de erosión (Wischmeier y Smith, 1978), para darle a estos suelos un uso y manejo apropiados, de tal manera que permita una producción sostenida de alimentos, con niveles tolerables de pérdida de suelo por erosión, mediante una buena conservación. Es decir, la conservación del suelo en la zona Andina debe ser inherente o parte principal de la explotación racional de los sistemas de producción, con tecnología apropiada al medio y al agricultor, o adoptando tecnología moderna para ser más eficiente en la ladera sin deteriorar el medio (Gómez, 1989).

La zona cafetera colombiana (8.500.000 ha, 1.009.000 ha en café), está localizada en las laderas de las tres cordilleras que atraviesan el país de sur a norte, desde 1 a 10° de latitud norte, dentro de la faja altitudinal comprendida entre 1000 y 2000 m. En general, la zona mejor para el cultivo del café está entre 1.200 y 1.700 m de altitud (bosque muy húmedo pre-montano) (Rivera, 1999b).

Los Andes son jóvenes, tectónicamente hablando. Su relieve topográfico abrupto, actividad sísmica y extenso vulcanismo, combinado con una meteorización profunda, conllevan a una alta e inusual incidencia de amenazas por movimientos en masa. Los movimientos en masa son procesos importantes en los países andinos y literalmente significan una pesada carga para sus habitantes. De hecho, algunos de los peores desastres asociados a movimientos en masa en el mundo han ocurrido en la región Andina: los flujos de detritos de Vargas, Venezuela, ocurridos en 1999, con alrededor de 15.000 víctimas, el lahar de Armero, Colombia, ocurrido en 1992, con 23.000 víctimas y la avalancha de roca y hielo/flujo de detritos de 1970 en el Nevado Huascarán, Perú que se llevó 18.000 vidas. Además de estos grandes eventos, cientos de pequeños movimientos en masa interrumpen las actividades normales en ciudades, pueblos y carreteras todos los años, provocando daños y muerte a sus habitantes y causando serias pérdidas económicas (PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS. 2007).

En el año de 1999, el IDEAM, reportó para el país un total de 417 movimientos masales, los cuales dejaron 235 muertos, 437 heridos y 9937 damnificados, además de afectar 2348 viviendas y 49 puentes (IDEAM, 2000).

Las regiones montañosas, como la región Andina Colombiana, son muy vulnerables a la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos y avalanchas, debido a que en la mayor parte de la zona se presentan los principales factores desestabilizadores como las fuertes pendientes, las altas precipitaciones y el desmonte de la vegetación para el establecimiento de pastos y cultivos agrícolas sin ningún tipo de prácticas de conservación de suelos (Royo, 1987; Montero, 1993; Gray y Sotir, 1996).

El 40% del territorio colombiano presenta erosión de muy ligera a muy severa y la zona Andina, donde se encuentra la región cafetera colombiana, es la más afectada con un 88% de erosión hídrica (Olmos y Montenegro (1987). La pérdida de suelo crece de año en año, debido a la presión demográfica, falta de conocimiento sobre la metodología para evaluar la erosión potencial, con un buen rango de acierto para orientar a los agricultores, al gobierno e instituciones afines, en la toma de decisiones más acertadas y acordes con el medio Tropical.

Las pérdidas de suelo ocasionadas por remociones en masa están controladas por el equilibrio entre los factores estabilizadores o condicionantes (fuerza de las raíces, cohesión) y los factores desestabilizadores o desencadenantes (pendiente, fuerzas de infiltración, nivel freático). Otra forma para explicar esta relación es la magnitud relativa de la resistencia al cortante contra el esfuerzo cortante. Cuando el esfuerzo cortante es menor o igual que la resistencia al cortante, el suelo se mantendrá estable; cuando el esfuerzo es mayor que la resistencia el suelo entonces fallará (FAO, 1990).

El recurso suelo a nivel mundial y especialmente en Colombia, ha sido relegado y no ha tenido un reconocimiento y un desarrollo en materia de gestión como otros recursos naturales. La sostenibilidad ambiental en el país, al igual que en el Departamento de Caldas, se ha visto alterada por el deterioro progresivo del medio ambiente y la disminución paulatina de los recursos naturales. El suelo no es ajeno y por su marginalidad se ve sometido a una degradación

constante sin contar con herramientas suficientes para protegerlo y evitar el mal manejo que se le da, pese a existir investigación científica al respecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y su relación con la resistencia y susceptibilidad de los mismos a la erosión y movimientos masales (Rivera, 1999).

En la legislación ambiental, está consagrado en unos pocos artículos del Código Nacional de recursos Naturales- Ley 2811 de 1974. No es conocido ningún decreto reglamentario que desarrolle en particular el tema. Y es normal observar que el recurso suelo se identifique con el territorio como tal y se dirija su control en los planes de ordenamiento territorial pero referido a la construcción y zonas de expansión como medios de ordenación del suelo. En los Planes de desarrollo y en las Políticas Ambientales es común que no se haga despliegue de este como recurso natural.

CORPOCALDAS en su diagnóstico ambiental 2013 – 2015

(http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1257/Diagnostico_del_Plan_de_Accion_2013-2015.p... consulta realizada en Diciembre 6 de 2013.), afirma que entendiendo el riesgo como la probabilidad de pérdidas humanas, sociales, económicas y ambientales que pueden derivarse de la ocurrencia de un evento catastrófico o amenazante, sobre algunos elementos propensos al daño (personas, viviendas, bienes materiales, obras de infraestructura, redes de servicios públicos y el medio ambiente) y en términos teóricos como el producto de los dos factores antes mencionados (la amenaza y la vulnerabilidad), y los desastres como la manifestación real y explícita del riesgo, se puede, concluir que la mayor parte del área del Departamento de Caldas, está sometida a la ocurrencia de desastres naturales, como: procesos erosivos y deslizamientos; fenómenos de transporte en masa (flujos de tierra, escombros y lodo; avalanchas); inundaciones e incendios forestales..

De acuerdo con CORPOCALDAS, el Departamento de caldas es uno de los más afectados del país por diferentes eventos naturales, tales como: sismos, deslizamientos, volcanes e inundaciones. Según la misma corporación, en las últimas cinco décadas, se han presentado cerca de mil deslizamientos, en los diferentes municipios del Departamento. En Manizales por ejemplo, en el año 2003, en solo tres días, se presentaron por efecto de las lluvias, 40 muertes, 100 personas heridas, afectación de 45 sectores de la ciudad, destrucción de más de 200 viviendas, y evacuación preventiva de 1400 viviendas

(<http://idea.unalmzl.edu.co/conferencias/19/Corpocaldas.pdf>, consultado en Diciembre 6 de 2013). Así mismo, Colombia humanitaria

(<http://www.colombiahumanitaria.gov.co/FNC/Documents/2011/presentaciones/caldas.pdf>), en su rendición de cuentas sobre la atención de la emergencia invernal 2010 – 2011, destaca como principales eventos presentados en el departamento de caldas:

- deslizamientos (70%)
- inundaciones (lentas y súbitas) (30%)
- vientos fuertes (26%)

Dentro de los municipios afectados:

- Con deslizamientos (Manizales, Villamaría, Chinchiná, Neira, Aranzazu, Salamina, Pacora, Aguadas, Riosucio, Supía, Marmato, La Merced, manzanares, Marquetalia Pensilvania, Samaná, Anserma, Risaralda, San José)
- Con inundaciones (La Dorada, Palestina, Viterbo, Manizales, Villamaría, Pácora, Supía, Norcasia).

•Vientos fuertes (Belalcázar, Anserma, Risaralda, San José, Salamina, Manzanares, Samaná).

Dentro de la población caldense afectada por el fenómeno de la niña 2010 – 2011, se tiene:

- Familias afectadas 6.253
- Personas evacuadas 2.054
- Viviendas destruidas 214
- Víctimas 50
- Desaparecidos 6
- Heridos 27

Las raíces de las plantas aumentan la resistencia a la ruptura del suelo, en forma directa por reforzamiento mecánico e indirectamente por la extracción del agua del suelo por transpiración (Waldron, 1977), haciendo que este permanezca en condición de campo, es decir con un contenido de humedad que permita el desarrollo normal de las plantas. El refuerzo mecánico se manifiesta en un aumento considerable en la componente cohesiva del suelo, debido al peso de la vegetación y a la interacción entre el suelo y las raíces (O'Loughlin y Ziemer, 1982). De ahí, que la vegetación al remover cantidades considerables de agua del suelo por evapotranspiración, disminuye su presión de poros. Por consiguiente cuando se remueve la vegetación se acelera la ocurrencia de deslizamientos, debido a que se aumentan las presiones intersticiales que disminuyen la resistencia a la ruptura del suelo en un 60% (Swanston, 1969; citado por Ziemer, 1981).

Por otra parte, el establecimiento de coberturas “nobles” o arvenses “nobles” definidas como especies vegetales con características de poca o ninguna agresividad a los cultivos, permite la conservación del recurso suelo. El establecimiento de coberturas protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, principal causante de la erosión de los suelos cafeteros colombianos

(Rivera, 2006), minimizan la energía cinética tanto eólica como de las gotas de lluvia, protegiendo eficazmente el suelo contra la erosión.

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Los cultivos y la erosión de los suelos.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 1982a, durante cinco años realizó varios trabajos con el fin de determinar las pérdidas de suelo por erosión en cultivos de semibosque (café), densos (caña y pasto) y limpios (yuca y piña), establecidos en suelos de la consociación Chinchiná (Melanudands), con pendiente del 60%, bajo diferentes sistemas de manejo. Se encontró que el uso (tipo de cultivo) y el manejo tienen que ver con las pérdidas mayores o menores de suelo por erosión. En el primer año, entre más denso es el cultivo (caña de azúcar y pasto pangola) y menos drásticas sean las desyerbas, se presenta menos erosión $0,71$ y $0,63 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ respectivamente, calificada como natural. A medida que crece el cultivo y se cierra, las pérdidas tienden a ser menores en todos los sistemas de producción estudiados a través del tiempo.

En otros experimentos, se encontró, que entre más denso el cultivo (potrero), menores son las pérdidas de suelo ($0,55$ y $0,54 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, naturales en el primer y segundo año respectivamente), contrastando con un cafetal ($17,5$, muy alta y $3,4 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, media en el primer y segundo año respectivamente). En el caso de la escorrentía, es mayor en el potrero (546 y 400 mm para el primer y segundo año respectivamente), que en el cafetal (247 y 240 mm en el primer y segundo año respectivamente), ya que en el pasto por su cubrimiento denso, se disminuye significativamente la infiltración (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1982a)

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, ha venido trabajando en la determinación de los factores: R, índice de erosividad de las lluvias, mediante el uso de los índices de erosión pluvial de Fournier (1960) y de Hudson (1982); K, susceptibilidad del suelo a la erosión, a través de índices de erodabilidad; L, longitud de la pendiente; S, grado de la

pendiente; C, uso en cultivo y P, prácticas de conservación de suelos, en parcelas de escorrentía diseñadas para estudiar y evaluar el comportamiento de estos parámetros en la zona Cafetera central colombiana, en suelos de ladera (Melanudands), bajo diversos sistemas de producción de café y de otros cultivos (Suárez de Castro 1980, Gómez 1987, Rivera 1990). Sin embargo, los datos reales de erosión no han podido ser reproducidos por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, debido a la especificidad del medio tropical.

Rivera (1990), determinó para la zona cafetera central (Caldas, Quindío y Risaralda), el factor erodabilidad, en forma indirecta utilizando la ecuación propuesta por Wischmeier y Smith (1978), la cual permite determinar el factor erodabilidad de los suelos con contenidos máximos de materia orgánica del 12%. Esto limita su uso para gran cantidad de suelos de la zona cafetera con cantidades de materia orgánica superiores a dicho valor. Esta situación conduce a la necesidad de trabajar con ecuaciones que lleven intrínsecos los procesos, los cuales si son universales, caso de la WEPP.

En la zona cafetera colombiana la lluvia es el principal agente activo natural de la erosión (erosividad), debido a la frecuencia y a la energía cinética de los aguaceros por su intensidad alta. La erosión se ve favorecida, además, por las pendientes fuertes (mayores del 75%) y longitudes del terreno muy largas (Mayores de 800 m) y la heterogeneidad y juventud de los suelos (entisoles e inceptisoles), en su mayoría susceptible a la erosión (Federacafé, 1975).

La Erosión y los movimientos masales se han constituido en uno de los fenómenos naturales más destructivos que afectan a los humanos en el mundo, causando grandes catástrofes, víctimas humanas y pérdidas por miles de millones de dólares cada año, tanto en zonas urbanas como rurales (Blume, *et al*, 1998; citado por Suárez, 1998). Se estima que las pérdidas causadas, constituyen una cuarta parte de las totales ocasionadas por desastres naturales, ya que se causan grandes daños a instalaciones, propiedades y vías de transporte y se pierden extensas áreas de suelos agrícolas y forestales (Van Westen, 1994; Gray y Sotir, 1996).

La causa principal para que se activen todo tipo de movimientos masales en suelos de ladera, es el desmonte de las coberturas arbórea y arbustiva, ya que generalmente después de

cortada la vegetación, entre 4 y 10 años se desencadena un gran número de derrumbes y deslizamientos, que van aumentando su número a través del tiempo, es decir a medida que las raíces se descomponen en el interior del suelo (Megahan *et al.*, 1978, citados por Krogstad, 1995; Flórez, 1986).

Las regiones montañosas, como la Andina Colombiana, son muy vulnerables a la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos y avenidas, debido a que en la mayor parte de la zona se presentan los factores principales desestabilizadores como las pendientes fuertes, las precipitaciones altas y el desmonte de la vegetación para el establecimiento de pastos y cultivos agrícolas sin ningún tipo de prácticas de conservación de suelos (Royo, 1987; Montero, 1993; Gray y Sotir, 1996).

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad del suelo se debe a que en los horizontes más superficiales, el sistema radical conforma una malla densa de fibras resistentes que refuerza la capa de suelo manteniéndola en el sitio, o uniéndola a materiales más estables, mientras la raíz pivotante actúa como un anclaje en forma de columna que evita el desplazamiento de los horizontes más profundos (Waldron, 1977; O'loughlin y Ziemer, 1982; Waldron y Dakessian, 1981; Flórez, 1986; Abe y Ziemer, 1991; Sidle, 1991; Phillips y Watson, 1994; Krogstad, 1995; Hoyos y Mejía, 1999).

Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1982a), las coberturas vegetales y las “Arvenses nobles” presentan la eficiencia máxima (95 a 97%) como prácticas de conservación de suelos.

Las “Arvenses nobles” son plantas de porte bajo de crecimiento rastrero o decumbente, con raíz fasciculada rala superficial o pivotante rala, con cubrimiento denso del suelo. Protegen el suelo de la energía erosiva de la lluvia, no interfieren el café en la producción si no están presentes en la zona de raíces. Es la práctica preventiva de la erosión que ofrece más eficiencia y factibilidad económica para establecerla mediante el manejo integrado de Arvenses (Plantas que acompañan los cultivos). (Gómez, 1990).

Suárez de Castro y Rodríguez (1962), Gómez y Rivera (1987) y Gómez (1990a) han estudiado las arvenses nobles, encontrando 25 recolectadas en cafetales de Colombia, 17 de las cuales fueron descritas por Gómez y Rivera, 1987; 1995.

Las desyerbas de cafetales como las viene realizando actualmente el agricultor, con machete, azadón o con herbicida, son uno de los agentes principales de erosión de los suelos.

Según investigaciones de Cenicafé (Gómez 1990), el manejo integrado de arvenses (manual, mecánico, químico), ha reducido las pérdidas de suelo por erosión a niveles cercanos o menores de $1 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, sin disminuciones de producción. Con el manejo integrado se logra en poco tiempo una dominancia poblacional de coberturas “nobles”.

Partiendo de la importancia de la vegetación en la estabilidad de las laderas, la bioingeniería es considerada única, ya que las mismas partes de las plantas (raíces y tallos) sirven como elementos mecánicos a la estructura principal en los sistemas de protección de laderas y se transforman a través del tiempo en obras vivas que cada día son más fuertes. Estas estructuras, se convierten en refuerzo mecánico, drenaje hidráulico y barreras para contener la erosión y los movimientos masales. (Rivera, 2006). Es por esto que nace la bioingeniería, la cual se refiere a la prevención y control de erosión, protección y estabilización de taludes, y problemas de movimientos masales con base en los parámetros de la Ecuación Universal de Erosión y de la Resistencia al Cortante Tangencial, que tienen en cuenta los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos de los fenómenos degradativos. (Rivera, 2006).

De esta forma es como surgen la *Estabilización Biotecnológica (EB)* y *Bioingeniería del Suelo (BS)*, técnicas para tratamiento de taludes y en general terrenos con pendientes altas, en las que se utiliza como elemento principal de estabilización y control de erosión la vegetación. La Estabilización Biotecnológica hace mención a la utilización combinada de materiales *vegetales vivos* y *componentes mecánicos o estructurales inertes*. Los componentes inertes incluyen una gama amplia de materiales como hormigón, madera, piedra, geotextiles y geomallas. Por su parte la Bioingeniería del Suelo es un término más bien específico que se refiere a la utilización de plantas completas o tallos, fracciones de tallos, raíces o ramas con *capacidad de enraizar* y

desarrollar una planta adulta completa - como elementos principales y únicos en la estabilización de taludes. La acción de la vegetación puede potenciarse mediante el uso de geotextiles o geomallas de protección superficial. Técnicas como el estaquillado o las fajinas, técnicas utilizadas en la protección de las orillas de cursos de agua, están englobadas en esta categoría.

Las características climáticas y ambientales han facilitado el desarrollo de tecnologías propias para el control de erosión y los deslizamientos. Entre las tecnologías utilizadas se encuentran la bioingeniería, especialmente utilizando pastos, vetiver, bambú o guadua y árboles, las obras de manejo de aguas de escorrentía, cortacorrientes, canales revestidos en piedra y en concreto, torrenteras, barreras de vegetación, revegetalización con tela de fibra de cabuya (fique), utilización de bambú con malla metálica, colocación de suelos orgánicos, los “trinchos”, los taludes reforzados con geotextiles, los gaviones de piedra y con bolsas de arena, el bolsacreto y los exápodos de concreto armado. La mayoría de las tecnologías utilizadas en Colombia son adaptaciones locales (Suarez, 1998).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. LA EROSIÓN SUPERFICIAL DE LOS SUELOS.

Ellison (1947), citado por Hudson (1982), define la erosión como el proceso de separación, transporte y depósito de los materiales del suelo por los agentes causantes, tales como la lluvia, el viento y el hombre. Este último debe, a través de la educación y la adopción de tecnología apropiada, convertirse en un agente de conservación del suelo y del medio ambiente (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FEDERACAFÉ, 1975).

El efecto combinado de las tres etapas se expresa en términos de peso o volumen por unidad de superficie y tiempo ($\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), valor que se conoce como erosión anual. En Colombia el 97% de la erosión de los suelos es causada por la lluvia, en la zona cafetera ésta es determinante del fenómeno (FEDERACAFÉ, 1975).

2.1.1. Factores que intervienen en el proceso de erosión.

Suárez de Castro y Rodríguez (1962), manifiestan que la erosión de los suelos como fenómeno físico, es un proceso multicondicionado, en el que intervienen diversos factores que influyen en la planeación del uso, manejo y conservación de los suelos:

- ✓ **Factor lluvia:** Que actúa como elemento activo

- ✓ **Factor suelo:** Que obra como un elemento pasivo, localizado en determinadas condiciones de pendiente y longitud. La susceptibilidad del suelo a la acción del agua depende de sus propiedades tales como: Presencia de horizonte orgánico; textura; desarrollo, grado y estabilidad de la estructura; uniformidad física de los horizontes y profundidad; la densidad aparente y la permeabilidad. Estas propiedades dependen a su vez de la pedogénesis del material de origen (Gómez, 1979).

- ✓ **Factor atemperante:** La vegetación como cobertura simple o multistrata y las prácticas de conservación de los suelos, se comportan como intermediarios que atemperan y normalizan las relaciones entre la lluvia y el suelo, como consecuencia de la protección o desprotección que ofrecen al suelo los diferentes grupos de cultivos, en función de la cobertura vegetal que forman y el tipo de labores de manejo que requieren (Gómez 1979). Por lo tanto el fenómeno de la erosión puede expresarse con el siguiente modelo matemático:

- ✓ **Erosión:** $\sim f(\text{Activos, Pasivos, Atemperantes})$.

Los factores climáticos (intensidad, duración y frecuencia de las lluvias), el suelo (susceptibilidad a la erosión), la pendiente (grado y longitud) y el uso y manejo que se le dé al mismo mediante los sistemas de producción, interactúan para favorecer la erosión con la intervención del hombre (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Federacafé, 1975). Pero las prácticas preventivas de conservación de suelos disminuyen significativamente ésta, reduciéndola a niveles por debajo de los tolerables dados por varios autores, como se ha encontrado en trabajos de investigación de Cenicafe desde 1947 (Suárez de Castro y Rodríguez, 1962, Federacafé, 1975 y 1982, Suárez de Castro 1980, Gómez 1987).

2.1.2. Ecuación Universal de erosión.

Según Meyer, 1984, la USLE, conocida como Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos por Erosión (EUPS), es la técnica disponible más comprensible para uso en el campo en la estimación de la erosión en terrenos cultivados. Involucra seis factores que afectan la erosión del suelo por el agua: Erosividad de las lluvias (R), Erodabilidad del Suelo (K), Grado y Longitud de la Pendiente (SL), Cultivo (C) y Técnicas de Manejo y Prácticas de Conservación de Suelos (P). Este es un procedimiento metodológico desarrollado de los análisis estadísticos de datos anuales provenientes de más de 10.000 parcelas de escorrentía de cerca de 50 localidades en 24 Estados de los Estados Unidos.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo por erosión, que establecieron Wischmeier y Smith (1978), permite evaluar las pérdidas de suelo por erosión laminar y en surcos mediante el modelo matemático $A = R K L S C P$; el cual según Rivera (1997) debe tener validez universal de acuerdo con las funciones de los seis factores propuestos; sin embargo, su aplicación está limitada a estados y países donde la información está disponible para evaluaciones locales de los factores individuales de la ecuación. Los efectos naturales indicados de topografía, cobertura y variables de manejo, son probablemente universales, pero no se ha demostrado que la relación específica para L, S y C, derivados de los principales suelos de los Estados Unidos, sean necesariamente correctos para suelos diferentes tales como aquellos de origen volcánico.

Esta ecuación muestra claramente que dentro de los seis parámetros que afectan la erosión, hay dos de ellos netamente naturales, que no puede modificar el hombre y son la Erosividad de las lluvias (R), y la Erodabilidad del suelo (K) la cual está influenciada por sus propiedades físicas, químicas y biológicas intrínsecas. La determinación de estos dos parámetros, permite calcular la erosión potencial de una región. Esta ecuación, también muestra que a los procesos erosivos, la mejor manera de prevenirlos o controlarlos, es con una buena cobertura vegetal, que es la más eficiente.

2.2. MOVIMIENTOS MASALES O DESLIZAMIENTOS

Son los desplazamientos de masas o bloques de suelo, causados por exceso de infiltración del agua en el terreno hasta alcanzar la saturación del mismo y por efecto de la fuerza de gravedad (Federacafé, 1975).

Ocurren generalmente por saturación de las capas superiores que aumentan de peso y cuando la pendiente es favorable y hay movimientos de agua en las capas inferiores, formando planos de deslizamiento.

La saturación es favorecida por el exceso de lluvia, o cuando se vierten aguas de escorrentía de áreas superiores en terrenos poco estables, o muy permeables, o por nacimientos de aguas.

En terrenos de pendiente abrupta y suelos poco estructurados e inestables, deben mantenerse coberturas vegetales adecuadas, propiciar la evacuación de aguas y evitar que les lleguen aguas sobrantes de beneficios, cunetas, alcantarillados o canales de escorrentía de áreas superiores. Se debe evitar las construcciones cerca de ellos y socavamientos en su base.

También se presentan movimientos masales por socavamientos en la base de taludes de carreteras, que alteran el ángulo de reposo o de equilibrio de los materiales de los taludes cuando se construyen sin estudios previos.

Asimismo hay movimientos masales en las banquetas de las vías que se conocen como “negativos”, ocasionados por el vertimiento de aguas concentradas sobre áreas inestables o cauces desprotegidos, o infiltraciones por falta de cunetas y obras de drenaje. Igualmente por la misma construcción de la vía si hay zonas construidas sin descapote previo antes de los rellenos, o si los rellenos no fueron bien hechos o se hicieron con materiales orgánicos (Suelo orgánico, capote, basuras, residuos de cosechas etc.).

Por lo general los movimientos masales son conocidos como volcanes por el común de las gentes. Los movimientos masales, toman nombres diversos (deslizamientos, derrumbes, coladas de barro, solifluxión, hundimientos desprendimientos y desplomes) (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Federacafé, 1975), los cuales dependen del grado de saturación del terreno, velocidad del desplazamiento, profundidad de la masa desplazada y grado y longitud de la pendiente del terreno. Por tanto, Dolffus (1973) los agrupa con el nombre de golpes de cuchara, por sus dimensiones siempre pequeñas, profundidad escasa y su relación directa con la intervención del hombre.

2.3. Tratamientos biológicos en la estabilización de laderas.

De acuerdo con Watson *et. al* (1999), para la selección de especies en la estabilización de laderas, se debe hacer una valoración detallada de sus cualidades específicas bajo el suelo y que puedan ser usados en el control de los movimientos masales, ya que en la mayoría de los casos estas especies se seleccionan al azar o teniendo en cuenta solo características como su

disponibilidad inmediata, tolerancia a la sequía, rango altitudinal, o simplemente mediante la suposición de sus características bajo el suelo a partir de las observaciones de su crecimiento en la superficie, antes que en su desempeño en términos de estabilización.

Lo mismo que sucede con el estudio de los sitios, la elección de las especies vegetales para la rehabilitación de suelos degradados, es de gran importancia. Algunas características a tener en cuenta son: adaptación y crecimiento rápido en lugares empobrecidos, un sistema radical robusto y con raíces profundas en el caso de movimientos en masa, necesidad de poco mantenimiento, facilidades para su establecimiento a través de material vegetativo. Además si se comparan los tratamientos biológicos con las medidas mecánicas, se logran ventajas enormes como: un menor costo, menos actividades de mantenimiento, y una lucha que resulta más eficaz con cada año de crecimiento de las plantas (Harcharik y Kunkle, 1978).

Otra gran ventaja que ofrece la vegetación forestal, es su aporte positivo en la regulación del balance hídrico del suelo (sobre todo en sistemas agroforestales), ayudando así a disminuir los contenidos de humedad y las presiones de poros que reducen la resistencia del suelo a esfuerzos de cortante tangencial. Las investigaciones de Inforzato y Franco (1951) citados por Barrera, 2003, determinaron 593 mm/a de evapotranspiración para el monocultivo de *Coffea arabica* y 1120 mm/a en la asociación de este con *Inga edulis*. Doorenbos y Pruitt (1984) citados por Imbach *et al*, 1989, consideran que la evapotranspiración en cultivos de café oscila entre 800 y 1200 mm/a. (Inforzato y Franco, 1951; Doorenbos y Pruitt, 1984; citados por Imbach *et al*, 1989). Este mismo autor, encontró que la evapotranspiración anual para los sistemas *Coffea arabica* / *Erythrina poeppigiana* y *Coffea arabica* / *Cordia alliodora* fue de 915 mm/a y 1000mm/a en Costa Rica.

Respecto a los tratamientos biológicos en la estabilidad de laderas, un ejemplo muy conocido en la zona cafetera central ocurrió en los predios del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), donde mediante tratamientos biológicos se logro recuperar y estabilizar en un tiempo de 15 meses un negativo de carretera mediante el uso de vegetación nativa únicamente, reduciéndose entre un 85 – 99% los costos que demandaría el uso de obras civiles. Inicialmente se hizo un control de las aguas subsuperficiales y de escorrentía mediante

un canal de corona. En la parte de la banca que se había desprendido se construyeron terrazas escalonadas usando material del subsuelo, las cuales se sostuvieron con guadua (*Guadua angustifolia*) y se reforzaron con estacas de Nacedero (*Trichanthera gigantea*) y por último se cubrieron con vegetación multistrata de la región. Para evitar el movimiento de las terrazas por saturación se hicieron filtros en guadua en el sentido de la pendiente (Rivera, 1999c).

2.4. MANEJO INTEGRADO DE ARVENSES

El manejo integrado de arvenses es el resultado de la combinación conveniente y oportuna de los diferentes métodos de desyerbas (prácticas de cultivo, manual, mecánico, químico y biológico), para aprovechar la ventajas de cada uno de ellos, lo que permite seleccionar "coberturas nobles" que protegen el suelo de la erosión, sin competencia económica significativa para el cultivo, si se hace un manejo técnico de ellas y no se permite su crecimiento en la zona de raíces. También, buscando el impacto menor para el ambiente, para el hombre y los seres vivos (Gómez et al., 1987, Rivera, 1999a).

El agricultor puede establecer cultivos intercalados entre las calles de las plantaciones perennes en los primeros años, de ser posible técnica y económicamente; de lo contrario debe propiciar el cubrimiento de las calles con coberturas "nobles", mediante el manejo integrado de arvenses (Moreno y Rivera, 2003).

Es muy importante establecer también coberturas densas con el maní forrajero (*Arachis pintoi*), el kudzú (*Pueraria phaseoloides*). Estas coberturas protegen el suelo de la erosión, suministran nitrógeno al cultivo, facilitan las labores agrícolas, favorecen en ocasiones los insectos benéficos. El kudzú puede producir mulch para cubrir el suelo y proteger la humedad y el suelo de la erosión. Estas coberturas pueden establecerse en plantaciones perennes de porte alto.

El manejo de plantaciones perennes con coberturas "nobles" no es un costo adicional al manejo de las arvenses, por el contrario se han encontrado reducciones en los costos de las desyerbas en forma significativa (80 a 85%) ya que la dominancia poblacional de estas

coberturas limitan el desarrollo de arvenses de interferencia alta y media, de ahí que se pueda considerar esta práctica como un control biológico de arvenses.

Cuando se propician los cultivos intercalados y/o coberturas "nobles" entre las calles de cultivos perennes, se pueden presentar ocasionalmente insectos plagas y/o enfermedades, de ahí la importancia de hacer inspecciones periódicas de las plantaciones y contar con asesoría técnica especializada para no correr el riesgo de tomar la decisión de hacer controles generales de arvenses.

Si ocasionalmente se presenta el caso que una cobertura "noble" sea hospedera de un insecto plaga o de una enfermedad, no indica que necesariamente se requiera la eliminación total y permanente de esta especie de arvense, el especialista orientará su manejo o eliminación controlándola oportuna y convenientemente cuando sea necesario.

2.5. BIOINGENIERÍA DEL SUELO

Es una tecnología producto de la investigación científica, que se refiere a la prevención y control de problemas de erosión, protección, estabilización y restauración de laderas, con problemas de movimientos masales, integrando los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos de los fenómenos degradativos, hasta hallar la relación: causa – efecto de los mismos.

Lo anterior permite la construcción de estructuras totalmente vivas, usando diferentes partes de las plantas, tales como: raíces y tallos principalmente. La bioingeniería es considerada como algo único en el sentido que las mismas partes de las plantas sirven como elementos mecánicos a las estructuras principales en los sistemas de protección de laderas y se transforman a través del tiempo en obras vivas que cada día son más fuertes. Estas obras, se convierten en refuerzo mecánico, drenajes hidráulicos y barreras vivas para prevenir y controlar la erosión y los movimientos masales (Rivera, 2009).

La bioingeniería es Integral, sistémica y multidisciplinaria, producto de la Investigación Científica por más de 60 años y su aplicación parte de un buen Inventario y Diagnóstico a la luz de las relaciones:

ROCA – SUELO – GRADO Y LONGITUD DE LA PENDIENTE – CLIMA – VEGETACION – ANIMAL – INFRAESTRUCTURA - HOMBRE.

Un buen inventario y diagnóstico permite determinar **LA RELACION: CAUSA - EFECTO** del proceso degradativo, lo que conduce en forma acertada a la planificación del uso, manejo y conservación de los suelos a los niveles de Finca, Cuencas Hidrográficas y Nación. Además, permite, llegar a soluciones Eficientes, Eficaces, Económicas y Equitativas, ya sea en forma preventiva como de control (Federacafé, 1982a, Rivera y Sinisterra, 2006; Rivera 2006, Rivera 2009).

CAPÍTULO III. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3.1. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis del presente trabajo investigativo, está constituida por las Interrelaciones roca - suelo - grado y longitud de la pendiente - clima - planta – animal – infraestructura – factor humano, como factores esenciales para encontrar la relación Causa - Efecto de los procesos degradativos de los tres sitios estudiados en el Departamento de Caldas, y con base en ello, dar las soluciones pertinentes, que permitan ser evaluadas en el tiempo y en el espacio.

3.2. UNIDAD DE TRABAJO

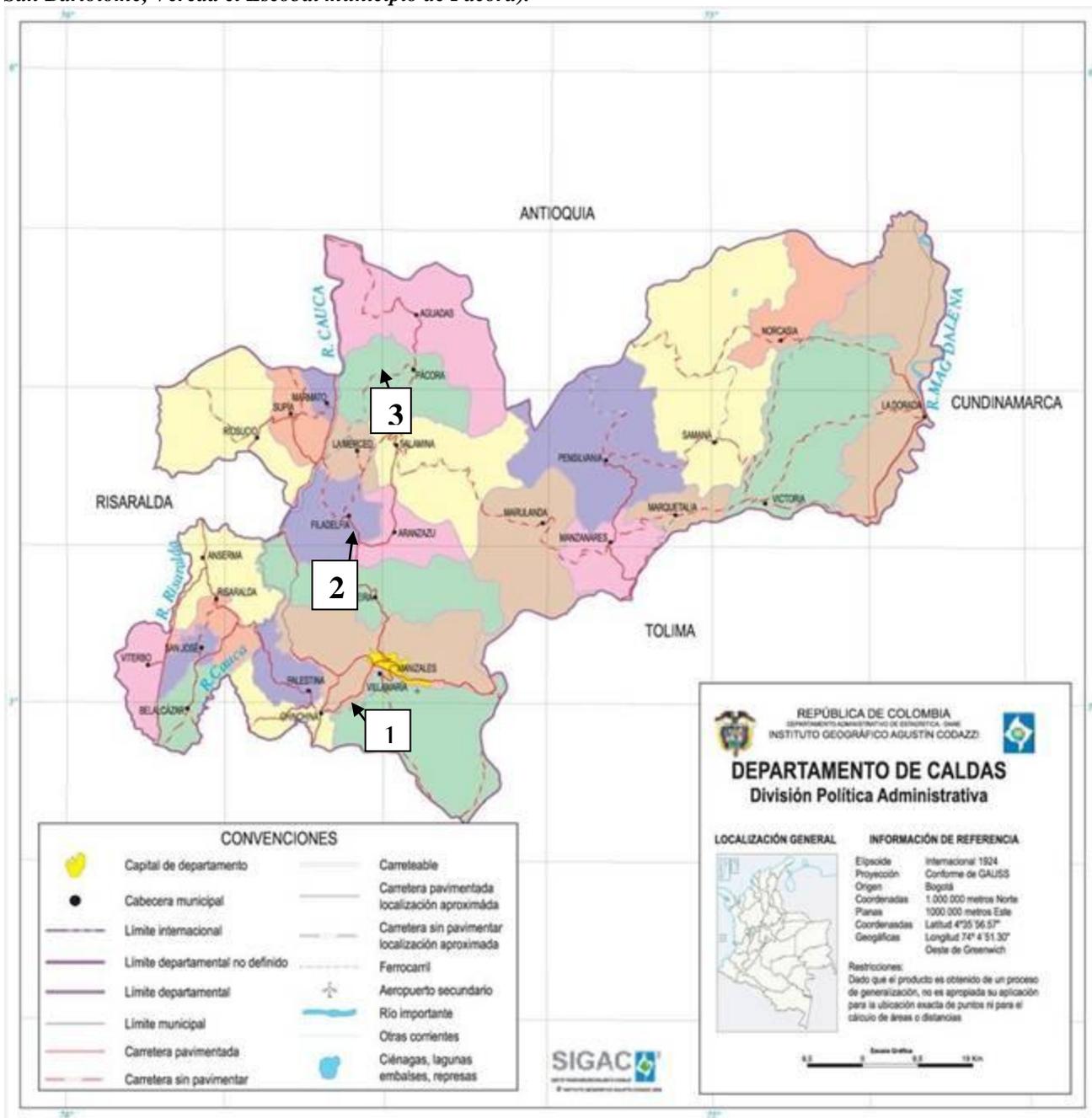
La unidad de trabajo, está constituida por tres sitios contrastantes en materiales parentales y suelos, localizados en el Departamento de Caldas.

En la Tabla 1 y Figura 1, se presenta la localización de los sitios de trabajo.

TABLA 1. LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE TRABAJO EN EL DEPARTAMENTO DE CALDAS.

SITIOS DE TRABAJO	COORDENADAS	ALTITUD (m)	MATERIAL PARENTAL	SUELO	PENDIENTE (%)
Municipio de Villamaría Vereda Río Claro Viejo,	N: 04° 59' 58,7" W: 75° 33' 08,2"	1450	Roca sedimentaria (conglomerados)	Franco Arcilloso	> 80
Municipio de Filadelfia Vereda Balmoral	N: 05° 16' 02.16" W: 75° 32' 44.30"	1650	Metamórfica (esquistos grafiticos)	Arcilloso	> 80
Municipio de Pácora Corregimiento de San Bartolomé, Vereda El Escobal	N: 05° 30' 10,2" W: 75° 32' 06,8"	1710	Metamórfica (esquistos de anfibolitas)	Arcilloso	> 80

Figura 1. Ubicación de los sitios de trabajo, en el departamento de Caldas Colombia. Sitio 1 (Vereda Río Claro Viejo, municipio de Villamaría), sitio 2 (Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia) y sitio 3 (corregimiento de San Bartolomé, Vereda el Escobal municipio de Pácora).



3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación, es cuantitativa y cualitativa en su modalidad de estudios evaluativos, en tanto que se orienta al Inventario y Diagnóstico y Evaluación de la Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos y seguimiento en el tiempo y en el espacio de las soluciones aplicadas con base en los estudios previos.

3.4. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico de la presente investigación, se divide en las siguientes fases fundamentales, a saber:

Fase uno: Se realizó la exploración bibliográfica, se definió el tema por investigar y se desarrollaron los aspectos fundamentales del anteproyecto.

Fase dos: Se seleccionaron los sitios de investigación y se realizaron Talleres de Socialización, Sensibilización Concientización y Capacitación a las comunidades de cada zona afectada, para llegar con ellas a la concertación y priorización de los sitios más pertinentes de solucionar, y crear en ellas sentido de pertenencia hacia las soluciones bioingenieriles integrales, tanto de tipo preventivo como de control.

Fase tres: Se desarrolló el trabajo de campo, mediante recorridos y visitas a los lugares de interés, necesarios para el inventario y diagnóstico integral y sistémico, el cual se realizó con base en el tipo de rocas, y características de los suelos de las diferentes áreas de estudio, al igual que el tipo de vegetación, animal, infraestructura, comunidad relación y causa - efecto de los procesos degradativos, que se presentan en cada uno de los sitios de estudio.

Fase cuatro: Se realizó el inventario y diagnóstico de las áreas problema en cada uno de los tres sitios de estudio, lo que permitió la determinación de su Relación Causa - Efecto.

Fase cinco: Con base en la determinación de la relación Causa – Efecto de los procesos degradativos, se localizaron e iniciaron las obras de bioingeniería, tomando como punto de partida en forma localizada los puntos más críticos y prioritarios.

Fase seis: Luego de realizadas las obras, se inició un proceso de seguimiento y evaluación periódico de las mismas. Para el seguimiento y evaluación, se tomaron fotografías desde un mismo punto de referencia, con el fin de hacer comparaciones en el tiempo y en el espacio.

Fase siete: Se Determinó la eficacia, eficiencia y efectividad de las obras de bioingeniería, así:

- ✓ **Determinación de la Eficacia de las obras de bioingeniería:** Se evaluaron las metas propuestas del proyecto, a través del tiempo, mediante mediciones parciales de la cantidad de obras propuestas y las realizadas, con el acompañamiento de los interventores de Corpocaldas como entidad financiadora del proyecto, con el fin de lograr el efecto deseado en lo referente a la estabilización y restauración de los sitios degradados, en cada una de las zonas de estudio.
- ✓ **Determinación de la Eficiencia de las obras de bioingeniería:** Se midió comparando la cantidad de obras ejecutadas, el área cubierta de los sitios con problemas y los costos de las mismas.
- ✓ **Determinación de la Efectividad de las obras de bioingeniería:** Se determinó evaluando la calidad de las metas alcanzadas, tomando fotografías comparativas desde un mismo punto de referencia y en fechas diferentes, para observar el proceso de restauración en el tiempo y en el espacio de los diferentes sitios degradados intervenidos, y de su área de influencia. La calidad de las metas se reflejó calculando el porcentaje de cubrimiento vegetal de las áreas tratadas a través del tiempo, siendo éste un indicador directo de la calidad de las metas alcanzadas con las obras de bioingeniería, ya que en una área afectada por erosión y/o movimientos en masa, desde que el proceso degradativo esté activo, la vegetación no se establece, sino que por el contrario tiende a desaparecer en el

tiempo y en el espacio o viceversa, como ejemplo, caso de la cárcava de El Tablazo en Manizales Caldas Colombia, que pese a las grandes inversiones realizadas allí a través de obras civiles de concreto, los resultados han sido negativos, con un deterioro mayor del área tratada (COORDENADAS: N: 05° 02' 41,6". W: 75° 32' 19,7". ALTITUD: 1840 m).

Fase ocho: Se determinaron los costos de las obras de bioingeniería.

Los costos de las obras de bioingeniería en el presente trabajo, están supeditados al presupuesto asignado por la entidad del estado, en este caso, Corpocaldas. Por tanto, se procedió en todos los casos, a ajustar dicho presupuesto a los sitios más críticos y prioritarios dentro del área problema, teniendo en cuenta la relación Causa – Efecto, para atacar principalmente los agentes causales de los procesos degradativos, producto del buen Inventario y Diagnóstico realizado para cada localidad.

Mediante planillas semanales, se registraron los costos de:

- ✓ Obras de bioingeniería
- ✓ Tiempo e imprevistos
- ✓ Materiales,
- ✓ Jornales.
- ✓ Impuestos.
- ✓ Pagos de ley.

Fase nueve: Finalmente, se realizó el análisis y discusión de resultados y se emitieron las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Como técnicas e instrumentos para la recolección de información, se aplicaron las siguientes:

3.5.1. Exploración bibliográfica: Para la identificación de estudios sobre las diferentes categorías de análisis.

3.5.2. Estudio fotográfico: Toma de fotos antes de iniciar las obras de las áreas afectadas identificadas, luego de realizadas las obras, en forma periódica.

3.5.3. Inventario y Diagnóstico: Se siguió la metodología propuesta por Rivera, 2009, consistente en determinar la Relación: Causa - Efecto de cada una de las zonas de estudio, a la luz de las relaciones: Roca – Suelo – Topografía – Clima - Planta – Animal – Infraestructura – Hombre. Esto con el fin de brindar las soluciones pertinentes para cada sitio de estudio.

En lo relacionado con el clima, se utilizó la información de las Estación Climáticas de cada sitio de estudio, suministradas por Cenicafé (Centro Nacional de Investigaciones de Café).

3.5.4. Visitas y recorridos de campo:

- Se efectuaron recorridos iniciales de campo, para determinar en cada sitio, el tipo de materiales parentales, suelos, pendiente, clima, vegetación, animal, infraestructura, hombre.
- Se revisaron los estudios de suelos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, realizados para el Departamento de Caldas y sitios afines al estudio (Federacafé, 1982b).
- Se ubicaron cada uno de los sitios críticos de las áreas de estudio, tales como: escarpes producto de deslaves, zonas saturadas por agua, áreas agrietadas, entre otras, con el fin de proceder a construir las obras de estabilización y mitigación inmediata del riesgo. Estos recorridos se hicieron en compañía de los habitantes de las regiones afectadas.

- Se analizó y determinó en cada uno de los sitios de estudio la Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos, con base en los inventarios y diagnósticos integrales y sistémicos.

3.5.5. Charlas informales y testimonio libre: Para la categoría hombre, se estableció contacto directo con diferentes pobladores de cada lugar.

3.6. MATERIALES:

- ✓ Vehículo automotor
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Libretas de campo
- ✓ Botas pantaneras,
- ✓ Capas Impermeable
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Estudios Geológicos y de suelos
- ✓ Planillas de jornales
- ✓ Facturas de compra
- ✓ Informes de Interventoría y actas de avance y terminación de obras.
- ✓ Computador
- ✓ Asistente para tabulación de información y encuestas.
- ✓ Lápices, lapiceros.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

4.1.1. Inventario y diagnóstico municipio de Villamaría, Vereda Ríoclaro viejo

El inventario y diagnóstico de la zona originó los siguientes resultados:

4.1.1.1. Material Parental: Se presentan en la zona conglomerados cementados por una matriz arcillosa y cubiertos en algunos sitios por capas de cenizas volcánicas, que le brindan una estabilidad mayor a los suelos (Figuras 2 y 3).

Figura 2. Presencia de conglomerados cementados por una matriz arcillosa. Materiales altamente susceptibles a los deslizamientos. Se observa lo abrupto de la pendiente. Vereda Río claro Viejo Villamaría, Caldas. Marzo de 2008.



4.1.1.2. Suelos: Franco Arcillosos. Se presentan algunos sitios muy superficiales donde aflora el material parental que dio su origen, con presencia de áreas mal drenadas (Figura 3, Anexo 1).

Figura 3. Suelos muy susceptibles a los deslaves por ser superficiales (0,30 – 0,50 m de profundidad), donde aflora el material parental de conglomerados que dio su origen.



4.1.1.3. Topografía: Pendiente entre 80 a > 100 %. En la Figura 4, se observa la pendiente fuerte del terreno, mayor del 100% y de longitudes largas (mayores de 500m). Propiedades, que en su conjunto, hacen a estos suelos altamente susceptible a la erosión, por la concentración de las aguas de escorrentía, y su energía cinética alta adquirida ladera abajo, favorecida por la longitud de la misma. Esto hace que sea una zona altamente susceptible a los deslaves.

Figura 4. Se observa una pendiente mayor del 100% y longitud demasiado larga (mayor de 500 m), lo que favorece los procesos de erosión y los deslaves en toda la zona. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas. Marzo de 2008.



4.1.1.4. Clima

- ✓ Altitud: 1.470 m.
- ✓ Lluvias: Bimodales (Tabla 1).

Tabla 2. Precipitación mensual de la Estación Climática Bello Horizonte (Datos Históricos Promedio)*

ESTACION CLIMATICA BELLO HORIZONTE												
DEPARTAMENTO				CALDAS								
MUNICIPIO				CHINCHINA								
LATITUD				4° 59' N								
LONGITUD				75° 33' W								
ALTITUD m				1690								
LLUVIA (mm)												
Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
120	130	173	236	181	102	115	109	194	230	224	130	1944

* Datos de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC).

En la Tabla 2 se observa la distribución Bimodal de las lluvias de la zona de estudio, siendo los meses más lluviosos Marzo, Abril y Mayo, con lluvias de 173, 236 y 181 mm promedio mensual respectivamente, y los meses de Septiembre Octubre y Noviembre, con lluvias de 194, 230 y 224 mm promedio mensual respectivamente,. como se ve la zona es altamente lluviosa durante todo el año, donde se requiere tomar medidas preventivas de conservación de suelos, y manejo adecuado de las aguas de escorrentía y subsuperficiales, tales como coberturas vegetal multistratas permanentes sobre el suelo durante todo el año, que eviten la erosión por el impacto directo de las lluvias y la energía cinética de las aguas de escorrentía, obras de drenaje en sitios anegados y protección permanente de los drenajes naturales con trinchos vivos escalonados cada 1 o 2 metros de longitud, como disipadores de energía de las aguas de escorrentía en períodos invernales (Rivera, 2002). Prevenir los movimientos masales mediante sistemas de explotación agroforestales, y manejo oportuno de las aguas subsuperficiales, mediante un buen sistema de drenaje (Rivera, 2011).

4.1.1.5. Vegetación actual: La zona presenta monocultivo de Café a libre exposición solar, cuyos suelos derivados de conglomerados, se encuentran muy desprotegidos y erosionados (Figura 5).

Figura 5. Cultivo de monocultivo de café predominante en la región. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas (marzo de 2008). Se observa la inclinación fuerte de la pendiente su longitud larga y la presencia de conglomerados.



Según los propietarios de las fincas, anteriormente estas se manejaban como sistemas Agroforestales de Café con árboles de sombrío de guamo, los cuales se cortaron para dar paso al monocultivo de café. A partir de allí, se empezaron a presentar deslizamientos fuertes en la zona.

4.1.1.6. Animal: No se observa ganadería en la zona de estudio, lo que es una ventaja preventiva, para la sostenibilidad de los recursos suelo y agua. Solo se presenta cría de cerdos en una de las fincas.

4.1.1.7. Infraestructura:

- Viviendas con manejo inadecuado de aguas lluvias especialmente de los techos (Figura 6).

Figura 6. Los techos de la vivienda no presentan canaletas recolectoras de aguas de escorrentía, ni bajantes, absorbiendo el terreno toda el agua. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas. Julio de 2008.



- Viviendas rodeadas por el afloramiento de aguas subterráneas (Figura 7)

Figura 7. Terreno anegado alrededor de las viviendas. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas. Julio de 2008. Se observa la cantidad de suelo fértil desprendido de la ladera como consecuencia de los deslizamientos.



- ✓ Carreteable, sin manejo adecuado de aguas de escorrentía ni subsuperficiales (Figura 8).

Figura 8. Vereda Rio Claro viejo, Villamaría, Caldas. Julio de 2008. Presencia en la vía de aguas sub-superficiales y ausencia de cunetas evacuadoras de aguas de escorrentía y sub-superficiales (julio de 2008).



- ✓ Ausencia de cajas colectoras de aguas de escorrentía.

4.1.1.8. Hombre: La Comunidad pese a actuar en gran parte como factor activo de los procesos degradativos, por presentar un grado de escolaridad bajo, muestra gran entusiasmo e interés en aprender sobre la problemática y la manera de afrontar la situación, con la cual han convivido por más de 30 años.

4.1.1.9. Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos

4.1.1.9.1. Causas:

Al analizar en forma integral y sistémica cada uno de los parámetros anteriores se encuentra claramente, que ellos hacen igualmente un aporte integral importante a la problemática de degradación de los suelos por erosión y movimientos en masa, tales como:

- ✓ Material parental de conglomerados, cementados por una matriz arcillosa, que al saturarse, los deja sueltos y expuestos a su desplazamiento ladera abajo.
- ✓ Los suelos originados son superficiales (0 – 0,50 m de profundidad) y muy superficiales en algunos sitios de la ladera (menores 0,50 m de profundidad). Esto hace que se saturen fácilmente y predomine la escorrentía del agua sobre la infiltración.
- ✓ Suelos de retención de humedad alta (Franco arcillosos).
- ✓ Suelos mal drenados.
- ✓ Suelos pedregosos.
- ✓ Suelos muy superficiales y altamente susceptibles tanto a la erosión como a los deslizamientos.
- ✓ Pendientes demasiado inclinadas (mayores del 100 %) y de longitudes largas (mayor de 500 m). Esto hace que las aguas de escorrentía avancen ladera abajo a gran velocidad aumentando su energía cinética, y arrastrando consigo el suelo superficial y gran parte de los conglomerados que hacen parte del material parental de los suelos.
- ✓ Clima: Alta precipitación en la zona (cerca de 2000 mm promedio anual). Hay presencia de lluvias intensas, y frecuentes en los meses de Marzo, Abril y Mayo, en cantidades de 173, 236 y 181 mm promedio mensual respectivamente, y los meses de Septiembre Octubre y Noviembre, con precipitaciones de 194, 230 y 224 mm promedio mensual respectivamente, hacen que los suelos superficiales se saturen y el material que dio su origen, se desprenda fácilmente en forma de deslaves superficiales, favorecidos por el grado y longitud de la pendiente.
- ✓ Vegetación: El uso del suelo en monocultivo de café, no es el más conveniente en la zona, ya que el refuerzo mecánico al suelo de su sistema radical, es superficial, y tan sólo llega hasta los 0,70 m promedio. Esto hace que los conglomerados queden sueltos en épocas lluviosas, y se presenten los deslaves. Así mismo, el manejo del suelo ha sido con desyerbas drásticas, dejándolo desnudo, lo que permite el lavado de los finos que obran como matriz cementante de los conglomerados, quedando estos sueltos.
- ✓ Tala indiscriminada y generalizada de la vegetación arbórea que actuaba como sombrío y a la vez su sistema radical como refuerzo mecánico del suelo a diferentes profundidades dentro del perfil del mismo.

- ✓ Desprotección total de los drenajes naturales.
- ✓ Infraestructura: La falta de canalización y conducción adecuada de las aguas de escorrentía provenientes de los techos de las viviendas, hacen que estas se concentren a un solo sitio en grandes caudales, ocasionando erosión, y saturando el terreno, favoreciendo los movimientos en masa. Situación similar ocurre en las carreteras de acceso a la Vereda, las cuales carecen de cunetas, y obras de arte para conducir adecuadamente las aguas de escorrentía.
- ✓ De igual forma, los drenajes naturales, estaban totalmente desprotegidos de vegetación y no presentaban regulación hídrica, lo que condujo al socavamiento de fondo y desplome de taludes laterales y al arrastre de sedimentos conformados por lodo y piedra, que afectaron viviendas aguas abajo.

4.1.1.9.2. Efectos:

Se presentó el área en estudio afectada por múltiples deslizamientos, equivalentes a 22.500 m² aproximadamente, que afectaron cultivos de café y algunas viviendas y la iglesia de la Vereda, tal como se observa en las Figuras 9 a 14.

4.1.1.10. Uso, Manejo y Conservación Potencial de los Suelos.

El análisis de la relación Causa – Efecto, orienta en forma preventiva, lo que debe ser el Uso, Manejo y Conservación potencial de los Suelos, para que los problemas no se repitan de nuevo:

- ✓ Uso: Se deben establecer sistemas Agroforestales, tales como Café con sombrío de Guamo, Nogal Cafetero, Cedro, Carboneros, entre otros.
- ✓ Manejo: Siembras directas con mínima disturbación del suelo. Desyerbas, mediante un Manejo Integrado de Arvenses, dejando coberturas en el suelo de tipo rastrero y de cubrimiento denso, tales como las Arvenses Nobles.

- ✓ Conservación: Manejo de las aguas de escorrentía de los lotes mediante el establecimiento de coberturas vivas densas en el suelo.
- ✓ Evacuar las aguas subsuperficiales de los lotes anegados, mediante la construcción de sistemas de drenaje con filtros vivos, en espina de pescado.
- ✓ En los drenajes naturales, establecer un sistema de trinchos vivos escalonados, que sirvan como disipadores de la energía cinética de las aguas de escorrentía.

4.1.1.11. Restauración con obras de bioingeniería, de las áreas afectadas

En la zona se presentaron movimientos masales superficiales o deslaves, que repercutieron en la parte baja de la ladera, poniendo en riesgo alto a varias viviendas y la iglesia de la Vereda (Figuras 9 a 13).

Figura 9. Se muestra la presencia de deslaves en la parte alta de la ladera. Rio Claro viejo. Julio de 2008.



Figura 10. Presencia de deslaves en la ladera, causantes daños en las viviendas ubicadas aguas abajo. Julio de 2008.



Figura 11. Estado de una de las viviendas, luego de los deslaves ocurridos en la zona (marzo de 2008).



Figura 12. Zonas anegadas parte baja Vereda río claro Villamaría. Marzo 28 de 2008.



Figura 13. Estado de la iglesia luego de los deslaves (julio de 2008).



Las soluciones del problema se realizaron en forma integral y sistémica, en su orden así:

- ✓ Se inició con las actividades de Socialización, Sensibilización, Concientización, Capacitación, Concertación y Priorización a la comunidad como parte del manejo integral y sistémico del proceso de restauración de las áreas afectadas en la Vereda Río Claro, y con el fin de crear sentido de pertenencia hacia las soluciones por parte de la comunidad afectada (Figuras 14 a 20).

Figura 14. Actividad de socialización, sensibilización, concientización, capacitación y concertación sobre prevención y control de erosión y movimientos masales, con obras de bioingeniería, Vereda río claro viejo, municipio de Villamaría, Caldas Colombia (abril 23 de 2008).



Figura 15. Capacitación en campo de comunidad de la Vereda río claro, municipio de Villamaría, Caldas Colombia. Se observa el inicio de una de las obras, trazando la zanja para empotramiento de una de las estructuras vivas disipadoras de aguas de escorrentía de la quebrada. Julio 1 de 2008



Figura 16. Capacitación en campo de la comunidad afectada de la Vereda río claro, municipio de Villamaría, Caldas Colombia. Orientaciones sobre cómo construir un buen trincho para la conducción de aguas de escorrentía. Julio 1 de 2008.



Figura 17. Trazado de zanjas atravesando el cauce de la quebrada, con el fin de colocar trinchos anclados en los taludes estables del drenaje natural.



Figura 18. Colocación de las guaduas dentro de la zanja, con el fin de conformar un trincho que no sea socavado fácilmente por las aguas de escorrentía, evitando que la estructura quede en el aire y sin función alguna.



Figura 19. Río Claro construcción de trinchos vivos escalonados y reforzados con estacas vivas de nacedero o quiebrabarrigo. Se observa el buen anclaje de los mismos en los taludes laterales. Julio de 2008.



Figura 20. Iniciación de obras bio-ingenieriles en la Vereda río claro del municipio de Villamaría, Caldas, Colombia. Se observa la construcción del vertedero de una de las estructuras disipadoras de aguas de escorrentía del drenaje natural. Julio 1 de 2008.



- ✓ Se procedió inicialmente al Sellado de grietas en todo el terreno para evitar infiltración de las aguas y favorecer la escorrentía.

- ✓ Se efectuó un manejo adecuado de las aguas de escorrentía, proveniente de la parte alta de la ladera, para lo cual se hicieron:
 - Trinchos vivos escalonados en guadua, desde la parte alta de la ladera hacia abajo, especialmente desde los sitios activos más críticos con distancias entre 1 a 2 m, dependiendo de la pendiente del terreno y el criterio técnico para lograr reducir la energía cinética de las aguas de escorrentía y dar amarre futuro tanto al terreno como a la pedregosidad. Con esto se logró la mayor eficiencia, eficacia y economía durante la ejecución del proyecto.

- ✓ Se construyeron filtros vivos en guadua a diferentes profundidades dependiendo de la heterogeneidad de los horizontes dentro del perfil del terreno, en los sitios donde se presentaron problemas de mal drenaje (Figura 21 y 26).

Figura 21. Zona de anegamiento Vereda Río Claro Villamaría. Se observa una acequia de ladera muy superficial que no cumple función alguna, sitio donde se construyó un sistema de filtros vivos en espina de pescado (figura 25). Marzo de 2008.



- ✓ En los drenajes naturales, además de la construcción de estructuras disipadoras de energía de aguas de escorrentía, se hicieron siembras densas con estacas vivas de Nacadero, aro o quiebrabarrigo (*Trinchanthera gigantea*) y matarratón (*Gliricidia sepium*) de 1,0 m de largas a distancias de 0,5 m entre estacas.
- ✓ Se orientó a la comunidad afectada un programa de Manejo Integrado de Arvenses preventivo de la erosión, que permitiera mantener el terreno cubierto en forma permanente.
- ✓ Se orientó un sistema agroforestal (Café con árboles), que sirva de vitrina demostrativa en la región, como el sistema ideal para prevenir los deslizamientos futuros.

4.1.1.12. Análisis económico

4.1.1.12.1. Costos de capacitación

En la Tabla 3, se presenta los costos relacionados con la socialización, sensibilización, concientización y capacitación.

4.1.1.12.2. Costos de las obras de Bioingeniería.

En la Tabla 4, se presenta los costos relacionados con las obras de bioingeniería.

Al analizar los costos del proyecto, en las Tablas 3 y 4, se encuentra que \$11.340.000, equivalentes al 21,58% de los mismos, se utilizaron en estudios de diagnóstico (14,39%) y talleres especializados de Socialización, Sensibilización, concientización y capacitación, de la comunidad afectada (7,19%). Estos costos de diagnóstico y capacitación, son relativamente bajos, si se comparan con los de las obras de bioingeniería (78,42%).

Estos costos, están sujetos a presupuestos preestablecidos por la Corporación Regional Autónoma (Corpocaldas). De ahí que el deber del técnico fue buscar la manera más eficaz, eficiente y efectiva de utilización de los recursos económicos, razón por la cual, mediante el

Inventario y Diagnóstico Integral, se buscaron los sitios más críticos y sus agentes causales dentro de toda el área afectada. Esto permitió, reducir los costos en los tratamientos.

Tabla 3. Presupuesto control de erosión y movimientos masales Vereda viejo Rio Claro municipio de Villamaría (diagnostico, capacitación y asesoría).

LABORES	OBJETIVOS	COSTOS UNITARIOS \$	COSTOS TOTALES \$
DIAGNOSTICO	Determinar relación causas - efecto y dar soluciones.	7.560.000	7.560.000
Taller especializado de Socialización, Sensibilización, concientización y capacitación, comunidad Vereda.	Socializar, Sensibilizar, concienciar y capacitar a la comunidad en lo referente a la prevención y control de los problemas de erosión y remociones masales.	3.780.000	3.780.000
Total Villamaría con IVA			11.340.000

Tabla 4. Cantidad de obras y precios unitarios, para el manejo integral en el control de áreas afectadas por erosión severa y movimientos masales Vereda Río Claro Viejo del municipio de Villamaría.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	VALOR	
				UNITARIO	PARCIAL
I. TRABAJOS PRELIMINARES					
1	Taponamiento de grietas con arcilla	ml	109,5	8.486	929.217
II. MOVIMIENTO DE TIERRA					
2	Excavación en zanja hasta 2 m de profundidad tierra húmeda	m ³	278.3	13.500	3.757.050
III. OBRAS VARIAS					
3	Trinchos vivos en guadua complementados con estacas vivas de nacedero	m ²	790,9	15.600	12.338.040
IV. LABORES DE REFORESTACIÓN					
4	Trazado	ha	2,4	63.212	151.708,8
5	Plateo y ahoyado	ha	2,4	2.616.489	6.279.573,6
6	Suministro de plántulas	ha	2,4	207.900	498.960
7	Siembra de plántulas	ha	2,4	409.736	983.366,4
8	Aplicación Fertilizantes	ha	2,4	191.949	460.677,6
V. OBRAS DE BIOINGENIERÍA					
9	Revegetalización con estacas de matarratón, quebrabarrigo o botón de oro	ml	2.433,7	1.152	2.803.622,4
10	Otras Obras varias complementarias				4.536.000
Subtotal					28.202.213
Total Villamaría con AIU + IVA					41.198.876

VALOR TOTAL DEL PROYECTO: 11.340.000 + 41.198.876 = \$52.538.876. INCLUYE AIU + IVA

4.1.1.13. Eficacia:

La eficacia de las obras de bioingeniería se demostró con el logro de todos los objetivos y metas propuestos para la estabilización de las áreas afectadas, realizando las obras de bioingeniería pertinentes con base en el Inventario y diagnóstico acertado, tal como se observa en las Figuras 22 a 26

Figura 22. Sistema de trinchos vivos escalonados de guadua Vereda río claro viejo municipio de Villamaría, Caldas Colombia. Se observa el rebrote de las estacas vivas de nacedero, trichanthera gigantea. Septiembre de 2008.



Figura 23. Trinchos vivos escalonados. Se observa el rebrote de las estacas de nacedero. Octubre de 2008. Vereda Río Claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.



Figura 24. Sistema de trinchos vivos escalonados de guadua Vereda río claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia. Septiembre de 2008.



Figura 25. Trinchos vivos escalonados con vertedero, para manejo de aguas de escorrentía en un drenaje natural. Octubre de 2008. Vereda Río Claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.



Figura 26. Sistema de drenaje con filtros vivos en espina de pescado para la evacuación de aguas subsuperficiales. Octubre de 2008. Vereda Río Claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.



4.1.1.14. Eficiencia: Se hizo una utilización adecuada y optima de recursos vivos propios de la región afectada, tales como:

- ✓ Guadua (*Guadua angustifolia*)
- ✓ Nacedero (*Trichanthera gigantea*)
- ✓ Matarratón (*Gliricidia sepium*)
- ✓ Cobertura densa de maní forrajero (*Arachis pintoi*)

Esto permitió una eficiencia alta en la estabilización y restauración de las áreas afectadas.

4.1.1.15.Efectividad: Se logró con la estabilidad brindada por todas las obras en los sitios establecidos, las cuales se convirtieron a través del tiempo en estructuras totalmente vivas, que disiparon la energía cinética del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, y regularon la velocidad de las aguas de escorrentía, que dieron lugar a los deslaves en la zona.

La efectividad quedó demostrada en el tiempo y en el espacio, con el cubrimiento por parte de la vegetación establecida y la emergida por regeneración natural luego de estabilizado el terreno. La estabilización del área afectada se puede observar al comparar el estado del área afectada desde antes de iniciadas las obras de bioingeniería (Marzo de 2008) (Figuras 2 a 26) hasta Agosto de 2010 después de finalizados los trabajos (Figuras 27 a 29).

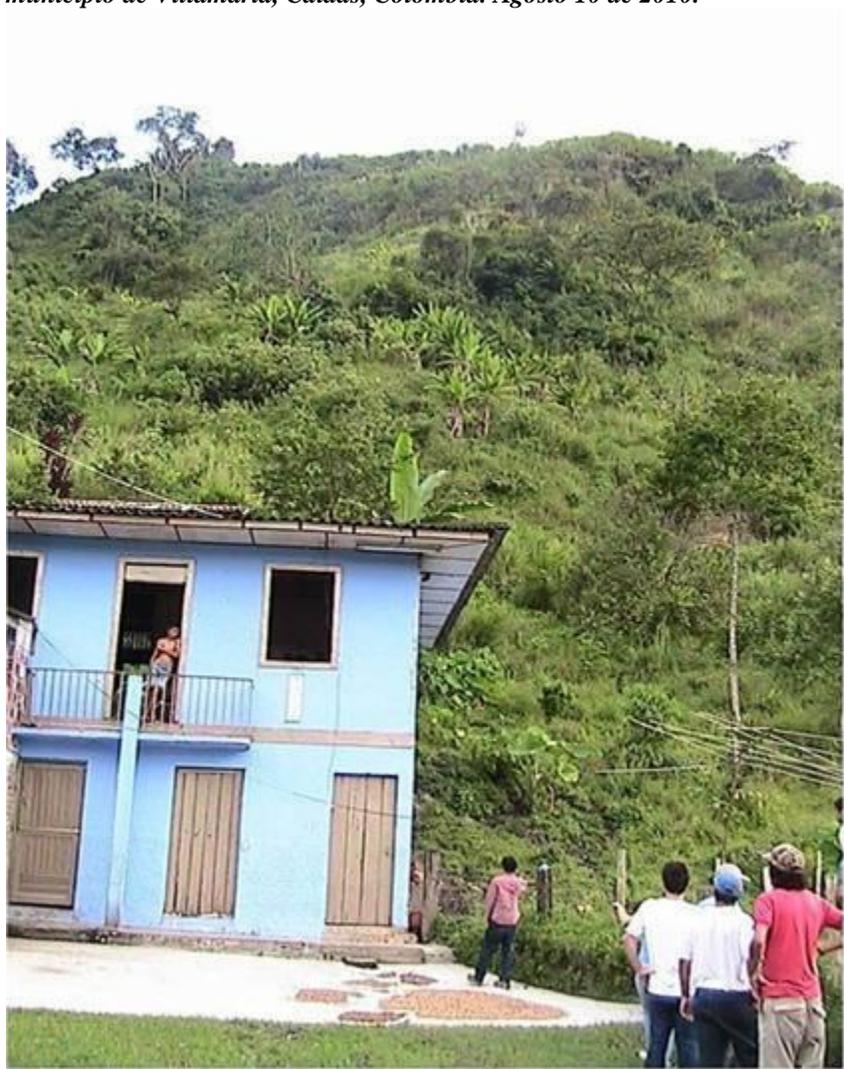
Figura 27. Trinchos vivos escalonados. Se observa el rebrote de las estacas de nacedero trichanthera gigantea. Noviembre de 2008. Vereda río claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.



Figura 28. Trincho vivo visto de cerca. Se observa el rebrote de las estacas de nacedero trichanthera gigantea. Noviembre de 2008. Vereda río claro viejo municipio de Villamaría, Caldas, Colombia.



Figura 29. Estado actual de restauración de toda la zona luego de los deslizamientos en el año 2007. Vereda rio claro municipio de Villamaría, Caldas, Colombia. Agosto 10 de 2010.



4.1.2. VEREDA BALMORAL MUNICIPIO DE FILADELFIA, DEPARTAMENTO DE CALDAS

4.1.2.1. Material Parental: Se encontraron Rocas metamórficas de esquistos talcosos, anfibolitas y grafiticos cubiertos en algunos sitios por cenizas volcánicas. Estos esquistos originan suelos, altamente susceptibles a los movimientos masales.

4.1.2.2. Suelos: Suelos de textura mediana a arcillosos, dependiendo del material de origen (Anexos 2, 3 y 4). En algunos lugares aflora el material parental por problemas de erosión y movimientos masales.

4.1.2.3. Topografía: Pendiente entre 80 a > 100 %, y de longitudes muy largas, mayores de 800 m.

4.1.2.4. Clima:

4.1.2.4.1. Altitud (m): 1650

4.1.2.4.2. Lluvias: En la Tabla 5, se presenta la Lluvia histórica de la Estación climática de La Julia reportada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ). Las lluvias son de tipo bimodal.

Tabla 5. Lluvia histórica de la estación climática la julia en Filadelfia caldas

Estación La Julia Departamento Caldas, Municipio Filadelfia												
Latitud 5° 18' N - Longitud 75° 34' W - Altitud 1650 m												
LLUVIAS mm												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Total
112	122	160	220	236	137	97	106	179	222	230	164	1985

Se observa en la Tabla 5, que el Municipio de Filadelfia es una región muy lluviosa, con un promedio anual de 1985 mm, distribuidos en todo el año, siendo los meses más lluviosos: Abril (220 mm) y Mayo (236 mm) y los meses de Octubre (222 mm) y Noviembre (230 mm). Estas precipitaciones altas aunadas al tipo de suelos arcillosos con capacidad alta de retención de humedad y altamente susceptibles a la erosión y los movimientos masales, hace que la región presente éste tipo de problemas en los períodos más lluviosos, requiriendo de buenas prácticas preventivas y de control tanto de erosión como de los deslizamientos que ponen en riesgo alto la vida y los bienes de las comunidades que allí habitan.

4.1.2.5. Vegetación actual: La zona presenta vegetación con sistemas radicales superficiales, tales como: Café a libre exposición solar y cultivos extensos de caña con desyerbas

drásticas (Figura 30), cuyos suelos se encuentran muy erosionados y degradados por los deslizamientos.

Figura 30. Uso del suelo en caña panelera. Se observa procesos erosivos y de movimiento en masa. Vía Neira a Filadelfia Caldas, Colombia.



4.1.2.6. Animal: No se observa ganadería en la zona de estudio.

4.1.2.7. Infraestructura:

- ✓ Dos Viviendas con inadecuado manejo de aguas lluvias especialmente de los techos.
- ✓ Viviendas con afloramientos de aguas subterráneas
- ✓ Camino Veredal, sin manejo de aguas de escorrentía
- ✓ Ausencia de obras de arte colectoras de aguas de escorrentía.

4.1.2.8. Hombre: Con grado de escolaridad bajo, pero con gran interés en aprender sobre la problemática y la manera de afrontar sus problemas.

4.1.2.9. Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos

4.1.2.9.1. Causas: Al analizar en forma integral y sistémica cada uno de los parámetros anteriores se encuentra claramente, que ellos hacen parte fundamental en la problemática de degradación de los suelos por erosión y movimientos en masa, tales como:

- ✓ Material parental de Rocas metamórficas de esquistos talcosos, anfíbolitas y gráficas cubiertos en algunos sitios por cenizas volcánicas. Estos esquistos son materiales por lo general fracturados, algunos demasiado blandos, por lo que originan suelos, altamente susceptibles especialmente a los movimientos masales.
- ✓ Suelos: Suelos de textura mediana a arcillosos, de gran capacidad de retención de humedad (Anexos 1, 2 y 3). En algunos lugares aflora el material parental por problemas de erosión y movimientos masales. Este tipo de suelos, requieren de un Uso y Manejo especial, con buenas prácticas preventivas de Conservación.
- ✓ Topografía: Pendiente entre 80 a > 100 %, y de longitudes muy largas, mayores de 800 m. estos factores favorecen la energía cinética de las aguas de escorrentía, y con ello la erosión del suelo. Así mismo, por su capacidad de retención de humedad y la fuerza de gravedad acelerada tanto por el grado como por la longitud de la pendiente, se favorecen los movimientos masales.
- ✓ Clima: Municipio de Filadelfia es una región muy lluviosa, con un promedio anual de 1985 mm, distribuidos en todo el año, siendo los meses más lluviosos: Abril (220 mm) y Mayo (236 mm) y los meses de Octubre (222 mm) y Noviembre (230 mm). Estas precipitaciones altas aunadas al tipo de suelos arcillosos con capacidad alta de retención de humedad y altamente susceptibles a la erosión y los movimientos masales, hace que la región presente éste tipo de problemas en los períodos más lluviosos, requiriendo de buenas prácticas preventivas y de control tanto de erosión como de los deslizamientos que ponen en riesgo alto la vida y los bienes de las comunidades que allí habitan.

- ✓ Vegetación actual: La zona presenta vegetación con sistemas radicales superficiales, tales como: Café a libre exposición solar y cultivos extensos de caña con desyerbas drásticas, cuyos suelos se encuentran muy erosionados y degradados por los deslizamientos.
- ✓ Infraestructura:
 - Manejo y conducción inadecuada de aguas de escorrentía proveniente de los techos de las viviendas (Figuras 31 y 32).

Figura 31. Mal funcionamiento de las canaletas para evacuar aguas lluvias, las cuales van directamente al terreno causando erosión y saturación del mismo. Julio de 2008. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 32. Se observa la canal con pendiente contraria al avance del flujo de agua, desbordándose y yendo directamente al terreno. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



- Mal manejo y conducción de aguas de escorrentía provenientes del camino que conduce hacia el alto Maibá, aproximadamente 300 m aguas arriba.

En las Figuras 33 a 37, se observa el avance de las aguas de escorrentía que provienen del camino que conduce a la Vereda Balmoral y penetran a los predios antes mencionados, aumentando la recarga hidráulica al terreno, lo que originó pérdida de cohesión y estabilidad del terreno.

Figura 33. Sitio donde confluyen y se acumulan las aguas de escorrentía provenientes del techo de la vivienda y del camino de la servidumbre de la Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 34. Lugar por donde avanzan las aguas de escorrentía hacia la vivienda ubicada en la parte baja de la ladera, acelerando los procesos de erosión y movimientos en masa. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 35. Cárcava por donde se encauzan las aguas de escorrentía provenientes del techo de una de las viviendas y del camino de penetración a la Vereda Balmoral hacia la otra vivienda ubicada aguas abajo. Se observa la saturación alta de los suelos por su condición arcillosa. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 36. Parte frontal de la vivienda ubicada en la parte alta de la ladera. se observa el paso de las aguas de escorrentía provenientes del camino de penetración a la Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 37. Encauzamiento de aguas de escorrentía camino abajo hasta encontrar la vía principal. Se observa la profundización del mismo. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



- ✓ Presencia de aguas sub-superficiales, que aumentan la presión de poros del terreno, disminuyendo su cohesión natural (Figuras 38 y 39).

Figura 38. Presencia de aguas su-superficiales, que saturan los suelos y hace que se presenten los movimientos masales. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 39. Terreno saturado, con procesos de movimiento en masa, poniendo en riesgo la vivienda. Se observa como las aguas de la canaleta del techo, llegan directamente al sitio problema. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



- ✓ Presencia de un tanque de almacenamiento de agua ubicado en la parte media de la ladera, cuyo rebose va directo al terreno causando saturación e inestabilidad del mismo. El tanque parece presentar fugas de agua (Figura 40).

Figura 40. Tanque de almacenamiento de agua, cuyo rebose vierte directamente al talud escarpado pudiendo ocasionar un deslizamiento por saturación del terreno. Vereda Balmoral Municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



- ✓ Camino Veredal, sin manejo de aguas de escorrentía, y ausencia de obras de arte colectoras de aguas de escorrentía (Figuras 41, 42 y 43).

En las Figuras 41, 42 y 43, se presenta el estado actual del camino en período de invierno, el cual se encuentra totalmente anegado, dificultando el paso libre a los habitantes de la región y a sus animales de carga.

Figura 41. Tramo de la carretera que conduce a la Vereda Balmoral. Se observa el encauzamiento de las aguas de escorrentía, que causan problemas aguas abajo por la concentración de las mismas en invierno. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 42. Tramo del camino anegado, que conduce a la Vereda Balmoral. Área difícil de transitar por la comunidad afectada, especialmente los niños. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 43. Paso anegado y difícil para los peatones en el camino que conduce a la Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia Caldas, Colombia.



- ✓ Todas las aguas de escorrentía se concentran hacia una de las viviendas afectadas aguas abajo (Figura 44).

Figura 44 Sitio donde confluyen las aguas de escorrentía provenientes del camino de herradura y del techo de la vivienda. Aguas que penetran a la ladera con reptación, ayudando al proceso de saturación del terreno y al proceso activo de movimiento en masa (Vereda Balmoral, Filadelfia Caldas, Colombia. Julio 20 de 2008).



- ✓ Desyerbas drásticas con azadón dejando el suelo totalmente desnudo.
- ✓ Hombre: Comunidad con grado de escolaridad bajo, pero con gran interés en aprender sobre la problemática y la manera de afrontar sus problemas.

4.1.2.9.2. Efectos.

Área afectada correspondiente al sitio de trabajo: 50 m x 50 m, equivalentes a 2.500 m² aproximadamente.

Se afectaron dos viviendas. Una de ellas, localizada en la parte baja de la ladera, fue perturbada por un deslizamiento, sepultando una habitación de la misma. La otra, ubicada en la parte alta del talud, presenta mal estado, aunque no revestía peligro inminente. Ambas viviendas habían sido objeto de evacuación por el riesgo que se presumía por parte de los Organismos de Prevención de Desastres del Estado. No obstante, luego del Inventario y Diagnóstico realizado tanto en el sitio crítico como en el Área de influencia, se optó por no reubicar a los habitantes de las dos viviendas, ya que al hacer las obras integrales y sistémicas de bioingeniería, se les pudo devolver la estabilidad al terreno, y tranquilidad a sus habitantes.

4.1.2.10. Uso, Manejo y Conservación Potencial de los Suelos.

El análisis de la relación Causa – Efecto, orienta en forma preventiva, lo que debe ser el Uso, Manejo y Conservación potencial de los Suelos, para que los problemas no se vuelvan a repetir:

Uso: Establecer sistemas Agroforestales

Manejo: Realizar Siembras Directas, con la mínima sin disturbación del suelo.

Conservación: Establecer un Programa de Manejo Integrado de Arvenses.

4.1.2.11. Restauración con obras de bioingeniería, de las áreas afectadas.

Las soluciones del problema se realizaron en forma integral y sistémica, en su orden así:

- ✓ Se inició con las actividades de Socialización, Sensibilización, Concientización, Capacitación, Concertación y Priorización a la comunidad como parte del manejo integral y sistémico del proceso de restauración de las áreas afectadas en la Vereda Balmoral del municipio de Filadelfia Caldas, y con el fin de crear un sentido de pertenencia hacia las soluciones por parte de la comunidad afectada (Figura 45)

Figura 45. Taller sobre bioingeniería comunidad de la Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia. Mayo 16 de 2008.



En las Figuras 46, 47 y 48, se ve el efecto de los procesos degradativos presentados en las dos viviendas mencionadas antes de la intervención con las obras de bioingeniería.

Figura 46. Lote con problemas de soliflujión, afectando en la parte alta y baja de la ladera dos viviendas, las cuales eran objeto de desalojo por parte del municipio de Filadelfia y CORPOCALDAS. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 47 Talud con procesos de movimiento en masa, desestabilizando el cimiento de la vivienda. Se observa la presencia de una manguera de acueducto con varios empates, lo que indica que pudo haber influido en parte al desconectarse en la erosión y deslizamiento del talud. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



En la Figura 46, se observa el talud con problemas de reptación, donde existían dos habitaciones de concreto, las cuales desaparecieron como consecuencia del deslizamiento.

Figura 48. Talud con problema de reptación. Desaparecieron dos habitaciones de concreto. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



En la Figura 49, se ve el talud con problemas de reptación desde la casa superior del talud, hasta la carretera principal.

Figura 49. Talud con problemas de reptación. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



En la Figura 50, se presenta la vía que permite la entrada vehicular a la vivienda, parcialmente obstruida por el deslizamiento.

En la Figura 51, se muestran los escombros producto de la destrucción de dos habitaciones de concreto por efecto del deslizamiento.

Figura 50. Vía de entrada a la finca, parcialmente obstruida reptación del terreno. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 51. Presencia de escombros producto de la destrucción de dos habitaciones de la vivienda. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Se continuó con:

- ✓ Sellamiento de grietas.
- ✓ Recolección de las aguas de los techos de las viviendas.
- ✓ Revisión del tanque de almacenamiento de agua, o vaciado del mismo.
- ✓ Se Manejaron adecuadamente las aguas de escorrentía, provenientes del camino aguas arriba de la vivienda de la parte alta del talud, mediante la construcción de ventanas evacuadoras de aguas de escorrentía hacia los lados cada 5 m, complementadas con disipadores simples de energía en guadua (Figuras 52, 53 y 54).

Figura 52 Abertura de ventanas, para la evacuación de aguas de escorrentía provenientes de la carretera. Las ventanas se realizaron desde la parte alta del camino de herradura hasta la carretera principal. Las ventanas se realizaron cada 5 m de distancia una de otra, para manejar caudales pequeños. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia



Figura 53. Construcción de ventanas para evacuación de caudales pequeños de aguas de escorrentía del camino de herradura que conduce a la vereda Balmoral en Filadelfia, Caldas, Colombia.



En cada ventana, se hicieron trinchos con latas de guadua, para que obraran como disipadores simples de energía de las aguas de escorrentía (Figura 54).

Figura 54. Construcción de trinchos escalonados con latas de guadua a cada metro de distancia entre ellos, para disipar energía cinética de aguas de escorrentía en las ventanas de evacuación de aguas de escorrentía del camino de herradura que conduce a la Vereda Balmoral parte alta. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Se construyeron en el camino de herradura que conduce a la parte alta de la Vereda, trinchos escalonados en guadua, cada dos metros, con el fin de disminuir la velocidad del flujo de aguas de escorrentía que avanzan camino abajo, con gran energía cinética, ocasionando erosión en surcos y cárcavas aguas abajo. Gran cantidad de estas aguas confluyen al sitio del problema de las dos habitaciones afectadas (Figura 55).

Figura 55. Disipadores simples de energía para disminución de la energía cinética de las aguas de escorrentía que avanzan camino abajo en períodos lluviosos. Estos disipadores son contruidos en guadua rolliza. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Para evitar la entrada de aguas de escorrentía provenientes del camino hacia el sitio inestable, se construyó un canal con pendiente contraria de tal forma que las aguas retornaran nuevamente al camino (Figuras 56 y 57).

Figura 56. Canal con pendiente contraria al talud inestable, para evita la entrada de las aguas de escorrentía provenientes del camino de herradura. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 57. Camino de herradura con disipadores de aguas de esorrentía contruidos en guadua (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



- ✓ En el sitio problema que colocaba a las dos viviendas en riesgo, se presentaron áreas totalmente saturadas (Figura 58, 59 y 60), por lo cual se hicieron drenajes desde arriba, con filtros vivos en sistema de espina de pescado, especialmente desde los sitios donde afloraban e iban aflorando ladera abajo las aguas subsuperficiales (Figuras 58, 59,60, y 61).

Figura 58. Área mal drenada y totalmente sobresaturada en la parte alta del talud y que tiene en riesgo alto a dos viviendas. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 59 Julio 8 de 2008. Construcción de zanjas profundas y colocación de filtros temporales en guadua, para evitar inicialmente que la zanja se cierre nuevamente como consecuencia de la saturación alta del terreno, y así mismo, inducir al terreno a drenarse para continuar con las obras. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 60. Se construyeron trinchos vivos en guadua escalonados tanto desde la parte trasera de la casa en el talud alto, para su estabilización (figura), y como para el acompañamiento de filtros vivos en guadua construidos a cada 4 m de distancia entre ellos ladera abajo hasta llegar a la carretera principal (julio). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 61. Construcción de obras de estabilización con trinchos vivos escalonados y filtros vivos. Agosto de 2008. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



En las Figuras 62 y 63, se presenta la iniciación de obras de bioingeniería para la estabilización de una de las viviendas con riesgo de colapsar. En la Figura 64, se observa la obra totalmente cubierta de vegetación, indicando la estabilización del terreno.

Figura 62. Construcción de trinchos vivos escalonados en guadua, para estabilizar los cimientos de la vivienda, que presentaba riesgo alto al colapso (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia Caldas, Colombia.



Figura 63. Estabilización de los cimientos de la vivienda con trinchos vivos en guadua reforzados con estacas vivas de nacedero (octubre 15 de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 64. Trinchos vivos totalmente cubiertos de vegetación indicando la estabilización del terreno. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



En el terreno saturado, se iniciaron zanjas profundas para la instalación de filtros vivos en guadua desde la parte alta de la ladera inestable (Figura 65). Para ayudar a sostener los filtros vivos, se construyeron trinchos cada 4 m de distancia (Figuras 66 a 72).

Figura 65. Zanja profunda a través de la pendiente, para empotrar cada uno de los trinchos que sostienen los filtros vivos. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 66. Forma de empotrar uno de los trinchos (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 67. Construcción de cama para acomodar un tramo de filtro vivo en guadua. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 68. Sección de filtro complementado con dos trinchos vivos en guadua (agosto 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas



Figura 69. Sistema de trinchos vivos escalonados y filtros enterrados (julio de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 70. Sistema de trinchos vivos escalonados y filtros enterrados (agosto 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 71. Compactación manual del terreno y perfilado del talud (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 72. Construcción de nueva sección de filtro vivo. Se observa un tramo de filtro cubierto de pasto, para posteriormente ser cubierto con tierra (agosto de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



- ✓ Se complementaron los trabajos con siembras de estacas vivas de 1,0 m de largas a distancias de 0,5 a 1 m entre ellas. Se Utilizaron estacas de *Trichanthera gigantea* (Nacedero, Aro o Quebrabarrigo), y *Gliricidia sepium* (matarratón). Finalmente, se cubrió el área con coberturas densas de Maní forrajero (*Arachis pintoi*) (Figuras 73 a 76).

Figura 73. Trinchos vivos en guadua reforzados con estacas vivas de nacedero, siembra de cítricos y cubrimiento del suelo con cobertura densa de maní forrajero (octubre de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 74. Trabajo culminado. Vista de abajo hacia arriba (Octubre de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 75. Trabajos culminados. Vista de arriba hacia abajo (octubre de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 76. Entrada a la casa, luego de estabilizado y restaurado el terreno (marzo 10 de 2008). Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



En las Figuras 77 a 80, se observa el proceso de cubrimiento del área afectada, por la vegetación, indicando la estabilidad del terreno.

Figura 77. Cubrimiento del talud con coberturas vegetales en un mes aproximadamente, como prueba de la estabilización del terreo. Noviembre 23 de 2008. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 78. Restauración cubrimiento por coberturas vegetales del área afectada. Noviembre 23 de 2008. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 79. Vista de arriba hacia abajo, dos años después de culminado el trabajo, como una muestra de la efectividad de las obras de bioingeniería (agosto de 2010). Imagen facilitada por Fernando Sánchez Zapata ingeniero geólogo, especialista, docente Universidad de Caldas. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



Figura 80. Estado de la estabilización del terreno luego de los tratamientos con bioingeniería, luego de 2 años aproximadamente de entregadas las obras, como una muestra de la efectividad de las obras de bioingeniería (agosto de 2010). Imagen facilitada por Fernando Sánchez Zapata ingeniero geólogo, especialista, docente Universidad de Caldas. Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, Caldas, Colombia.



- ✓ Se restableció la entrada a la vivienda ubicada en la parte baja de la ladera.
- ✓ Se protegió el talud de la vivienda ubicada en la parte superior de la ladera, mediante trinchos vivos escalonados.
- ✓ Se dio salida rápida a las aguas que se acumulan en la parte trasera de la casa ubicada en la parte alta de la ladera.

4.1.2.12. Análisis económico

4.1.2.12.1. Costos de capacitación

En las Tablas 6 y 7, se reportan los costos de prevención y control de erosión y movimientos masales con métodos de bioingeniería de la Vereda Balmoral, Filadelfia.

En la Tabla 6 se presenta los costos relacionados con la socialización, sensibilización, concientización, capacitación.

4.1.2.12.2. Costos de las obras de Bioingeniería.

En la Tabla 7, se presenta los costos relacionados con las obras de bioingeniería.

Al analizar los costos del proyecto, en las Tablas 6 y 7, se observa que \$11.340.000, equivalentes al 23,2% de los mismos, se utilizaron en estudios de diagnóstico (15,47%) y talleres especializados de Socialización, Sensibilización, concientización y capacitación, de la comunidad afectada (7,73%). Estos costos de diagnóstico y capacitación, son relativamente bajos, si se comparan con los de las obras de bioingeniería (76,8%).

Estos costos, están sujetos a presupuestos preestablecidos por la Corporación Regional Autónoma (CORPOCALDAS). De ahí que el deber del técnico fue buscar la manera más eficaz, eficiente y efectiva de utilización de los recursos económicos, razón por la cual, mediante el Inventario y Diagnóstico Integral, se buscaron los sitios más críticos y sus agentes causales dentro de toda el área afectada. Esto permitió, reducir los costos en los tratamientos.

Tabla 6. Presupuesto control de erosión y movimientos masales Vereda Balmoral municipio de Filadelfia, diagnostico, capacitación y asesoría.

LABORES	d	COSTOS UNITARIOS \$	COSTOS TOTALES\$
DIAGNOSTICO	Determinar relación causas - efecto y dar soluciones.	7.560.000	7.560.000
1 Talleres especializados de Sensibilización, concientización y capacitación, comunidad Vereda.	Socializar, Sensibilizar, concienciar y capacitar a la comunidad en lo referente a la prevención y control de los problemas de erosión y remociones masales.	3.780.000	3.780.000
TOTAL FILADELFIA CON IVA			11.340.000

Tabla 7. Ítems, cantidad de obras y precios unitarios, para el manejo integral en el control de áreas afectadas por erosión severa y movimientos masales, con el uso de bioingeniería en la Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	VALOR	
				UNITARIO	PARCIAL
TRABAJOS PRELIMINARES					
1	Taponamiento de grietas con arcilla	ml	39,15	8.486	332.226,9
MOVIMIENTO DE TIERRA					
2	Excavación en zanja hasta 2 m de profundidad tierra húmeda	m ³	182	12.371	2.251.522
OBRAS VARIAS					
3	Trinchos vivos en guadua	m ²	1.122,9	15.600	17.517.240
LABORES DE REFORESTACIÓN					
4	Trazado	ha	0,33	63.212	20.860
5	Plateo y ahoyado	ha	0,33	2.616.489	863.441,4
6	Suministro de plántulas	ha	0,33	207.900	68.607
7	Siembra de plántulas	ha	0,33	409.736	135.212,9
8	Aplicación Fertilizantes	ha	0,33	191.949	63.343,2
OBRAS DE BIOINGENIERÍA					
9	Revegetalización con estacas de matarratón, quebrabarrigo o botón de oro	ml	1.744,8	1.152	2.010.009,6
10	Cobertura vegetal con maní forrajero	m ²	326,2	4.638	1.512.915,6
11	Filtros vivos en guadua	ml	58,7	3.880	227.863
12	Otras Obras varias complementarias				5.040.000
Subtotal					30.043.241,1
Total Filadelfia con AIU + IVA					37.544.209

VALOR TOTAL DEL PROYECTO: 11.340.000 + 37.544.209 = \$48.884.209.

4.1.2.13. Eficacia:

Se lograron todos los objetivos y metas trazados para la estabilización del área afectada, realizando las obras de bioingeniería pertinentes, tal como se puede observar en las Figuras 73 a 76.

4.1.2.14. Eficiencia:

El dinero se invirtió en forma adecuada y optima, ya que se intervino el área crítica, y además su área de influencia.

4.1.2.15. Efectividad:

Las metas fueron alcanzadas, ya que luego de transcurridos dos años, el terreno continúa totalmente estabilizado (Figuras 77 a 80).

4.1.3. INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS DE EROSIÓN Y MOVIMIENTOS MASALES DEL MUNICIPIO DE PÁCORÁ VEREDA SAN BARTOLOMÉ, SECTOR EL ESCOBAL

La zona presenta las características siguientes:

4.1.3.1. Material Parental: Se encuentra conformado por rocas del complejo Quebrada grande que es el conjunto de materiales volcánicos y sedimentarios que constituyen gran parte del flanco occidental de la Cordillera Central, al occidente de la falla San Jerónimo, por su complejidad estructural y la ausencia clara de una base y un techo que permitan definir sus linderos estratigráficos. Ha sido objeto de controversia en cuanto se refiere a la asignación de una nomenclatura estratigráfica formal (Grosse, 1926; Botero 1963; González, 1980, 1993; Álvarez, 1987; Etayo et al., 1983 citados por Naranjo y Ríos (1989), aunque el nombre más empleado ha sido el de Formación Quebrada grande,

aquí se utiliza el de Complejo Quebrada grande, propuesta por Maya y González (1995) citados por Naranjo y Ríos (1989). Se le asigna una edad cretácica.

El Complejo Quebradagrande es una unidad Cretácica constituida por dos miembros: uno volcánico y otro metasedimentario. Todo el paquete con fuerte buzamiento. Desde la óptica de la estabilidad es necesario subrayar la presencia en el segundo miembro, de rocas carbonosas altamente susceptibles a la alteración, por meteorización. Es el caso de las inestabilidades en la Quebra del Billar, la Siria, la Cárcava del Tablazo y el sector de Java, lugares afectados en principio por actividad tectónica (Naranjo y Ríos (1989).

En las Veredas El Escobal y El Brillante, predominan materiales metamórficos de esquistos talcosos, grafiticos y anfibolitas, cubiertos por Cenizas volcánicas.

Estas rocas dan origen a suelos altamente susceptibles a procesos degradativos de erosión y remociones en masa influenciados por la lluvia, la pendiente y la longitud de las laderas, y el uso y manejo inadecuado de las mismas, además por el efecto de la gravedad y la presencia de aguas freáticas que aumentan la presión del agua en los poros de los sustratos de las rocas y suelos.

Las formaciones metamórficas en las laderas caso de las Veredas El Escobal y El Brillante en el municipio de Pácora, son las más críticas desde el punto de vista de su estabilidad y degradación por las siguientes características:

- ✓ La presencia de láminas, bandas, el diaclasamiento, la separación de las capas (resquebrajamientos naturales) debido a la penetración del agua que favorece el intemperismo y meteorización entre ellas. Las rocas se desmoronan fácilmente con el impacto o la presión, de ahí el nombre que le ha dado la gente a estas formaciones, “peña boba”.

- ✓ Materiales frecuentemente fracturados, que facilitan la infiltración alta de agua lo que favorece su alteración y meteorización. La fracturación de estas rocas se debe, en gran parte, a las fallas geológicas que atraviesan la zona cafetera y el país en general.
- ✓ Buzamiento positivo, es decir, capas de rocas metamórficas con dirección en sentido de la pendiente en algunas áreas de la ladera, que favorece los movimientos en masa.
- ✓ Pendientes fuertes a abruptas con longitudes largas a muy largas, que propician escorrentías torrenciales de alto poder de arrastre de materiales sólidos por su gran energía cinética y volumen.

4.1.3.2. Suelos:

De acuerdo con los estudios de zonificación y uso potencial de los suelos de la zona cafetera del Departamento de Caldas realizados por el Programa de desarrollo y Diversificación de Zonas Cafeteras y el Departamento de Investigación y Programación Sección de Agrología de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1982), en la Zona de El Escobal predominan los Suelos del Complejo Pácora - Tablazo (Anexos 5 y 6).

Textura: Arcillosa y Franco arenosa. En algunos lugares aflora el material parental. La textura arcillosa favorece la retención de humedad, y los deslizamientos o movimientos masales.

USO ACTUAL: Café a libre exposición solar, pastos y algunos relictos de bosque.

USO POTENCIAL: Dada su posición altitudinal y sus características, el uso más indicado es el de conservar la vegetación natural existente y reforestar los sitios carentes de ella, con el fin de favorecer el abastecimiento de agua de las zonas inferiores.

4.1.3.3. Topografía: Pendiente entre 80 a > 100 %, y de longitudes muy largas, mayores de 800 m.

4.1.3.4. Clima:

Altitud: 1880 m

Lluvias: Bimodales, reportadas por Cenicafé de la Estación la Linda Municipio de Pácora (Tabla 8).

Tabla 8. Lluvias de la estación la linda; pacora caldas. Datos históricos.

Estación La Linda – Departamento Caldas, Municipio : Pácora												
Latitud: 5° 33'N - Longitud : 75° 32' W - Altitud 1750 m												
LLUVIAS mm												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Total
100	121	166	200	242	156	143	145	229	278	229	171	2180
* Datos de la CHEC												

En la Tabla 8, se observa una buena distribución de las lluvias a través del año, con una precipitación anual de 2180 mm, siendo los meses más lluviosos, Mayo (242 mm), Septiembre (229 mm), Octubre (278 mm), y Noviembre (229). En estos meses altamente lluviosos, es cuando se presenta la mayoría de los deslizamientos en la región, obstruyéndose la vía por deslizamientos depositados sobre la misma o por pérdida de la BANCA.

4.1.3.4. Vegetación Actual: En la región predomina el monocultivo del café y los pastos, el nacedero, matarratón, guamo, entre otras.

C^o

4.1.3.5. Animal: Presencia de ganadería

4.1.3.6. Infraestructura: Vía carretable en muy mal estado, por falta de obras de arte para el manejo de las aguas de escorrentía. Hay pérdida de la banca.

4.1.3.7. Hombre: Con grado de escolaridad bajo, pero con gran interés en aprender sobre la problemática y la manera de afrontar sus problemas.

4.1.3.8. Relación Causa – Efecto de los procesos degradativos

4.1.3.8.1. Causas: Al analizar en forma integral y sistémica cada uno de los parámetros anteriores se encuentra claramente, que ellos hacen parte fundamental en la

problemática de degradación de los suelos por erosión y movimientos en masa, tales como:

Material Parental: Predomina el Afloramiento de un material parental derivado de anfibolitas muy fracturadas.

Suelo: Por lo general el suelo se ha perdido, quedando en superficie la roca fracturada e inestable de anfibolitas.

Topografía: Las fuertes pendientes mayores del 100% y sus longitudes largas, mayores de 800 m permiten la concentración de aguas de escorrentía ladera abajo, arrastrando consigo el suelo, y desestabilizando la BANCA de la carretera, dejado a la comunidad incomunicada por varios días.

Clima:

Se observa como la cantidad de lluvia en la región y especialmente en los meses de Mayo, Septiembre, Octubre y Noviembre, es uno de los agentes naturales causales de la erosión y los deslizamientos.

Vegetación: El área afectada presenta una vegetación escasa y aislada, estando el 95%, del terreno descubierto.

Animal: Estas tierras han sido sometidas a la ganadería, con pasturas de anclaje y refuerzo mecánico del suelo muy superficial.

Infraestructura: La vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé, presenta muy pocas obras de arte para captación de aguas de escorrentía, lo que hace que caudales demasiado grandes de agua se concentren por un mismo sitio, ocasionando arrastre de sedimentos y pérdida de la banca.

En las Figuras 81, 82 y 83, se observa toda la problemática compleja que se presenta en la región por el avance incontrolado de las aguas de escorrentía causantes de la problemática degradativa de la región, ya que por donde avanza, socava los taludes bajos de la banca de la carretera, ocasionando la formación de cárcavas (Figuras 81, 82 y 83).

Figura 81. Avance de las aguas de escorrentía hacia los taludes bajos de la carretera causando desestabilización y pérdida de la banca. Agosto 10 de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 82. Vereda El Escobal municipio de Pácora. Avance de las aguas lluvias sobre la banca de carretera. Se observa que por donde se concentran las aguas de escorrentía, inmediatamente se forma una cárcava que da origen a la pérdida de la banca de la carretera. Julio de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda san bartolomé, sector El Escobal.



Figura 83. Sitio por donde avanzan las aguas de escorrentía provenientes de la banca de la carretera, acelerando los procesos remontantes. Agosto 10 de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



4.1.3.8.2. Efectos

Área afectada por erosión y deslizamientos correspondiente al sitio de trabajo: 70 ha aproximadamente.

Se presentan movimientos masales a ambos lados de la carretera observándose únicamente la línea parte aguas, que hace parte de la banca.

En las Figuras 84 a 95, se observa toda la problemática que se presenta en la región con base en el mal uso y manejo de los suelos y el agua de escorrentía.

En las Figura 84 a 94, se ve claramente que el talud bajo de la carretera, se encuentra erosionado en un 99%, referenciado por la presencia incipiente de una cobertura vegetal rala que cubre tan solo el 1% del área afectada aproximadamente. Esa ausencia de cobertura vegetal, la frecuencia de las lluvias, y la ausencia de manejo de las aguas de escorrentía, son las que permiten que el proceso degradativo perdure en el tiempo y avance en el espacio, sin solución alguna. Esta situación es confundida permanentemente con ramales de la falla geológica de Romeral, ya que nunca funcionaron a través del tiempo las soluciones monodisciplinarias realizadas con obras de concreto, las cuales siempre colapsaron (Figuras 90, 91 y 92). Así mismo, se realizaron obras de falsa bioingeniería, utilizando guadua perforada en su interior, para luego ser llenada con varillas de hierro y mezcla de concreto, las cuales por ser obras muertas, tampoco funcionaron (Figura 90).

En la Figura 93, se observa una cárcava profunda, la cual se formó producto de la entrada incontrolada de grandes caudales de agua de escorrentía recogidas en trayectos muy largos de la vía. Este sitio, era uno de los más críticos y fundamentales de solucionar, para evitar que el proceso continuara hacia abajo y los lados, pudiéndose inutilizar la vía por completo, similar a lo ocurrido en otros sitios de la misma como es el caso señalado en la Figura 94.

En la Figura 95, se muestra una vivienda ubicada en la zona de influencia de los deslizamientos, la cual fue evacuada y demolida, posiblemente por desconocimiento y temor a que colapsara como consecuencia de los deslizamientos ocurridos en el área de influencia de los deslizamientos.

Figura 84. Estado avanzado de degradación de taludes por efecto de mal manejo de aguas de escorrentía. Marzo de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 85. Se observa el efecto de cárcava remontante hacia la banca de la carretera. Marzo de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 86. Sitio de entrada de aguas de escorrentía provenientes de la cuneta de la carretera. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 87. Pérdida de parte de la banca de la carreta por efecto de las aguas de escorrentía. Marzo de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 88. Presencia de negativo de carretera, con pérdida de parte de la banca. Marzo de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 89. Recorrido exploratorio por la parte baja de la banca de la carretera vía San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora Caldas. Se observa la longitud del escarpe mayor de 2000 m, la inclinación de la ladera con pendiente mayor del 100%. Septiembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 90. Obras construidas con guadua hueca por dentro y rellena de hierro y concreto, como una falsa bioingeniería. Vía San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Septiembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 91. Obras de concreto de ingeniería convencional, colapsadas y transportadas desde la banca de la carretera por efecto de la fuerza de gravedad y las lluvias. San Bartolomé, sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas. Enero de 2009. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 92. Obras de concreto de ingeniería convencional, colapsadas y transportadas desde la banca de la carretera hasta la parte baja por efecto de la fuerza de gravedad y las lluvias. San Bartolomé, sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas. Enero de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 93. Sitio por donde se concentran las aguas de escorrentía provenientes de la cuneta de la carretera aguas arriba. Se observa el socavamiento de la banca de la carretera. Septiembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 94. Estado actual de la vía san Bartolomé – municipio de Pácora, Caldas sector El Escobal. Septiembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 95. Vivienda evacuada y demolida innecesariamente por la creencia de la presencia de una falla geológica ser la causante de los movimientos en masa de la región. Septiembre de 2008. Vivienda sobre vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



4.1.3.9. Uso, Manejo y Conservación Potencial de los Suelos.

El análisis de la relación Causa – Efecto, orientó en forma preventiva, lo que debe ser el Uso, Manejo y Conservación potencial de los Suelos, para que los problemas no se repitan, así:

Uso: Establecer sistemas Agroforestales

Manejo:

- ✓ Realizar Siembras Directas, con disturbación mínima del suelo.
- ✓ Fraccionar adecuadamente las aguas de escorrentía provenientes de las vías, a través de ventanas evacuadoras de aguas de escorrentía entre tramos cortos de 5 – 10 m, para evitar concentrar de caudales muy grandes a un mismo sitio.

Conservación: Establecer Programa de Manejo Integrado de Arvenses dentro de los lotes de los cultivos.

- ✓ Construir disipadores simples de energía por los sitios donde se concentran las aguas de escorrentía, provenientes de las vías, viviendas, lotes y drenajes naturales.

4.1.3.10. Restauración con obras de bioingeniería, de las áreas afectadas.

Las soluciones del problema se realizaron en forma integral y sistémica, en su orden así:

- ✓ Se realizaron actividades de Socialización, Sensibilización, Concientización, Capacitación, Concertación y Priorización con participación directa de la comunidad afectada como parte del manejo integral y sistémico del proceso de restauración de las áreas afectadas, con el fin de crear sentido de pertenencia hacia las soluciones por parte de la comunidad (Figura 96).

Figura 96. Actividad de socialización, sensibilización, concientización, capacitación, concertación y priorización con la comunidad de San Bartolomé municipio de Pácora, sobre la problemática ambiental y la manera de solucionarla. Abril de 2008. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Se realizaron en su orden actividades en campo tales como:

- ✓ Aislamiento del área
- ✓ Sellamiento de grietas.
- ✓ Perfilado del terreno.
- ✓ Manejo adecuado de las aguas de esorrentía, mediante disipadores de energía, consistente en trinchos vivos escalonados desde la banca de la carretera hacia abajo hasta alcanzar la pata del talud y el drenaje natural, debidamente reforzados con estacas vivas de nacedero y matarratón.
- ✓ Siembra de estacas vivas de 1,0 m de largas a distancias de 1 m entre ellas en todo el terreno.

Por tratarse de un área crítica y grande, mayor de 10 hectáreas, se hicieron las soluciones y los seguimientos a las obras por sectores, para tener claridad mayor respecto a la eficiencia, eficacia y efectividad de las obras de bioingeniería.

Sector 1.

Se actuó inicialmente en el sitio donde se concentran gran parte de las aguas de escorrentía provenientes de la carretera (Figuras 93 y 97 a 105). En las Figuras 98 a 105, se presenta la secuencia del tratamiento del primer sector, mediante el manejo de las aguas de escorrentía en los sitios más críticos del área afectada, al igual que las prácticas de estabilización y restauración de la banca de la carretera y sus taludes, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados, y la siembra de estacas vivas de nacedero y cobertura densa de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*).

En la Figura 105, se observa el proceso de restauración del sector 1, donde ya el área está cubierta de vegetación en un 100%, luego de transcurrido un año de iniciadas las obras de bioingeniería, lo que demuestra la eficacia de las mismas.

Figura 97. Sitio donde se concentran grandes caudales de aguas de escorrentía provenientes de la carretera. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 98. Sector 1. Iniciación de trabajos de bioingeniería en el sitio por donde se concentran las aguas de escorrentía provenientes de la vía. Se comenzaron los trabajos de disipación de energía, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados. Septiembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a san Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 99 Sector 1. Se observa el caudal de agua de escorrentía que avanza ladera abajo para lo cual se iniciaron trabajos con disipadores simples hechos en agua, para disminuir la energía cinética de las aguas de escorrentía evitando el arrastre de sedimentos y desestabilización de los taludes laterales de las cárcavas ya formadas. (Noviembre de 2008). Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 100 Sector 1. Estabilización y restitución de parte de la banca de carretera, mediante la construcción de trincheras vivas escalonadas. Corregimiento de San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Diciembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 101. Aislamiento del área estabilizada, y siembra de estacas de matarratón. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé.



Figura 102 Sector 1. Avances en la estabilización y restitución de parte de la banca de carretera, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados. Corregimiento de San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Diciembre de 2008. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 103. Trinchos en guadua construidos de arriba hacia abajo. Se observa lo abrupto de la pendiente, mayor del 100%. Diciembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda san Bartolomé, Sector el Escobal.



Figura 104. Sector 1. Avances en la estabilización y restitución de parte de la banca de carretera, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados, dando vía a los primeros vehículos. Corregimiento de San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Diciembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 105. Sector 1. Avances en la estabilización y restitución de parte de la banca de carretera, mediante la construcción de trinchos vivos escalonados. Corregimiento de San Bartolomé, sector El Escobal, municipio de Pácora, Caldas. Se observa el cambio y el crecimiento de la vegetación en 11 meses. Noviembre de 2009. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Sector 2.

Área totalmente desprovista de vegetación, como consecuencia de la pérdida total de las cenizas volcánicas que cubrían el basamento de anfibolitas muy meteorizadas, quedando el terreno, totalmente escarpado con pendiente mayor del 100% (Figura 106). En las Figuras 107 a 110, se observa la secuencia en el proceso de estabilización del terreno y la restauración de la cobertura vegetal luego del establecimiento de las obras de bioingeniería (Noviembre de 2008 a Noviembre de 2009).

En el año 2011, luego de estabilizado el terreno con obras de bioingeniería, posibles Organismos del Estado, tomaron la decisión de cambiar dichas obras entre los sectores 1 y 2, por una pantalla de concreto (Figuras 110 (área ya restaurada), Figura 111 área con las obras destruidas) y Figura 112, área donde fueron reemplazadas las obras de bioingeniería por una pantalla de concreto. Obra cuyo costo (100 millones de pesos aproximadamente), fue similar al presupuesto aportado por CORPOCALDAS, para la estabilización de toda el área afectada de 70

ha aproximadamente Esto demuestra la capacidad estabilizadora de las obras de bioingeniería, al servir además de precursoras para el establecimiento de obras civiles de concreto.

Figura 106. Sector 2. Se aprecia la construcción de trinchos vivos escalonados desde arriba hacia abajo, como disipadores de energía de aguas de escorrentía en el segundo sector crítico del área afectada. El 1% del área presentaba cobertura vegetal. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas. Noviembre de 2008. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 107. Sector 2. Se aprecia la siembra y rebrote de estacas vivas de matarratón. El 20% del área presentaba cobertura vegetal. Corregimiento san Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas marzo de 2009. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 108. Sector 2. Se aprecia el rebrote de estacas vivas de matarratón, Lechero y el cubrimiento del terreno con gramíneas, como un indicador de estabilización del proceso degradativo. El 35% del área presenta cobertura vegetal. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas julio de 2009. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 109. Sector 2. Se aprecia el rebrote de estacas vivas de matarratón, lechero y el cubrimiento del terreno con gramíneas como un indicador de estabilización del proceso degradativo. El 100% del sector presenta cobertura vegetal, demostrando la efectividad de las obras de bioingeniería. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas noviembre de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 110. Se observa el proceso de establecimiento de la vegetación sembrada como complemento de las obras de bioingeniería, las cuales actúan como refuerzo mecánico para el talud, al aumentarse su cohesión. Vegetación que fue posteriormente quitada para el establecimiento de un muro de concreto. Noviembre de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 111. Destrucción de parte de la obra de bioingeniería entre los sectores 1 y 2 para ser reemplazada por un muro de concreto. Esto demuestra la fortaleza que brinda las obras de bioingeniería en la estabilización de las laderas. Abril de 2011. Vía carreteable que conduce de Pácora San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 112. Se observa entre los sectores 1 y 2, luego de estabilizado los taludes con obras de bioingeniería, parte de ellos, especialmente la zona alta del talud, fue reemplazada por un muro de concreto por valor de 100 millones de pesos aproximadamente. Valor similar al presupuesto de todo el proyecto de bioingeniería para la zona. Imagen tomada en agosto de 2012. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Sector 3.

El sector 3 al igual que en los otros dos, presenta un grado alto de complejidad, debido a la pérdida de la banca de la carretera. Razón por la cual, hubo la necesidad de trabajar en equipo con la Secretaría de Obras Públicas del Departamento de Caldas, para que ampliara la vía, ya que por la pérdida de la banca, no había posibilidad del paso vehicular. A la par con ellos, se iniciaron los trabajos de estabilización de la banca (Figuras 113, 114 y 115).

En la Figura 115, se presenta el daño causado a las obras de bioingeniería con una maquina paladraga de la Secretaría de Obras Públicas del Departamento de Caldas, con la cual se inició la ampliación de la vía. Toda la tierra sacada del talud, fue depositada directamente sobre las obras de bioingeniería recién construidas, causando destrucción de las mismas.

En Diciembre de 2008, como parte del programa de socialización del proyecto, se realizó una visita por parte de los estudiantes del curso de Especialización en Geotecnia de la

Universidad de Caldas, para observar los avances de las obras de bioingeniería (Figuras 116 a 122).

Figura 113. Se observa la pérdida de banca, y las diferentes entradas de agua de escorrentía causantes de la degradación por erosión avanzada. Se dificulta el paso vehicular, lo que tuvo al corregimiento incomunicado con el municipio de Pácora por varios días. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas septiembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 114. Sector 2. Inicio de las obras de bioingeniería, para estabilización de la banca de carretera. Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal municipio de Pácora, Caldas septiembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 115. Sector 3. Daños ocasionados a las obras de bioingeniería con el uso indebido de la maquinaria de la secretaría de obras de empresas públicas del departamento de caldas. Noviembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



En las Figuras 116 a 120 presenta toda la secuencia de la restauración del sector 3, con obras de bioingeniería.

Figura 116. Practica de bioingeniería con estudiantes de posgrado de la especialización de geotecnia de la universidad de caldas. Diciembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a san Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda san Bartolomé, sector el Escobal.



Figura 117. Construcción de trinchos vivos escalonados para estabilizar talud bajo de la vía que conduce de corregimiento San Bartolomé sector el Escobal al municipio de Pácora, Caldas diciembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 118. Construcción de trinchos vivos escalonados para estabilizar talud bajo de la vía que conduce del corregimiento San Bartolomé sector El Escobal al municipio de Pácora, Caldas. Diciembre de 2008. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 119. Construcción de trinchos vivos escalonados, reforzados con siembra de estacas vivas de matarratón para estabilizar talud bajo de la vía que conduce del corregimiento San Bartolomé sector El Escobal al municipio de Pácora, Caldas. Febrero de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 120. Aislamiento con alambre de púas del talud bajo de la vía que conduce del corregimiento San Bartolomé sector El Escobal al municipio de Pácora, Caldas. Febrero de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Sector 4.

El sector 4 comprende un sitio por donde avanzaban en forma concentrada sin control alguno las aguas de escorrentía provenientes de un tramo largo (mayor de 1000 m) de la carretera que conduce del Municipio de Pácora Caldas al Corregimiento San Bartolomé sector El Escobal. Febrero de 2009. Estas aguas ocasionaron un proceso de cárcava profunda, desestabilizando el talud bajo de la carretera y el talud de la finca aledaña (Figura 121). Allí se hicieron trinchos vivos escalonados, reforzados con estacas vivas de matarratón y cobertura de pasto estrella. En las Figuras 122, se observa la restauración del área afectada, en un lapso de tiempo de 15 meses.

Al comparar las Figuras 120 y 125, se observa un cubrimiento por parte de la vegetación de un 100% en solo 6 meses.

Si se comparan las Figuras 114 con las Figuras 126, 127 y 128 se percibe un cubrimiento por la vegetación entre el 75 y 100%, en los sitios tratados aproximadamente.

Lo anterior indica que pese al sitio presentar problemas demasiado complejos, donde nunca funcionaron las estructuras inertes de concreto, las obras de bioingeniería obraron eficientemente en el tiempo y en el espacio.

Figura 121. Sitio por donde avanzan en forma concentrada sin control alguno las aguas de escorrentía provenientes de un tramo largo (mayor de 1000 m) de la carretera que conduce del municipio de Pácora, Caldas al corregimiento San Bartolomé sector El Escobal. Febrero de 2009. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 122. Restauración de cárcava profunda, con la construcción de trinchos vivos escalonados, complementados con estacas vivas de matarratón. Mayo de 2010. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 123. Aislamiento con cerco de alambre de púas del área afectada. Febrero de 2009. Vía carretable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 124. Estado de restauración y estabilización de la vía comparada a los nueve meses después de realizadas las obras. Noviembre de 2009. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 125. Estado de restauración de los taludes de la banca en 1,5 años de construidas las obras, lo que indica que las obras han sido eficaces y efectivas. Agosto de 2010. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 126. Se lograron las metas, lo que se demuestra en un año y once meses de haberse construido las obras agosto de 2010. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector el Escobal.



Figura 127. Restauración eficaz y efectiva, en 2 años y cuatro meses de realizadas las obras de bioingeniería agosto de 2010. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector El Escobal.



Figura 128. Efectividad de las obras de bioingeniería, desde septiembre de 2008 hasta agosto de 2012. Vía carreteable que conduce de Pácora a San Bartolomé. Municipio de Pácora Vereda San Bartolomé, sector el Escobal.



4.1.3.11. Análisis económico

En las Tablas 8 y 9, se reportan los costos de prevención y control de erosión y movimientos masales con métodos de bioingeniería del Corregimiento San Bartolomé, sitio el Escobal, municipio de Pácora Caldas.

4.1.3.11.1. Costos de capacitación

En la Tabla 8 se reporta los costos relacionados con el diagnóstico, la socialización, sensibilización, concientización, capacitación.

4.1.3.11.2. Costos de las obras de Bioingeniería.

En la Tabla 9, se presenta los costos relacionados con las obras de bioingeniería.

Al analizar los costos del proyecto, en las Tablas 8 y 9, se observa que \$11.340.000, equivalentes al 10,6% de los mismos, se utilizaron en estudios de diagnóstico (15,47%) y talleres especializados de Socialización, Sensibilización, concientización y capacitación, de la comunidad afectada (7,06%). Estos costos de diagnóstico y capacitación, son relativamente bajos, si se comparan con los de las obras de bioingeniería (89,4%).

Estos costos, están sujetos como en los casos anteriores a presupuestos preestablecidos por la Corporación Regional Autónoma (CORPOCALDAS). De ahí que el deber del técnico fue buscar la manera más eficaz, eficiente y efectiva de utilizar los recursos económicos, razón por la cual, mediante el Inventario y Diagnóstico Integral y Sistémico, se buscaron los sitios más críticos y sus agentes causales dentro de toda el área afectada. Esto permitió, reducir los costos en los tratamientos. No obstante, por la magnitud y complejidad del problema, los recursos fueron deficientes, situación que obligó a CORPOCALDAS a hacer un reajuste de 50 millones de pesos más, los cuales siguieron siendo deficientes, para la magnitud del problema.

Es importante resaltar, que para soluciones de problemas de erosión y movimientos masales con técnicas de Bioingeniería, se hace indispensable realizar previamente estudios de Inventario y Diagnóstico Integral y Sistémico, que permita determinar las relaciones Causa – Efecto y con base en ello proceder al diseño y costo de las soluciones, ya que si las propuestas se hacen con simples Licitaciones Públicas para la realización de cierta cantidad de obras de Bioingeniería, las soluciones pueden fracasar en un porcentaje alto, mayor del 80%, ya que no se sabría el porqué, para qué, donde, a que profundidad, a que distancias, alturas y conque materiales, lo que conduciría a un inminente fracaso y a pérdidas inmensurables de dinero.

Tabla 9. Diagnóstico, capacitación y asesoría Pácora

LABORES	OBJETIVOS	COSTOS UNITARIOS \$	COSTOS TOTALES \$
DIAGNOSTICO	Determinar relación causas - efecto y dar soluciones.	7.560.000	7.560.000
1 Talleres especializados de Sensibilización, concientización y capacitación, comunidad Vereda.	Socialización, Sensibilizar, concienciar y capacitar a la comunidad en lo referente a la prevención y control de los problemas de erosión y remociones masales.	3.780.000	3.780.000
Total Capacitación Asesoría Pacora con IVA			11.340.000

Tabla 10. Ítems, cantidad de obras y sus precios unitarios respectivos, para el manejo integral en el control de áreas afectadas por erosión severa y movimientos masales, mediante el uso de la bioingeniería en la Vereda Escobal del municipio de Pácora.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR	
				UNITARIO	PARCIAL
TRABAJOS PRELIMINARES					
1	Taponamiento de grietas con arcilla	ml	198	8486	1.680.220
MOVIMIENTO DE TIERRA					
2	Excavación en zanja hasta 2 m de profundidad tierra húmeda	m ³	483,8	12.266	5.934.290,8
OBRAS VARIAS					
3	Trinchos vivos en guadua	m ²	1.489	15.600	23.228.400
OBRAS DE BIOINGENIERÍA					
4	Revegetalización con estacas de matarratón, quebrabarrigo o botón de oro	ml	366	1.152	421.632
5	Otras Obras varias complementarias				5.040.000
SUB TOTAL MATERIALES y OBRA DE MANO					36.304.542
TOTAL PÁCORA MATERIALES CON AIU + IVA					45.683.904

ml: metro lineal

VALOR TOTAL DEL PROYECTO: 11.340.000 + 45.683.904 + 50.000.000 (otro si del proyecto para obras en el Escobal) = 107.023.904.

No obstante, los recursos fueron escasos para poder cubrir el área en su totalidad con obras de bioingeniería.

4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD DE LAS OBRAS DE BIOINGENIERÍA.

4.2.1. Eficacia:

La eficacia de las obras de bioingeniería se demostró con el logro de todos los objetivos y metas propuestos para la estabilización de las áreas afectadas, realizando las obras de bioingeniería pertinentes con base en el Inventario y diagnóstico acertado, tal como se observa en las Figuras 104, 105, 107, 108, 119, 120, 121, 122, 123.

4.2.2. Eficiencia:

El dinero se invirtió en forma adecuada y optima, ya que se intervino el área crítica, y además gran parte de su área de influencia.

4.2.3 .Efectividad:

Las metas fueron alcanzadas, ya que luego de transcurridos dos años, el terreno continúa totalmente estabilizado (109, 110, 124, 125, 126, 127 y 128).

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Los trabajos realizados en las tres localidades del departamento de Caldas, Colombia, demuestran que las técnicas de Bioingeniería son eficaces, eficientes, efectivas y económicas.
- ✓ Se encontró que si se hace un buen inventario y diagnóstico integral y sistémico, que permita determinar los agentes causales de los efectos, las soluciones se vuelven simples.
- ✓ Se observa que el solo hecho de acometer oportunamente los agentes causales de los efectos, los resultados en la estabilización de los procesos degradativos por erosión y movimientos masales son inmediatos.
- ✓ Con el trabajo, se demuestra que hasta los problemas más críticos, se pueden solucionar con Técnicas de bioingeniería, caso del Corregimiento San Bartolomé, sector el Escobal del Municipio de Pácora Caldas Colombia.
- ✓ Se observó que los trabajos de bioingeniería son ambientalmente amigables con la naturaleza, estéticos y embellecen el paisaje, ya que se devuelve el verde natural al sitio tratado y a su área de influencia, mejorando la biodiversidad genética de la región.
- ✓ Se encontró que con recursos económicos muy pequeños, se pueden resolver problemas muy grandes tal como se logró en el Corregimiento de San Bartolomé, sector el Escobal del Municipio de Pácora Caldas Colombia, utilizando Técnicas de Bioingeniería.
- ✓ La restauración de áreas degradadas por erosión severa y movimientos masales, con Técnicas de Bioingeniería, se pueden convertir en un aliciente atemperante del calentamiento global.

5.2. RECOMEDACIONES

- ✓ Los Organismos del Estado relacionados con temas ambientales, tales como las Corporaciones Regionales Autónomas, Inviás, los Ministerios de Agricultura, Minas, Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, Secretarías de Obras Públicas Departamentales

y municipales, entre otros están en mora de Capacitarse y de utilizar las Técnicas de Bioingeniería en la Prevención y Control de Problemas de Erosión y Movimientos Masales.

- ✓ Las contrataciones para el control de erosión y movimientos masales con Técnicas de Bioingeniería, no se deben hacer por licitaciones, si previamente no se ha realizado un estudio de Inventario y Diagnóstico Integral y Sistémico, que permita determinar los agentes causales de los efectos y un verdadero diseño de las obras.
- ✓ Las Universidades, deben fomentar Posgrados a los niveles de Especialización, Maestría y Doctorado en Bioingeniería del Suelo para formar profesionales integrales en la prevención y control de problemas de erosión y movimientos masales, lo que evitaría gran cantidad de tragedias con pérdidas de vidas humanas y materiales en cada período invernal.

Es importante resaltar, que para soluciones de problemas de erosión y movimientos masales con técnicas de Bioingeniería, se hace indispensable realizar previamente estudios de Inventario y Diagnóstico Integral y Sistémico, que permita determinar las relaciones Causa – Efecto y con base en ello proceder al diseño y costo de las soluciones, ya que si las propuestas se hacen con simples Licitaciones Públicas para la realización de cierta cantidad de obras de Bioingeniería, las soluciones pueden fracasar en un porcentaje alto, mayor del 80%, ya que no se sabría el porqué, para qué, donde, a que profundidad, a que distancias, alturas y conque materiales, lo que conduciría a un inminente fracaso y a pérdidas inmensurables de dinero.

CAPITULO VI.
BIBLIOGRAFÍA

- ABE, K. y ZIEMER, R.R. 1991. Effects of tree roots on shallow-seated landslides. *In*: Proceedings, Geomorphic Hazards in Managed Forests, XIV IUFRO World Congress, 5-11 August 1990, Montreal, Canada. USDA Forest Service Gen. Tech. Report PSW-130, Berkeley, California. 11-20. On line Internet: <http://www.rsl.psw.fs.fed.us>
- BARRERA G , J. Evaluación Del Sistema Radical De Cuatro Especies Vegetales En La Estabilidad De Laderas De La Zona Cafetera Colombiana, Trabajo de Tesis para optar al Título de Ingeniero Forestal Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales Proyecto Curricular Ingeniería Foresta Bogotá D.C. 2003.
- BELTRÁN, L. y CORREDOR, L. 1989. El uso de la vegetación en la estabilidad de taludes. En: I Simposio Suramericano de deslizamientos, 7 – 10 Agosto de 1989, Paipa-Colombia. Vol. I. Comisión Colombiana de deslizamientos.
- CORTES L., A. 1982. Geografía de los suelos en Colombia. Bogotá (Colombia). Universidad de Bogotá. 161 p.
- DOLFFUS, O. 1973. La cordillère des Andes. Présentation des problèmes Géomorphologiques. Rev. Geog. Phys. Et. Geol. Dyn. (15) 1-2, 157-176.
- FAO.1990. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: diseño y construcción de caminos en cuencas hidrográficas frágiles. Guía FAO de conservación 13/5 Roma. 234 p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFÉTEROS DE COLOMBIA (FEDERACAFÉ). 1982a. Cuarenta años de investigación de CENICAFÉ. Suelos Vol 1. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. 74p.

FEDERACION NACIONAL DE CAFÉTEROS DE COLOMBIA (FEDERACAFÉ). 1982b. PROGRAMA DE DESARROLLO Y DIVERSIFICACION DE ZONAS CAFETERAS Estudio de Zonificación y Uso Potencial del suelo en la zona Cafetera del Departamento de Caldas. Bogotá, Colombia. Federacafé-Prodesarrollo. 309 p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. (FEDERACAFÉ). Centro Nacional de Investigaciones de Café. (CENICAFÉ). 1975. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná. Cenicafé. 267p.

FLOREZ, A. 1986. Geomorfología del área Manizales – Chinchiná, Cordillera Central, Colombia. Amsterdam, Universidad Van Amsterdam. 159 p. (Tesis Ph. D.)

FOURNIER F., 1960. Climat et érosion. Ed. Presses Universitaires de France. Paris

GOMEZ A., A. 1979. Clasificación del uso potencial de tierras de ladera. Sistema IUM. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. 1979. 9 p.

GOMEZ A.A. 1987. La zona Andina Colombiana. Erosión y Conservación de Suelos. In: Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 4. Coloquio de la degradación de los suelos en Colombia, 9. Neiva Huila, 18-21 de agosto, 1987. Cenicafé, Chinchiná (Colombia). 1987. 34 p.

GOMEZ A.A. 1989. Políticas y acciones en conservación de suelos en Colombia. In: Reunión de Expertos en Conservación de Suelos. San José de Costa Rica. 5-13 de febrero, 1989. 22p.

GOMEZ A.A. 1990. Manejo integrado de malezas en el cultivo del café y la erosión de los suelos. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de

Investigaciones de Café. Chinchiná (Colombia). 50 años de Cenicafé 1938-1988. Conferencias conmemorativas. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. pp. 15-22.

GOMEZ A., A.; RAMIREZ H.C.J.; CRUZ K., R.G. RIVERA P., H. 1987. Manejo y control integrado de malezas en cafetales y potreros de la Zona Cafetera. Chinchiná (Colombia), FEDERACAFÉ. Cenicafé. 254 p.

GOMEZ A., A.; RIVERA P., H. 1987. Descripción de malezas en plantaciones de café. Chinchiná (Colombia). Centro Nacional de Investigaciones de café. 1987. 490 p.

GOMEZ A., A.; RIVERA P., H. 1995. Descripción de arvenses en plantaciones de café. Chinchiná (Colombia). Centro Nacional de Investigaciones de café. 481p.

GRAY, D. H. y SOTIR, R.B. 1996. Biotechnical and soil bioengineering: Slope Stabilization, A practical guide for erosion control. John Wiley and Sons. 378 p.

HARCHARIK, D. A. Y KUNKLE, S. H. 1978. Plantaciones forestales para la rehabilitación de tierras erosionadas. En: lecturas especiales sobre técnicas de conservación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Guía FAO conservación No. 4. Roma

HUDSON, N. Conservación de suelos. 1982 Barcelona (España). Reverté S.A. 335 p.

HOYOS, F. y MEJÍA, M. 1999. Las raíces de la estabilidad. Boletín de Vías. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. 26 (92): 46-66.

IMBACH, A.C., FASSBENDER, H.W., BEER, J., BOREL, R. y BONNEMANN, A. 1989. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró

(*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. VI. balances hídricos e ingreso con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos. Turrialba. **39 (3):**400-414.

IDEAM. 2000. Terrenos afectados por movimientos en masa en Colombia. On line Internet:
<http://www.ideam.gov.co>

KROGSTAD. F. 1995. A physiology and ecology based model of lateral root reinforcement of unstable hillslopes. Tesis de grado (Master of Science). University of Washington. Washington. 44 p.

Las malezas nobles previenen la erosión. Avance Técnico Cenicafé (Colombia). No. 151. 1990. 4 p.

MEYER L.D. 1984. Evolution of the Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation. 39(2): 99-138.

MONTERO, J. 1993. Diagnóstico de amenazas por inestabilidad de taludes y laderas en carreteras de Colombia. Boletín de Vías Universidad Nacional (Manizales) XX (77): 117 – 167.

MORENO B.A., RIVERA P., J.H. Rotación de cultivos intercalados de café, con manejo integrado de arvenses. Avances Técnicos Cenicafé. No. 307. Colombia. 8p.

NARANJO H., J.L.; RÍOS A., P.A. 1989. Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos. Revista Universidad de caldas. 10 (1-3). 113 p.

O'LOUGHLIN, C. y ZIEMER, R.R. 1982. The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in steepland forests. Proceedings of I.U.F.R.O. Workshop

P.1.07-00 Ecology of Subalpine Ecosystems a Key to Management. 2-3 August 1982, Corvallis, Oregon. Oregon State University. P. 70-78. Online Internet: <http://www.rsl.psw.fs.fed.us>

OLMOS, E. y MONTENEGRO, H. 1987. Inventario de los problemas de la erosión y degradación de los suelos de Colombia. In: Congreso Colombiano de la ciencia del suelo, 4 y Coloquio la degradación de los suelos en Colombia, 9. Neiva (Colombia), 18-21 de agosto de 1987. Resúmenes. Neiva, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1987. p.23.

Online Internet: <http://www.rsl.psw.fs.fed.us>

PHILLIPS, C.J. y WATSON, A.J. 1994. Structural tree root research in New Zealand: A review. Landcare Research Science Series No. 7. Lincoln, Canterbury, New Zealand. 71 p.

PIZARRO, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Editorial Agrícola Española, S. A. Madrid. 521p.

PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS. 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

RIVERA P., J.H. 2009. Uso, Manejo y Conservación Integral del Suelo para un Desarrollo Sostenible. Universidad de Manizales. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo "CIMAD". 124 p.

RIVERA P. J. H. y SINISTERRA R, J. A (2.006). Uso social de la Bioingeniería para el control de la erosión severa. CIPAV: Cali. P. 110.

RIVERA P., H. 1990. Determinación de los Índices de Erosividad Erodabilidad y Erosión Potencial en la Zona Cafetera Central Colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). Palmira (Colombia). Universidad Nacional de Colombia. (Tesis Máster Science). 310p.

RIVERA P., H. 1997. Predicción, prevención y control de diferentes procesos de erosión en suelos de ladera de la zona cafetera colombiana para lograr un desarrollo sostenible. Chinchiná, Cenicafé. 323 p.

RIVERA P., H. 1999a. El Manejo Integrado de Arvenses en Cafetales Aumenta los Ingresos y Evita la Erosión. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1999. 4 p. (Avances Técnicos CENICAFE N° 259).

RIVERA P., J.H. 1999b. Susceptibilidad y predicción de la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera central colombiana. Medellín (Colombia), Universidad Nacional. Facultad de Minas, 1999. 525 p. 103. (Tesis: Doctorado). (Premio Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Noviembre. 2001).

RIVERA P., H. 1999c. Control de Derrumbes y Negativos en Carreteras, mediante Tratamientos de Tipo Biológico. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1999. 8 p. (Avances Técnicos CENICAFE N° 264).

RIVERA P., J.H. 2002. Construcción de Trinchos Vivos para la Conducción de Aguas de escorrentía en Zonas Tropicales de Ladera. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2002. 8 p. (Avances Técnicos CENICAFE N° 296).

RIVERA P., J.H. 2006. La Bioingeniería en el Control de Erosión y Movimientos Masales en Zonas de Ladera Tropicales. IN: Agenda Ciudadana del Medio Ambiente Caldas. Publicación de la Agenda Ciudadana del Medio Ambiente Manizales - Caldas. Contraloría General de la República Gerencia Departamental de Caldas Centro de Participación y Control Ciudadano. Manizales Caldas Colombia P 17 - 27.

RIVERA P., J.H. 2009. Uso, Manejo y Conservación Integral del Suelo para un Desarrollo Sostenible. Universidad de Manizales. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo “CIMAD”. 124 p.

RIVERA P., J.H. 2011. Sistemas de drenaje con filtros vivos para la estabilización y restauración de movimientos masales en zonas de ladera. Avances Técnicos Cenicafé. No. 413. Colombia. 12 p.

RIVERA, P. H. y GÓMEZ A. A. 1992. El sombrío de los cafetales protege los suelos de la erosión. Avances Técnicos Cenicafé. No. 177. Colombia. 8 p.

RIVERA, P., J.H. 1999c. Control de derrumbes y negativos en carreteras, mediante tratamientos de tipo biológico. Avances Técnicos Cenicafé. No. 264. Colombia. 8p

ROYO, J. 1987. El territorio de Manizales y la estabilidad de sus suelos. Boletín de Vías Universidad Nacional (Manizales) XIV (62): 73 – 100.

SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. 1979. Principios del Avenamiento o Drenaje. Editorial Diana, México. 47p.

SIDLE, R. C. 1991. A Conceptual Model of Changes in Root Cohesion in response to Vegetation Management. Journal of Environmental Quality. **20**: 43 – 52.

SUAREZ DE C., F. Conservación de suelos. 3a edición. San José de Costa Rica IICA. 1980. 315 p.

SUAREZ DE C., F.; RODRIGUEZ G., A. 1962. Investigaciones sobre la erosión y la Conservación de los Suelos en Colombia. Bogotá (Colombia), FEDERACION Nacional de Caféteros de Colombia. 473 p.

- SUÁREZ, D. J. 1998. Deslizamientos y estabilización de laderas en zonas tropicales. Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Bucaramanga. 548 p.
- TRAGSA Y TRAGSATEC. 1994. Restauración hidrológico – forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid. 902 p.
- VAN WESTEN. C. J. 1994. Application of geographic information systems to deterministic landslides hazard zonation. Boletín de Vías Universidad Nacional (Manizales) **XXI (79)**: 9 – 140.
- WALDRON, L. J. 1977. The shear resistance of root–permeated homogeneous y stratified soil. Soil Science Society of American Journal. 4: 843–849.
- WALDRON, L. J. y DAKESSIAN, S. 1981. Soil reinforcement by roots: calculation of increased soil shear resistance from root properties. Soil Science. 132 (6): 427 – 435
- WALDRON, L. J., DAKESSIAN, S., y NEMSON, J. A. 1983. Shear resistance enhancement of 1.22 meter diameter soil cross sections by pine y alfalfa roots. Soil Science Society of American Journal. 47: 9–14.
- WATSON, A., PHILLIPS, C. y MARDEN, M. 1999. Root strength, growth, and rates of decay: root reinforcement changes of two tree species y their contribution to slope stability. Plant and Soil. **217**: 39–47

WISCHMEIER W. H.; SMITH D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning United States Department of Agriculture. Agricultural Handbook, No 282.

ZIEMER, R.R. 1981. The role of vegetation in the stability of rooted slopes. In: Proceedings of the International Union of Forestry Research, XVII World Congress, 6 – 17 September 1981, Kyoto, Japan. Vol. I: 297 – 308.

CAPITULO VII.

ANEXOS

Anexo 1. Complejos de depósito

Características:

Se encuentra en el municipio de Villamaría en la vereda Ríoclaro y sus alrededores, en altitud promedio de los 1470 m.

Material parental: Está constituido por materiales heterogéneos

Posición geomorfológica: Depósitos aluviales – coluviales o aluviales.

Unidad cartográfica: Complejo.

Localización: Comprende pequeñas áreas de depósito, en toda el área estudiada, ya sea óptima cafetera, alta o baja.

Suelos: Son suelos muy heterogéneos, la mayoría afectados por pedregosidad alta, tanto superficial como, como a través del perfil y algunos de ellos por niveles freáticos altos.

Contenido pedológico: Typic tropaquepts: 25 %. Lithic dystropepts: 15%. Typic dystrandpts: 15%. Otros 25 %.

Fases por pendiente: Se mapificaron las siguientes: De 0 – 12 % y de 0 – 25 %.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PERFILES REPRESENTATIVOS

Para estos complejos no se hizo descripción de perfiles representativos, debido a su gran heterogeneidad y a la poca importancia agrícola de sus suelos.

USO:

La mayoría de estos suelos presentan limitaciones serias para explotaciones agrícolas o ganaderas rentables, y solo se pueden tener algunos cultivos de subsistencia sembrados al capricho del terreno, o con pasto pará en las áreas húmedas.

Anexo 2. Unidad de suelos Pácora

Características:

Se encuentra en la parte alta de Pácora en dirección a San Bartolomé y Castilla, en altitudes promedio de los 1900 m.

Suelos: Se caracterizan por presentar texturas medianas, densidad aparente baja y en ausencia de agua se compactan en bloques de tamaño considerable. Debido al carácter alofánico, son de resistencia alta a la erosión en virtud a la estabilidad de su estructura.

Contenido Pedológico:

Typic Dystrandeps: 75%. Otros: 25% Typic Dystropepts, Andic Dystropepts y Paralithic Troporthent.

Fases por pendiente: 12 - 75 %

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Altitud: 2040 m

Material de origen: Cenizas Volcánicas

Posición geomorfológica: Colinas

Localización del perfil en la posición geomorfológica: Alta

Forma: Cóncava

Relieve: Ondulado

Pendiente: 25 %

Tipo de topografía vecina: Montaña

Evidencias de erosión: Terracetas - Reptación

Profundidad efectiva: Profunda

Régimen de humedad del suelo: Údico

Régimen de Temperatura del suelo: Isotérmico

Drenaje interno: Medio - Rápido

Drenaje externo: Bien drenado

Vegetación natural: Helechos, moras silvestres, gramas

Uso Actual: Pastos, sectores reforestados en pinos: pátula y oocarpa, alisos.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Localización:

El sitio llamado Alto de Las Coles, por la vía central que de Salamina conduce hacia Pácora.

PERFIL

Capas	I	II	III
Horizontes	Ah	AB	C
Profundidad cm	0-40	40-50	50X
Color	Negro	Pardo grisáceo muy oscuro 10YR3/2	Pardo amarillento oscuro 10YR4/6
Textura	F	FL	FAr
Estructura			
Tipo	Granular	Bloques subangulares	Bloques subangulares
Clase	Pequeños	Pequeños	Pequeños
Grado	Moderada	Moderada	Fuerte
Consistencia			
Húmedo	Friable	Friable	Firme
Mojado	No plástica No pegajosa	No plástica No pegajosa	Pegajosa No plástica
Poros			
Cantidad	Abundantes	Abundantes	Regulares
Tamaño	Finos y medianos	Finos y medianos	Finos y medianos
Formaciones Especiales	Sin	Krotovinas	Sin
Macroorganismos	Abundantes	Abundantes	Abundantes
Raíces			
Cantidad	Abundantes	Abundantes	Escasas
Tamaño	Finas y medians	Finas y medians	Finas y medianas
Reacciones			
HCl	No hay	No hay	No hay
H ₂ O ₂	Ligera	Ligera	No hay
pH	5,8	6,2	6,8
Límites			
Nitidez	Difuso	Difuso	
Topografía	Ondulado	Ondulado	

ANALISIS DE FERTILIDAD

Perfil			
Horizonte	Ah	AB	C
Profundidad cm	0-40	40-50	50X
M.O: %	13,6	8,2	3,5
C %	7,8	4,75	2,03
N Total %	0,661	0,454	0,182
P ppm	0,0	0,0	0,0
K meq/100g	0,17	0,08	0,04
Ca meq/100g	0,9	0,2	0,9
Mg meq/100g	0,3	0,0	0,2
B.T.meq/100g	1,53	0,44	1,3
C.I.C. meq/100g	28,9	25,1	19,1
S.T %	5,29	1,75	6,8
Fe ppm	260	150	150
Zn ppm	1,0	0,0	1,0
Mn ppm	13,5	14,8	3,0
Cu ppm	4,9	3,9	1,4
pH	5,8	6,2	6,8

Conforme a estos resultados la fertilidad natural es baja; sin embargo, el contenido de Nitrógeno orgánico total es alto. En consecuencia, las explotaciones que se pretendan realizar, necesitan de fertilización completa con especialidad en formulas ricas en nitrógeno y fósforo; a pesar del contenido alto de materia orgánica (Nitrógeno orgánico).

USO:

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas y las características de los suelos, el uso más indicado es el de reforestación comercial; que a la vez servirá para la regulación de las fuentes de agua.

Anexo 3. Complejo pacora - tablazo

CARACTERÍSTICAS

Material Parental: Cenizas Volcánicas con afloramientos de esquistos talcosos.

Localización: Faja ubicada entre los 1.900 y 2. 100 de altitud, entre los municipios de Aguadas y Aranzazu.

Suelos: Representados por los suelos de la Unidad Pácora y por los de la Unidad Tablazo que se caracteriza por ser muy superficiales, cuyo material de origen se desintegra fácilmente debido a su carácter básico y por tanto, muy susceptible a erodarse.

Contenido pedológico: Typic Dystrandeps 50%, Paralithic Eutropepts 20%. Otros: 30% Andic Dystropets y Paralithic troporthents

Fases por pendiente: 50 a > 75 %

CARACTERÍSTICA DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Altitud: 1980 m

Material de origen: Esquisto talcoso

Posición geomorfológica: Vertiente erosional

Localización del perfil en la posición geomorfológica: Media

Relieve: Escarpado

Pendiente: 75%

Tipo de topografía vecina: Montaña

Evidencias de erosión: Cárcavas

Profundidad efectiva: Superficial

Régimen de humedad del suelo: Udico

Régimen de temperatura del suelo: Isotérmico

Drenaje interno: Rápido

Drenaje externo: Muy Rápido

Drenaje Natural: Bien drenado

Epipedón Móllico

Horizonte subsuperficial: Ca

Taxonomía del perfil: Paralithic eutropepts

Vegetación natural: Helechos

Uso actual: Pastos, café en regular estado.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Localización: Por la carretera que de las Coles se dirige hacia Mateguadua

PERFIL

Capas	I	II	III
Horizonte	Ah	AB	C
Profundidad cm	0-30	30-40	40-X
Color	Negro parduzco 2,5 YR3/1	50% Negro parduzco 2,5 YR 3/1. 50% pardo oliva 2,5Y4/3	Pardo oliva 2,5 Y4/3
Textura	FAr	Ar Cascajosa	Ar cascajosa
Estructura			
Tipo Clase Grado	Bloques Subangulares Pequeños - Moderados	Bloques Subangulares Medianos Moderados	Sin estructura
Consistencia Húmedo Mojado	Firme pegajosa Ligeramente plástica	Firme pegajosa Ligeramente plástica	Suelta No pegajosa No plástica
Poros Cantidad	Abundantes Finos	Abundantes Finos	Abundantes Grosos
Macroorganismos	Abundantes	Regulares	Escasos
Raíces Cantidad Tamaño	Abundantes Finas Medianas	Pocas Finas Medianas	Escasas Medianas y Finas
pH	5,8	6,2	6,2
Límites Nitidez Topografía	Difuso Ondulado	Difuso Ondulado	

ANALISIS DE FERTILIDAD

Horizontes	Ah	AB	C
Profundidad cm	0-30	30-40	40-X
M.O. %	7,2	2	1,2
C %	4,17	1,16	1,69
N Total %	0,38	0,107	0,065
P ppm	7,3	0,0	0,0
K meq/100 g	0,65	0,14	0,13
Ca meq/100g	10,3	15,5	13,6
Mg meq/100g	2,4	2,9	4,1
Al meq/100g			
B.T.meq/100g	13,49	18,72	19,02
C.I.C. meq/100g	18,7	16,2	17,4
S.T. %	72,13	115,5	103,56
Fe ppm	280	200	140
Zn ppm	0,6	0,2	0,1
Mn ppm	2,6	0,7	0,9
Cu ppm	0,5	0,3	1,0
pH	5,8	6,2	6,2

Anexo 4. Unidad tablazo

Características:

Material parental: Esquisto Talcoso.

Posición geomorfológica: Colinas.

Localización: Se mapificó en el municipio de Manizales, en las Veredas San Peregrino y Los Cedros, en las laderas que parten desde Salamina hasta Pácora y Aguadas, en un sector del Corregimiento de Pueblo Rico del municipio de Neira y en la Vereda Jardín en la confluencia del río Guacaica y la quebrada El Guineo.

Roca y Suelo: El esquisto Talcoso es una roca metamórfica exfoliable, que se distingue fácilmente porque inicialmente es de color oscuro y al comienzo de su transformación adquiere una coloración blancuzca y es untuoso al tacto. Posteriormente es de pardo amarillento a rojizo. Los suelos son de textura mediana, bien estructurada y tienen un basamento de grafito, lo que sumado a la pendiente en que se localizan, los hace fácilmente deleznales.

Contenido Pedológico: Typic eutropepts 50 %; Typic dystrandeps 35 %. Otros: 15 % Paralithic eutropepts y Typic troportents.

Fases por pendiente: Se masificaron fases con pendientes desde inferiores a 12 % hasta de 75 %.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PERFILES REPRESENTATIVOS

Se describe el perfil dominante derivado del esquisto talcoso.

Altitud: 1.330 m

Material de origen: Esquisto talcoso.

Posición geomorfológica: Colinas.

Localización del perfil en la posición geomorfológica: Media

Forma: Convexa

Relieve: Fuertemente ondulado

Pendiente: 40 %

Tipo de topografía vecina: Montaña

Evidencias de Erosión: Ninguna

Profundidad Efectiva: Profundo.

Régimen de humedad del suelo: Udico

Régimen de temperatura del suelo: Isotérmico

Drenaje interno: Lento

Drenaje Externo: Rápido

Drenaje Natural: Moderadamente bien drenado

Epipedón: Ocrico

Horizonte subsuperficial: Cámbico

Taxonomía del perfil: Typic eutropepts

Vegetación natural: Clavelillo, carbonero, guamo, vainillo.

Uso actual: Café, plátano, dominico y dominico hartón

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Localización:

De la carretera Panamericana, en el trayecto Manizales - Tres Puertas, se desprende un carreteable a la Vereda San Peregrino. El perfil se describió en un talud a 2 Km de dicho empalme.

PERFIL

Capas	I	II	III
Horizonte	Ah	AB	Bs
Profundidad cm	0-25	25-40	40-120
Color	Pardo oscuro 10 YR3/3	40% pardo oscuro 10 YR3/3 20% rojo amarillo 5YR5/6 15% amarillo parduzco. 10YR6/6 15% oliva 5Y4/3 negro. 2,5Y2/0	60% rojo amarillento. 30% amarillo parduzco. 10YR6/6 10% pardo intenso. 7,5YR5/6
Textura	FAr	FAr	ArL
Estructura Tipo Clase	Bloques Subangulares angulares medianos	Bloques Subangulares angulares medianos gruesos Fuerte	Bloques Subangulares angulares medianos
Grado	Fuerte		Fuerte
Consistencia Húmedo Mojado	Friable Ligeramente plástica pegajosa	Firme Muy plástica pegajosa	Firme Ligeramente plástica pegajosa
Poros Cantidad Tamaño	Abundantes Finos	Abundantes Finos	Abundantes Finos
Macroorganismos	Abundantes	Abundantes	Escasos
Raíces Cantidad Tamaño	Abundantes Finas medianas	Abundantes Finas medianas	Abundantes Finas medianas
Reacciones HCl H2O2 NaF	No hay Ligera No hay	No hay Ligera No hay	No hay Violenta No hay
pH	6,2	6,0	6,1
Límites Nitidez Topografía	Difuso Ondulado	Difuso Ondulado	

ANALISIS DE FERTILIDAD

HORIZONTES	Ah	AB	Bs
Profundidad cm	0-25	25-40	40-120
M.O.	2,4	0,6	0,3
C %	1,39	0,34	0,17
N Total %	0,14	0,028	0,022
P ppm	1,5	0,5	0,0
K meq/100 g	0,15	0,08	0,13
Ca meq/100g	6,5	5,3	8,0
Mg meq/100g	2,7	3,0	5,5
Al meq/100g	0,0	0,1	0,1
B.T. meq/100g	9,5	8,7	13,9
C.I.C. meq/100g	13,4	12,0	16,7
S.T. %	70	72,5	82,23
Fe ppm	390	211	170
Zn ppm	2,3	2,3	1,3
Mn ppm	108	189	200
Cu ppm	3,7	3,3	3,3
pH	6,2	6,0	6,1

Conforme a los resultados de los análisis, son suelos de buena fertilidad, con contenidos altos de calcio y magnesio, pero bajos en nitrógeno, fósforo y potasio. Necesitan aplicación de abonos completos e incorporación de materia orgánica.

USO:

Estos suelos presentan potencialidad para una amplia gama de cultivos, dependiendo de la pendiente del terreno. Sirven para café, el cual puede hacerse sin sombrero, en las áreas menos pendientes y de ceniza volcánica, para cacao (hasta 1300 m sobre el nivel del mar), cítricos, aguacate, morera, tomate, frijol y maíz. Hay necesidad de llevar a cabo prácticas culturales de conservación de suelos.

Anexo 5. Unidad de suelos Pácora

Características:

Se encuentra en la parte alta de Pácora en dirección a San Bartolomé y Castilla, en altitudes promedio de los 1900 m.

Suelos:

Se caracterizan por presentar texturas medianas, densidad aparente baja y en ausencia de agua se compactan en bloques de tamaño considerable. Debido al carácter alofánico, son de resistencia alta a la erosión en virtud a la estabilidad de su estructura.

Contenido Pedológico:

Typic Dystrandeps: 75%. Otros: 25% Typic Dystropepts, Andic Dystropepts y Paralithic Troporthent.

Fases por pendiente: 12 - 75 %

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Altitud: 2040 m

Material de origen: Cenizas Volcánicas

Posición geomorfológica: Colinas

Localización del perfil en la posición geomorfológica: Alta

Forma: Cóncava

Relieve: Ondulado

Pendiente: 25 %

Tipo de topografía vecina: Montaña

Evidencias de erosión: Terracetas - Reptación

Profundidad efectiva: Profunda

Régimen de humedad del suelo: Udico

Régimen de Temperatura del suelo: Isotérmico

Drenaje interno: Medio - Rápido

Drenaje externo: Bien drenado

Vegetación natural: Helechos, moras silvestres, gramas

Uso Actual: Pastos, sectores reforestados en pinos: pátula y oocarpa, alisos.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Localización:

El sitio llamado Alto de Las Coles, por la vía central que de Salamina conduce hacia Pácora.

PERFIL

Capas	I	II	III
Horizontes	Ah	AB	C
Profundidad cm	0-40	40-50	50X
Color	Negro	Pardo grisáceo muy oscuro 10YR3/2	Pardo amarillento oscuro 10YR4/6
Textura	F	FL	FAr
Estructura			
Tipo	Granular	Bloques subangulares	Bloques subangulares
Clase	Pequeños	Pequeños	Pequeños
Grado	Moderada	Moderada	Fuerte
Consistencia			
Húmedo	Friable	Friable	Firme
Mojado	No plástica No pegajosa	No plástica No pegajosa	Pegajosa No plástica
Poros			
Cantidad	Abundantes	Abundantes	Regulares
Tamaño	Finos y medianos	Finos y medianos	Finos y medianos
Formaciones Especiales	Sin	Krotovinas	Sin
Macroorganismos	Abundantes	Abundantes	Abundantes
Raíces			
Cantidad	Abundantes	Abundantes	Escasas
Tamaño	Finas y medianas	Finas y medianas	Finas y medianas
Reacciones			
HCl	No hay	No hay	No hay
H ₂ O ₂	Ligera	Ligera	No hay
pH	5,8	6,2	6,8
Límites			
Nitidez	Difuso	Difuso	
Topografía	Ondulado	Ondulado	

ANALISIS DE FERTILIDAD

Perfil			
Horizonte	Ah	AB	C
Profundidad cm	0-40	40-50	50X
M.O: %	13,6	8,2	3,5
C %	7,8	4,75	2,03
N Total %	0,661	0,454	0,182
P ppm	0,0	0,0	0,0
K meq/100g	0,17	0,08	0,04
Ca meq/100g	0,9	0,2	0,9
Mg meq/100g	0,3	0,0	0,2
B.T.meq/100g	1,53	0,44	1,3
C.I.C. meq/100g	28,9	25,1	19,1
S.T %	5,29	1,75	6,8
Fe ppm	260	150	150
Zn ppm	1,0	0,0	1,0
Mn ppm	13,5	14,8	3,0
Cu ppm	4,9	3,9	1,4
pH	5,8	6,2	6,8

Conforme a estos resultados la fertilidad natural es baja; sin embargo, el contenido de Nitrógeno orgánico total es alto. En consecuencia, las explotaciones que se pretendan realizar, necesitan de fertilización completa con especialidad en formulas ricas en nitrógeno y fósforo; a pesar del contenido alto de materia orgánica (Nitrógeno orgánico).

USO:

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas y las características de los suelos, el uso más indicado es el de reforestación comercial; que a la vez servirá para la regulación de las fuentes de agua.

Anexo 6. Complejo pacora - tablazo

CARACTERÍSTICAS

Material Parental: Cenizas Volcánicas con afloramientos de esquistos talcosos.

Localización: Faja ubicada entre los 1.900 y 2.100 de altitud, entre los municipios de Aguadas y Aranzazu.

Suelos: Representados por los suelos de la Unidad Pácora y por los de la Unidad Tablazo que se caracteriza por ser muy superficiales, cuyo material de origen se desintegra fácilmente debido a su carácter básico y por tanto, muy susceptible a erodarse.

Contenido pedológico:

Typic Dystrandpeats 50%, Paralithic Eutropepts 20%. Otros: 30% Andic Dystropets y Paralithic troporthents

Fases por pendiente: 50 a > 75 %

CARACTERÍSTICA DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Altitud: 1980 m

Material de origen: Esquisto talcoso

Posición geomorfológica: Vertiente erosional

Localización del perfil en la posición geomorfológica: Media

Relieve: Escarpado

Pendiente: 75%

Tipo de topografía vecina: Montaña

Evidencias de erosión: Cárcavas

Profundidad efectiva: Superficial

Régimen de humedad del suelo: Udico

Régimen de temperatura del suelo: Isotérmico

Drenaje interno: Rápido

Drenaje externo: Muy Rápido

Drenaje Natural: Bien drenado

Epipedón Móllico

Horizonte subsuperficial: Ca

Taxonomía del perfil: Paralithic eutropepts

Vegetación natural: Helechos

Uso actual: Pastos, café en regular estado.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL REPRESENTATIVO

Localización: Por la carretera que de las Coles se dirige hacia Mateguadua

PERFIL

Capas	I	II	III
Horizonte	Ah	AB	C
Profundidad cm	0-30	30-40	40-X
Color	Negro parduzco 2,5 YR3/1	50% Negro parduzco 2,5 YR 3/1. 50% pardo oliva 2,5Y4/3	Pardo oliva 2,5 Y4/3
Textura	FAr	Ar Cascajosa	Ar cascajosa
Estructura			
Tipo Clase Grado	Bloques Subangulares Pequeños - Moderados	Bloques Subangulares Medianos Moderados	Sin estructura
Consistencia Húmedo Mojado	Firme pegajosa Ligeramente plástica	Firme pegajosa Ligeramente plástica	Suelta No pegajosa No plástica
Poros Cantidad	Abundantes Finos	Abundantes Finos	Abundantes Gruesos
Macroorganismos	Abundantes	Regulares	Escasos
Raíces Cantidad Tamaño	Abundantes Finas Medianas	Pocas Finas Medianas	Escasas Medianas y Finas
pH	5,8	6,2	6,2
Límites Nitidez Topografía	Difuso Ondulado	Difuso Ondulado	

ANALISIS DE FERTILIDAD

Horizontes	Ah	AB	C
Profundidad cm	0-30	30-40	40-X
M.O. %	7,2	2	1,2
C %	4,17	1,16	1,69
N Total %	0,38	0,107	0,065
P ppm	7,3	0,0	0,0
K meq/100 g	0,65	0,14	0,13
Ca meq/100g	10,3	15,5	13,6
Mg meq/100g	2,4	2,9	4,1
Al meq/100g			
B.T.meq/100g	13,49	18,72	19,02
C.I.C. meq/100g	18,7	16,2	17,4
S.T. %	72,13	115,5	103,56
Fe ppm	280	200	140
Zn ppm	0,6	0,2	0,1
Mn ppm	2,6	0,7	0,9
Cu ppm	0,5	0,3	1,0
pH	5,8	6,2	6,2